



# MUŞ ALPARSLAN ÜNİVERSİTESİ

## FEN BİLİMLERİ

### DERGİSİ

2018  
Aralık  
2 Cilt/6

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

- ❖ POM Temelli Katalitik Membran Kontaktörün Hazırlanması ve Karakterize Edilmesi  
*Yılmaz YILDIRIM, Ali Kemal TOPALOĞLU*
- ❖ Yoğun İşlem Yüküne Sahip Matris Çarpımı Hesaplama Sürelerinin Önbellek Kullanım Optimizasyonu ve Paralel Programlama Teknikleri Kullanılarak İyileştirilmesi  
*Mustafa Furkan KESKENLER, Eyüp Fahri KESKENLER*
- ❖ Interface Design and Performance Analysis for a Haptic Robot  
*Tayfun ABUT, Servet SOYGÜDER*
- ❖ Farklı Kimyasal İçeriğe Sahip Tellerin İki Pasolu Sert Dolgulu Malzemelerin Aşınma Davranışına Etkiler  
*Hülya DURMUŞ, Nilay ÇÖMEZ, Canser GÜL, Melis YURDDAŞKAL*
- ❖ Restricted Optimal Control Problem for Stochastic Switching Linear Systems with Variable Delay  
*Çerkez AĞAYEVA, Melis Alparslan TEKİN*
- ❖ Betonarme Perde Çerçevesi Yapılardaki Kiriş Süreksizliğinin Etkin Göreli Kat Ötelemeleri ve İkinci Mertebe Etkileri Bakımından İrdelenmesi  
*Sedat SEVEN, Ömer KELEŞOĞLU*
- ❖ Metil Kırmızısının Silikajel Üzerindeki Çözültiden Adsorpsiyonu: Denge İzotermi Ve Kinetik İncelemeler  
*İbrahim GÖZETEN, Ali SAVRAN*
- ❖ Effect of Multi-Walled Carbon Nanotubes on the Water-Based Drilling Muds  
*Abdullah ÖZKAN*
- ❖  $G=S(1)$ ,  $G=S(2)$  ve alt Grubları için G- Yörüngeler  
*Muhsin İNCESU, Osman GÜRSOY*
- ❖ Investigation of the Severe Geomagnetic Storm Effects on Ionosphere at Nighttime through ROTI  
*Selçuk SAĞIR, Ramazan ATICI, İskender DÖLEK*

*Muş Alparslan Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi \* 2013'ten 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: 2018 • CİLT/VOLUME: 6 • 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	:	01/12/2018
Cilt	:	6
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	:	<a href="http://dergipark.gov.tr/msufbd">http://dergipark.gov.tr/msufbd</a>

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

Yıl/Year: 2018 • Cilt/Volume: 6 • Sayı/Number: 2

**Yayın Kurulu • Editorial Board**

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

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

Yıl: 2018 • Cilt: 6 • 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
- CAB Abstract
- Sindex
- SOBİAD
- Open J Gate
- ROAD

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

Yıl/Year: 2018 • Cilt/Volume: 6 • 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 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
- CAB Abstract
- Sindex
- SOBİAD
- Open J Gate
- ROAD

**Danışma Kurulu**

Prof. Dr. Erdal Necip YARDIM  
Bitlis Üniversitesi / Türkiye  
Prof. Dr. Mehmet Serdar GÜLTEKİN  
Atatürk 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 AÇAR  
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  
Prof. Dr. Murat AYDEMİR  
Dicle 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 MURGUIA  
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**

<i>Yılmaz YILDIRIM, Ali Kemal TOPALOĞLU</i> POM Temelli Katalitik Membran Kontaktörün Hazırlanması ve Karakterize Edilmesi	539-544
<i>Mustafa Furkan KESKENLER, Eyüp Fahri KESKENLER</i> Yoğun İşlem Yüküne Sahip Matris Çarpımı Hesaplama Sürelerinin Önbellek Kullanım Optimizasyonu ve Paralel Programlama Teknikleri Kullanılarak İyileştirilmesi	545-552
<i>Tayfun ABUT, Servet SOYGÜDER</i> Interface Design and Performance Analysis for a Haptic Robot	553-560
<i>Hülya DURMUŞ, Nilay ÇÖMEZ, Canser GÜL, Melis YURDDAŞKAL</i> Farklı Kimyasal İçeriğe Sahip Tellerin İki Pasolu Sert Dolgulu Malzemelerin Aşınma Davranışına Etkileri	561-564
<i>Çerkez AĞAYEVA, Melis Alpaslan TEKİN</i> Restricted Optimal Control Problem for Stochastic Switching Linear Systems with Variable Delay	565-570
<i>Sedat SEVEN, Ömer KELEŞOĞLU</i> Betonarme Perde Çerçevesi Yapılardaki Kiriş Süreksizliğinin Etkin Göreli Kat Ötelemeleri ve İkinci Mertebe Etkileri Bakımından İrdelenmesi	571-580
<i>İbrahim GÖZETEN, Ali SAVRAN</i> Metil Kırmızısının Silikajel Üzerindeki Çözültiden Adsorpsiyonu: Denge İzotermi Ve Kinetik İncelemeler	581-589
<i>Abdullah ÖZKAN</i> Effect of Multi-Walled Carbon Nanotubes on the Water-Based Drilling Muds	591-594
<i>Muhsin İNCESU, Osman GÜRİSOY</i> G=S(1), G=S(2) ve alt Grubları için G- Yörüngeler	595-602
<i>Selçuk SAĞIR, Ramazan ATICI, İskender DÖLEK</i> Investigation of the Severe Geomagnetic Storm Effects on Ionosphere at Nighttime through ROTI	603-609

**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



## POM Temelli Katalitik Membran Kontaktörün Hazırlanması ve Karakterize Edilmesi

Yılmaz YILDIRIM<sup>1</sup>, Ali Kemal TOPALOĞLU<sup>1</sup>✉

<sup>1</sup>Çevre Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Zonguldak, Türkiye  
✉: alikemal.topaloglu@beun.edu.tr

Geliş (Received): 12.09.2018

Düzenleme (Revision): 02.11.2018

Kabul (Accepted): 11.11.2018

### ÖZET

Bu çalışmada ilk olarak katalizör özelliği olan POM olarak adlandırılan 10-molibdo-2-vanadofosforik (decamolybdodivanadophosphoric) asit sentezlenmiştir. Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FT-IR), taramalı elektron mikroskopu (SEM), enerji dağılım spektroskopisi (EDS) ve X-ışınımı kırınımı (XRD) kullanılarak üretilen malzemenin analizleri gerçekleştirilmiştir. Devamında yeni bir katalitik membran kontaktör (CMC) oluşturmak için ticari polivinildin florid (PVDF) yüzeyine, üretilen POM modifiye edilmiştir. POM'un membran yüzeyine modifiye edildiğini göstermek için bu katalitik membranın FT-IR, SEM ve EDS karakterizasyonu yapılmıştır. Daha sonra CMC ve modifiye edilmemiş PVDF membranların, temas açısı, saf su akıları ve membran gözenek (por) analizleri yapılarak karşılaştırılmıştır. Sonuçlar irdelendiğinde FT-IR ve EDS analizlerine göre, CMC membran başarılı bir şekilde üretilmiştir ve temas açısı sonuçlarına göre CMC membran, PVDF membrana göre daha hidrofilik olduğu bulunmuştur. Ayrıca, her iki membranın saf su akı değerleri karşılaştırıldığında, CMC membranın saf su akısı PVDF membrana göre azaldığı bulunmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Katalitik membran kontaktör, Çok oksitli metaller, FT-IR, SEM, EDS analizleri

## POM Based Catalytic Membrane Contactor Preparing and Characterizing

### ABSTRACT

In this study, 10-molybdo-2-vanadophosphoric (decamolybdodivanadophosphoric) acid called POM having catalytic property, was initially synthesized and Fourier transform infrared (FT-IR), scanning electron microscopy (SEM), energy dispersive X-ray spectroscopy (EDS) and X-ray diffraction (XRD) analyses were carried out. Afterwards, POM was modified to the commercial Polyvinylidene Fluoride (PVDF) membrane surface to produce a new catalytic membrane contactor (CMC). FT-IR, SEM, and EDS characterization of the CMC were performed to clarify that the POM was modified to the membrane. Then, contact angle, pure water fluxes and pore size of the CMC and unmodified PVDF membranes were analysed and compared. Consequently, according to FT-IR and EDS analyses, the CMC was produced successfully and according to contact angle results, this membrane has more hydrophilic than PVDF membrane. Moreover, when the pure water flux values were compared, the CMC fluxes were less than that of PVDF membrane.

**Keywords:** Catalytic membrane contactor, Polyoxometalates, FT-IR, SEM, EDS analysis

### GİRİŞ

Polioksmetalatlar (POM) en yüksek oksidasyon durumundaki (M=V, Nb, Ta, Mo, W) erken geçiş metalleri ve oksijen arasındaki kombinasyonlardır. POM'lar metal oksitlerin büyüklüğünden ayırt edilebilen metal oksitlerdir [1]. POM'lar tek kümeli molekül oluşturan nanopartiküllerden yüzlerce metal atomları içeren kompleks yapılara kadar uzanabilen çeşitli türlere sahiptirler. Ayrıca POM'lar kataliz, tıp ve malzeme bilimlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır [1-3]. POM'lar eşsiz karakteristikleri arasında katalizör olarak işlevi en önemli araştırma alanlarıdır [4-6]. Düşük maliyeti, yüksek verimi, yüksek kararlılığı ve çevre dostu olması sayesinde POM'lar atıksu arıtımında

öneme sahiptirler [4, 7, 8]. POM'lar genellikle mezoporoz, aktif karbon veya SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve ZrO<sub>2</sub> gibi metal oksit yapılara immobilize edilirler [4, 9]. Fakat membranlar ile kullanımı sınırlıdır. Mevcut çalışmalar arasında, Fontananova ve ark. PVDF membran yüzeyine fosfotungustik asit bağlamışlardır ve bu polimerik membranın iyi fotokatalitik verim gösterdiğini ispatlamışlardır [10]. Diğer bir çalışmada Yao ve ark. POM içerikli hollow fiber PVDF membran kontaktör hazırlamışlardır ve POM'un atıksudaki fenolü parçaladığını yapmış oldukları çalışmada ispatlamışlardır [4]. Yao ve ark. diğer bir çalışmada boya giderim aktivitesi sağlayan katalizör olarak POM içerikli katalitik PVDF membran kontaktör hazırlamışlardır ve bu membran ile boya gideriminde yaklaşık %80 verim sağlamışlardır [11].

CMC membran ile çoğu çalışmalarda pahalı olmayan tübüler seramik membranlar kullanılmıştır. Polimerik membranlar daha düşük maliyetlerine rağmen zayıf kimyasal drençlerinden dolayı daha az kullanılmaktadırlar. Fakat PVDF gibi polimerik membranlar kimyasal drence ve yüksek kimyasal inertliğe sahiptirler [12, 13]. Aynı zamanda PVDF membranlar büyük ölçekli endüstrilerde yaygın olarak kullanılmaktadır [14- 16].

Bu çalışmada; katalitik bir polimerik membran üretmek için, doğal katalizör özellikli keggin türü bir polioksometalat olan 10-molibdo-2-vanadofosforik asit ( $H_5PV_2Mo_{10}O_{40}$ , POM) katalizörü laboratuvarında sentezlenmiştir ve üretilen malzemenin POM olduğunu doğrulamak için FT-IR, SEM, EDS ve XRD ile karakterize edilmiştir. Daha sonra destek malzemesi olan ticari PVDF düz tabaka membran yüzeyine POM modifiye edilerek CMC membran üretilmiştir. Devamında üretilen CMC membran yüzeyine POM'un modifiye edildiğini göstermek için FT-IR, SEM ve EDS analizleri ile karakterize edilmiştir. Membranların por boyutlarının karşılaştırılması için CMC membranın SEM analizleri Image j programı kullanılarak membranın ortalama gözenek boyutu hesaplanmıştır. Ayrıca her iki membranın hidrofilik özelliği ve saf su akı değerleri de ölçülerek membranın filtrasyon özelliği araştırılmıştır.

## MATERYAL ve YÖNTEM

### Malzemeler

Ticari mikro gözenekli (mikroporoz) düz tabaka PVDF membran (ortalama gözenek boyutu 0,2  $\mu m$ ) MICRODYN-NADIR, Almanya, firmasından satın alınmıştır.  $H_5PV_2Mo_{10}O_{40}$  POM'unu sentezlemek için, sodyum molibdat dihidrat, disodyum hidrojen fosfat, sodyum metavanadat, konsantre sülfürik asit (%95-98) ve dietil eter Merck firmasından ve %20 m/m polly(diallyldimethylammonium chloride) (PDDA) ise Sigma-Aldrich firmasından satın alınmıştır

### $H_5PV_2Mo_{10}O_{40}$ Sentezlenmesi

$H_5PV_2Mo_{10}O_{40}$  POM'u üretmek için; 12,2 g sodyum metavanadat 50 ml kaynayan saf su içerisinde çözülmüştür. Daha sonra 50 ml saf su içerisinde disodyum hidrojen fosfat çözülmüştür ve sodyum metavanadat çözeltisine karıştırılmıştır. Bu çözelti oda sıcaklığında soğuduktan sonra konsantre sülfürik asitten (5 ml, 17 M, 85 mmol) ilave edilmiştir ve çözeltinin renginin kırmızıya döndüğü gözlenmiştir. Daha sonra 100 ml saf su içerisinde çözülen sodyum molibdat (60,5 g, 250 mmol) bu çözeltiye ilave edilmiş ve hızlı karıştırma altında çözeltiye konsantre sülfürik asit (42 ml, 17 M, 714 mmol) yavaş bir şekilde eklenerek oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır. Devamında 10-molibdo-2-vanadofosforik asit 500 ml etil eter ile ekstraksiyon yapılmıştır. Etil eter uzaklaştırıldıktan sonra geriye kalan katıyı saflaştırmak için saf su

içerisinde çözülmüştür ve konsantre sülfürik asit ilave edilip etil eter ile ekstraksiyon yapılmıştır. Ekstraksiyon sonunda oluşan kristaller saf su ile yıkanıp oda sıcaklığında kurutulmuştur [17]. Elde edilen POM malzemesinin fiziksel görüntüsü Şekil 1'de verilmektedir.



Şekil 1. Sentezlenmiş POM

### Membran Yüzeyinin POM ile Modifiye Edilmesi

PVDF düz tabaka (flat sheet) gözenekli membran yüzeyine POM bağlanmaya çalışılmıştır. Kullanılan destek membran 6x8 cm ebatlarında ticari PVDF membran olup mikroporoz bir yapıya sahiptir. İlk önce destek membran ağırlıkça %1'lik hazırlanan PDDA katyonik polimeri çözeltisine batırılarak bu çözeltide içerisinde 10 dakika bekletilmiş ve sonrasında 40 °C'de 1 saat vakumlu etüve tutulmuştur. Ticari PVDF membrana PDDA yüklemesini takiben hazırlanan bu modifiye membran 10 dakika ağırlıkça %1'lik POM çözeltisine batırılarak 40 °C'de 1 saat vakumlu etüve kurutulmuştur. Bu aşamaların sonunda PVDF destekli POM katkılı katalitik membran kontaktör (CMC) üretilmiştir.

### POM, Modifiye Edilmemiş PVDF ve CMC Membranların Analizleri

Sentezlenen POM kristalleri, modifiye edilmemiş PVDF membran ve modifiye edilerek üretilen CMC membranlar için Perkin Elmer Pyris markalı FT-IR spektroskopisi ile oda sıcaklığında 4000-500  $cm^{-1}$  dalga sayıları aralığında tarama yapılmıştır. Sentezlenen POM kristalleri, modifiye edilmemiş PVDF membran ve modifiye edilerek üretilen CMC membranların Zeiss EVO LS10 marka SEM ile morfolojik karakterizasyonları yapılmıştır. POM kristallerinin analizi 10 KV'da ve membranların analizleri ise 5 KV'da yapılmıştır. Modifiye edilmemiş PVDF ve CMC membranlar SEM ile karakterizasyonu yapılmadan önce Quorum Q150T cihazını kullanarak altın-paladyum (Au-Pd) ile kaplanmıştır. EDS spektrometresi ile POM, modifiye edilmemiş PVDF ve CMC membranların yapılarındaki elementlerin neler olduğunu belirlemek için Zeiss EVO LS10 markalı SEM cihazına bağlı olan EDAX element dedektörü ile 10 KV'da analizleri yapılmıştır. POM kristallerinin XRD analizi Panalytical markalı Empyrean model  $10^{\circ}$ - $90^{\circ}$  tarama açısında yapılmıştır. Membranların su ile temas açılarının ölçülmesinde Attension marka Theta Lite optik tansiyometre cihazı kullanılarak hazırlanan membranların ıslanabilirliğinin bir göstergesi olan hidrofilik veya hidrofobik özelliği araştırılmıştır. Ayrıca

modifiye edilmemiş PVDF ve üretilmiş CMC membranların saf su akıları da ölçülerek akım karakteristikleri belirlenmiştir. Membranların saf su akılarının ölçülmesi işlemi  $3 \times 5 \text{ cm}^2$  etkin yüzey alanına sahip olan çapraz akışlı membran sistemi kullanılarak yapılmıştır. Deneysel çalışmada bu membranlar, saf su ile 1 bar trans membran basıncı (TMP) altında çalıştırılarak membran süzütüleri elde edilmiştir. Süzütü akıları belirli zaman aralıklarında AND marka EJ-6100 model hassas terazi ile ölçülerek hassas terazinin veri aktarımı ile bilgisayar MS-Excel dosyasına aktarılmıştır. Akı değerleri aşağıdaki Denklem (1)'e göre hesaplanmıştır.

$$J_v = V / (S \times t) \quad (1)$$

Eşitlikteki  $J_v$ ,  $V$ ,  $S$  ve  $t$  sırasıyla süzütü akısı, süzütünün hacmi (litre), etkin membran alanı ( $\text{m}^2$ ) ve zaman (saat) olarak tanımlanmaktadır. Üretilen CMC membranın por ebatı belirlemede Image j programı kullanılarak membranın SEM görüntüsü işlenmiştir ve işlenen görüntüden yararlanılarak membranın por boyutu dağılım grafiği oluşturulmuştur ve ortalama por boyutu hesaplanmıştır. Bu yöntem membranların por boyut dağılımlarının belirlenmesinde ve ortalama por boyutlarının hesaplanmasında yaygın olarak kullanılmaktadır [18 -20].

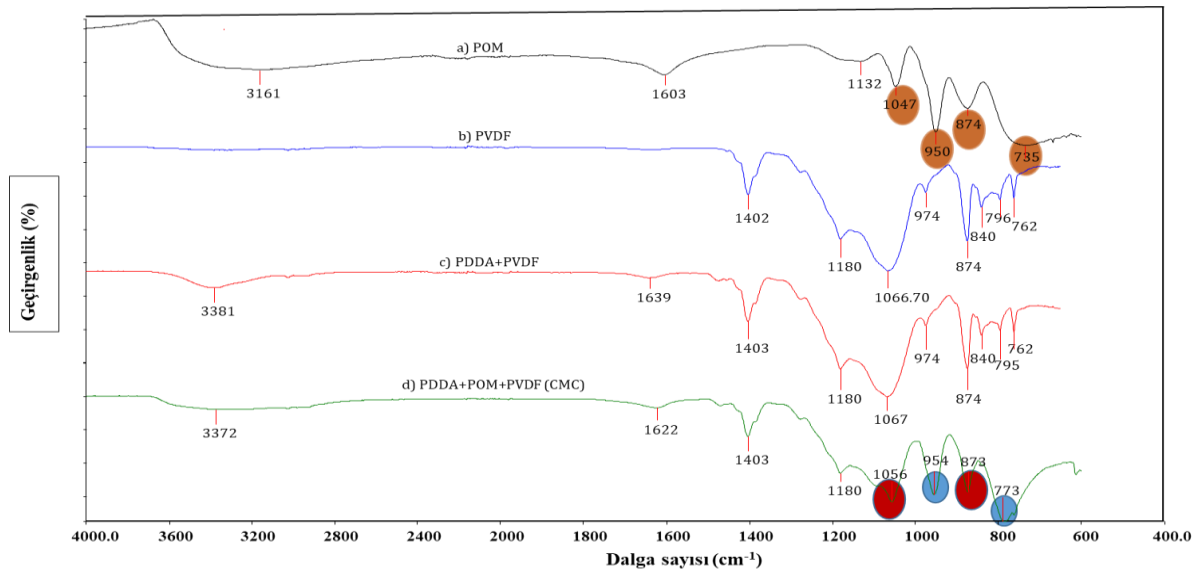
## TARTIŞMA

### FT-IR Analizleri

Şekil 2a'da POM olarak gösterilen  $\text{H}_5\text{PV}_2\text{M}_{10}\text{O}_{40}$  malzemesinin FT-IR ölçümü görülmektedir. POM'un temel yapısı  $700\text{-}1200 \text{ cm}^{-1}$  FT-IR aralığındaki dört

karakteristik IR bantlarıyla tanımlanır. POM'un bu dört karakteristik IR bantları  $1047 \text{ cm}^{-1}$  (P-O stretching),  $950 \text{ cm}^{-1}$  (M=O stretching),  $874 \text{ cm}^{-1}$  (inter-octahedral M-O-M stretching) ve  $735 \text{ cm}^{-1}$  (intra-octahedral M-O-M stretching), s=strong, m=medium, br=broad) olarak tanımlanmıştır. Sentezlenmiş POM'a ait FT-IR analizi literatürdekiler ile karşılaştırıldığında benzer sonuçlar görülmüştür [17, 21-23].

Şekil 2b'de PVDF membranın bağlarını ve Şekil 2c'de ise PDDA+PVDF olarak gösterilen PVDF membranın PDDA ile modifikasyonu sonucundaki bağlar verilmiştir. PVDF membran ile PVDF membranın PDDA ile modifikasyonu karşılaştırıldığında, modifikasyonu sonunda  $1639 \text{ cm}^{-1}$  ( $\delta\text{C}=\text{C}$ ) de PDDA'ya ait karakteristik bir bağa sahip olduğu görülmüştür ve bu bağ çok zayıf bir absorpsiyon bağıdır [4, 24]. Zayıf absorpsiyon bağı olmasının sebebi PDDA'nın sadece membranın porlarına yerleşmesindedir [4, 24]. Şekil 2d'de PVDF membran PDDA ile modifiye işleminden sonra POM ile modifiye edilerek (CMC) membranı üretilmiştir ve bu CMC membran yapısında POM'a ait dört karakteristik pik görülmektedir.  $954 \text{ cm}^{-1}$  v(M-O) ve  $773 \text{ cm}^{-1}$  v(M-Oe-M) (M=Mo veya V), (Oe; edge-sharing oxygen)'de oldukça keskin ve yoğun olan pikler gözlenmiştir (ilgili bağlar Şekil 2d üzerinde mavi daireler içerisinde gösterilmiştir). Benzer sonuçlar daha önce yapılmış olan çalışmalarda da görülmüştür [4, 25]. Ayrıca Şekil 2d'de keggin türü polioksometalatin iki genel bağları PVDF membranın bağları ile çakışmaktadır. Bu bağlar  $1056 \text{ cm}^{-1}$  de (P-O) ve  $873 \text{ cm}^{-1}$  de M-Oc-M (Oc; corner sharing oxygen) dir (ilgili bağlar Şekil 2d üzerinde kırmızı daireler içerisinde gösterilmiştir)

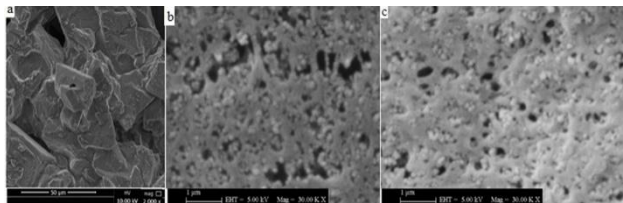


Şekil2. FT-IR analizleri (a) sentezlenen POM (b) ticari PVDF membran (c) PDDA ile modifiye edilmiş ticari PVDF membran (d) POM ve PDDA ile modifiye edilmiş ticari PVDF membran (CMC membran)

### SEM Analizleri

Şekil 3'de POM katalizörünün, modifikasyondan önce (PVDF) ve sonra (CMC) membranların yüzey görüntülerinin SEM analizleri görülmektedir. Şekil 3a'da POM'un SEM görüntüsünden POM'un kübik kristaller tarafından oluştuğu görülmektedir. Benzer kübik kristalli yapılar literatürde yapılan çalışmalarda da görülmüştür. Arichi ve ark. yapmış oldukları çalışmalarında; yaklaşık 100 nm den daha küçük kristallerin birleşmesi ile kübik kristallerin oluştuğunu ifade etmişlerdir [26].

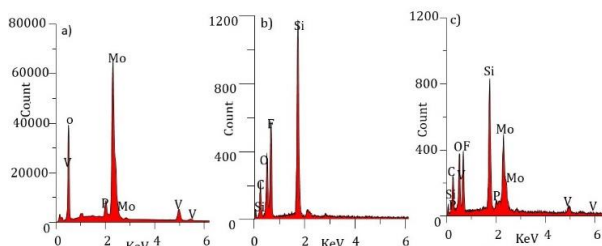
Şekil 3b ve 3c'de de görüldüğü gibi PVDF ve CMC membranlar mikroporoz yapıya sahiptirler. PDPA ve POM ile membranın modifikasyonundan sonra membranın por boyutları daralmıştır. Fakat POM ile modifikasyonundan sonra bile mikroporoz yapısına sahip olduğu tespit edilmiştir (bkz. Şekil 3c).



Şekil3. (a)  $H_5PV_2Mo_{10}O_{40}$  kristalleri (b) ticari PVDF membran yüzeyi (c) PDPA ve POM ile modifiye edilmiş ticari PVDF membran yüzeyi.

### EDS Analizleri

Üretilen POM kristallerinin EDS analizi Şekil 4a'da verilmiş olup, yapısal bileşenleri analitik olarak hesaplanmıştır. Üretilen POM'un yapısal bileşenlerinin analitik hesabı sonucu P, 1.7 (1.63); V, 5.8 (9.64); Mo, 55 (53.07); O, 37 (36) olarak belirlenmiştir. POM için analitik hesaplama ve bulunan değerler literatür ile yaklaşık olarak benzer sonuçlar vermiştir [17]. Şekil 4b'de PVDF membranın yapısında bulunan C ve F elementlerinin varlığı görülmektedir. Burada görünen "Si" ve "O" elementlerinin varlığı üretici firmanın membranın üretiminde  $SiO_2$  nanoparçacıklarını membrana eklemesinden kaynaklı olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 4c'de PVDF membranın POM ile modifikasyonu sonrası üretilen CMC membranında POM'a ait olan P, Mo, V elementleri görülmüştür. Bu sonuçlara göre POM'un PVDF membrana başarılı bir şekilde modifiye edildiği ve PVDF destekli CMC membranın üretildiği tespit edilmiştir.

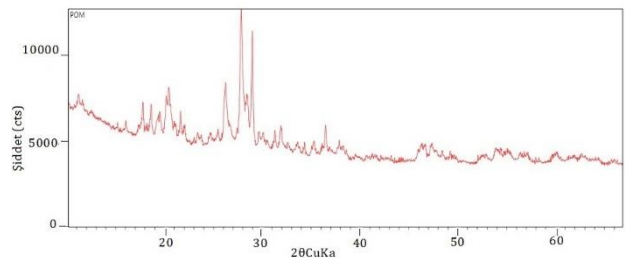


Şekil4. EDS analizleri: (a) Sentezlenen  $H_5PV_2Mo_{10}O_{40}$  kristali (b) modifiye edilmemiş ticari PVDF membran (c)

POM ile modifiye edilmiş ticari PVDF membran (CMC membran)

### XRD Analizi

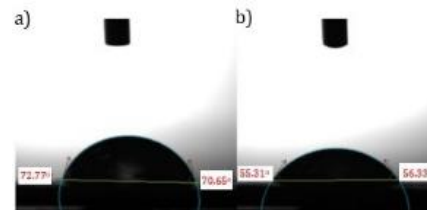
Üretilen POM'un XRD analizi Şekil 5'de görülmektedir. POM'un XRD analizinde  $20.4^\circ$  ve  $27.8^\circ$  açılarında iki yoğun pik olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca şekilde POM'un doğal yapısındaki kristal-çizgi olduğunu gösteren POM'un kırınım görüntüsü de elde edilmiştir. Mevcut çalışmada sentezlenen POM ile literatürde yer alan çalışmalarda, sentezlenen POM malzemesinin XRD analiz sonucu karşılaştırıldığında benzer yapıya sahip oldukları görülmüştür [21, 22].



Şekil5. POM'un XRD analizi

### Ticari PVDF ve üretilen CMC membranların Temas Açılarının ve Saf Su Akılarının Analizleri

Modifikasyondan önce (ticari PVDF) ve sonra (PVDF destekli CMC) membranların temas açıları ölçülmüştür. Modifikasyondan önce ticari membranın temas açısı  $71.71^\circ$  iken POM ile modifikasyondan sonra  $55.82^\circ$  değerine düştüğü belirlenmiştir. Bu ölçüm sonuçlarına göre PVDF destekli CMC membranın hidrofilik özelliğinin arttığı tespit edilmiştir. Bunun sebebinin PVDF membran yüzeyine modifiye edilen POM'un hidrofilik bir malzeme olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir [4]. Şekil 6'da ve Tablo 1'de PVDF ve CMC membranlara ait temas açılarının sayısal değerleri görülmektedir.



Şekil6. Temas Açıları (a) Modifikasyondan önce ticari PVDF membran (b) Üretilen PVDF destekli CMC membran

Tablo 1'de görüldüğü gibi modifikasyondan önce membranın saf su akısı yaklaşık  $1350 L/m^2 \cdot \text{saat}$  modifikasyondan sonra ise saf su akı değeri yaklaşık  $140 L/m^2 \cdot \text{saat}$  değerine düşmektedir. Ticari MF membranı modifikasyondan sonra bile bu saf su akı değeriyle yine MF membran olarak kullanılmaktadır. Modifikasyondan sonra membranın akı değerinin azalmasının nedeni olarak POM'un gözenek boyutlarını daraltmasından kaynaklandığı belirlenmiştir. POM'un membran yüzeyine modifikasyonu sonucu gözenek

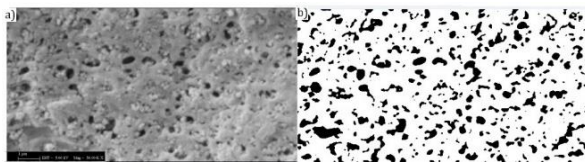
boyutunu azalttığı daha önce yapılan çalışmalarda da görülmüştür [4, 11].

**Tablo 1.** Membranların temas açıları ve akı değerleri.

Kullanılan membranlar	Temas Açısı (°)	Akı (L/m <sup>2</sup> *saat)
Ticari PVDF membran	71,71	1350±19
PVDF destekli CMC membran	55,82	140±6

### Membran Gözenek Ebadının Analizi

Modifiye edilen membranın por ebadının dağılımını belirlemek için SEM görüntüleri kullanılarak Image j yazılımı yardımıyla gerekli hesaplamalar yapılmıştır. Çalışma ile ilgili SEM orijinal görüntüsü Şekil 7a'da ve Image j programı kullanılarak işlenmiş SEM görüntüsü ise Şekil 7b'de verilmektedir. Bu program çıktısında membran porları siyah ve membran yüzeyi ise beyaz olarak görülmektedir. Her bir por yapısının dairesel olduğu varsayılarak por çapı dağılımı ve ortalama por çapı hesaplanmıştır. Sonuçlara ait por çapı dağılım grafiği Şekil 8'de görülmektedir. Por boyut dağılımının en fazla 40-50 nm arasında olduğu görülmektedir. Ortalama por boyutu membranın tüm por boyutlarının ortalaması alınarak hesaplanmıştır ve 100 nm (0,1 µm) olarak belirlenmiştir.

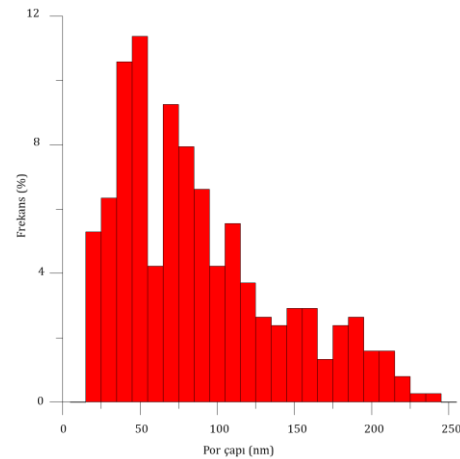


**Şekil 7.** (a) CMC membranın işlenmemiş SEM görüntüsü (b) CMC membranın Image-j programı ile işlenmiş SEM görüntüsü

### SONUÇ

FT-IR, SEM, EDS, XRD analiz sonuçlarına göre katalizör özelliğe sahip olan kepping türü POM malzemesi laboratuvarında başarılı bir şekilde sentezlenmiştir. Daha sonra sentezlenen katalitik POM ticari düz tabaka PVDF membran yüzeyine modifiye edilerek CMC membran üretilmiştir ve bu CMC membranın FT-IR, SEM, EDS analizleri yapılarak karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir. FT-IR sonuçlarına göre POM malzemesinin dört karakteristik bağı görülmüştür. EDS analiz sonuçlarına göre de POM'un elementleri olan P, Mo ve V elementleri, üretilen CMC membranın yapısında tespit edilmiştir. Ayrıca modifiye edilmeden önceki ticari PVDF membran ile modifikasyondan sonra üretilen CMC membranlara ait saf su akıları ölçülerek karşılaştırılmıştır. CMC membranın saf su akısının, ticari PVDF membranın akısından on kat daha düşük olduğu tespit edilmiştir. CMC membranın akısının azalmasının nedeni ticari PVDF membranın PVDF membranın PVDF ve POM ile modifikasyonu sonrasında membranın por boyutunun daralması olarak belirlenmiştir. Benzer bir sonuç SEM analizleri

karşılaştırıldığında, üretilen CMC membranın gözenek boyutunun PVDF membrana göre azaldığı görülmektedir. Ticari PVDF membranın por boyutu 0,2 µm iken modifikasyondan sonra CMC membranın por boyutu 0,1µm değerine düştüğü tespit edilmiştir. Fakat üretilen CMC membranı saf su akısı ve Image j programıyla hesaplanan por boyutu dağılımı dikkate alındığında mikrofiltrasyon membran aralığında olduğu görülmektedir. Ticari PVDF ile CMC membranların hidrofilik özelliğini incelediğimizde ise POM'un doğal hidrofilik özelliği dolayısıyla CMC membranın ticari PVDF membrana göre daha hidrofilik olduğu sonucu bulunmuştur.




**Şekil 8.** CMC membranın por boyutu dağılımı.

### TEŞEKKÜR

Bu çalışma Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi (BAP) birimi tarafından desteklenmektedir. BAP proje No: 2015-77047330-01.

### ORCID

Ali Kemal TOPALOĞLU  <http://orcid.org/0000-0002-6221-8836>

Yılmaz YILDIRIM  <http://orcid.org/0000-0002-8908-1518>

### KAYNAKÇA

- [1] Ammam M. Polyoxometalates: formation, structures, principal properties. main deposition methods and application in sensing, Journal of Materials Chemistry. 1,6291-6312, 2013.
- [2] Muller A., Krickemeyer E., Meyer J., Ogge H. B., Peters F., Plass W., Diemann E., Dillinger S., Nonnenbruch F., Randerath M., Menke C. [Mo<sub>154</sub>(No)<sub>14</sub>O<sub>420</sub>(OH)<sub>28</sub>(H<sub>2</sub>O)<sub>70</sub>](255) a water-soluble big wheel with more than 700 atoms and a relative molecular mass of about 24 000, Angew. Chem., Int. Ed, 34. 2122-2124, 1995.
- [3] Müller A., Beckmann E., Bogge H., Schmidtman M., Dress A. Inorganic Chemistry Goes Protein Size: A Mo<sub>368</sub>Nano-Hedgehog Initiating Nanochemistry by Symmetry Breaking, Angew. Chem. Int. Ed. 41, 1162-1167, 2002.
- [4] Yao L., Zhang L. Z., Wang R., Loh C. H., Dong Z. L. Fabrication of catalytic membrane contactors based on

- polyoxometalates and polyvinylidene fluoride intended for degrading phenol in wastewater under mild conditions, *Separation and Purification Technology*. 118, 162–169, 2013.
- [5] Gkika E., Troupis A., Hiskia A., Papaconstantinou E. Photocatalytic reduction of chromium and oxidation of organics by polyoxometalates, *Appl. Catal.* 62, 28–34, 2006.
- [6] Yang C., Tian L., Ye L., Peng T., Deng K., Zan L. Enhancement of photocatalytic degradation activity of poly(vinyl chloride)-TiO<sub>2</sub> nanocomposite film with polyoxometalate, *J. Appl. Polym. Sci.* 120, 2048–2053, 2011.
- [7] Zhao S., Wang X., Huo M. Catalytic wet air oxidation of phenol with air and micellar molybdovanadophosphoric polyoxometalates under room condition, *Appl. Catal.* 97, 127–134, 2010.
- [8] Sun C., Zhang C., Li A., Jiang C., Wang X., Huo M. A micellar polyoxoperoxometalate [C<sub>16</sub>H<sub>33</sub>N(CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>]<sub>7</sub>[PW<sub>10</sub>Ti<sub>2</sub>O<sub>38</sub>(O<sub>2</sub>)<sub>2</sub>]: a highly efficient and stable catalyst for air oxidation of thiocyanate under room conditions, *Catal. Commun.* 12, 384–387, 2011.
- [9] Inumaru K., Ishihara T., Kamiya Y., Okuhara T., Yamanaka S. Water-tolerant, highly active solid acid catalysts composed of the kegglin-type polyoxometalate H<sub>3</sub>PW<sub>12</sub>O<sub>40</sub> immobilized in hydrophobic nanospaces of organomodified mesoporous silica, *Angew. Chem.* 119, 7769–7772. 2007.
- [10] Fontananova E., Donato L., Drioli E., Lopez J. L., Favia P., d'Agostino R. Heterogenization of polyoxometalates on the surface of plasma-modified polymeric membranes., *Chem. Mater.* 18, 1561–1568. 2006.
- [11] Yao L., Lua S. K., Zhang L., Wang R., Dong Z., Dye removal by surfactant encapsulated polyoxometalates., *Journal of Hazardous Materials.* 280, 428–435. 2014.
- [12] Zhang S. F., Wu L.L., Deng F.R., Zhao D.P., Zhang C., Zhang C.Z. Hydrophilic modification of PVDF porous membrane via a simple dip-coating method in plant tannin solution, *RSC Adv.* 6, 71287–72194, 2016.
- [13] Liu C., Wu L., Zhang C., Chen W., Luo S. Surface hydrophilic modification of PVDF membranes by trace amounts of tannin and polyethyleneimine, *Applied Surface Science.* 457, 695–704, 2018.
- [14] Zhu Y., Wang F., Liu L., Xiao S., Chang Z., Wu Y., Composite of a nonwoven fabric with poly(vinylidene fluoride) as a gel membrane of high safety for lithium ion battery, *Energy Environ. Sci.* 6, 618–624, 2013.
- [15] Cao Z., Hao T., Wang P., Zhang Y., Cheng B., Yuan T., Meng J. Surface modified glass fiber membranes with superior chemical and thermal resistance for O/W separation, *Chem. Eng. J.* 309 30–40, 2017.
- [16] Zeng G., Ye Z., He Y., Yang X., Ma J., Shi H., Feng Z. Application of dopamine-modified halloysite nanotubes/PVDF blend membranes for direct dyes removal from wastewater, *Chemical Engineering Journal* 323 572–583 2017.
- [17] George B., Tsigdmos A., Hallada C. J., Molybdovanadophosphoric Acids and Their Salts. I. Investigation of Methods of Preparation and Characterization, *Inorganic Chemistry*.7, 437–441. 1968.
- [18] Sun W., Chen T., Chen C., Li J., A study on membrane morphology by digital image processing, *Journal of Membrane Science.* 305, 93–102, 2007.
- [19] Wang L., Wang X., Study of membrane morphology by microscopic image analysis and membrane structure parameter model, *Journal of Membrane Science* 283, 109–115, 2006.
- [20] Zhao Y-H., Qian Y-L., Zhu B-K., Xu Y-Y., Modification of porous poly(vinylidene fluoride) membrane using amphiphilic polymers with different structures in phase inversion process, *Journal of Membrane Science* 310, 567–576, 2008.
- [21] Rezvani M. A., Asli M. A. N., Abdollahi L., Oveisi M. Nano composite mixed-addenda vanadium substituted polyoxometalate-TiO<sub>2</sub> as a green, reusable and efficient catalyst for rapid and efficient synthesis of symmetric disulfides under ultrasound irradiation, *Chemistry of Solid Materials.* 2, 41-51. 2014.
- [22] Chavan L. D., Shankarwar S. G., KSF supported 10-molybdo-2-vanadophosphoric acid as an efficient and reusable catalyst for one-pot synthesis of 2,4,5-trisubstituted imidazole derivatives under solvent-free condition, *Chinese Journal of Catalysis.* 36, 1054–1059, 2015.
- [23] Kumar D., Landry C. C., Immobilization of a Mo, V-polyoxometalate on cationically modified mesoporous silica: synthesis and characterization studies, *Microporous Mesoporous Mater.* 98, 309–316. 2007.
- [24] Yang D-Q., Rochette J. F., Sacher E. Spectroscopic evidence for p-p interaction between poly(diallyl dimethylammonium) chloride and multiwalled carbon nanotubes, *J. Phys. Chem. B* 109, 4481–4484. 2005.
- [25] Tangestaninejad S., Moghadam M., Mirkhani V., Mohammadpoor-Baltork I., Salavati H. Vanadium-containing polyphosphomolybdate immobilized on TiO<sub>2</sub> nanoparticles: a recoverable and efficient catalyst for photochemical, sonochemical and photosonochemical degradation of dyes under irradiation of UV light., *J. Iran. Chem. Soc.* 7, 14. 2010.
- [26] Arichi J., Pereira M. M., Esteves P. M., Louis B. Synthesis of Keggin-type polyoxometalate crystals., *Solid State Sciences.* 12, 1866–1869. 2010.

## Yoğun İşlem Yüküne Sahip Matris Çarpımı Hesaplama Sürelerinin Önbellek Kullanım Optimizasyonu ve Paralel Programlama Teknikleri Kullanılarak İyileştirilmesi

Mustafa Furkan KESKENLER<sup>1</sup>, Eyüp Fahri KESKENLER<sup>2</sup>✉

<sup>1</sup> Bilgisayar Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, Türkiye

<sup>2</sup> Malzeme Bilimi ve Nanoteknoloji Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Rize, Türkiye

✉: keskenler@gmail.com

Geliş (Received): 04.07.2018

Düzenleme (Revision):26.07.2018

Kabul (Accepted): 15.08.2018

### ÖZ

Başta görüntü işleme/iyileştirme ve robotik olmak üzere, ekonometri, inşaat mühendisliği, kuantum fiziği gibi birçok alanda hesaplama işlemlerinde yaygın olarak kullanılan matris işlemleri üzerine cache bellek kullanım optimizasyonu yapılarak hesaplama sürelerinin değişimi incelenmiştir. Çalışmada, bilinen matris çarpma işlemi yerine kullanılan farklı algoritmalarla zamanda ve mekanda yerellik prensiplerinden yararlanılarak hesaplama performansı 14 kat daha hızlı hale getirilmiştir. Bilgisayar performansında çok önemli yeri olan ön belleğin etkisinin önemi saptanmaya çalışılmıştır. Ön bellek kullanım optimizasyon yöntemleri ile önemli ölçüde işlem süreleri kısaltılmış ayrıca ön bellek ve diğer işlem birimlerinin daha fazla kullanılmasının önüne geçilerek sistemin ömrünün uzatılması hedeflenmiştir. Cache optimizasyonunun ardından paralel programlama teknikleri kullanılarak yoğun matris işlemlerinin hesaplama sürelerinin kısaltılması amaçlanmıştır. Böylece hem ön bellek daha etkin kullanıldı hem de uygun veri paralelliği kullanılarak mümkün olabilecek en verimli hesaplama işlemlerinin gerçekleştirilmesi sağlanmaya çalışıldı. Cache optimizasyonu ardından yapılan 5 bilgisayarlı paralel programlama tekniği sayesinde hesaplama işlemi genel olarak kullanılan tekniğe göre yaklaşık 59 kat daha hızlı hale getirildi. Paralel programlama ile yapılan hesaplama işlemlerinde farklı sayıda bilgisayarlara göre Speedup değerleri hesaplandı. Ayrıca matris işlemleri için bilgisayarla yapılan hızlı hesaplama yöntemlerinin yanında hesaplama işlemlerine negatif etki gösteren algoritmalar üzerinde de durulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Matris Çarpımı, MPI, Optimizasyon, Önbellek Optimizasyonu, Paralel Programlama

## Acceleration of High Dimensional Matrix Multiplication Processes With Cache Usage Optimization and Parallel Programming Techniques

### ABSTRACT

Optimization of cache on the matrix operations according to calculation times, which are commonly used in many field such as image processing, robotics, econometrics, civil engineering and quantum physics were investigated. The calculation performance is made 14 times faster than using the different algorithms instead of the known matrix multiplication, by using the temporal and spatial locality principles in the study. Effect of the cache which is very important for computer performance, has been tried to detect. Processing times have significantly shortened thanks to cache utilization optimization methods, also it has been aimed that extending the lifetime of the system by preventing use the cache and other processing units more. After cache optimization, it has been aimed to shorten the computation times of intensive matrix operations using parallel programming techniques. Thus, both the cache was used more efficiently and the most effective computations were tried to be performed using the appropriate data parallelism. Thanks to parallel programming techniques applied with 5 computers after cache optimization, the calculation process is made 59 times faster than the commonly used technique. Speedup values are calculated according to the different number of computers in the calculations made by parallel programming. In addition to computer-based fast computation methods for matrix operations, also we have focused on algorithms that have a negative effect on computation.

**Keywords:** Cache Optimization, Matrix Multiplication, MPI, Optimization, Parallel Programming

### 1. GİRİŞ

Matrisler birçok mühendislik ve bilim dalında kullanılan hesaplama yöntemlerinden birisidir [1]. Fizik, optik,

elektromanyetizma, kuantum mekaniği, bilgisayar grafikleri, robotik gibi birçok alanda yüksek boyutlu matris işlemleri kullanılmaktadır [2-5]. Bu durumlarda

yüksek performanslı hesaplama gerektiren durumlar oluşmaktadır. Paralel programlama teknikleri ile çok yüksek performans özelliklerine sahip olmayan CPU'ların birlikte çalışma gücünden faydalanılarak bu hesaplamalar hem daha ekonomik hem de daha hızlı sonuçlandırılmaktadır [6]. Çalışmada büyük boyutlu matris işlemleri, uzun zaman gerektiren hesaplamalar içerdiğinden tercih edilmiştir. Bu işlemler için cache belleği daha etkin kullanacak ve bellekler arası transfer işlemlerini azaltacak algoritmalar üzerinde durulmuştur. MPI (Message Passing Interface) bilgisayar iletişim protokollerinden birisidir. Dağıtık bellek modeli kullanılan bir sistemde bilgisayarlar arasında paralel program çalıştırmak için kullanılan standart bir iletişim protokoldür. MPI hızı ve taşınabilir olması gibi özelliklerinden dolayı daha önceleri kullanılan diğer kütüphanelere oranla üstündür. MPI'nin hızı, oluşturulan uygulamaların yürütüleceği donanıma göre optimizasyon edilebilmesinden kaynaklanmaktadır [7]. MPI kütüphanesi kullanılarak oluşturulan uygulamalar için genellikle Fortran, C, C++ ve Ada programlama dilleri kullanılır. MPI, birden fazla düğüm üzerinde bir programın çalıştırılması ile beraber düğümler arasında iletişim kurularak veri ve buyrukların taşınması işlemlerini kapsamaktadır. Böylece MPI veya başka kütüphaneler kullanılarak gerçekleştirilen paralel programlama ile tek bilgisayar üzerinde yürütülen uzun zaman alan işlemlerin birden fazla bilgisayara veri veya görev paralelliği mantığı ile bölünerek daha kısa sürede işlemlerin tamamlanması hedeflenmektedir.

CPU sistem belleğinden doğrudan gelen verilerin işlenmesinde verilerin transfer süreci hızına göre daha süratlidir. Bunun için CPU içerisinde transfer süresi kaybı oluşturmamak adına çok yüksek hızlı hafızalar (cache, register) yerleştirilmiştir. Ön bellekler işlenecek görevlere ait veri ve komutların geçici olarak tutulduğu düşük depolama boyutlu, çok yüksek hızlı ve çok maliyetli hafızalardır. Moore Yasası'nın [8] belirttiği üzere işlemci performansının bellek performansına oranı her yıl yaklaşık olarak yarı yarıya artmaktadır. Bu zamanla, işlemci hızının bellek hızına göre zamanla daha çok artacağı anlamına gelmektedir. İşlemci ile bellek arasındaki bu hız farkı kapatmak mümkün olmadığından bu sorunu çözmek için farklı yaklaşımlar geliştirilmiştir. Çünkü işlemci hızı gittikçe yüksek performanslar sergilemesine rağmen bu hız tam verimle kullanılamamaktadır. Yani burada bellek performansı kısıtlayan etken olmuştur. Geliştirilen çözüm olarak ön bellek, ilk olarak 1980 yıllarında [9] işlemci saat frekansının 20 MHz değerlerine ulaşmasından sonra bellek-işlemci arasında aracı görevi üstlenmesi amacıyla üretilmiş ve işlemci yonga seti üzerinde kullanılmaya başlanmıştır.

Ön belleğin görevi şu şekildedir, işlemci yeni veri ve buyruklara ihtiyaç duyar. Ardından veri ve buyruklar için işlemci önce ön belleği kontrol eder. Eğer gereksinim duyduğu yapılar burada bulunuyorsa işlemci bu veri ve buyrukları sistem belleğine erişmeden ön bellekten alır ve kullanır. Eğer işlemci aradığını ön bellekte bulamaz ise bu kez ikinci seviyede (L<sub>2</sub>) ön

belleği kontrol eder daha sonra sistem belleğini kontrol eder. Eğer veriler sistem belleğinden getirilecekse getirilen bu veriler doğrudan işlemciye aktarılmaz. Öncelikle ön bellek silinir ve yeni veriler tekrar yazılır. Bunun için yaz-sil denetim mekanizmaları kullanılır. İşlenen verinin sonuçları tekrar sistem belleğine gönderilirken bu denetim sistemi kullanılır. Yazma denetimi bu aşama için genellikle bir yazma ara belleği kullanır [10]. Böylece yürütülecek işleme ait veri ve buyruk transfer işlemleri sonuçlandırılır.

### 1.1. Matris Çarpımı

Matematiksel işlemlerde matris çarpımı boyutları birbiri ile uyumlu iki matris kullanılarak başka bir matrisin üretildiği işleme denir. Karmaşık sayılar, reel sayılar gibi genel olarak bütün sayılarda aritmetik hesaplamalara uygun olarak çarpım işlemi yapılabilmektedir. Matrisler aynı zamanda sayı dizileri oldukları için matris çarpımı terimini tek bir yöntemle açıklamak doğru olmaz. Matrislerin satır ve sütun sayıları, matrisin boyutu olarak isimlendirilmektedir. Ayrıca, birçok matris içeren işlemler, genellikle çarpım işlemleri içermektedir [11]. Bu nedenle, çoğu yüksek işlem gücü gerektiren algoritmalar için matris çarpımı, performans optimizasyonunun temel odağıdır [12].

A (mxn) ve B (nxp) iki matristir. AB çarpımı elemanları,

$$\begin{aligned} \text{ent}_{ij}(AB) &= \text{Row}_i(A) \text{Col}_j(B) \\ &= (a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{in}) \begin{pmatrix} b_{1j} \\ \dots \\ b_{nj} \end{pmatrix} \\ &= a_{i1}b_{1j} + a_{i2}b_{2j} + \dots + a_{in}b_{nj} \end{aligned}$$

biçiminde tanımlı m x p boyutlu matris olarak tanım yapılmaktadır. Toplam sembolü ile bu bağıntı,

$$\text{ent}_{ij}(AB) = \sum_{k=1}^n a_{ik} b_{kj} = \sum_{k=1}^n \text{ent}_{ik}(A) \text{ent}_{kj}(B) \quad (1)$$

şeklinde yazılabilir [13].

## 2. MATERYAL ve YÖNTEM

Çalışmada yüksek boyutlu matris çarpım işlemleri için hesaplama süresini kısaltan iki yöntem artarda uygulanmıştır. İlk olarak işlemcinin ön belleğinin, mekansal ve zamansal yerellik prensiplerinden yararlanarak daha etkin kullanılması amaçlanmıştır. Daha sonra matris çarpım işlemleri için paralel programlama teknikleri uygulanarak hesaplama süresi oldukça kısaltılmıştır.

### 2.1. Önbellek Kullanım Optimizasyonu

Cache bellek kullanım optimizasyonu ile işlemcinin bu belleğe oranla daha yavaş çalışan Ram ve bilgisayar hafızası üzerinde daha fazla işlem gerçekleştirmesinin önüne geçilerek [14, 15] işlem sürelerine olan etkisi



incelendi. Ayrıca, işlemcileri dinamik olarak tahsis etmeye çalışan sistemler için genellikle yüksek performanslı bir veri yolu içermesi gerektiği bulunmuştur [16, 17]. Bunun için çalışmada bu koşula dikkat edilmiş fakat çok yüksek ön bellek ve işlemci saat hızına sahip olmayan bilgisayarlar seçilerek ön bellek optimizasyonu etkisinin daha belirgin olması amaçlanmıştır. Böylece uzun süren hesaplama işlemleri bilgisayarlarda bulunan kısıtlı ön bellekten dolayı ortaya çıkan bant genişliği erişim süresinden büyük ölçüde etkilenmektedir ve bellekten gelen iki kat veriyi almak normal olarak bir kat verinin getirilmesi işleminden iki kat daha uzun sürmektedir [18]. Çalışmada hesaplama işlemleri için bir adet 32 bitlik 1.3 GHz saat hızında  $L_1=32$  KB ve  $L_2 = 512$  KB ön bellekli tek çekirdekli işlemcili 512 MB Ram ile çalışan Linux Fedora işletim sistemine sahip bilgisayarlar seçildi. Ön bellek optimizasyonunu test edecek yazılım C++ programlama dili ile yazıldı. Yazılımda iki matrisin çarpımı için iç içe 3 for döngüsü kullanıldı. Bu for döngülerinde isimleri i, j ve k olan 3 adet döngü değişkenleri mevcuttur. Matris çarpımı için 3 matris kullanıldı; Birinci matris (matrixAPtr), ikinci matris (matrixBPtr) ve sonuç matrisi (matrixCPtr)'dir. Programda matris çarpımları için belirtilen şu kod parçacığı yazıldı;

```
for (int i = 0; i < byt; i++){  
    for (int j = 0; j < byt; j++){for(int k=0;k<byt;k++)  
        matrixCPtr[i][j]+=matrixAPtr[i][k]*matrixBPtr[k][j]; } }
```

En içte bulunan for döngüsü içerisinde yer alan bu kod ile her bir adımda sonuç matrisinin bir elemanı hesaplandı. Yukarıda isimleri geçen i, j, k döngü değişkenlerini farklı kombinasyonlarda 6 ( $3! = 6$  kombinasyonda) for döngülerinin her birisi için

değiştirilerek cache belleğe getirilecek veriler için işlemcinin ram ve bilgisayar hafızasına erişimi azaltıldı. Cache bellek için zamanda ve mekanda yerellik prensiplerinden yararlanılarak hesaplama işlemleri daha verimli hale getirildi. Süre ölçüm işlemlerinde epoch time kullanıldı. Hesaplama işlemi olarak 1000x1000, 2000x2000, 3000x3000, 4000x4000 ve 5000x5000 boyutlu kare matrislerin aynı boyuttaki matrislerle çarpma işlemi gerçekleştirildi. Matrisler de kullanılan değişkenler integer (4 byte) veri tipindedir.

Bir bilgisayarda program şu şekilde çalışır. Buyruklar ve veriler bellekten ön belleğe taşınır. Sonra işlemci ön bellek üzerinde işlemleri tamamlar ve sonucu tekrar RAM e gönderir. Ön belleğe kısıtlı sayıda veri getirilebilir [19]. Bu nedenle çok yüksek boyutlarda matris çarpımı yapıldığından verilerin tamamı ön belleğe sığmaz ve ön bellek ile bellek arasında sürekli işlenecek veriler getirilip götürülür. Bu da çok fazla zaman harcamak demektir. Şöyle ki, işlemcinin işlem yapacağı verileri ön belleğe getirirken, gelen verinin işi bitinceye kadar olabildiğince ön bellekte tutulduktan sonra diğer verilere erişilmelidir. Böylece veri yolu trafiğinde kaybedilen zaman minimuma indirilmiş olur.

2 matrisin çarpımını gerçekleştiren kod yazımlarında iç içe 3 for döngüsü kullanılmaktadır. Çarpma işlemi bu döngü işlemleri sonucunda tamamlanmaktadır. Bu çalışmada ön bellek kullanım optimizasyonu, bu for döngülerinin bulunduğu kod parçasında yapılan basit değişikliklerle gerçekleştirilmiştir. Bu değişiklik, i, j ve k döngü değişkenlerinin tablo 1 de görüldüğü gibi iç içe 3 for döngüsünde sırasının değiştirilmesini kapsamaktadır.

**Tablo 1.** Matrixaptr Ve Matrixbptr İsimli Matrislerin Çarpma İşlemi İçin Kullanılan Farklı Algoritmalar

Algoritmalar	Kod
<b>i→k→j</b>	for (int i = 0; i < byt; i++){ for (int k = 0; k < byt; k++){ for(int j = 0; j < byt; j++) matrixCPtr[i][j]+=matrixAPtr[i][k]*matrixBPtr[k][j]; } }
<b>k→i→j</b>	for (int k = 0; k < byt; k++){ for (int i = 0; i < byt; i++){ for(int j = 0; j < byt; j++) matrixCPtr[i][j]+=matrixAPtr[i][k]*matrixBPtr[k][j]; } }
<b>i→j→k</b>	for (int i = 0; i < byt; i++){ for (int j = 0; j < byt; j++){ for(int k = 0; k < byt; k++) matrixCPtr[i][j]+=matrixAPtr[i][k]*matrixBPtr[k][j]; } }
<b>j→i→k</b>	for (int j = 0; j < byt; j++){ for (int i = 0; i < byt; i++){ for(int k = 0; k < byt; k++) matrixCPtr[i][j]+=matrixAPtr[i][k]*matrixBPtr[k][j]; } }
<b>k→j→i</b>	for (int k = 0; k < byt; k++){ for (int j = 0; j < byt; j++){ for(int i = 0; i < byt; i++) matrixCPtr[i][j]+=matrixAPtr[i][k]*matrixBPtr[k][j]; } }
<b>j→k→i</b>	for (int j = 0; j < byt; j++){ for (int k = 0; k < byt; k++){ for(int i = 0; i < byt; i++) matrixCPtr[i][j]+=matrixAPtr[i][k]*matrixBPtr[k][j]; } }

Tablo 1 da gösterilen algoritmaların 2x2 boyutunda matrislerin çarpma işleminin program çalışma adımları Tablo 2 da verilmiştir. Tablo 2 da yer alan 6 farklı algoritmalar;  $i \rightarrow k \rightarrow j$  ve  $k \rightarrow i \rightarrow j$ ,  $i \rightarrow j \rightarrow k$  ve  $j \rightarrow i \rightarrow k$ ,  $k \rightarrow j \rightarrow i$  ve  $j \rightarrow k \rightarrow i$  ikili algoritmaları önbelleği birbirlerine yakın mantıkta kullandığı program çalışma adımlarından görülmektedir. Tablo 1 da yer alan  $i \rightarrow j \rightarrow k$  algoritması, insanların günlük hayatta (eş. 1) matris çarpma hesaplamalarında kullandığı bilinen bir yöntemdir.

Çalışmada oluşturulan hesaplama süresine pozitif ve negatif etki gösteren algoritmaların ve genel olarak

**Tablo 2.** 2x2 Boyutunda Matrixaptr Ve Matrixbptr İsimli Matrislerin Çarpma İşlemi İçin Kullanılan Farklı Algoritmalara Göre Program Çalışma Adımları

Program Adımları	Algoritmalar					
	$i \rightarrow k \rightarrow j$	$k \rightarrow i \rightarrow j$	$i \rightarrow j \rightarrow k$	$j \rightarrow i \rightarrow k$	$k \rightarrow j \rightarrow i$	$j \rightarrow k \rightarrow i$
Adım 1	$z1=z1+x1.y1$	$z1=z1+x1.y1$	$z1=z1+x1.y1$	$z1=z1+x1.y1$	$z1=z1+x1.y1$	$z1=z1+x1.y1$
Adım 2	$z2=z2+x1.y2$	$z2=z2+x1.y2$	$z1=z1+x2.y3$	$z1=z1+x2.y3$	$z3=z3+x3.y1$	$z3=z3+x3.y1$
Adım 3	$z1=z1+x2.y3$	$z3=z3+x3.y1$	$z2=z2+x1.y2$	$z3=z3+x3.y1$	$z2=z2+x1.y2$	$z1=z1+x2.y3$
Adım 4	$z2=z2+x2.y4$	$z4=z4+x3.y2$	$z2=z2+x2.y4$	$z3=z3+x4.y3$	$z4=z4+x3.y2$	$z3=z3+x4.y3$
Adım 5	$z3=z3+x3.y1$	$z1=z1+x2.y3$	$z3=z3+x3.y1$	$z2=z2+x1.y2$	$z1=z1+x2.y3$	$z2=z2+x1.y2$
Adım 6	$z4=z4+x3.y2$	$z2=z2+x2.y4$	$z3=z3+x4.y3$	$z2=z2+x2.y4$	$z3=z3+x4.y3$	$z4=z4+x3.y2$
Adım 7	$z3=z3+x4.y3$	$z3=z3+x4.y3$	$z4=z4+x3.y2$	$z4=z4+x3.y2$	$z2=z2+x2.y4$	$z2=z2+x2.y4$
Adım 8	$z4=z4+x4.y4$	$z4=z4+x4.y4$	$z4=z4+x4.y4$	$z4=z4+x4.y4$	$z4=z4+x4.y4$	$z4=z4+x4.y4$

Tablo 3 de i, j ve k harflerinin sıralanışı sırasıyla birinci, ikinci ve üçüncü döngü değişkeni olarak kullanıldığı zamanki değerleri ifade etmektedir.  $i \rightarrow k \rightarrow j$  algoritması ile en yavaş çalışan  $k \rightarrow j \rightarrow i$  algoritması arasında 33 kat hız farkı var. Genel olarak matris çarpımı için kullanılan

matris çarpımı işlemlerinde kullanılan algoritmanın önbelleğe verilerin taşınması işleminin basit örneği şu şekildedir,

**matrixAPtr** **matrixBPtr** **matrixCPtr**

$$\begin{bmatrix} x1 & x2 \\ x3 & x4 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} y1 & y2 \\ y3 & y4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z1 & z2 \\ z3 & z4 \end{bmatrix} \quad (2)$$

2x2 boyutlu eş. 2'deki iki matris 6 farklı döngü değişkeni sıralamasına göre Tablo 2 da çarpma işleminin nasıl yapıldığı program adımlarına göre gösterilmiştir.

**Tablo 3.** 6 Farklı Algoritmaya Göre 5 Farklı Boyuttaki İki Kare Matrisin Çarpma İşlemi İçin Program Çalışma Süreleri

Matris Boyutu (MxN)	Hesaplama Süreleri (sec)					
	$i \rightarrow k \rightarrow j$	$k \rightarrow i \rightarrow j$	$i \rightarrow j \rightarrow k$	$j \rightarrow i \rightarrow k$	$k \rightarrow j \rightarrow i$	$j \rightarrow k \rightarrow i$
1000x1000	15.1295	15.4817	35.0544	45.796	280.038	282.288
2000x2000	119.932	123.386	1062.47	1140.81	3683.35	3691.85
3000x3000	402.785	412.826	5186.06	5203.22	12653.1	12651.8
4000x4000	960.47	990.041	12603.1	12792.2	30617.4	30627.6
5000x5000	1857.6	1916.0	26318.1	26401.8	61810.1	61561.2

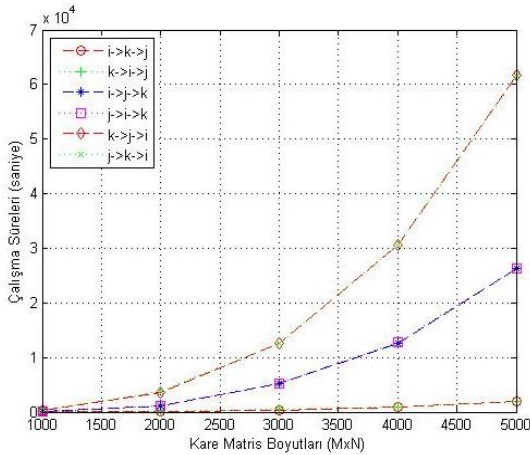
Matris çarpma işlemlerinin gerçekleştirildiği iç içe 3 for döngüsü değişkenlerinin kullanım sırasına göre i,k,j ve k,i,j şeklinde uygulanan algoritmalarının çalışma mantığına bakıldığında, matrixAPtr matrisi ve matrixBPtr matrisinin sahip olduğu elemanlarının tekrar tekrar gereksizce önbelleğe getirilmediği görüldü. matrixAPtr matrisindeki bir eleman ve matrixBPtr matrisindeki bir satırın işi bitinceye kadar önbellekte kalmakta ve işi bittikten sonra önbellekten silinmektedir.

Çarpma işleminin yapıldığı iç içe 3 for döngü değişkenlerinin sırasıyla i,j,k ve j,i,k şeklinde uygulanan algoritmalarda matrixBPtr matrisinin her bir sütununun matrixAPtr matrisinin her satırı için bir verinin görevi tamamlanmadan tekrar tekrar ön belleğe getirildiği görülmektedir. En içteki for döngüsünde matrixAPtr

$i \rightarrow j \rightarrow k$  algoritmasından ise  $i \rightarrow k \rightarrow j$  algoritması 14 kat daha hızlı çalışmaktadır. Algoritmalar arasında oluşan bu kadar büyük hız farklarının nedeni algoritmalar arasındaki önbellek kullanım farkından kaynaklanmaktadır.

matrisinin sütunları ile matrixBPtr matrisinin satır elemanları çarpılarak matrixCPtr matrisin bir elemanı tamamen elde edilmektedir. Buradaki i,j,k algoritması insanların standart olarak matris çarpma işlemlerinde uyguladıkları yöntemi temsil etmektedir. Bir dıştaki yani ortadaki for döngüsü hesaplama süresince matrixBPtr matrisinin ön bellekteki elemanları silinerek sıradaki sütun elemanlarını ön belleğe almaktadır. Bu hesaplama algoritmalarına göre en dıştaki for döngüsü çalıştığı sürece matrixAPtr matrisinin her satırı için matrixBPtr matrisinin her sütunu belleğe tekrar tekrar alınmaktadır. Bunun sonucunda bu iki algoritma i,k,j ve k,i,j algoritmalarına göre daha yavaş çalışmaktadır. Çünkü fazladan ön belleğe taşıma ve silme işlemi gerçekleştirilmektedir.

Son olarak k,j,i ve j,k,i döngü değişkenlerinin sıralamasına göre oluşturulan algoritmalarda ön belleğe veri taşıma işlemi en verimsiz şekilde gerçekleştirilmiş, iş yükü ve veri trafiği artırılmıştır. Sürekli ön belleğe taşıma ve silme işlemi gerçekleştirilmiş ve bir verinin görevi bitmeden bir başka veri ön belleğe getirilip çalıştırılmıştır. Daha sonra tekrar görevi bitmeyen veri ön belleğe getirilmiş işlemlere bu döngüde devam edilmiştir. Bu nedenle en verimsiz algoritmalar bunlardır. Şekil 1 de kullanılan 6 farklı algoritmaya ait çalışma süreleri verilmiştir. Şekil 1 de  $i \rightarrow k \rightarrow j$  ve  $k \rightarrow i \rightarrow j$  algoritması hesaplama süreleri ile  $k \rightarrow j \rightarrow i$  ve  $j \rightarrow k \rightarrow i$  algoritması çalışma süreleri arasındaki fark belirgin olarak görülmektedir.



**Şekil 1.** Aynı Boyutlu İki Kare Matrisin Çarpma İşlemi İçin Farklı Döngü Değişkenleri Sıralamalarına Göre Çalışma Süreleri

## 2.2. Paralel Programlama Tekniğinin Uygulanması

Önbellek optimizasyonu sonunda en verimli çalışan algoritma ( $i \rightarrow k \rightarrow j$ ) tespit edilip bu algoritma paralel programlama tekniğine uyarlanarak hesaplamalar paralel hesaplanabilir hale getirildi. Çalışmada sayıları 10 adeti bulan ve yukarıda belirtilen aynı özelliklere

sahip bilgisayarlarla Beowulf kümesi yöntemi kullanılarak dağıtık bellekli model yöntemine göre paralel programlama kümesi oluşturuldu. Tek program çoklu veri paralel programlamayı destekleyen C, C++ [20, 21] programlama dillerinden C++ dili kullanılan çalışmada MPI kütüphanesinden faydalanılarak kendi oluşturduğumuz algoritma ile yazılım gerçekleştirildi. MPI programlarında bir dereceye kadar yapılandırma, iç içe geçmiş paralellik için hiyerarşik grup konsepti ve paralel yazılım bileşenleri için ayrı iletişim bağlamları oluşturmayı sağlayan iletişimci kavramı tarafından sağlanmaktadır. Rauber ve Rünger, bu işlevselliğin üstünde yuvalanmış paralel çok işlemeli görevleri yönetmek için bir kütüphane sağladı [22]. Ayrıca, vektörler ve matrisler gibi spesifik dağıtılmış veri yapıları için MPI kütüphaneleri literatürde önerilmiştir [23].

Öncelikle program seri program mantığı ile tek bilgisayar üzerinde çalıştırdıktan sonra hesaplama süreleri kayıt altına alındı. Daha sonra 5 bilgisayar ile paralel programlama yöntemine göre data paralellliği kullanılarak hesaplama yapıldı. Ardından aynı işlem 10 bilgisayar ile yapıldı. Paralel hesaplamalarda birinci bilgisayar masternode olarak seçildi. Bütün bu işlemler her defasında 3 kere tekrar edilip kayıt altına alındı. Ayrıca masternode çarpma işleminde kullanılacak matrislerin içerisindeki elemanlara rastgele ilk değer atama işlemini yapmaktadır. Bu yapılan işlem speedup'ı düşüren etmen olarak yansımaktadır [24]. Bunun nedeni matrislere rastgele ilk değer atama işleminin paralel hesaplamaya dahil edilmeyip tek bilgisayar üzerinde (masternode) yapılmasıdır.

### 2.2.1. Görev dağılımı (Taxonomy)

Algoritma 1 de görüldüğü gibi ilk önce masternode kullanıcının girdiği argümanları okuyup matrislerin boyutuna karar vermektedir. Ardından matrixAPtr ve matrixBPtr matrislerine rastgele değer atamaktadır.

### Algoritma 1. Paralel Programlama İle Matris Çapımı İçin Kullanılan Algoritmanın Sahte Kodu

```
1: input: dimension,myRank,size
2: part = dimension / size
3: if myRank != 0 then //myRank=0 -> master node
4:   for m = 0,dimension do
5:     for n = 0,dimension do
6:       matrixAPtrmn = random()
7:     end for
8:   end for
9:   for m = 0,dimension do
10:    for n = 0,dimension do
11:      matrixAPtrmn = random()
12:    end for
13:   end for
14: end if
15: MPI_Bcast()
16: start = myRank * part
17: finish = start + part
18: for i = start,finish do
19:   for k = 0,dimension do
20:     for j = 0,dimension
21:       matrixCPtrij += matrixAPtrik * matrixBPtrkj
22:     end for
23:   end for
24: end for
25: MPI_Barrier() //implicit barrier
26: MPI_Gather()
27: MPI_Finalize()
28: Output: matrixCPtr
```

Daha sonra toplu haberleşme rutinlerini kullanarak matrixAPtr ve matrixBPtr matrislerini diğer bilgisayarlarla paylaşmaktadır. Her bilgisayar masternode da dahil matrixBPtr matrisinin tamamını kullanmaktadır. Kümedeki her bilgisayar sırasıyla matrixAPtr matrisinin "boyut/bilgisayar sayısı" kadar satırını kullanmaktadır. Sonuçta her bilgisayara ait işlemci matrixCPtr matrisinin kendisine düşen belli bir satırını hesaplamaktadır Paralel programlama kümesinde yer alan her bilgisayar hesapladığı bu değerleri masternode göndermektedir. Masternode da bu satırları matrixCPtr matrisinde birleştirip istenildiği takdirde ekrana basmaktadır. Ayrıca masternode programın çalışma süresini de hesaplamaktadır. Tablo 4 de hesaplanan değerler farklı zamanlarda ve aynı koşullara göre üç kere tekrar edilip hata oranı minimuma indirilmeye çalışılmıştır.

### 3. TARTIŞMA

Tablo 4 de ölçülen 3 farklı değerlerin ortalamaları alınarak speedup değerlerinin hesaplanacağı değerler tablo 5 de elde edilmiştir. Tablo 5 de seri program için yer alan süreler dikkate alınır şekil 2 de de ayrıntılı olarak görüldüğü üzere eksponansiyel olarak artan değerler artan iş yüküne karşı tek işlemcinin yetersiz kalmasını göstermektedir.

**Tablo 4.** Farklı Boyutlardaki Kare Matrislerin Çarpma İşlemleri İçin 5 Ve 10 Bilgisayarlı Paralel Programlar İçin Toplam Çalışma Süreleri

Boyut (MxN)	Ölçülen Süreler (sec)	
	5 Bilgisayar ile	10 Bilgisayar ile
<b>1. Ölçüm</b>		
1000x1000	5.60247	3.77668
2000x2000	34.2094	19.7988
3000x3000	113.872	57.3474
4000x4000	243.798	125.454
5000x5000	454.147	253.406
<b>2. Ölçüm</b>		
1000x1000	6.03794	5.0294
2000x2000	34.6254	19.8358
3000x3000	104.175	62.5309
4000x4000	248.236	125.327
5000x5000	445.455	240.598
<b>3. Ölçüm</b>		
1000x1000	5.52899	3.70069
2000x2000	34.2268	19.7909
3000x3000	112.408	57.2612
4000x4000	238.748	125.471
5000x5000	448.013	241.474

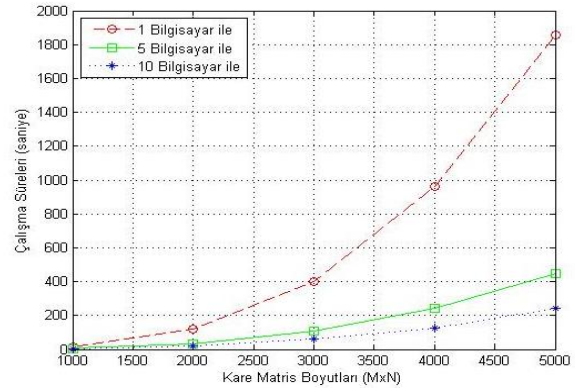
Yine Tablo 5 de, 5 bilgisayar ile ve 10 bilgisayar ile çalışan programlarda 2000x2000 boyutlu iki kare matrisin çarpma işlemine kadar olan kısımlarda hesaplama sürelerinde çok fazla fark bulunmadığı

görülmektedir. Bunun nedeni bu boyutlara kadar olan matris çarpım işlemlerinde işlem yükü fazla olmadığından hesaplamadan kaynaklı değil de bilgisayarlar arası iletişimden kaynaklanan süre kaybının artmasından dolayı bu hızın uygulama sonuçlarına yansımamasıdır.

Çalışmada kullanılan işlemcilerin düşük performansı göz önüne alındığında kullanılacak bilgisayarların işlem gücü arttıkça paralel programlamanın kazançları daha yüksek boyutlu matris çarpma işlemlerinden itibaren fark edilebilir seviyeye gelebilir.

**Tablo 5.** Farklı Matris Boyutlarına Sahip Çarpma İşlemlerinin Seri Ve Paralel Programlar İçin Ortalama Çalışma Süreleri

Boyut (MxN)	Hesaplama Süreleri (sec)		
	Seri Program	5 Bilgisayar ile	10 Bilgisayar ile
1000x1000	15.1295	5.72313	4.16892
2000x2000	119.932	34.3539	19.8085
3000x3000	402.785	110.152	59.0465
4000x4000	960.47	243.594	125.417
5000x5000	1857.6	449.205	245.159



**Şekil 2.** İki Kare Matrisin Çarpma İşlemi İçin Çalışma Süreleri

Ölçümlerin ortalamasına göre yapılan farklı boyutlardaki matris işlemleri için Speedup değeri,

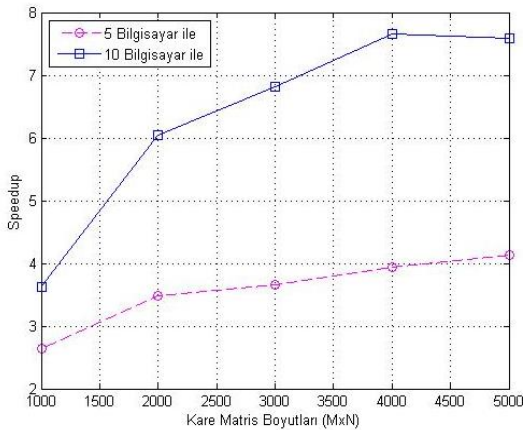
$$Speedup = \frac{\text{Seri Program Süresi}}{\text{Paralel Program Süresi}} \quad (3)$$

Eş. 3'te kullanılan paralel program süresi değeri, 5 veya 10 bilgisayarla yapılan ortalama program çalışma süresini ifade etmektedir. Eş. 3'te kullanılan seri program süresi ise tek bilgisayarla hesaplanan program çalışma süresidir.

**Tablo 6.** Değişen Bilgisayar Sayısı Ve Matris Boyutlarına Karşı Speedup Değerleri

Boyut (MxN)	Seri Program Çalışma Süresi (sec)	5 Bilgisayar İçin Paralel Prog. Süresi (sec)	5 Bilgisayar İçin Speedup	10 Bilgisayar İçin Paralel Prog. Süresi (sec)	10 Bilgisayar İçin Speedup
1000x1000	15.1295	5.72313	2.64	4.16892	3.63
2000x2000	119.932	34.3539	3.49	19.8085	6.05
3000x3000	402.785	110.152	3.66	59.0465	6.82
4000x4000	960.47	243.594	3.94	125.417	7.66
5000x5000	1857.6	449.205	4.14	245.159	7.58

Paralel programlama kullanılan hesaplamalarda çıkan değerlerin paralel çalışan bilgisayar sayısına yakın çıkması beklenir [25]. Tablo 6 da 5 bilgisayar ile yapılan paralel program çalışma süreleri göz önüne alındığında, artan matris boyutlarıyla orantılı olarak speedup değerleri artış göstermekte ve istenilen 5.0 değerine yaklaşmaktadır. Buda çok yüksek boyutlu matris çarpım hesaplamalarında paralel program tarafından elde edilen kazancın önemini göstermektedir.



**Şekil 3.** İki Kare Matrisin Çarpma İşlemine Göre Speddup Değerleri

5000x5000 boyutlu iki matrisin çarpım işlemi için program süreleri dikkate alındığında, önbellek kullanım optimizasyonu yapılmadan önce genel olarak kullanılan en yaygın algoritma ( $i \rightarrow j \rightarrow k$ ) çalışma süresi 26318.1 dir. Önbellek kullanım optimizasyonu sonrasında bu süre yaklaşık 14 kat kısalarak 1857.6 saniye olmuştur. Daha sonra bu süre paralel programlama teknikleri ile önce 5 bilgisayar kullanılarak yapılan hesaplama, ilk hesaplama süresine oranla yaklaşık 59 kat kısalarak 449.205 saniye, sonra 10 bilgisayar kullanıldığında yaklaşık 107 kat daha hızlı hale getirilerek 245.159 saniye olarak ölçülmüştür. En yavaş çalışan algoritma ( $k \rightarrow j \rightarrow i$ ) 5000x5000 boyutlu iki matrisin çarpımında hesaplama süresi 61810.1 saniye sürmüştür. Önbellek kullanım optimizasyonu ve 10 bilgisayarla çalışan paralel programlama tekniği uygulandıktan sonra hesaplama süresi yaklaşık 252 kat kısalmıştır. Şekil 3 de görüldüğü üzere, 10 bilgisayar ile yapılan ölçüm işlemlerinde 4000x4000 boyutlu iki

kare matrisin çarpımında speedup faktörü maksimum seviyeye ulaşmıştır.

## SONUÇ

Tablo 1 da verilen kodlardaki en içteki for döngüsünde matrixAPtr matrisinin 1. elemanı matrixBPtr matrisinin 1. satır elemanlarıyla çarpılarak sonuç matrisinin (matrixCPtr) 1. satırının bir bölümünü hesaplanmaktadır. Ancak sonuç matrisinin ilgili kısmı tam olarak tamamlanmamaktadır. Her adımda bir kısmı tamamlanmakta ayrıca ortadaki for döngüsünde her bir değer değiştiğinde ön bellekte yalnızca bir matrisin aynı sütundaki tek elemanı önbelleğe getirilmektedir. Yani sadece bir eleman değişikliği olmaktadır.  $k, i, j$  ve  $i, k, j$  sıralamasına göre oluşturulan algoritmaların arasındaki fark ise, matrixAPtr matrisi ile matrixBPtr matrisinin yer değiştirmiş şekli olmasıdır. Yani cache belleğe taşınan verilerin birbirine yakın yöntemle taşınmasından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle yakın sonuçlar elde edilmiştir.

Yapılan bu hesaplamalarda Tablo 2 de görüldüğü üzere cache belleğe getirilen bir verinin daha sonra tekrar tekrar Ram'den ön belleğe taşınmadan ya da olabildiğince daha az miktarda taşıma işlemi gerçekleştirilerek hesaplamaların tamamlanmasını sağlamak amaçlanmıştır. Matris işlemlerinde alışla gelen ( $i \rightarrow j \rightarrow k$ ) çarpma işlemi [26] yerine görünüşte insanlar için daha karmaşık olabilecek farklı mantıkta çarpma işleminin gerçekleştirilmesi ile cache bellek daha etkin kullanılmış ve işlem süresine olan olumlu ve olumsuz etkilerinin nasıl değiştiği gözlemlenmiştir. En iyi önbellek optimizasyonları daha az yürütme süresi ve daha az enerji tüketimi yapan çalışmalar olarak değerlendirilmektedir [27]. Bunun sonucunda enerji optimizasyonu transistörlerin yaşlanmasını doğrudan etkilemekte, bu da cihazların uzun vadeli güvenilirliği için bir sınırlayıcı faktör olmaktadır. Önceki çalışmalar hafıza sistemlerinde de enerji tasarrufunun yaşlanma etkilerini etkin bir şekilde kontrol edebildiğini ve önbellek ömrünü önemli ölçüde artırabileceğini göstermiştir [28, 29]. Çalışmada gerçekleştirilen etkin cache bellek optimizasyon yöntemleri ile önemli ölçüde işlem süreleri kısaltılmış ve ön bellek ve diğer işlem birimlerinin daha fazla kullanılmasının önüne geçilerek sistemin ömrünün uzatılması hedeflenmiştir. Ayrıca, bilgisayar performansında çok önemli yeri olan cache belleğin etkisinin önemi saptanmıştır.

Tablo 6 da görüldüğü üzere işlem yükü arttıkça paralel programlama hesaplama yönteminin hesaplama işlemine olan pozitif etkisi, speedup faktörünün bilgisayar sayısına yaklaşan eğilimi ile ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada hesaplamanın yanında haberleşmede kaybedilen vaktin öneminin fazla olduğundan 5000x5000 (M x N) boyutlu iki kare matrisin çarpımı işleminde daha düşük boyutlu çarpma işlemlerine göre speedup faktörünün azalma eğilimi göstermeye başlamasının nedeni laboratuvarımızdaki switchlerin ve diğer ağ ekipmanlarının eski ve yavaş olmasıdır. Böylece artan iş yüküne rağmen bilgisayar sayısının artması haberleşmeden kaynaklanan gecikmeden dolayı oluşan kaybın önüne geçemediğinden speedup faktörü belirli bir iş yüküne karşı artarak devam ederken bir noktadan itibaren azalan eğilime geçmektedir. Bazı hesaplama işlemlerinde kullanılan çok daha büyük matris işlemleri, diğer hesaplama işlemleri ve analiz işlemlerinde paralel programlama işlemlerinin hesaplama performansına olan pozitif etkisi, bu çalışmada kendimizin hazırladığı algoritma ve kullandığımız dağıtık bellek modeline uygun data paralelliği doğru şekilde gerçekleşmesi ile bulunan sonuçlarda görülmüştür. Böylece yüksek iş yüküne sahip olan çok büyük boyutlu matris işlemlerinde uyguladığımız bu yöntem ile çok daha kısa sürede hesaplama işlemlerinin gerçekleştirilebileceği sonucuna varılmıştır.

#### ORCID

Eyüp Fahri Keskenler  <https://orcid.org/0000-0002-6762-856X>

Mustafa Furkan Keskenler  <https://orcid.org/0000-0002-7604-4179>

#### KAYNAKÇA

- [1] Young C.Y. Precalculus. John Wiley Sons, 2010.
- [2] Leise K.B.T. The linear algebra behind Google, SIAM Review, 48:3 569-581, 2006.
- [3] Fudenberg D., Tirole J. Capital as a commitment: Strategic investment to deter mobility. Journal of Economic Theory, 31:2 227-250, 1983.
- [4] Healy M. Matrices for Statistics, Oxford University Press, 1986.
- [5] Godsil C.R. Gordon Algebraic Graph Theory, Springer-Verlag, 2004.
- [6] Sililicorn D.B. Models for practical parallel computation, International Journal of Parallel Programming, 20:2 133-158. 1991
- [7] Hillar G.C. Professional Parallel Programming with C#: Master Parallel Extensions with .NET 4, wrox, 2010.
- [8] Moore,G. Cramming more components onto integrated circuits, Electronics, 38:8 1114-1117, 1965.
- [9] İşlemci-bellek başarımları farkı, in, acm.org, 19 May 2010.
- [10] H. Gümüşkaya. Mikroişlemciler ve Bilgisayarlar, Alfa Yayınları, 2011.
- [11] SystemML Documents, in, systemml.apache.org/, 2016.
- [12] Gu R., Tang Y., Tian C., Zhou H., Li G., Zheng X., Huang Y. Improving Execution Concurrency of Large-Scale Matrix Multiplication on Distributed Data-Parallel Platforms, IEEE Transactions On Parallel And Distributed Systems, 28 2539-2552, 2017
- [13] Kart C., Matris Metodları ve Lineer Dönüşümler, Fen Fakültesi Yayınevi, Ankara, 1985.
- [14] Chan K., Lam K.T., Wang C.L., Cache Affinity Optimization Techniques for Scaling Software Transactional Memory Systems on Multi-CMP Architectures, in: D. Grosu, H. Jin, G. Papadopoulos (Eds.) 14th International Symposium on Parallel and Distributed Computing, Ieee, New York, p. 56-65. 2015
- [15] Goodman J.R. Cache Memory Optimization To Reduce Processor Memory Traffic, Journal of Vlsi and Computer Systems, 2 61-86, 1987
- [16] Frank S.J. Tightly coupled multiprocessor system speeds memory-access times, Electronics, 57 164-169. 1984
- [17] Isaak J., Squeezing the Most Out of the 68000, Mini-Micro Systems, 193-202, 1982.
- [18] Goodman J. Computer Sciences Technical Report On Cache Memory Optimization to Reduce Processor/Memory Traffic, ACM Transactions on Computer Systems, 1-19, 1985.
- [19] Mano M.M. Bilgisayar Sistemleri Mimarisi, Literatür Yayıncılık, 2015.
- [20] Hatcher P.J., Quinn M.J. DataParallel Programming on MIMD Computers, MIT Press, 1993.
- [21] Rose J., Steele G. Extended C Language for Data Parallel Programming, Technical Report PL Thinking Machines Inc. Cambridge MA. 1987.
- [22] Rauber T., Rüniger G. Tlib a library to support programming with hierarchical multi-processor tasks, J. Parallel and Distrib. Comput, 65 347-360, 2005.
- [23] Kessler C., Keller J. Models for Parallel Computing Review and Perspectives, PARS-Mitteilungen, 24 13-29, 2007.
- [24] Amdahl G.M. Validity of the Single Processor Approach to Achieving Large Scale Computing Capabilities, in: In Proceedings of AFIPS spring joint computer conference, Atlantic City, NJ, USA, 483-485, 1967.
- [25] Zuo W., McNeil A., Wetter M., Lee E.S. Acceleration of the matrix multiplication of Radiance three phase daylighting simulations with parallel computing on heterogeneous hardware of personal computer, Journal of Building Performance Simulation, 7 152-163, 2013
- [26] Brown W.C. Matrices and vector spaces, New York, 1991.
- [27] Alvarez J.D., Risco-Martin J.L., Colmenar J.M. Multi-objective optimization of energy consumption and execution time in a single level cache memory for embedded systems, Journal of Systems and Software, 111 200-212. 2016
- [28] Cai Y., Schmitz M., Ejlali A., Al-Hashimi B., Reddy S.M. Cache size selection for performance, energy and reliability of time-constrained systems, in: Proceedings of the Asia and South Pacific Conference on Design Automation, p. 923-928, 2006.
- [29] Mahmood H., Poncino M., Macii E. Cache aging reduction with improved performance using dynamically re-sizable cache, in: European Design and Automation Association, Proceedings of the Conference on Design, Automation Test in Europe 3001 Leuven, Belgium, p.174, 2014.

## Interface Design and Performance Analysis for a Haptic Robot

Tayfun ABUT<sup>1</sup>, Servet SOYGÜDER<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Makine Mühendisliği, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Muş Alparslan Üniversitesi, Muş, Türkiye

<sup>2</sup> Makine Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

✉: tayfunabut@gmail.com

Received (Geliş): 05.10.2018

Revision (Düzenleme):25.10.2018

Accepted (Kabul): 26.10.2018.

### ABSTRACT

Teleoperation systems are robot technologies that enable human-robot interaction. Haptic robots and interfaces are systems that allow you to feel, control, and organize objects in virtual environments that do not feel strength. With the development of computer hardware and human machine interfaces, researchers have incorporated virtual reality technology into interactive motion planning systems. Phantom omni robot has developed a haptic interface for interactive road planning verification and training. Based on the structural similarity between the six-degree-of-freedom Phantom Omni tactile device and the six-degree-of-freedom virtual slave robot arm, six DOF virtual robot rods driven by the Phantom Omni were modeled. Human robot interaction with the haptic-based virtual robot presented in the study was realized. As a result of the studies made, it is shown in the graphs that the reference master position, speed and force values are followed in great scale by the actual master robot-virtual slave robot by teleoperation. Consequently, a visual interface was created in this study and the position, velocity, and force control were performed by teleoperation. The performance results were given graphically and were found to be successful.

**Keywords:** Teleoperation, Haptic, Virtual Reality, Human-Robot Interaction

## Bir Haptik Robot için Arayüz Tasarımı ve Performans Analizi

### ÖZ

Teleoperasyon sistemleri insan-robot etkileşimini sağlayan bir robot teknolojisidir. Haptik robotlar ve ara yüzler kuvveti hissetmemize yarayan, sanal ortamdaki cisimlere dokunma, onları hissetme, kontrol etme ve düzenlemeye imkân veren sistemlerdir. Bilgisayar donanımı ve insan makine arayüzlerinin geliştirilmesiyle, araştırmacılar sanal gerçeklik teknolojisini etkileşimli hareket planlama sistemlerine dahil etmişlerdir. Phantom omni robotun interaktif yol planlaması, doğrulaması ve eğitimi için haptik bir arayüz geliştirilmiştir. Yapılan çalışmada, altı serbestlik dereceli Phantom Omni dokunsal cihaz ile altı serbestlik dereceli sanal slave robot kolu arasındaki yapısal benzerliğe dayanarak, Phantom Omni tarafından yönlendirilen altı DOF sanal robot kolu modellenmiştir. Çalışmada sunulan haptik tabanlı sanal robot ile insan robot etkileşim gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda gerçek master robot-sanal slave robotlar arasında teleoperasyon ile referans konum, hız ve kuvvet değerleri büyük ölçüde takip ettiği grafiklerde gösterilmiştir. Sonuç olarak bu çalışmada görsel arayüz oluşturulmuş ve teleoperasyon ile konum ve hız kontrolü gerçekleştirilmiştir. Performans sonuçları grafiksel olarak verilmiştir ve başarılı olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Teleoperasyon, Haptik, Sanal gerçeklik, İnsan-robot etkileşimi

### GİRİŞ

Robotics is a relatively young area of modern technology that goes beyond the boundaries of traditional engineering. Virtual reality and haptic systems today have become quite popular research subjects. Applications are performed in many fields using virtual reality and haptic technology. In addition, as both controller design and device design, haptic-teleoperation systems have become an active research topic in recent years. Prior to actual work, developing robotic applications in the virtual environment provides reliable and rapid testing. Such applications with virtual

reality can prevent potential damage during development and testing. Teleoperation systems are robot technologies that enable human-robot interaction. It means the ability to feel the natural or artificial mechanical environment through haptic touch. Haptic devices are manipulators that interact with the user. The device senses the user's movements and forces, and makes the user feel virtual or remote environmental characteristics. With the help of force and surface information feedback, haptic technology has increased the sense, and so the precision, of remote presence in remote control operations and the precision of on-site robotic works. The usage areas of haptic-teleoperation

systems are quite extensive. Robotic surgery, medical, defense industry, nuclear studies and simulators etc. are some of them [1-8]. The control of these systems is a matter that needs to be paid attention heavily in relation to the task and the area of use. Phantom haptic interfaces, first designed by Massie and Salisbury (1994), later marketed by the company Sensable Technologies, have widespread use with its wide operating area, low inertia applications, low friction and precise position characteristics [9]. This device is one of the first haptic devices developed and marketed by the company Sensable Technologies [10]. The small size, relatively low cost and innovations that simplify the presentation of haptic information of the Phantom-interfaced device are some reasons for choosing it. This haptic device provides feedback by simulating touching at high quality from a single point rather than viewing information from many different points. By applying pressure on the pen with three small motors, it provides force feedback to the user. For example, the user can feel the elasticity of a virtual balloon or the hardness of a brick wall. With a pen, it can customize any object close to reality, that is, near the same.

The Phantom Omni electromechanical haptic device is used in many applications. For example, it is frequently used in applications of rehabilitation, tele-robotics, teleoperation, entertainment, etc. [11-13]. Çavuşoğlu, and Feygin studied the kinematic and dynamic analysis of the Phantom 1.5 model, in which friction forces were neglected [14]. Çavuşoğlu et al. examined the haptic interface of the Phantom 1.5 model electrically and mechanically in the virtual environment and teleoperations, and studied the development of high performance control structures [15]. Silva et al. studied kinematics and applicability for phantom robots [16]. Pere et al. (1996) developed a haptic device called Rutgers Master II (RMII) to perform assembly tasks at a desktop-based virtual assembly workshop named VShop at Rutgers University [17]. Another system combined the PHANTOM haptic device with a pin-array touchscreen for area-based haptic rendering and used the system by point-based haptic rendering in a user's work [18]. Boeing's Department of Mathematics and Computer Technology (M & CT) has also worked with SensAble to produce a desktop virtual prototyping application for testing PHANTOM 3.0 / 6DOF with VPS collision and communication response software (McNeely et al. 1999)[19]. Hwang et al. proposed a human-computer collaborative system for robot path planning [20]. In this method, the roles of the users are to select a possible solution path, to define the configurations along the way in confined spaces, and to supply these configurations as sub-targets to verify the presence of a non-collision path. Yuan and Yang provided an interactive assembly planning method that provides an intuitive hand-based interface for human operators to perform direct assembly operations in a virtual environment [21]. Mikchevitch et al. proposed a practical planning system for 2D assembly tasks at micro / nano scale [22]. Mikchevitch et al. also

implemented a road planning method in the VR environment for flexible components in another study [23]. Freire et al. developed a multimedia environment used in the field of education to simulate robot arm operations [24]. Miner et al. presented a Virtual Reality (VR)-based robotic control system that provides operators with an educated tool to run and work with complex robot systems using voice command interaction in an intuitive and low-cost manner [25]. Such systems are very useful for assembly process design [26-30].

In this context, one-way and two-way control in robotic applications with force and torque feedback have been actively researched and studied recently in the field of robotics. In this study, the kinematic and dynamic models of the device were obtained in order to get performance from the Phantom Omni haptic device, the system was tried to be identified by determining the points in the study area of the device, teaching these points and testing trajectory tracking. The parameter values used when creating the virtual slave robot are factory production dimensions of the Phantom Omni haptic robot found in our laboratory. A real-time bilateral-teleoperation study was performed between a 6-degree-of-freedom master Phantom Omni haptic robot and a virtual 6-degree-of-freedom robot. A visual interface is designed for visual feedback of movements of the slave robot controlled by Phantom omni robot. A visual interface is designed for the Phantom omni robot to provide the visual feedback for interactive road planning, verification and training. In this study, based on the structural similarity between the six-degree-of-freedom Phantom Omni haptic device and the six-degree-of-freedom virtual slave robot arm, a six DOF virtual robot arm driven by the Phantom Omni were modeled. The human robot interaction was realized with the haptic-based virtual robot presented in the study. The performance of the controller has been investigated by adding both process noise and measurement noise to the system. As a result of the study done, it is shown in the graphs that the reference position, velocity and force values are followed in great measure by teleoperation between the real master robot and the virtual slave robot. As a result, in this study, a visual interface was created and position, velocity and force controls are performed with teleoperation. Performance results were given graphically and seen to have been successful.

## MATERIAL AND METHOD

### Mathematical model of the haptic system

In this section, the kinematic (forward kinematic model, inverse kinematic model, Jacobian matrix) and dynamic analysis of the haptic system have been performed.

### Forward Kinematic (Kinematic Analysis)

Forward kinematics can also be defined as the process of determining where the robot is in Cartesian space

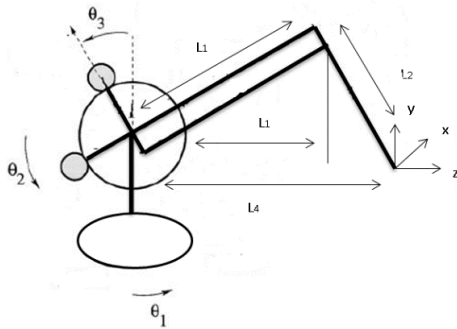


according to given joint variables. For forward kinematics, the Denavit-Hartenberg method was used [31]. The robot's forward kinematics deals with the relationship between the positions, velocities and accelerations of the links forming the robot [32].

$$x = \sin\theta_1(l_1 \cos\theta_2 + l_2 \sin\theta_3) \quad (1)$$

$$y = l_2 \cos\theta_3 + l_1 \sin\theta_2 \quad (2)$$

$$z = \cos\theta_1(l_1 \cos\theta_2 + l_2 \sin\theta_3) \quad (3)$$



**Figure 1.** Phantom Omni Haptic robot's free body diagram [33]

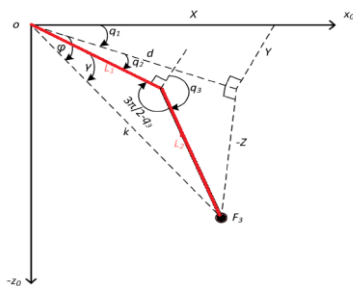
### Inverse Kinematic

Inverse kinematics calculations have an important place in the robot control processes. Inverse kinematics is the process of finding the values of joint variables according to given position and orientation data of the end function. Calculation of joint torques for inverse kinematic solution actuators is a key issue in processes such as real-time control and trajectory planning [34-35].

$$\theta_1 = -a \tan 2(y/x) \quad (4)$$

$$\theta_2 = \phi - \gamma \quad (5)$$

$$\theta_3 = \frac{3\pi}{2} - \cos^{-1}\left(\frac{L_1^2 + L_2^2 - k^2}{2L_1L_2}\right) \quad (6)$$



**Figure2.** Inverse kinematic figure of Phantom Omni haptic robot [36]

$$k = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \quad (7)$$

$$\phi = \cos^{-1}\left(\frac{d}{k}\right), z \leq 0 \quad (8)$$

$$\phi = -\cos^{-1}\left(\frac{d}{k}\right), z > 0$$

$$d = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (9)$$

$$\gamma = \sin^{-1}\left(\frac{L_2 \sin\left(\frac{3\pi}{2} - \theta_3\right)}{k}\right) \quad (10)$$

### Jacobian Matrix

The movement of each joint must be coordinated so that the robot can move at a specified speed in the specified direction. It is known that the position and rotation of the robot depends directly on the movement of the joints. The Jacobian matrix determines the real working area of the device, saves from singular points and shows the applicability of the device. Equation 11 gives the Jacobian matrix of the haptic robot.

$$J_{m,s} = \begin{bmatrix} -\cos\theta_1(l_2 \sin\theta_3 + l_1 \cos\theta_2) & l_2 \sin\theta_1 \sin\theta_2 & -l_2 \sin\theta_1 \cos\theta_3 \\ 0 & l_1 \cos\theta_2 & l_2 \sin\theta_3 \\ -l_2 \sin\theta_1 \sin\theta_3 - l_1 \sin\theta_1 \cos\theta_2 & l_1 \sin\theta_2 \cos\theta_1 & l_2 \cos\theta_1 \cos\theta_3 \end{bmatrix} \quad (11)$$

### Equations of Motion the Master and Slave Robot

To obtain the system's dynamic equations, Lagrange-Euler [37] method was used. Control of the robots was carried out using the equations of the first three axes, which are the basic axes of the robots.

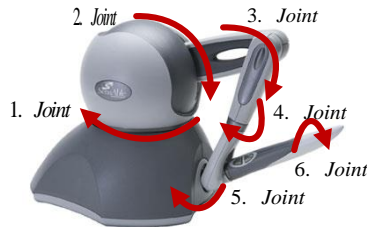
The motion equations for master and slave robots are given below.

$$M_m(q_m)(\ddot{q}) + C_m(q_m, \dot{q}_m)(\dot{q}_m) + G_m(q_m) = \tau_h + \tau_m \quad (12)$$

$$M_s(q_s)(\ddot{q}) + C_s(q_s, \dot{q}_s)(\dot{q}_s) + G_s(q_s) = \tau_s - \tau_e \quad (13)$$

$q_i, \dot{q}_i, \ddot{q}_i$  and  $\tau_i$  represent position, velocity, acceleration and control torque, respectively. The  $i \in \{m, s\}$  indices represent master and slave robots, respectively.  $M(q_i) \in R^{3 \times 3}$  is a positive definite symmetric matrix and shows the inertia matrix;  $C(q_i) \in R^{3 \times 3}$  the matrix of Coriolis and centrifugal forces;  $G(q_i) \in R^{3 \times 3}$  the weight forces.  $\tau_m, \tau_s$  are the torques acting on the master and slave robots, respectively.  $\tau_h$  and  $\tau_e$  represent the torques

corresponding to the disturbing forces applied by the user and affecting the system from surrounding. As shown in Figure 3, the Phantom Omni haptic robot has 6 rotary joints, but the first 3 joints are active, 3 wrist joints are passive, that is, not driven by a motor, but the robot has 6 encoders. Table 1 showed the Phantom Omni haptic robot's physical parameters.



**Figure3.** Phantom Omni Haptic robot and its rotation axes

**Table 1.** Parameters of Phantom Omni Robot

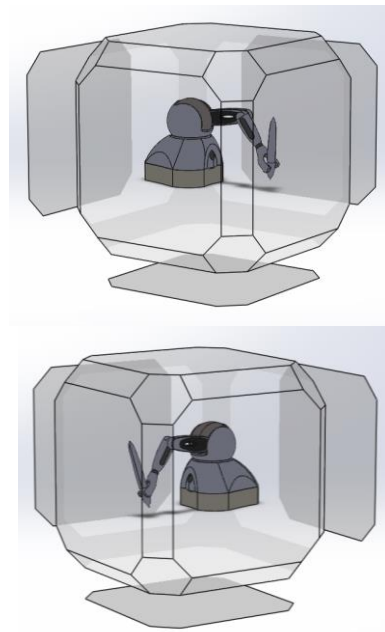
Description& Symbol	Units & Value
Gravity	~1,47 g
Dimension	~168W*203D mm
Inertia ( $I$ )	~45 g
Position resolution ( $\theta$ )	~0.055 mm
Maximum improvement force ( $F_{max}$ )	3.3 N
Force feedback ( $F$ )	x, y, z
Position measurement	x,y,z Pitch,roll,yaw
Interface	Parallel port
Supported Platforms	Intel based -PCs

### Interface Design of the Slave Robot

The physical parameters of the virtual slave robot were obtained from the factory production dimensions of the 6-degree-of-freedom Phantom Omni haptic robot in our laboratory that we used in real time (Table 1). The CAD model of the virtual robot was drawn in a solid modeling program and a three-dimensional (3D) model was created (Figure 4).

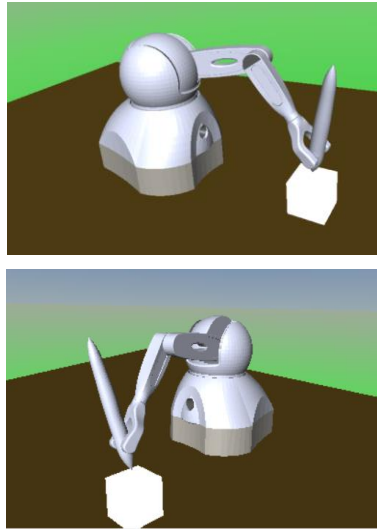
### Controller Design of the Haptic System

PD based Computed torque control (PD-CTC) was used for position control of the haptic system and traditional PID (proportional integral derivative) control method was used for force control. In the control systems used, it is aimed that the output value of the system follows the target (reference) value. The difference between the target (reference) output value in the system and the current system output value is called the error value. With the controllers applied to the system, this error is tried to be minimized.



**Figure4.** Generated solid model of the Phantom omni haptic robot

Variable parameters of the slave robot are transferred to Matlab package program, VR Sink block is used to create the 3D visual of the system and necessary scene and light settings are realized. The visual interface is designed for the virtual robot in this program.

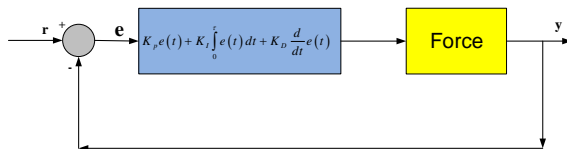


**Figure5.** Created visual interface for the Phantom omni haptic robot

**Force Control**

In this study, PID (proportional integral derivative) control method was used for force control. Although the PID (proportional integral derivative) control method is an old method used in many applications, it performs well [38]. Because it is relatively easy to calibrate compared to other controllers and has a simple control scheme, its use is widespread. Equation 14 shows the basic structure of the PID control method [39].

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^{\tau} e(t) dt + K_d \frac{d}{dt} e(t) \quad (14)$$



**Figure6.** Force with PID feedback's block diagram

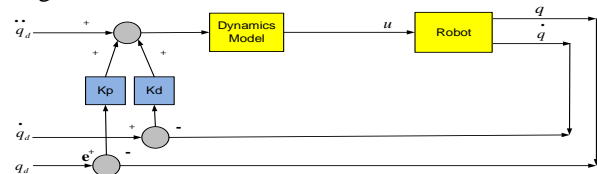
$u$  is called the controller output,  $K_p$  the proportional gain  $K_i$  the integral gain,  $K_D$  the derivative gain, and  $e$  the error signal. Figure 6 shows the block diagram of the system with PID feedback. In this study, the Ziegler-Nichols method presented by John G. Ziegler and Nathaniel B. Nichols was used to find the PID coefficients, and also closed loop control type was used in this method [39]. Table 2 shows the general control parameters of Ziegler-Nichols method.

**Table 2** Control parameters obtained by the Ziegler-Nichols method

Control	K <sub>P</sub>	K <sub>I</sub>	K <sub>D</sub>
P	0.5*K <sub>cr</sub>	~1,47 g	0
PI	0.4*K <sub>cr</sub>	0.8*P <sub>cr</sub>	0
PID	0.6*K <sub>cr</sub>	0.5*P <sub>cr</sub>	0.125*P <sub>cr</sub>

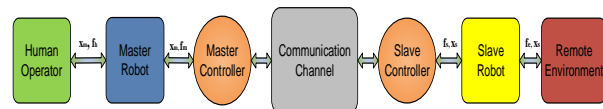
**Motion Control**

In this study, PD based computed torque control (PD-CTC) control method is used for motion control due to nonlinear behavior of the system[40]. The computed torque control method is a robust and nonlinear controller commonly used in the control of robots. This control system calculates the required torque values for the system using the nonlinear feedback control law based on feedback linearization [41]. Figure 7 shows PD based computed torque control (PD-CTC) block diagram.



**Figure7.** Block diagram of PD-Computed torque control (PD-CTC)

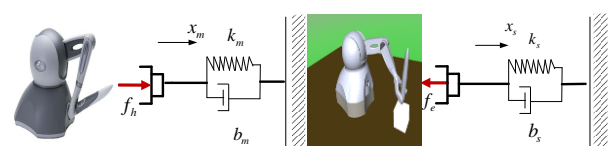
Figure 8 shows the block diagram of a two-way (bilateral) teleoperation system. The PD-Computed torque control method was used in motion controls of 6-degree-of-freedom master and slave robots. The purpose of this control is to follow the reference trajectory generated by the master. Furthermore, it is to track the position and velocity values generated by the master robot having the minimum position and velocity error. And in force controls, PID control method was used. The aim here is to obtain the desired force values.



**Figure8.** Block diagram of two-way (bilateral) teleoperation system

**EXPERIMENTAL RESULTS**

Experimental studies have been carried out in this section using the motion equations of master and slave robots. The designed interface provides visual feedback to the user. System's control variables are the joint angles and the force values. The basic axes of robots,  $\theta_1, \theta_2, \theta_3$  that is, the first three axes were controlled. Simulation results obtained from system control are given in the following graphs.  $\tau_h = J_m^T F_h$  and are taken as  $\tau_e = J_s^T F_e$ . The relationship between the human operator and the environment is modeled as a box in a virtual environment and as a mass-spring-damper model for modeling.



**Figure9.** The physical model of the force between the human operator and the environment

In Figure 9, the forces between the human operator and the environment are shown as a physical model modeled as a mass-spring-damper system.  $F_e$  force is derived from interaction with the virtual wall in the xy plane at the distance  $z_r = 0.1$  m.  $F_e = k(z_r - z) + b(\dot{z}_r - \dot{z})$   $b=2$  Ns/m represents the damping coefficient and  $k=10$  N/m is the spring constant, and  $F_e$  represents the emerging environmental force.  $z_r$  shows the reference position of the robot and  $z$  shows the actual position.

$F_h = k(q_m - q_s) + b(\dot{q}_m - \dot{q}_s)$   $b=1$  Ns/m represents the damping coefficient and  $k=5$  N/m is the spring constant,  $F_h$  represents the emerging force.

In this section, position, velocity and its control are realized by bilateral haptic teleoperation between the master robot and the virtual slave robot. Two robots with the same kinematic characteristics were used in the teleoperation system created in the real-time laboratory study. In communication of the system, a Quanser Q8 USB data acquisition management board with MATLAB Real-Time Workshop™ Toolbox and a WinCon™ / RTXT™ real-time control system were used. In addition, the power supplies, microprocessor for the robot setup and data acquisition card for data collection were gathered. After the necessary connections are made, it is aimed that the virtual slave robot will go to the reference values and the follows the position while generating the reference position with the master robot. The angular position values obtained from the outputs of the master robot to control the slave robot were used as inputs of the virtual slave robot dynamics to control of the slave robot. The result of the interaction of virtual slave robot with the virtual environment was obtained by controlling the forces  $F_e$  that acted on the slave robot from surroundings and  $F_h$  that acted on the human operator side. Figure 10 and Figure 12 show the position and velocity graphs obtained using the PD based computed torque control (PD-CTC) method of the joints.

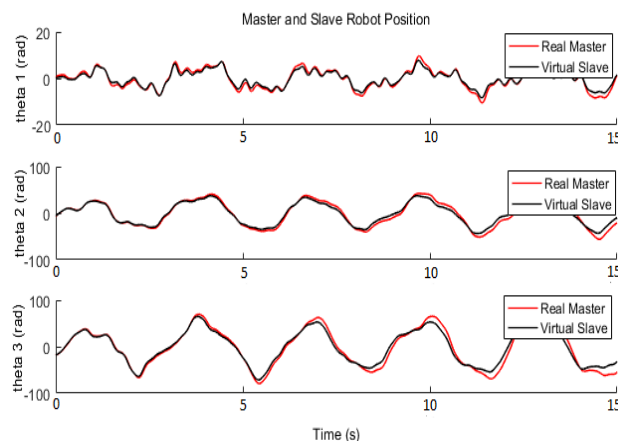


Figure10. Position graphics for theta1, theta2 and theta3

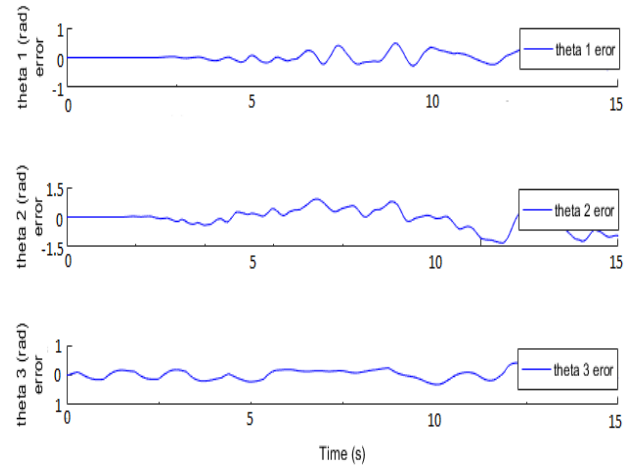


Figure11. Position error graphics for theta1, theta2 and theta3

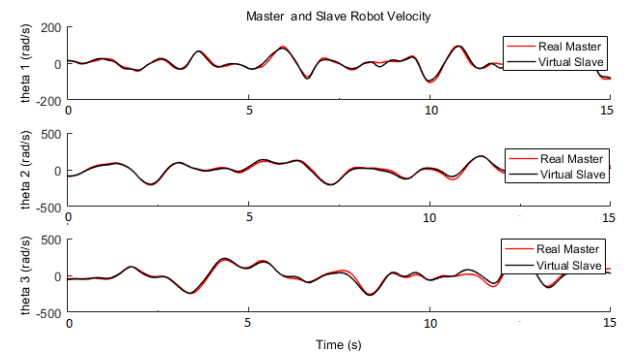


Figure12. Velocity graphics for theta1, theta2 and theta3

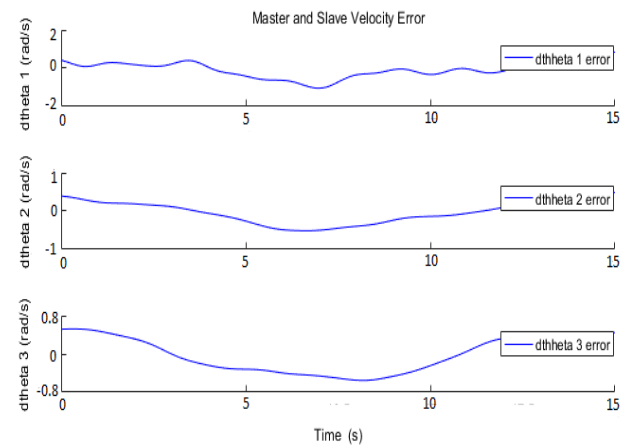
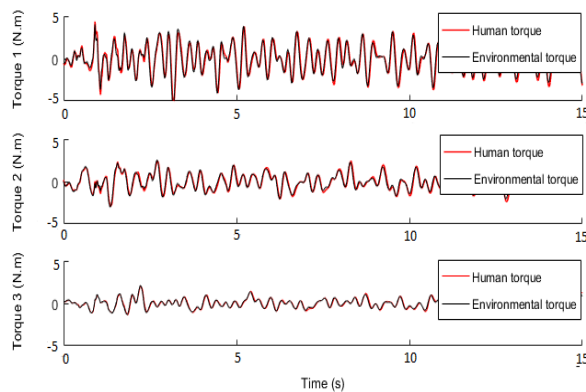


Figure13. Velocity error graphics for theta1, theta2 and theta3



**Figure 14.** Human-operator and environmental torque values when the slave robot interacts

Figure 11 and 13 respectively showed the position and velocity error graphics. The experimental study period was carried out as 15 seconds. The forces generated by the interaction of the slave robot with the environment are the forces felt by the human operator physically as a result of the transmission to the master-robot with the torque-force sensor feedback (Figure 14). In Fig. 14, the human operator ( $\tau_h$ ) and environmental torque ( $\tau_e$ ) graphs obtained by using the PID control method when the slave robot interacts were shown. Experimental result graphs showed that the position, velocity and force controls were successfully performed in the teleoperation system consisting of master and slave robots.


## Conclusions


In this study, six DOF haptic robots were introduced and the applicability in determining the performance of the device was calculated. Kinematic and dynamic analysis of the device was carried out. While dynamic analysis was being performed, dry and viscous friction forces acting on the system are also calculated. In addition, the aim of existing experiments is to confirm mathematical models and verify the performance of the device. A real-time bilateral-teleoperation study was conducted between the 6-degree-of-freedom Phantom Omni haptic robot and the virtual 6-degree-of-freedom robot. As a result of the experimental studies, it is shown in the graphs that the reference position, speed and velocity values are followed in great measure by teleoperation between the real master robot and the virtual robot. It has been seen that the designed and applied control algorithms were successful on the system. As a result, with the methods used in the aimed two-way teleoperation studies, controls were realized, a virtual environment was created and two-way motion and force control were performed by teleoperation and the applications of the system in the real environment were realized.

## ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported by Firat University Scientific Research Projects (FÜBAP) 2015, MF. within the scope of the project no:13.15.

## ORCID

Tayfun ABUT  <http://orcid.org/0000-0003-4646-3345>

Servet SOYGÜDER  <http://orcid.org/0000-0002-8191-6891>

## KAYNAKÇA

- [1] Vertut, J., Coiffent, P. Teleoperation and Robotics. Evolution and Development. Kopan Page. London, 1985.
- [2] Goertz, R.C., Thompson R.C. Electronically controlled manipulator. Nucleonics, 12:11 46-47, 1954.
- [3] Katsura S., Iida W., Ohnishi K. Medical mechatronics An application to haptic forceps, Annual Reviews in Control, 29:2 237-245. 2005.
- [4] Veras E., Khokar K., Alqasemi R., Dubey R. Scaled telerobotic control of a manipulator in real time with laser assistance for adl tasks. Mechatronics and its Applications International Symposium on Mechatronics and its Applications, March 2009.
- [5] Song G., Guo S. Development of a novel tele-rehabilitation system. Proceedings of the 2006 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, p.785-789 2006.
- [6] Wang P., Becker A.A., Jones I.A., Glover A.T., Benford S.D., Greenhalgh C.M., Vloeberghs M. A virtual reality surgery simulation of cutting and retraction in neurosurgery with force-feedback, Computer methods and programs in biomedicine, 84 11-18, 2006.
- [7] Fahlbusch St., Mazerolle S. Breguet JM., Steinecker A., Agnus J., P'erez R., Michler J. Nanomanipulation in a scanning electron microscope, Journal of Materials Processing Technology, 167:2 371-382, 2005.
- [8] Park K., Bae B., Koo T.A haptic device for PC video game application, Mechatronics, 14:2 227-235, 2004.
- [9] Massie T.H., Salisbury J.K. The phantom haptic interface: A device for probing virtual objects. In Proceedings of the ASME winter annual meeting. symposium on haptic interfaces for virtual environment and teleoperator systems, 55:1 295-300, 1994.
- [10] Sensable Technologies Corporation, <http://www.sensable.com/>.
- [11] Diolaiti N. Melchiorri C. Teleoperation of a mobile robot through haptic feedback, IEEE Int.Workshop on Haptic Virtual Environments and Their Applications, 2002 67-72, 2002.
- [12] Nygaard A. High-Level Control System for Remote Controlled Surgical Robots Haptic Guidance of Surgical Robot, Master thesis of Science in Engineering Cybernetics, Department of Engineering Cybernetics, Norwegian University of Science and Technology, 2008.
- [13] Dominguez-Ramirez O.A., Parra-Vega V. Texture, roughness, and shape haptic perception of deformable virtual objects with constrained Lagrangian formulation. In Intelligent Robots and Systems, IEEE/RSJ International Conference on 4 3106-3111, 2003.
- [14] Cavusoglu M.C., Feygin D. Kinematics and dynamics of PHANToM(TM) model 1.5 haptic interface. (Tech. Rep.). University of California at Berkeley, Electronics Research Laboratory Memo M01/15, 2001.
- [15] Cavusoglu M., Feygin D., Tendick F. A Critical Study of the Mechanical and Electrical Properties of the PHANToM Haptic Interface and Improvements for High

- Performance Control. Presence: Teleoperators and Virtual Environments, 11:6 :555-568, 2002.
- [16] Silva A.J., Ramirez O.A.D., Vega V.P., Oliver J.P.O., PHANTOM Omni Haptic Device: Kinematic and Manipulability, Electronics, Robotics and Automotive Mechanics Conference, CERMA, 193-198, 2009.
- [17] Pere E, Langrana N, Gomez D, Burdea G.C. Virtual mechanical assembly on a PC-based system. In: Proceedings of the ASME design engineering technical conference and computers in engineering, Irvine, California, 1996.
- [18] Kyung K.U., Park J., Kwon D.S., Kim S.Y. Real-Time Area- Based Haptic Rendering for a Palpation Simulator. In M. Harders and G. Székely, editors, Biomedical Simulation, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 4072:15 132-141. 2006.
- [19] McNeely W.A., Puterbaugh K.D., James T.J. Six degree-of-freedom haptic rendering using voxel sampling. Six degree-of-freedom haptic rendering using voxel sampling. In: ACM SIGGRAPH 2005 Courses. ACM, p.42, 2005.
- [20] Tsui P.H., Lin L.Y., Chang C.C., Hwang J.J., Lin J.J., Chu C.C., Chen C.N., Chang K.J., Chang C.C. Arterial pulse waveform analysis by the probability distribution of amplitude. Physiological Measurement, 8:8 803-812, 2007.
- [21] Yuan X.B., Yang S.X. Interactive assembly planning with automatic path generation. In: IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 3965-3970, 2004.
- [22] Mikchevitch A., Leon J.C., Gousskov A. Path planning of an AFM-based nanomanipulator using virtual force reflection. In: IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 577-582, 2004 .
- [23] Mikchevitch A., Leon J.C., Gousskov A. Path planning for flexible components using a virtual reality environment. In: 5th IEEE International Symposium on Assembly and Task Planning, 247-252, 2003.
- [24] Freire J.C., Jr., De Lima J.V., Neves R.A., De Sena G.J. A multimedia environment for supporting the teaching of robotics systems. In: Proceedings of the 24th International Conference on Distributed Computing Systems Workshops, 280-285, 2004.
- [25] Miner N.E., Stansfield S.A. Interactive virtual reality simulation system for robot control and operator training. In: Proceedings of the 1994 IEEE International Conference on Robotics and Automation, 1428-1435, 1994.
- [26] Abut T., Servet S. Real-time control of bilateral teleoperation system with adaptive computed torque method. Industrial Robot: An International Journal, 44:3 299-311, 2017.
- [27] Soyguder S., Abut T. Haptic industrial robot control with variable time, Industrial Robot: An International Journal, 43:4 390-402, 2016.
- [28] Abut T., Servet S. Zaman Gecikmeli İnsan-Makine Etkileşimli Teleoperasyon Sisteminin Kontrolü. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 30 1193-202, 2018.
- [29] Abut T., Servet S. Haptic industrial robot control and bilateral teleoperation by using a virtual visual interface. 2018 26th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU). IEEE, 2018.
- [30] Abut T., Servet S. Motion control in virtual reality based teleoperation system. In Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), 23th IEEE, 2682-2685, 2015.
- [31] Denavit J., Hartenberg R.S. A kinematic notation for Lower-pair mechanisms based on matrices, ASME Jappl. Mechan, 215-221, 1955.
- [32] Bingül Z., Küçük S. Robot Tekniği I, Birsen Yayınevi, 104-200, 2005.
- [33] Abut T. Altı Serbestlik Dereceli Haptik Robot ile Teleoperasyon ve Sistem Dinamiği, Yüksek lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, 2015.
- [34] Asada H., Slotine J.J.E. Robot Analysis and Control, Wiley-Interscience Publication, USA, 1986.
- [35] Kerrow F.J.M. Introduction to Robotics, Addison-Wesley Publishing, USA, 1991.
- [36] Sreelakshmi M., Subash T. D. Haptic Technology: A comprehensive review on its applications and future prospects. Materials Today: Proceedings, 4:2 4182-4187, 2017.
- [37] Hazewinkel M. Lagrange equations (in mechanics)", Encyclopedia of Mathematics, Springer, ISBN 978-1-55608-010-4, 2001.
- [38] Abut T., Servet S. Alli H. Gerçek Zamanlı Altı Serbestlik Dereceli Haptik Bir Robot ile Sanal Robotun Teleoperasyonu' UMTS 2015 Bildiri Kitabı, İzmir, 2015b.
- [39] Ziegler J.B. Nichols N.B. The classic original paper: Optimum settings for automatic controllers", ASME Transactions, 64 759-768, 1942.
- [40] Tuong D.N., Seeger M., Peters J. Computed torque control with nonparametric regression models", Proceedings of the 2008 American Control Conference (ACC), Seattle, 2008.
- [41] Middleton R.H. Goodwin G.C. Adaptive computed torque control for rigid link manipulators, Systems and Control Letter, 10 9-16, 1988.

## Farklı Kimyasal İçeriğe Sahip Tellerin İki Pasolu Sert Dolgulu Malzemelerin Aşınma Davranışına Etkileri

Hülya DURMUŞ<sup>1</sup>, Nilay ÇÖMEZ<sup>1</sup>, Canser GÜL<sup>1</sup>, Melis YURDDAŞKAL<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Manisa, Türkiye.

<sup>2</sup>Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Manisa, Türkiye.

✉: hulya.durmus@cbu.edu.tr

Geliş (Received): 05.10.2018

Düzenleme (Revision):06.11.2018

Kabul (Accepted): 15.11.2018

### ÖZ

Aşındırıcı ortamların yoğun olduğu yerlerde, malzemelerin aşınmasını önlemek amacıyla, özellikle toprak kazıma aletleri, taş ve maden ocaklarında çalışan parçalarda sert dolgu işlemi sıklıkla kullanılmaktadır. Bu çalışmada, AISI 4140 çeliğine, iki pasolu olarak, Elhard 350 + Elhard600S (EE) ve Hardcore600G + Hardcore 63-O (HH) sert dolgu telleri kullanılarak kaplama işlemi uygulanmıştır. Kimyasal içeriğin ve iki pasonun mikroyapı, sertlik ve aşınma direncine etkisi incelenmiştir. Vickers sertlik ölçümleri 10 kgf yük altında yapılmış, aşınma testleri kuru-kayma şartlarında seramik bilyeye karşı CSM marka aşınma test ünitesinde gerçekleştirilmiştir. Tüm aşınma deneyleri 10 N yükte, oda sıcaklığında, 1000 m toplam kayma mesafesinde 10 cm /s'lik bir kayma hızı ile gerçekleştirilmiştir. Numunelerin hacim kayıpları, aşınma testinden sonra aşınma izi üzerinde pürüzlülük testi ile hesaplanmıştır. Kimyasal içeriğin ve iki paso uygulamasının aşınma direncine etkisi incelenmiştir. Sonuç olarak, kimyasal içeriğe ve faz diyagramına bakılarak, oluşan homojen martenzit mikroyapıdan dolayı aşınma dayanımı Elhard 350 + Elhard600S (EE) numunesinde en yüksek olarak tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Aşınma, Kimyasal içerik, Paso, Sert Dolgu

## The Effects Of Abrasion Resistance Of The Two-Pass Hardfacing With Different Chemical Content Wire

### ABSTRACT

In places where the corrosive environments are dense, hardfacing is frequently used, especially in soil scraping tools, stone, and mines, in order to prevent the wear of materials. In this study, Elhard 350 + Elhard600S (EE) and Hardcore600G + Hardcore 63-O (HH) hard filler wires were applied to AISI 4140 steel. The effect of the chemical content and the two passes on microstructure, hardness and abrasion resistance were determined. Vickers hardness measurements were made under 10 kg load, dry-slip conditions under the ceramic ball for the tribological analysis of hard-fill coatings CSM trademark wear test unit was used. All abrasion tests were performed at 10 N load, at room temperature, with a shear rate of 10 cm/s at a total shear distance of 1000 m. The volume losses of the samples were calculated by wear track roughness after the abrasion test. The effects of chemical content and two passes on the wear resistance were investigated. As a result, the abrasion resistance due to homogeneous martensite microstructure due to chemical content and phase diagram was determined as highest in the Elhard 350 + Elhard600S (EE) sample.

**Keywords:** Chemical Content, Hardfacing, Pass, Wear

### GİRİŞ

Makine parçalarının aşınması, endüstriyel üretimde ekonomik kayıplara neden olan bir sorundur. Aşınmayı azaltmak için yüzey özelliklerini geliştirmek gerekmektedir. Yüzey mühendisliği alanında; malzeme yüzeyinde oluşan, zarar verici durumları engellemek için çeşitli yöntemler önerilmektedir [1]. Sert dolgu yöntemi aşınmaya karşı koruma için iyi ve ekonomik bir çözüm olarak kullanılmaktadır. Çünkü tüm makine parçalarını aşınmaya karşı dayanıklı malzemelerle üretmek pahalı olacaktır [2-5].

Sert dolgu, makine parçalarının çalışma ömrünü uzatmak için, aşınmaya dayanıklı yüzeyler oluşturmada düşük maliyetli bir yöntemdir. Aşınmış ve kullanılamaz

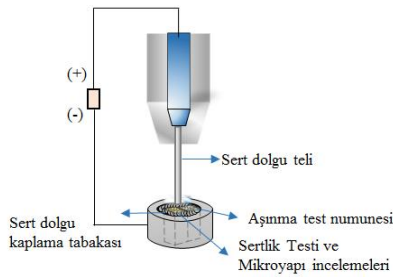
durumdaki parçaların kullanılabilir duruma getirilmesinde uygulandığı gibi, parçalar çalışma ortamına sokulmadan önce de sert dolgu kaplama uygulanmaktadır [6]. Tarım aletleri, madencilik, şeker endüstrisi gibi alanlarda kullanılan metalik parçaların aşınma direncini arttırmak için kaplamalar yapılmaktadır [7].

Bu kaplama yöntemi; aşınmaya, yapışmaya, korozyona ve oksidasyona karşı direnci arttırmak için, korumalı ark kaynağı, oksiasetlen kaynağı, lazer kaynağı ile uygulanır [3]. Ark kaynağı yönteminin seçimi öncelikle boyutuna ve sayısına, mevcut konumlandırma ekipmanına ve sert yüzey frekansına bağlıdır [6]. Seçilen uygulama yöntemi, temel malzeme ile sert yüzey arasındaki metalurjik birleşmeyi, çok ince katman

kalınlığını ve saat başına kilogram (kg / saat) mertebesinde birikme oranlarını sağlamalıdır [2]. Altlık olarak kullanılan metal üzerine biriken dayanıklı yüzeyler malzemenin kullanım ömrünü uzatır. Sert dolgu yöntemi genellikle bir, iki veya üç katmanla yapılmaktadır [6]. Aşınmaya karşı direnci sağlamak için sert primer ve ötektik (Fe, Cr)<sub>7</sub>C<sub>3</sub> karbürlerine sahip Fe-Cr-C bazlı sert dolgu alaşımları yaygın olarak kullanılmaktadır [8]. Sert dolgu kaplamalarının aşınma davranışı karbür dağılımı, paso sayısı ve sertlik gibi mikroyapı bileşenlerinin özelliklerine bağlıdır [9, 10]. Bu çalışmada, ekskavator kepçe dişlerine iki paso şeklinde uygulanan farklı bileşime sahip elektrotlarla oluşturulan sert dolguların aşınma özelliklerinin araştırılması amaçlanmıştır.

## MATERYAL ve YÖNTEM

Sert dolgu kaplama işleminde, dört farklı dolgu teli kaynak yöntemine göre seçilerek (Tablo 1) ön ısıtma yapılmadan AISI 4140 çeliğine iki pasolu (Hardcor 600G + Hardcor 63-O ve Elhard 350+ Elhard 600S ) kaplama oluşturulmuştur (Şekil 1).



Şekil1. Sert Dolgu kaplama işleminin şematik gösterimi.

Kaynak parametreleri Tablo 2' de verilmiştir. Kaplamaları oluşturulan numuneler parlatılmış ve daha sonra Kalling reaktifiyle (33 ml H<sub>2</sub>O, 33 ml metil alkol, 33 ml HCl, 1.5 gr CuCl<sub>2</sub>) dağlanmıştır. Mikroyapı incelemeleri Clemex Software kullanılarak Nikon Eclipse LV 150 optik mikroskop ile gerçekleştirilmiştir.

Tablo 1. Kaynak tellerinin kimyasal içerikleri (% ağı.)

Dolgu teli ve numune adı	Element	Element				
		C	Si	Mn	Cr	Fe
Hardcor 600G	HH	0.4	0.7	0.6	9	Geri Kalan
Hardcor 63-O		5	1.5	1.3	27	Geri Kalan
Elhard 350	EE	0.17	0.8	1.5	2	Geri Kalan
Elhard 600S		0.5	1.8	-	9	Geri Kalan

Tablo 2. Kaynak Parametreleri

Numune	HH	EE
Method	MIG	Örtülü elektrodla ark kaynak
Akım (A)	200-300	100-150

Voltaj (V) 28-30

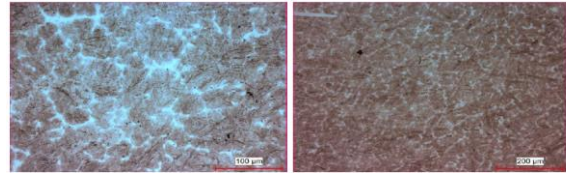
Vickers sertlik ölçümleri, 10 kgf yük altında Emco-Test DuraVision sertlik test cihazı ile gerçekleştirilmiştir.

Kuru-kayma şartlarında karşı eleman olarak Alumina bilya kullanılarak, sert dolgu kaplamalarının tribolojik analizi CSM marka pin on disk aşınma test cihazında gerçekleştirilmiştir. Tüm aşınma deneyleri 10 N, oda sıcaklığında 1000 m toplam kayma mesafesi boyunca 10 cm/s'lik bir kayma hızında gerçekleştirilmiştir. İz çapı 4 mm'dir.

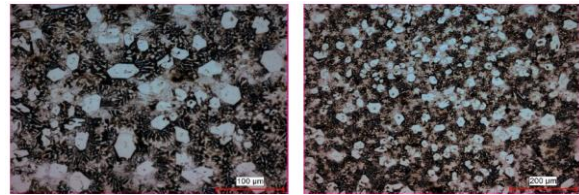
## BULGULAR ve TARTIŞMA

### Mikroyapı

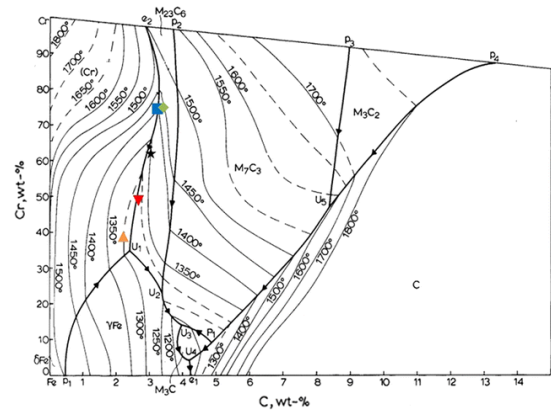
EE numunesinde ise martenzit oluşmuştur (Şekil 2). 2. pasosunda % 5 karbon içeriğine sahip tel ile kaplama yapılan HH numunesinde, Cr-C-Fe faz diyagramından (Şekil 3-4) [11, 12]. kimyasal kompozisyonundan ve sertlik değerlerinden Şekil 1' de görüldüğü gibi hegzagonal yapıya sahip M<sub>7</sub>C<sub>3</sub> karbür yapısı oluşmuştur.



Şekil2. EE numunesinin mikroyapı görüntüleri



Şekil3. HH numunesinin mikroyapı görüntüleri



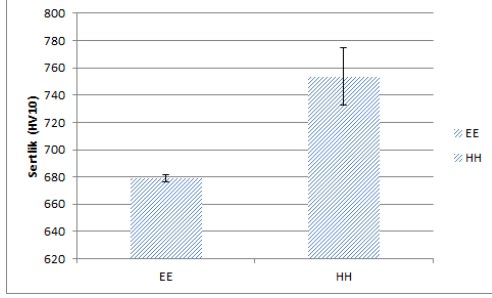
Şekil4. Cr-Fe-C sisteminin faz diyagramı (12)

### Sertlik

HH numunesinde primer karbürlerin oluşmasının nedeni Cr ve C bileşim miktarlarının yüksek oluşudur. Şekil 5'de, EE ve HH numunelerine ait sertlik değerleri



verilmiştir. Karbon ve krom içeriğinin doğrudan kaplamamanın sertliğini etkilediği açıkça görülmüştür. Faz diyagramından ve mikroyapı incelemelerinden tespit edildiği gibi HH numunesinde oluşan  $M_7C_3$  demir esaslı matris içinde yayılmış sekonder karbürler mevcuttur [11, 12]. Bundan dolayı her iki numunenin sertlik değerleri için standart sapmaları da hesaplanmıştır.

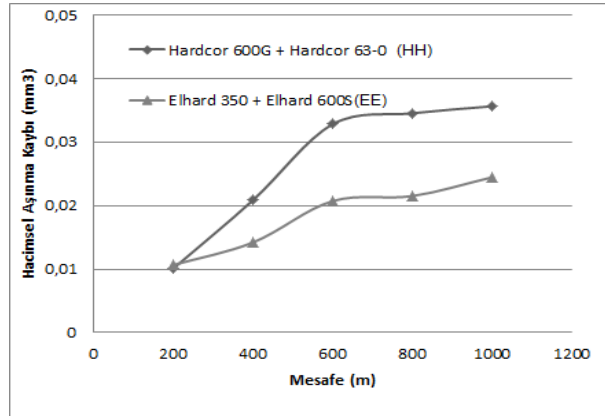


Şekil5. EE ve HH numunelerinin sertlik değerleri

EE numunesinin sertlik değerlerindeki standart sapması 2,82 iken HH numunesinin 20,75 tir. EE numunesinde homojen dağılımlı sert martenzitik yapı görülürken, HH numunesinde  $M_7C_3$ 'ün dağılımı martenzitik yapı gibi değildir. HH numunesinde sertliği daha düşük olan matris içerisinde, sertliği daha yüksek olan büyük yapıların olmasından dolayı standart sapma büyüktür.

### Aşınma Testi

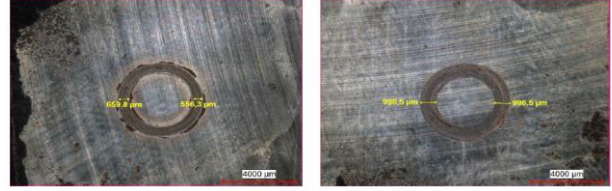
Sert dolgu kaplamalarının aşınma izlerinin pürüzlülük değerleri ölçülmüş ve buradan hacimsel aşınma kaybı hesaplanmıştır. Martenzitik yapıya sahip EE numunesinin HH numunesinden daha az aşınma kaybı sergilediği görülmüştür (Şekil 6).



Şekil6. EE ve HH numunelerinin hacimsel aşınma kaybı

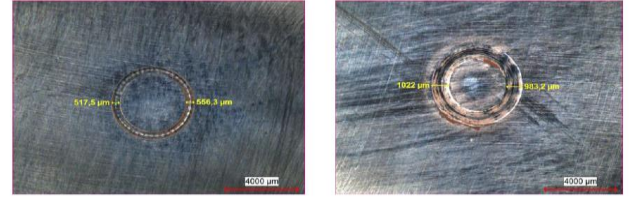
HH ve EE numunelerinin hacimsel aşınma kayıpları mesafeye bağlı olarak artmıştır (Şekil 6). HH numunesi EE numunesine göre sertlik değerleri daha yüksek olmasına rağmen daha fazla aşınmıştır. Bunun nedenini çözmek adına sertlik değerleri arasında standart sapma değerlerine hesaplanmıştır. Standart sapma değerleri EE numunesine göre daha yüksektir. HH numunesinde sert

$M_7C_3$ 'lerin içinde bulunduğu matriste daha düşük sertliğe sahip yapılar bulunmaktadır. Aşınma sırasında düşük sertliğe sahip kısımlar daha çok aşınmıştır. Aşınan matris sebebiyle açığa çıkan sert fazlar aşınma sırasında koparak EE numunesine göre hacimsel olarak daha büyük boşluklar oluşturmuştur. Bundan dolayı sertliği daha yüksek gibi görünse de, hacimsel aşınma kaybı EE numunesine göre daha yüksek olmuştur. Aşınma izleri 200 m ve 1000m de stereo mikroskopta incelenmiştir. İki numunede birbirine yakın izler elde edilmiştir (Şekil 7-8).



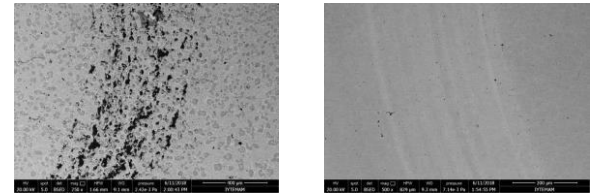
(a) (b)

Şekil 7. HH numunesinin aşınma iz görüntüleri (a) 200 m ve (b) 1000 m



(a) (b)

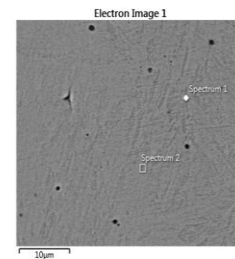
Şekil 8. EE numunesinin aşınma iz görüntüleri (a) 200 m ve (b) 1000 m



(a) (b)

Şekil 9. Aşınma izlerinin SEM görüntüleri (a) HH (b) EE

SEM görüntülerinden sert karbürlerin HH numunesinde karşı elemanı aşındırdığı bundan dolayı karşı elemanın numune üzerinde malzeme ve iz bırakmış olduğu net bir şekilde görülmektedir. Profilometre ölçümleri, mikroyapı ve SEM görüntülerinden EE numunesindeki aşınma iz derinliğinin az olduğu tespit edilmiştir (Şekil 8-10) (Tablo 3).

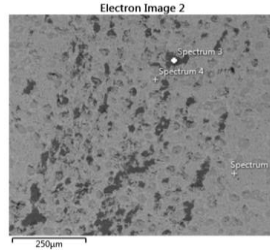


Şekil 10. EE numunesi üzerinden EDX alınan noktaların SEM görüntüsü

**Tablo 3.** EE numunesinin Şekil 9’da belirtilen noktaların EDX analizi

Element	Spectrum 1 Wt%	Spectrum 2 Wt%
C	5.00	2.72
Si	0.86	1.04
Cr	6.74	7.18
Fe	87.41	89.06
Total:	100.00	100.00

HH numunesinde EDS analizindeki Spektrum 3’ e göre (Tablo 4) karşı elemandan malzeme geçişi olduğu tespit edilmiştir(Şekil 11).



**Şekil 11.** HH numunesi üzerinden EDX alınan noktaların SEM görüntüsü

**Tablo 4.** HH numunesinin Şekil’10 da belirtilen noktaların EDX analizi

Element	Spectrum 3 Wt%	Spectrum 4 Wt%	Spectrum 5 Wt%
O	37.39	-	-
Al	1.07	-	-
Si	0.79	-	1.34
Cr	12.95	45.88	9.98
Fe	47.80	43.55	61.75
C	-	10.56	7.25
Total:	100.00		

HH numunesinde Spektrum 4’e göre ve faz diyagramına göre  $M_7C_3$  oluşumu gözlenmiştir (Tablo 4).


## SONUÇLAR

Sert dolgu işlemleri 4140 çeliği üzerine ark kaynak yöntemleriyle başarılı bir şekilde uygulanmıştır. Sertlik testi, aşınma testi, mikroyapı ve SEM-EDX incelemeleri yapılmıştır. Elde edilen bulgular sonucunda;


1. HH numunesi EE numunesine göre daha yüksek sertliğe sahiptir. Fakat sertlik değerlerindeki standart sapma hesaplandığında EE numunesinde daha az standart sapma elde edilmiştir. Bunun nedeni yapının her yerinde homojen bir şekilde olmasıdır.
2. Aşınma direncini daha da arttırmak için matris içinde sekonder karbürlerin miktarının artırılıp, homojen bir şekilde dağıtılması gerekmektedir.
3. Her iki numunede mesafeye bağlı olarak aşınma miktarları artmıştır.
4. Metalografik incelemeler sonucunda, ince taneli yapının aşınmaya karşı direncinin iri taneli sert yapının aşınmaya karşı direncinden daha iyi olduğu görülmüştür.
5. Bu çalışma sonucunda, sertliğin yüksek olduğu HH numunesindeki sert  $M_7C_3$  yapıları olmasına rağmen, homojen martenzitik yapılı ve sertliği HH numunesine göre daha düşük olan EE numunesinin mikroyapısından

delayı aşınma direncinin daha iyi olduğu tespit edilmiştir.

## ORCID

Hülya Durmuş  orcid.org/0000-0002-7270-562X

Nilay Çömez  orcid.org/0000-0002-6432-6582

Canser Gül  orcid.org/0000-0002-1339-936X

Melis Yurddaşkal  orcid.org/0000-0002-8774-3848

## KAYNAKÇA

- [1] Gür A.K., Orhan A., Çalığı U. Ni/Ti Tozlarının PTA Yöntemiyle AISI 1020 Yüzeyindeki Kaplamalarının Mikroyapı Özellikleri, Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları, 2008.
- [2] Günther K., Bergmann J.P., Suchodoll D. Hot wire-assisted gas metal arc welding of hypereutectic FeCrC hardfacing alloys: Microstructure and wear properties, Surface and Coatings Technology, 334 420-428, 2018.
- [3] Ulutan M., Kiliçay K., Çelik O.N., Er Ü. Microstructure and wear behaviour of plasma transferred arc (PTA)-deposited FeCrC composite coatings on AISI 5115 steel, Journal of Materials Processing Technology, 236 26-34, 2016.
- [4] Gou J., Wang Y., Sun J., Li X. Bending strength and wear behavior of Fe-Cr-C-B hardfacing alloys with and without rare earth oxide nanoparticles, Surface Coatings Technology, 311 113-126, 2017.
- [5] Arsić D., Lazić V., Mitrović S., Džunić D., Aleksandrović S., Djordjević M., Nedeljković B. Tribological behavior of four types of filler metals for hard facing under dry conditions, Industrial Lubrication and Tribology, 68:6 729-736, 2016.
- [6] www.weartech.net/wp-content/Selection Guide to Lincoln Hardfacing Materials and Procedures, The Lincoln Electric Company, Saint Clair Avenue Cleveland, U.S.A. 2017.
- [7] Coronado J.J., Caicedo H.F., Gómez A.L. The effects of welding processes on abrasive wear resistance for hardfacing deposits. Tribology International, 42:5 745-749, 2009.
- [8] Wang J., Liu T., Zhou Y., Xing X., Liu S., Yang Y., Yang Q., Effect of nitrogen alloying on the microstructure and abrasive impact wear resistance of Fe-Cr-C-Ti-Nb hardfacing alloy, Surface and Coatings Technology. 309 1072-1080, 2017.
- [9] Hou Q.Y., He Y.Z., Zhang Q.A., Gao J.S. Influence of molybdenum on the microstructure and wear resistance of nickel-based alloy coating obtained by plasma transferred arc process, Materials Design, 28:6 1982-1987, 2007.
- [10] Buchely M.F., Gutierrez J.C., León L.M., Toro A. The effect of microstructure on abrasive wear of hardfacing alloys, Wear, 259 52-61, 2005.
- [11] Raynor G.V., Vivian G.R. Phase Equilibria in Iron Ternary Alloys--a Critical Assessment of the Experimental Literature, The Institute of Metals, 1 Carlton House Terrace, London SW 1 Y 5 DB, UK, 1988.
- [12] Hsuan-Han L., Chih-Chun H., Chi-Ming L., Weite W. Characteristics of Eutectic  $\alpha(Cr,Fe)-(Cr,Fe)23C_6$  in the Eutectic Fe-Cr-C Hardfacing Alloy, Metallurgical and Materials Transactions A. 48:1 493-500, 2017.

## Restricted Optimal Control Problem for Stochastic Switching Linear Systems with Variable Delay

Çerkez AĞAYEVA<sup>1</sup>, Melis Alpaslan TEKİN<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Muş Alparslan Üniversitesi, İİBF, İktisat Bölümü, Muş, Türkiye

<sup>2</sup>Eskişehir Teknik Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye

✉:cherkez.agayeva@gmail.com

Received (Geliş): 05.10.2018

Revision (Düzenleme):04.11.2018

Accepted (Kabul): 25.11.2018

### ABSTRACT

An optimal control problem for stochastic switching systems with variable time delay on state and restriction at end point is investigated. Stochastic linear quadratic regulator (SLQR) problem for system governed by a set of stochastic linear differential equations with variable delay is examined. Necessary and sufficient condition of optimality by means of maximum principle and the transversality conditions at switching points are obtained. A design method of stochastic feedback control is proposed.

**Keywords:** Delayed Differential Equation, Restricted Optimization Problem, Stochastic Riccati Equations, Variable Delay

## Değişken Gecikmeli Stokastik Doğrusal Geçiş Sistemleri İçin Kısıtlı Optimal Kontrol Problemi

### ÖZ

Zamana göre değişken gecikmeli ve uç nokta kısıtlı stokastik geçiş sistemi için optimal kontrol problemi araştırılmıştır. Gecikmeli stokastik doğrusal diferansiyel denklemler dizisiyle ifade olunan sistem için doğrusal kuadratik regülatör (SDKR) problemi ele alınmıştır. Maksimum prensibine dayanarak optimallık için gerek ve yeter koşul, geçiş noktalarında karşılık koşulları elde edilmiştir. Optimal kontrol için geriye dönüş tasarım yöntemi önerilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Değişken Gecikme, Gecikmeli Diferansiyel Denklemler, Kısıtlı Optimizasyon Problemi, Stokastik Riccati Denklemleri

### INTRODUCTION

Systems with randomness have provided an interest for investigation of problems of physics, economics, finance and etc. [1,2]. Delayed differential equations are adequate models of processes that behavior depends not only on their present, but also on their previous states [3, 4]. Stochastic optimization problems for delayed differential equation are the study of dynamical systems subject to random perturbations and time lag. The research on control theory has developed considerably over last few years, inspired in particular by stochastic optimization problems emerging from life and nonlife insurance, mathematical finance, self-oscillating systems. [5-9].

The stochastic linear quadratic optimal control problem which deals with minimizing a performance index of a system governed by a set of stochastic differential equations is the most studied control problem.

The optimal control problem for linear systems was solved by Kalman [10]. Although the linear quadratic regulator (LQR) is one of the most studied control problem in the literature, there exist a lot of invariant and non invariant linear systems with still open optimal

control problems. There has been a rich theory on LQ control, deterministic and stochastic alike (see [11-15]). One of the elegant features of the LQ theory is the opportunity to give an explicit description for optimal control in a linear state feedback form in terms of Riccati equation. Riccati equations, associated with deterministic LQ problem or stochastic LQ problem with deterministic coefficients are deterministic backward ordinary differential equations [16, 17].

Bismut performed a detailed analysis for stochastic LQ control problem with random coefficients [18].

Switching systems that a peculiar class of non-invariant systems have a benefit to model the processes with continuous dynamic [19-25].

This article is concerned with optimal control problem of restricted stochastic linear switching systems with variable delay.

Next section formulates the notations, main problem and assumptions. Then, the necessary and sufficient condition of optimality for stochastic linear switching systems is proved. Finally, stochastic Riccati equations for description of optimal control problem are obtained.

**NOTATIONS and PROBLEM FORMULATION**

In this section we fix notation and definition used throughout this paper. Let  $N$  be some positive constant,  $R^n$  denotes the  $n$  - dimensional real vector space,  $|\cdot|$  denotes the Euclidean norm and  $\langle \cdot, \cdot \rangle$  denotes scalar product in  $R^n$ .  $E$  represents expectation; ' (the prime) denotes derivative; \* is the matrix transposition operation; by a.c. we denote almost certainly.

Let  $w^1(t), w^2(t), \dots, w^s(t)$  are independent Wiener processes that generate the filtrations  $F_t^l = \sigma(w^l(t), t_{l-1} \leq t \leq t_l)$ ,  $l = 1, \dots, s$ ;  $(\Omega, F^l, P)$  be a probability spaces with corresponding filtrations  $\{F_t^l, t \in [t_{l-1}, t_l]\}$ . By  $L_{F^l}^2(a, b; R^n)$  we denote the space of all predictable processes  $x(t, \omega) \equiv x(t)$  such that:  $E \int_a^b |x(t, \omega)|^2 dt < +\infty$ .  $R^{m \times n}$  is the space of all linear transformations from  $R^m$  to  $R^n$ . Let  $O_l \subset R^{n_l}, Q_l \subset R^{m_l}$  be open sets;  $T = [0, T]$  be a finite interval and  $0 = t_0 < t_1 < \dots < t_s = T$ . Unless specified otherwise we use the following notation:  $t = (t_0, t_1, \dots, t_s)$ ,  $u = (u^1, u^2, \dots, u^s)$ ,  $x = (x^1, x^2, \dots, x^s)$ .

Assume that,  $A^l, B^l, C^l, M^l, N^l, \Phi^l, K^l$  are deterministic and  $n_l \times n_l, n_l \times n_l, n_l \times m_l, m_l \times m_l, n_l \times n_l, n_l \times 1$  dimensional scalar matrices, respectively.  $G, N^l, l = 1, \dots, s$  are a positively semi-defined matrices;  $N^1, \dots, N^s$  are a positively defined matrices. Consider following linear controlled system with variable delay:

$$dx^l(t) = [A^l x^l(t) + B^l x^l(t-h(t)) + C^l u^l(t)] dt + [D^l x^l(t) + L^l u^l(t)] dw^l(t), t \in (t_{l-1}, t_l), l = 1, \dots, s; \quad (1)$$

$$x^{l+1}(t) = \Phi^l x^l(t) + K^l, t \in [t_l - h(t_l), t_l], l = 1, \dots, s-1; \quad (2)$$

$$x^1(t) = K^0, t \in [t_0 - h(t_0), t_0]; \quad (3)$$

$$u^l(t) \in U_\phi^l \equiv \{u^l(t, \cdot) \in U^l \subset R^{m_l}\}, \quad (4)$$

where  $U^l, l = 1, \dots, s$  are non-empty bounded sets. The elements of  $U_\phi^l$  are called the admissible controls. Here  $h(t) > 0, t \in [t_0, t_s]$  is continuously differentiable deterministic function, such that  $\frac{dh(t)}{dt} < 1$ .

The problem is concluded to find an optimal solution  $(x, u) = (x^1, x^2, \dots, x^s, u^1, u^2, \dots, u^s)$  and a switching sequence  $t = (t_1, t_2, \dots, t_s)$  which minimize the cost functional:

$$J(u) = E \langle Gx^s(t_s), x^s(t_s) \rangle + E \sum_{l=1}^s \int_{t_{l-1}}^{t_l} (\langle M^l x^l(t), x^l(t) \rangle + \langle N^l u^l(t), u^l(t) \rangle) dt \quad (5)$$

on the decisions of the system (1)-(3) among the set of admissible controls (4) at condition:

$$E \langle q^s(t_s), x^s(t_s) \rangle \in D \quad (6)$$

$D$  is a closed convex set in  $R^{m_s}$ .

In sequel, some notations and definitions are given to facilitate the reading of paper.

Let  $U = U^1 \times U^2 \times \dots \times U^s$ , and consider the sets:  $A_l = T^{i+1} \times \prod_{j=1}^i O_j \times \prod_{j=1}^i O_j \times \prod_{j=1}^i U^j$  with the elements  $\pi^i = (t_0, \dots, t_i, x_i^1, \dots, x_i^i, u^1, \dots, u^i)$ .

**Definition 1.** The set of functions  $\{x^l(t) = x^l(t, \pi^l), t \in [t_{l-1} - h(t_{l-1}), t_l], l = 1, \dots, s\}$  is said to be a solution of the linear stochastic differential equation (1) corresponding to an element  $\pi^s \in A_s$ , if the function  $x^l(t) \in O_l$  on the interval  $[t_l - h(t_l), t_l]$  satisfies conditions (2),(3), it is absolutely continuous a.c. and satisfies the equation (1) almost everywhere while on the interval  $[t_{l-1}, t_l]$ .

**Definition 2.** The element  $\pi^s \in A_s$  is said to be admissible if the pairs  $(x^l(t), u^l(t)), t \in [t_{l-1} - h(t_{l-1}), t_l], l = 1, \dots, s$  are the solutions of switching system (1)-(4) and satisfies the condition (6).

$A_s^0$  be the set of admissible elements.

**Definition 3.** The element  $\tilde{\pi}^s \in A_s^0$ , is said to be an optimal solution of problem (1)-(6) if there exist admissible controls  $\tilde{u}^l, l = 1, \dots, s$  and corresponding solutions  $\tilde{x}^l, l = 1, \dots, s$  of system (1)-(4) with constraint (6), such that pairs  $(\tilde{x}^l, \tilde{u}^l)$  minimize the functional (5).

**CONDITION OF OPTIMALITY**

Next necessary and sufficient condition of optimality and explicit description of optimal control for SLQR problem (1)-(5) without restriction is obtained.

**Theorem 1.** Let there exist random processes  $(\psi^l(t), \beta^l(t)) \in L_{F^l}^2(t_{l-1}, t_l; R^{n_l}) \times L_{F^l}^2(t_{l-1}, t_l; R^{n_l \times m_l})$  that are the solutions of the following adjoint equations:

$$\left\{ \begin{aligned} d\psi^l(t) &= -\left[ A^l \psi^l(t) + D^l \beta^l(t) + B^l \psi^l(r(t)) r'(t) - \right. \\ &\quad \left. M^l x^l(t) \right] dt + \beta^l(t) dw^l(t), t \in [t_{l-1}, t_l - h(t_l)], \\ d\psi^l(t) &= -\left[ A_l^l \psi^l(t) + D_l^l \beta^l(t) + B^{l+1} \psi^{l+1}(r(t)) \Phi^l r'(t) \right. \\ &\quad \left. - M^l x^l(t) \right] dt + \beta^l(t) dw^l(t), t \in [t_l - h(t_l), t_l], \\ \psi^l(t_l) &= \Phi^{l*} \psi^{l+1}(t_l), l = 1, \dots, s-1, \\ \psi^s(t_s) &= -G^s x^s(t_s); \end{aligned} \right. \quad (7)$$

here  $\tau = r(\tau)$  is a solution of the equation  $\tau = t - h(t)$ .

The element  $\pi^s = (t_0, \dots, t_s, x_t^1, \dots, x_t^s, u^1, \dots, u^s)$  is an optimal solution of problem (1)-(5) only and only if:

a) the candidate of optimal controls  $u^l(t)$  at  $t \in [t_{l-1}, t_l]$  for each  $l = 1, \dots, s$  are defined by

$$N^* u^l(t) = C^{l*} \psi^l(t) + L^* \beta^l(t); \quad (8)$$

b) for  $l = 1, \dots, s-1$  the following transversality conditions hold:

$$\begin{aligned} a_{l+1} \psi^l(t_l) \left[ A^l x^l(t_l) + B^l x^l(t_l - h(t_l)) + C^l u^l(t_l) \right] - \\ b_{l+1} \psi^{l+1}(t_l) \left[ A^{l+1} x^{l+1}(r(t_l)) + B^{l+1} x^{l+1}(t_l) \right. \\ \left. + C^{l+1} u^{l+1}(r(t_l)) r'(t_l) \right] = 0 \end{aligned} \quad (9)$$

where  $a_1 = 0, a_l = \dots a_s = b_1 = \dots b_{s-1} = 1, b_s = 0$ .

To prove this theorem we adopt the similar method as in [23] and [25].

In the constrained case, we follow the approach proposed by Ekeland [26].

This approach consists in converting the given problem into the sequence of unconstrained problems.

**Theorem 2.** Let there exist random processes  $(\psi^l(t), \beta^l(t)) \in L_{F^l}^2(t_{l-1}, t_l; R^n) \times L_{F^l}^2(t_{l-1}, t_l; R^{n \times m_l})$  and a vector  $\lambda = (\lambda_0^s, \lambda_1^s) \neq 0, \lambda_0^s \leq 0$  that are the solutions of the following adjoint equations:

$$\left\{ \begin{aligned} d\psi^l(t) &= -\left[ A^l \psi^l(t) + D^l \beta^l(t) + B^l \psi^l(r(t)) r'(t) - \right. \\ &\quad \left. M^l x^l(t) \right] dt + \beta^l(t) dw^l(t), t \in [t_{l-1}, t_l - h(t_l)], \\ d\psi^l(t) &= -\left[ A_l^l \psi^l(t) + D_l^l \beta^l(t) + B^{l+1} \psi^{l+1}(r(t)) \Phi^l r'(t) \right. \\ &\quad \left. - M^l x^l(t) \right] dt + \beta^l(t) dw^l(t), t \in [t_l - h(t_l), t_l], \\ \psi^l(t_l) &= \Phi^{l*} \psi^{l+1}(t_l), l = 1, \dots, s-1, \\ \psi^s(t_s) &= -\lambda_0^s q^s(t_s) - \lambda_1^s G^s x^s(t_s); \end{aligned} \right. \quad (10)$$

The element  $\pi^s = (t_0, \dots, t_s, x_t^1, \dots, x_t^s, S^1, \dots, S^s, u^1, \dots, u^s)$  is an optimal solution of problem (1)-(6) only and only if:

a) the candidate optimal controls  $u^l(t)$  are defined by (8);

b) for  $l = 1, \dots, s-1$  the transversality conditions (9) are hold.

c) following transversality condition at point  $t_s$  is satisfied:

$$q_t^s(t_s) + \psi^s(t_s) \left[ A^s x^s(t_s) + B^s x^s(t_s - h(t_s)) + C^s u^s(t_s) \right] = 0; \quad (11)$$

Here  $q_t^s(t_s)$  represents the derivative of function  $q^s(t)$  at point  $t_s$ .

**Proof.** For any natural  $j$  let's introduce the approximating functional:

$$I_j(\mathbf{u}) = \min_{(c,y) \in \mathcal{E}} \sqrt{|c-1/j-ES(x,u,t)|^2 + |y-E\langle q^s(t_s), x^s(t_s) \rangle|^2}$$

here  $\mathcal{E} = \{c : c \leq J^0, y \in D\}$ ,

$$S = \langle Gx^s(t_s), x^s(t_s) \rangle + \sum_{l=1}^{s-1} \int_{t_{l-1}}^{t_l} (\langle M^l x^l(t), x^l(t) \rangle + \langle N^l u^l(t), u^l(t) \rangle) dt$$

and  $J^0$  is minimal value of the functional in the problem (1)-(5). Let  $\mathbf{V} \equiv (V^1, \dots, V^r)$ , here  $V^k \equiv (U^k, d)$  be space of controls obtained by means of the following metric:

$$d(\mathbf{u}, \mathbf{v}) = (I \otimes P) \{ (t, \omega) \in [t_0, t_s] \times \Omega : \mathbf{v}(t) \neq \mathbf{u}(t) \}.$$

According to Ekeland's variational principle, there are controls such as;  $\mathbf{u}^j(t) : d(\mathbf{u}^j(t), \mathbf{u}(t)) \leq \sqrt{\varepsilon_j}$  and for  $\forall \mathbf{u} \in \mathbf{V}$  the following is achieved:

$$I_j(\mathbf{u}^j) \leq I_j(\mathbf{u}) + \frac{1}{j} d(\mathbf{u}^j, \mathbf{u}).$$

Consequently,  $(t_0, t_1, \dots, t_s, x_t^{1,j}, \dots, x_t^{s,j}, u_t^{1,j}, \dots, u_t^{s,j})$  is a solution of the next unconstrained control problem:

$$\left\{ \begin{aligned} J_j(\mathbf{u}) &= I_j(\mathbf{u}^j) + E \sqrt{\varepsilon_j} \int_{t_0}^{t_s} \delta(\mathbf{u}, \mathbf{u}^j) dt \rightarrow \min \\ dx_t^{l,j} &= \left[ A^l x^{l,j}(t) + B^l x^{l,j}(t - h(t)) + C^l u^{l,j}(t) \right] dt + \\ &\quad \left[ D^l x^{l,j}(t) + L^l u^{l,j}(t) \right] dw^l(t), t \in (t_{l-1}, t_l], \\ x_t^{l+1,j} &= \Phi^l x^{l,j}(t) + K^l, t \in [t_l - h(t_l), t_l], l = 1, \dots, s-1, \\ x_t^{1,j} &= K^0, t \in [t_0 - h(t_0), t_0], u_t^l \in U_\delta^l \end{aligned} \right.$$

Function  $\delta(\mathbf{u}, \mathbf{v})$  is the characteristic of  $\mathbf{V}$ .

Introduce the random processes  $(\psi^{l,j}(t), \beta^{l,j}(t))$  and non-zero vectors  $(\lambda_0^{s,j}, \lambda_1^{s,j})$  that are the solutions of the system:

$$\left\{ \begin{aligned} d\psi^{l,j}(t) &= -\left[ A^l \psi^{l,j}(t) + D^l \beta^{l,j}(t) + B^l \psi^{l+1,j}(r(t))r'(t) - M^l x^{l,j}(t) \right] dt \\ &\quad + \beta^{l,j}(t)dw^l(t), \quad t \in [t_{l-1}, t_l - h(t_l)], \quad l=1, \dots, s, \\ d\psi^{l,j}(t) &= -\left[ A^l \psi^{l,j}(t) + D^l \beta^{l,j}(t) + B^{l+1} \psi^{l+1,j}(r(t))r'(t) \Phi^l - M^l x^{l,j}(t) \right] dt \\ &\quad + \beta^{l,j}(t)dw^l(t), \quad t \in [t_l - h(t_l), t_l], \quad l=1, \dots, s, \\ \psi^{l,j}(t_l) &= \Phi^{l*} \psi^{l+1,j}(t_l), \quad l=1, \dots, s-1, \\ \psi^{s,j}(t_s) &= -\lambda_0^{s,j} q^s(t_s) - \lambda_1^{s,j} G^s x^{s,j}(t_s); \end{aligned} \right. \quad (11)$$

Here  $(\lambda_0^{s,j}, \lambda_1^{s,j})$  is defined as:

$$(\lambda_0^{s,j}, \lambda_1^{s,j}) = \frac{(-y + E q^s x^{s,j}(t_s), -c + \varepsilon_j + ES(x, u, t))}{J_j^0} \quad (12)$$

where

$$J_j^0 = \sqrt{\left| c - 1/j - ES(x^j, u^j, t) \right|^2 + \left| y - E \langle q^s(t_s), x^{s,j}(t_s) \rangle \right|^2}$$

Based to the Theorem 1 there follow that  $u^{l,j}(t)$  is optimal control only and only if :

$$N^{l*} u^{l,j}(t) = C^{l*} \psi^{l,j}(t) + L^{l*} \beta^{l,j}(t), t \in [t_{l-1}, t_l], l=1, \dots, s. \quad (13)$$

According to (9), the following transversality conditions hold for  $l=1, \dots, s-1$ :

$$\left\{ \begin{aligned} a_l \psi^{l,j}(t_l) &= \left[ A^l x^{l,j}(t_l) + B^l x^{l+1,j}(t_l - h(t_l)) + C^l u^{l,j}(t_l) \right] = \\ b_l \psi^{l+1,j}(t_l) &= \left[ A^{l+1} x^{l+1,j}(t_l) + B^{l+1} x^{l+1,j}(t_l - h(t_l)) + C^{l+1} u^{l+1,j}(t_l) \right] \\ q_l^s(t_l) &= -\psi^{s,j}(t_s) \left[ A^s x^{s,j}(t_s) + B^s x^{s,j}(t_s - h(t_s)) + C^s u^{s,j}(t_s) \right] \end{aligned} \right. \quad (14)$$

Clearly, by (12) we obtain that  $|\lambda_0^{s,j}|^2 + |\lambda_1^{s,j}|^2 = 1$ ,

so there exists subsequence of  $(\lambda_0^s, \lambda_1^s)$  such that

$$(\lambda_0^{s,j}, \lambda_1^{s,j}) \rightarrow (\lambda_0^s, \lambda_1^s) \text{ if } j \rightarrow \infty.$$

Since  $I_j(\mathbf{u})$  is a convex function that differentiable at points  $(ES^j(x, u, t), E \langle q^s(t_s), x^{s,j}(t_s) \rangle)$ , we get

$\lambda_1^s \leq 0$  and  $\lambda_0^s$  is a normal to the set D at point

$$E \langle q^s(t_s), x^s(t_s) \rangle.$$

Furthermore, from

$$\left\{ \begin{aligned} \psi^{l,j}(t_l) &= \Phi^{l*} \psi^{l+1,j}(t_l), \quad l=1, \dots, s-1, \\ \psi^{s,j}(t_s) &= -\lambda_0^{s,j} q^s(t_s) - \lambda_1^{s,j} G^s x^{s,j}(t_s) \end{aligned} \right.$$

it follow that

$$\left\{ \begin{aligned} \psi^l(t_l) &= \Phi^{l*} \psi^{l+1}(t_l), \quad l=1, \dots, s-1, \\ \psi^s(t_s) &= -\lambda_0^s q^s(t_s) - \lambda_1^s G^s x^s(t_s). \end{aligned} \right.$$

Hence, the weak limits of the sequences  $\psi_t^{l,j}, \beta_t^{l,j}$  to  $\psi_t^l, \beta_t^l$  are provided. Finally, the affirmations of a), b) and (12) imply from the (13), (14) by taking the limits.

### DELAYED RICCATI EQUATIONS

In the theory it is natural to connect the LQ problem with Riccati equation for the possible feedback design. To establish this fact we use the following linear relation:

$$\psi^l(t) = -p^l(t) x^l(t), \quad l=1, \dots, s, \text{ a.c.} \quad (15)$$

According to formula Ito it is obtained:

$$\begin{aligned} -d\psi^l(t) &= dp^l(t) x^l(t) + p^l(t) dx^l(t) + \gamma^l(t) D^l x^l(t) + \\ &\quad \gamma^l(t) L^l x^l(t) dt = dp^l(t) x^l(t) + \\ &\quad p^l \left[ A^l x^l(t) + B^l x^l(t-h(t)) + C^l(t) u^l(t) \right] dt + \\ &\quad \gamma^l(t) \left[ L^l u^l(t) + D^l x^l(t) \right] dt + p^l(t) \left[ D^l x^l(t) + L^l u^l(t) \right] dw^l(t). \end{aligned} \quad (16)$$

Using (15) in the (16) for each  $l=1, \dots, s$  we have:

$$\begin{aligned} &\int_{t_{l-1}}^{t_l-h(t_l)} \left[ A^l \psi^l(t) + D^l \beta^l(t) + B^l \psi^l(r(t))r'(t) - M^l x^l(t) \right] \chi_l dt + \\ &\int_{t_l-h(t_l)}^{t_l} \left[ A^l \psi^l(t) + D^l \beta^l(t) + B^{l+1} \psi^{l+1}(r(t))r'(t) \Phi^l - M^l x^l(t) \right] \\ &\quad (1 - \chi_l) dt - \int_{t_{l-1}}^{t_l} \beta^l(t) dw^l(t) = \\ &\int_{t_{l-1}}^{t_l} \left[ p^l(t) x^l(t) + p^l(t) A^l x^l(t) + p^l(t) B^l x^l(t-h(t)) + \right. \\ &\quad \left. p^l(t) C^l u^l(t) + \gamma^l(t) L^l u^l(t) + \gamma^l(t) D^l x^l(t) \right] dt \\ &\quad + \int_{t_{l-1}}^{t_l} \left[ \gamma^l(t) x^l(t) + p^l(t) D^l x^l(t) + p^l(t) L^l u^l(t) \right] dw^l(t), \end{aligned} \quad (17)$$

here  $\chi_l$  is characteristic function of interval

$[t_{l-1}, t_l - h(t_l)]$  and random processes  $\beta^l(t)$  we are

having next form at  $t \in [t_{l-1}, t_l]$  for each  $l$ :

$$\beta^l(t) = -\left[ \gamma^l(t) x^l(t) + p^l(t) D^l x^l(t) + p^l(t) L^l u^l(t) \right] \quad (18)$$

By means of simple transformations taking into account (18) the expression (17) can be rewritten as

$$\begin{aligned} &-\left[ p^l(t) + p^l(t) A^l + A^{l*} p^l(t) + B^{l*} p^l(t) + D^{l*} \gamma^l(t) + M^{l*} \right] x^l(t) = \\ &\left[ D^{l*} \beta^l(t) + p^l(t) C^l u^l(t) + \gamma^l(t) L^l u^l(t) + p^l(t) B^l x^l(t-h(t)) \right]. \end{aligned}$$

Finally, we obtain the stochastic analogue of the Riccati

equations that determine the pairs  $(p^l(t), \gamma^l(t))$ :

$$dp^l(t) = -\left[ p^l(t)A^l + A^l p^l(t) + \gamma^l(t)D^l + D^l \gamma^l(t) + D_i^l p^l(t)D^l + M^l - \Gamma^l(t)(N_i + L^l p^l(t)L^l)^{-1} \Gamma^{ls}(t) + p^l(r(t))r^l(t)B^l + B^l p^l(r(t))r^l(t) - \Gamma^l(r(t))(N^l + L^l p^l(r(t))L^l)^{-1} \Gamma^{rs}(r(t))r^l(t) \right] dt + \gamma^l(t)dw^l(t), \quad t \in [t_{l-1}, t_l - h(t_l)];$$

$$dp^l(t) = -\left[ p^l(t)A^l + A^l p^l(t) + \gamma^l(t)D^l + D^l \gamma^l(t) + D_i^l p^l(t)D^l + M^l - \Gamma^l(t)(N_i + L^l p^l(t)L^l)^{-1} \Gamma^{ls}(t) \right] dt + \gamma^l(t)dw^l(t), \quad t \in [t_l - h(t_l), t_l];$$

here  $\Gamma^l(t) = (p^l(t)C^l + \gamma^l(t)L^l + D^l p^l(t)L^l)$ .

At the end, considering (15) and (18) in expression (8), the optimal control in the intervals  $t \in [t_{l-1}, t_l]$  can be explicitly defined as:

$$(N^l + L^l p^l(t)L^l)u^l(t) = -\Gamma^{ls}(t)x^l(t),$$

$$dp^l(t) = -\left[ p^l(t)A^l + A^l p^l(t) + \gamma^l(t)D^l + D^l \gamma^l(t) + D_i^l p^l(t)D^l - M^l - \Gamma^l(t)(N_i + L^l p^l(t)L^l)^{-1} \Gamma^{ls}(t) \right] dt + \gamma^l(t)dw^l(t)$$

in  $[t_l - h(t_l), t_l]$ .

## CONCLUSIONS

As it is well known LQR and SQLR problems widely used to investigate the optimization questions arising for linear models. Also these problems have had a profound impact on decision of non-linear control problems encountered in economics, engineering, chemical, financial and other applications by approximating original ones to corresponding LQR problems.

This study deals with delayed SQLR problems under restrictions. An explicit solution to the SLQR problem for stochastic switching systems with variable time delay on state is obtained. Finally, SLQR controller is constructed by the solution of stochastic delayed Riccati differential equation. The condition of optimality developed in this manuscript can be viewed as stochastic analogues of results [9, 10, 20]. The SLQR problem considered in this manuscript is a natural improving of the problem given in [25].

## ORCID

Çerkez Ağayeva  orcid.org/0000-0003-0507-9785

Melis Alpaslan  orcid.org/0000-0002-1458-8162

## REFERENCES

- [1] Gikhman I., Skorokhod A. Stochastic Differential Equations. Germany, Berlin: Springer, 1972.
- [2] Mao X. Stochastic Differential Equations and Their Applications. Chichester: Horwood Publication House, 1997.

- [3] Chojnowska-Michalik A. Representation theorem for general stochastic delay equations. Bull. Acad. Polon. Sci. Ser. Sci. Math. Astronom. Phys. 7 635-642, 1978 .
- [4] Kolmanovsky V., Myshkis A. Applied Theory of Functional Differential Equations. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1997.
- [5] Agayeva C., Allahverdiyeva J. On one stochastic optimal control problem with variable delays, Theory of stochastic processes, Kiev, 13 3-11, 2007.
- [6] Chernousko F., Ananievski I., Reshmin S. Control of Nonlinear Dynamical Systems: Methods and Applications (Communication and Control Engineering). Germany, Berlin: Springer, 2008.
- [7] Elsanosi I., Øksendal B., Sulem A. Some solvable stochastic control problems with delay. Stoch. Stoch. Rep. 1-2: 69-89, 2000.
- [8] Fleming W., Rishel R. Deterministic and Stochastic Optimal Control. New York, Springer, 1975.
- [9] Larssen B. Dynamic programming in stochastic control of systems with delay. Stoch. Stoch. Rep. 3-4 651-673, 2002 .
- [10] Kalman R. Contributions to the theory of optimal control, Bol. Soc. Math. Mexicana, 5:102-119, 1960.
- [11] Delfour M.C .The linear quadratic optimal control problem with delays in state and control variables: a state space approach. SIAM J Control Optim 24 835-883, 1986.
- [12] Ichikawa A. Quadratic control of evolution equations with delays in control. SIAM J Control Optim 20 645-668, 1982.
- [13] Bensoussan A., Delfour M., Mitter S. The linear quadratic optimal control problem for infinite dimensional systems over an infinite horizon; survey and examples. In: IEEE Conference on Decision and Control; December 1976; Clearwater, Fla, USA: p.746-751, 1976.
- [14] Hoek J., Elliott R. American option prices in a Markov chain model, Applied Stochastic Models in Business and Industry, 28 35-39, 2012.
- [15] Kohlmann M., Zhou X. Relationship between backward stochastic differential equations and stochastic controls: A linear-quadratic approach, SIAM, Journal on Control and Optimization, 38 1392-1407, 2000.
- [16] Wonham W. On a matrix Riccati equation of stochastic control, SIAM, Journal on Control and Optimization, 6 312-326, 1968.
- [17] Bellman R. Functional equations in the theory of dynamic programming, positivity and quasilinearity. Proceeding of National Academy of Science, USA, 41 743-746, 1955.
- [18] Bismut J.M. Linear quadratic optimal stochastic control with random coefficients, SIAM, Journal on Control and Optimization, 14 419-444, 1976.
- [19] Boukas E.K. Stochastic Switching Systems. Analysis and Design. Boston, USA: Birkhauer, 2006.
- [20] Kharatishvili G., Tadumadze T. The problem of optimal control for nonlinear systems with variable structure, delays and piecewise continuous prehistory. Memoirs on Differential Equations and Mathematical Physics, 11 67-88, 1997.
- [21] Shen H., Xu Sh., Song X., Luo J. Delay-dependent robust stabilization for uncertain stochastic switching system with distributed delays. Asian Journal of Control, 5 527-535, 2009.
- [22] Aghayeva Ch., Abushov Q. The maximum principle for the nonlinear stochastic optimal control problem of switching systems. Journal of Global Optimization, 56 341-352, 2013.
- [23] Aghayeva Ch. Necessary Condition of Optimality for Stochastic switching Systems with Delay. In: International Conference on Mathematical Models and

- Methods in Applied Sciences; 23-25 September 2014; Saint Petersburg, Russia: MMAS'14. p. 54-58, 2014.
- [24] Abushov Q., Aghayeva Ch. Stochastic maximum principle for the nonlinear optimal control problem of switching systems, *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 259 371-376, 2014.
- [25] Agayeva Ch., Abushov Q. Linear-square stochastic optimal control problem with variable delay on control and state. *Transactions ANAS, math.- ph. series, informatics and control problems*, Baku, 3 204-208, 2005.
- [26] Ekeland I. On the variational principle. *Journal Mathematical Analysis and Applications* , 47 324-353, 1974.



## Betonarme Perde Çerçevesi Yapılardaki Kiriş Süreksizliğinin Etkin Göreli Kat Ötelemeleri ve İkinci Mertebe Etkileri Bakımından İrdelenmesi

Sedat SEVEN<sup>1</sup>, Ömer KELEŞOĞLU<sup>2</sup>

<sup>1</sup> İnşaat Bölümü, Teknik Bilimler MYO, Muş Alparslan Üniversitesi, Muş, Türkiye

<sup>2</sup> İnşaat Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

✉: sedatseven@alparslan.edu.tr

Geliş (Received): 07.11.2018

Düzenleme (Revision):19.11.2018

Kabul (Accepted): 20.11.2018

### ÖZ

Türkiye’de sıklıkla inşa edilen çıkmalı yapılardaki kirişlerin eksiltilmesi, kiriş süreksizliklerine sebep olmaktadır. Deprem etkisi altında yatay yüklerin taşınmasında aktif görev yapan kirişler, süreksiz olması durumunda yapı performansı üzerinde olumsuz sonuçlar doğurabilmektedir. Bu çalışmada perde-çerçeve taşıyıcı sisteme sahip 8, 10 ve 12 kattan oluşan yapı modelleri (düzenli, çıkmalı, çıkma ve cephe hareketli, düzensiz) olarak dört farklı durumda irdelenmiştir. Modellerdeki kiriş süreksizliği dikkate alınarak, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY-2007) doğrultusunda, mod Birleştirme Yöntemi ile STA4CAD paket programı kullanılarak analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar etkin göreli kat ötelemeleri ve ikinci mertebe etkileri bakımından karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonunda kiriş süreksizliğine sahip modellerin daha büyük değerlere ulaştığı ve sınır değerlere yaklaştığı görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Kiriş süreksizliği, yatay düzensizlikler, etkin göreli kat ötelemesi, ikinci mertebe etkileri

### The Investigation of Beam Discontinuities In Reinforced Concrete Structures With Shear-Wall Frame System in Terms of Effective Inter-Storey Drift and Second Order Effects

#### ABSTRACT

The reduction of beams in buildings with facade console, frequently built in Turkey, cause beam discontinuities. Active beams carrying of horizontal loads under the effect of earthquake may have negative consequences on the performance of the structure, if they have discontinuity. In this study 8, 10 and 12-story structures with the same story but different structural models (regular, console, console and mobile facade, and irregular) were analyzed using Mode Superposition Method in STA4CAD software from the standpoint of “Regulations for the Buildings in Earthquake Zones” (DBYBHY-2007) and of beam discontinuities. The results were compared according to effective inter-storey drift and second order effects. At the end of the study, it was observed that models with beam discontinuity reached higher values and approached the limit values.

**Keywords:** Beam discontinuities, horizontal irregularities, effective interstorey drifts, second order effects

#### GİRİŞ

Depremlerde meydana gelen can ve mal kayıpları, inşa edeceğimiz binaların depreme dayanıklı ve güvenli olması gerektiğini göstermektedir. Son yıllarda ülkemizin ekonomik gelişimine paralel olarak inşaat sektöründe ciddi büyümeler yaşanmıştır. Kentsel dönüşüm ile birlikte yapılaşmada da hızlı artış meydana gelmiştir. Bu durum geçmişte yönetmeliklere rağmen yapılan hataların tekrarlanma riskini de beraberinde getirmiştir. Gelişen teknolojiyle birlikte güncellenen yönetmelikler her ne kadar daha sağlıklı yapılar inşa etmemize olanak tanısa da bazı hususlarda daha detaylı inceleme gerektiren ve dikkat edilmesi gereken durumların olduğunu göstermektedir. Konutlaşmanın fazla olduğu, özellikle deprem riskinin yüksek olduğu kentler ve yakın bölgelerinde, depreme dayanıklı yapı tasarımında daha fazla titiz davranılması gerekmektedir. Depreme dayanıklı yapı tasarımında DBYBHY-2007’ye

göre genel görüş, hafif şiddetli depremlerde binaların yapısal ve yapısal olmayan sistem elemanlarında herhangi bir hasar meydana gelmemesi, orta şiddetli depremlerde ise oluşabilecek hasarların sınırlı ve onarılabilir düzeyde kalmasıdır. Şiddetli depremlerde ise can güvenliğinin sağlanması amacı ile kalıcı yapısal hasar oluşumunun sınırlandırılmasıdır [1].

Ülkemizde depreme dayanıklı yapı denildiğinde her ne kadar akla ilk gelen işçilik ve malzeme gibi faktörler olduğu düşünülse de deprem sonrası yapılan incelemelerden elde edilen verilere bakıldığında depreme dayanıklı yapı tasarımının mimari tasarım aşamasında başlaması gerektiğini göstermektedir. Mimari tasarımın yapının deprem etkileri altındaki sonuçlarına etkisini öncelikle yapının geometrisine ve kendi içerisinde ise düşey ve yataydaki sürekliliğine bağlayabiliriz. Mimari tasarımın basit olması ve kesintisiz taşıyıcı sistemlerin kullanılması, depreme

dayanıklı yapı tasarımında ilk koşul olarak gösterilebilir. Yüksek veya önemli yapılarda genellikle projelendirme safhası, projelerde disiplinler arası koordinasyonlar sağlanarak ve ilgili önlemler profesyonel ekipler tarafından alınarak oluşturulur. Fakat aynı durum, orta ve küçük ölçekli yapılar için her zaman söz konusu olmamaktadır. Mimari tasarım aşamasında yapılan hatalar veya eksik düzenlemeler, burulma başta olmak üzere deprem yükleri altındaki yapıların bazı taşıyıcı kısımlarının zayıflaması gibi durumlara sebep olmaktadır. Bununla birlikte mimari kaygılardan dolayı kaldırılan ya da aksı değiştirilen kirişler, taşıyıcı sistemin güvenli bir çözüme ulaşılmasını zorlaştırırken özellikle deprem riskinin fazla olduğu bölgelerde deprem etkileri altında, taşıyıcı sistem üzerinde ciddi problemlere sebep olabilmektedir. Birçok imar yönetmeliklerinde, belediyelerin özellikle cadde ve yol üzerinde yapılacak binalarda cephe çıkmalarına belirli bir miktarda izin vermesi, yatay yükleri taşımada aktif görev yapan kirişlerin süreksiz olmasına ve yatay taşıyıcı sistemde düzensizliklerin artmasına sebep olabilmektedir.

Kiriş süreksizliği ile ilgili olarak yapılan çalışmalara bakıldığında; “Çevre çerçeve kirişi süreksizliğinin yapı deprem davranışı üzerindeki etkileri” adlı çalışmada mimari çıkmalar nedeniyle oluşturulan çerçeve kirişi süreksizliğini incelemiştir. Çeşitli yönetmeliklere ait düzenlemeler ışığında çerçeve kirişi süreksizliği ele alınmış ve tasarım mühendisleri için faydalı olabilecek sonuçlara ulaşılmıştır [2]. “Çok katlı yapılarda yatay süreksizlikler” adlı çalışmada, eksik kirişli mimari çıkmaların genellikle ülkemize özgü bir uygulama olduğunu ve bu konuda yurtdışında yapılmış araştırma çalışmalarına rastlanmadığını dile getirilmiştir. Kiriş süreksizliği konusunda kısıtlı çalışmalar gözden geçirerek, özetlenmiş ve kiriş süreksizliği konusunda deprem yönetmeliğine madde(ler) eklenmesi gerektiği ve bu konuda daha kapsamlı çalışmalar yapılması gerektiği vurgulanmıştır [3]. “Betonarme yapılarda çerçeve süreksizliklerinin yapı davranışlarına etkisinin incelenmesi” adlı diğer bir çalışmada ise salt çerçeveli betonarme yapılar üzerinde inceleme yapılarak yapı modellerinde kolonlara gelen kesme, moment değerleri ve meydana gelen toplam yanal yer değişimlerini incelemiştir [4]. Uluslararası çalışmalara bakıldığında ise genellikle plan süreksizliğine ait düzensizliklerin ele alındığı görülmüştür [5-6].

### DBYBHY-2007’e göre Düzensizlikler

Deprem Bölgelerinde yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY-2007)’de düzensizliklerle ilgili durumlar iki grupta toplanmıştır. Bunlar; planda düzensizlik durumları olarak;

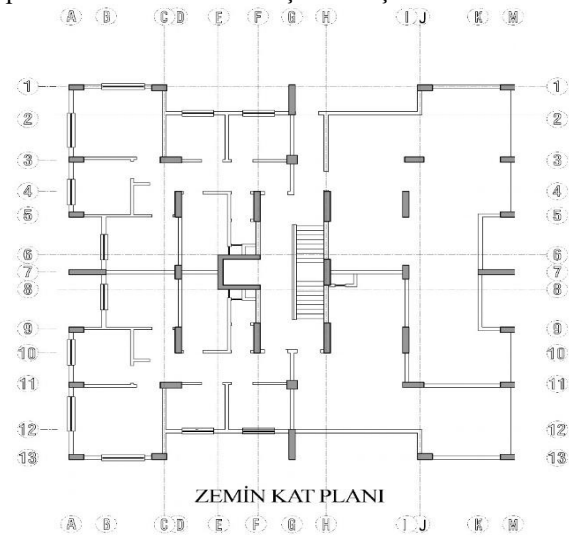
- Burulma Düzensizliği (A1)
- Döşeme Süreksizlikleri (A2)
- Planda çıkıntılarının bulunması (A3)

Düşey doğrultuda düzensizlik durumları olarak ise;

- Komşu katlar arası dayanım düzensizliği (B1)
- Komşu katlar arası rijitlik düzensizliği (B2)
- Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliği (B3) olarak verilmiştir [1].

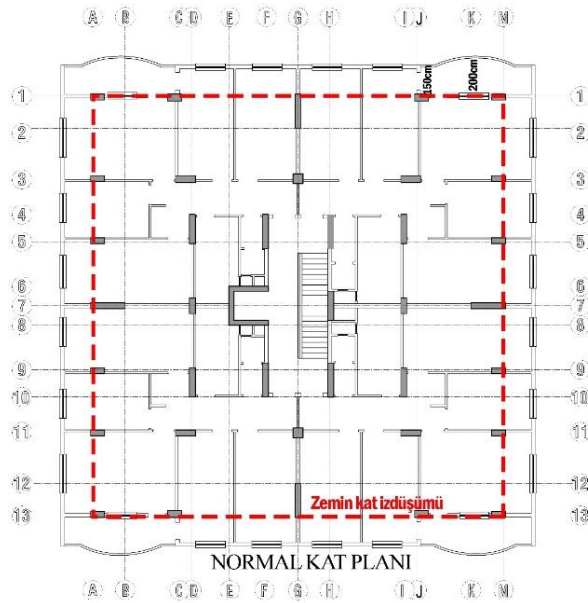
### Bu çalışmada irdelenen yatay düzensizlikler

Yatay taşıyıcıların üzerine gelen yükleri kısa yoldan mesnetlendikleri düşey taşıyıcılara aktarması gerekmektedir. Süreksizliğe sebep olan veya yükleri dolaylı olarak aktaran yatay taşıyıcı sistemler, özellikle deprem kuvvetleri altında yapıda istenmeyen sonuçlar doğurabilmektedir. Yataydaki süreksizliklerin sebeplerine bakıldığında; özellikle değerli parsellerin ve bina yoğunluğunun fazla olduğu yerleşimlerde, imar yönetmeliklerindeki taban alanlarına bağlı kısıtlamalar ve hesaplamalar, zemine yakın katların (bodrum ve zemin) üst katlara göre daha az bir yerleşim alanına sahip olmasına neden olmaktadır. Zemin üstü katlarda ise 150 cm’ye kadar izin verilen konsol çıkmalar daha geniş daire, ofis vb. alanlar sunduğu için ticari anlamda daha cazip görünmektedir. Bu sebeplerden dolayı çıkmalı yapılar, deprem açısından sorun teşkil etmesine rağmen ülkemizde yaygın olarak tercih edilmekte ve uygulanmaktadır. Bu çıkmalar denetimin çok daha az olduğu yerleşimlerde ya da denetimin olmadığı kırsal bölgelerde, izin verilen çıkma boylarını da büyük miktarlarda aşmakta ve yapıyı dayanım anlamında tehlikeli duruma sokabilmektedir. Bu tür çıkmalı yapılarda kolonlar, bina dış çizgisinden çok daha içerideki akslarda kalmakta ve kirişlerle konsol olarak çalıştırılmaktadır. İç akslarda kalan kolonların diğer paralel kolonlar ile bağlantısını sağlayacak kirişlerin mahal içinde estetik olarak güzel görünmemesinden dolayı bu tür yapılarda kirişler kaldırılmakta ve dış çerçevede bulunan kirişler dolaylı olarak yatay çerçeveyi tamamlamaktadır. Bu çalışmada irdelenecek yapı modelleri oluşturulurken aşağıda Şekil 1 ve Şekil 2’de kat planları verilen ve uygulamada yapılan bir bina planı referans alınarak oluşturulmuştur.



Şekil 1. Planda çıkmalı yapıya ait zemin kat planı

Şekil 1.'de planda çıkmalı yapıya ait zemin kat planı, Şekil 2'de aynı yapıya ait normal kat planı ve Şekil 3'de ise bu kat planlarına ait çıkmalardan dolayı oluşan kiriş süreksizliğini gösteren 3D görsel verilmiştir. Binaya ait mimariye bakıldığında zemin kat ve normal kat planlarında A-A, 1-1, 13-13, M-M akslardan dışarı doğru, 150cm'lik çıkma yapılarak 457m<sup>2</sup> kat alanına sahip zemin kat, büyütülerek normal katlarda 597m<sup>2</sup>'ye çıkarılmıştır.



Şekil 2. Planda çıkmalı yapıya ait normal kat planı



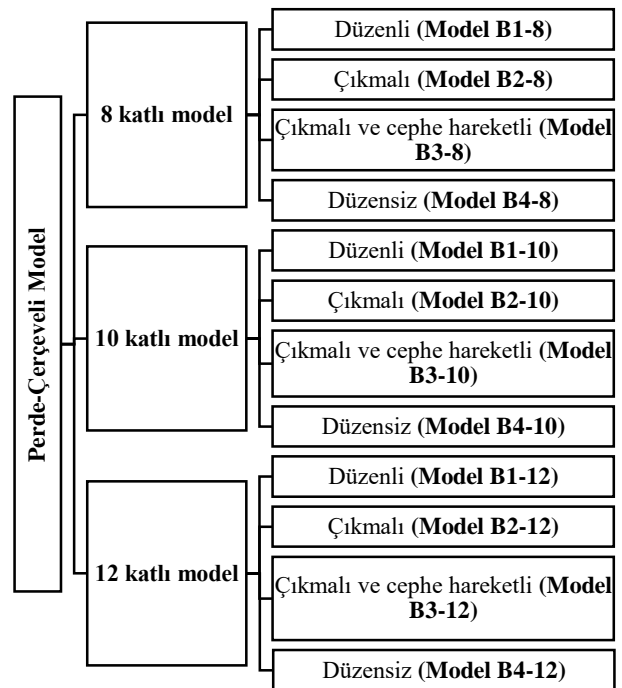
Şekil 3. Planda çıkmalı ve süreksiz kirişlere sahip yapıya ait 3D görsel

150cm'ye kadar çıkmaya sahip binalarda, gerekli analizler yapılarak bina kat durumuna göre perde-çerçevesel sistemlerle ve iyi denetim altında uygulama ile depreme dayanıklı olarak uygulanabilir. Fakat taşıyıcı sistem tasarımındaki deneyim, uygulama aşamasındaki denetim ve işçilik gibi faktörlerin standart bir kalitede olmamasından dolayı, özellikle salt çerçevesel ve herhangi bir perdeye sahip olmayan yapılarda ve deprem riski yüksek olan bölgelerde bu tarz düzensizliklerden dolayı yapıyı tehlikeli sınıfa sokabilmektedir.

Yukarıda tanımlanan durumlardan ötürü, kolonlar bina dış hatlarında bulunmamakta kolonların bulunduğu akslar üzerinde estetik kaygılardan dolayı yatay bağlantılar, dolaylı yollardan çerçeveyle bağlanmak suretiyle yatayda düzensizlikler oluşturulmakta ve basit anlaşılabilir bir statik tasarımdan uzaklaşmaktadır. İç aksta kirişlerin olmadığı ve dış çerçeve ile dolaylı bağlantı oluşturan yatay taşıyıcı sistemlerde, kirişlerin gerisinde kalan akslarda bulunan kolonların yatay rijitlikleri düşüktür ve bu bölgeye etki eden yatay yüklerin büyük bir bölümü kiriş bağlantısının olmadığı kolonlar tarafından taşınmaya zorlanır [7].

## MATERYAL ve YÖNTEM

Çalışmada özellikle konut projelerinde pratik oluşundan ötürü hesap mühendisleri tarafından yaygın olarak kullanılan statik hesap programlarından biri olan STA4-CAD tercih edilmiştir. Modeller, dinamik analiz (mod birleştirme) yöntemi, rijit diyafram kabulü ile DBYBHY-2007 yönetmeliği doğrultusunda ve Tablo 1'de verilen parametreler kullanılarak irdelenmiştir. Aynı düşey taşıyıcı sisteme ve kullanılan modellere ait hiyerarşi Şekil 4'de gösterilmiştir. B harfiyle kodlandırılan, perde-çerçevesel 8, 10, 12 katlı yapılar ve her kata ait 4 farklı model (düzenli, çıkmalı, çıkma ve cephe hareketli, düzensiz) olarak tanımlanan kat planları birbirleriyle karşılaştırılarak yatay düzensizliklerle ilgili farklılıklar etkin görece kat ötelemelerine ve ikinci merteye etkilerine göre karşılaştırılmıştır [8-14].



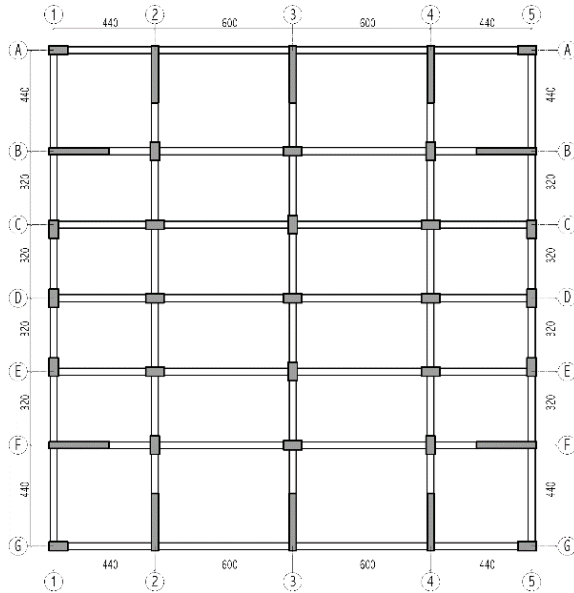
Şekil 4. Kullanılan yapı modeline ait hiyerarşi

**Tablo 1.** Yapı Parametreleri

Yapı Parametreleri	
Kat Sayısı	: 8, 10, 12 Kat
Bina Türü	: Konut
Taşıyıcı Sistem Türü	: Perde-Çerçeveseli
Bina Kat Yüksekliği ( $h$ )	: 3m
Deprem Bölgesi	: 1. Bölge
Deprem bölge katsayısı ( $A_0$ )	: 0.4
Deprem yapı davranış katsayısı ( $R$ )	: 7
Deprem yapı önem katsayısı	: 1
Yerel Zemin Sınıfı	: Z4
Spektrum karakteristik periyodu	: 0.2 / 0.9
Hareketli yük katsayısı ( $n$ )	: 0.3
Zemin yatak kat sayısı ( $t/m^3$ )	: 1500
Zemin emniyet gerilmesi ( $t/m^2$ )	: 15
Deprem yükü eksantirisitesi	: 0.05
Modal analiz min.yük oranı $n(\beta)$	: 0.9
Analiz Türü	: Dinamik
Kullanılan Beton ve Çelik Sınıfı	: C30 / S420

### Kullanılan Modeller

**Model B1-8, B1-10, B1-12** Bu gruptaki modeller. Herhangi bir çıkma ya da yatay düzensizliğe sahip olmayan ve kat alanı 449,28m<sup>2</sup> olan düzenli bir konut yapısı 8, 10 ve 12 katlı olarak seçilmiştir. Şekil 5'te kalıp planı ve Şekil 6'da ise örnek 3D görseli verilen modelde görüldüğü gibi ortogonal akslar üzerinde X ve Y doğrultusunda simetrik bir sistem düşünülmüştür. Bu sayede planda meydana gelebilecek düzensizliklerin önüne geçilmesi hedeflenmiş ve elde edilecek sonuçların doğrudan kiriş süreksizliğine ait olacak şekilde daha sağlıklı karşılaştırma yapılması hedeflenmiştir.



**Şekil 5.** Model B1 (Düzenli) gruba ait kalıp planı

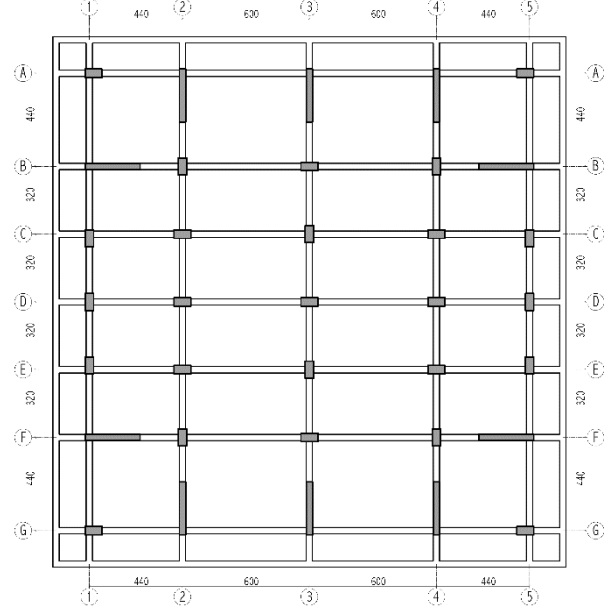


**Şekil 6.** Model B1 (Düzenli) gruba ait 3D görsel

Analizlerde kullanılan tüm (B1, B2, B3, B4) kat planında yatayda D, düşeyde ise 3 akslarında simetri eksenini oluşturacak şekilde düzenlenmiş ve bu şekilde taşıyıcı sistemin kütle merkezi ve rijitlik merkezi D3 birleşiminde toparlanmıştır. Tüm modellerde A2, A3, A4, G2, G3 ve G4 akslarında 30x250cm boyutlarında perde, B1, B5, F1 ve F5 akslarında ise 30x260cm boyutunda perdeler bulunmaktadır. Planlardaki tüm kolonlar 40x80cm, kirişler 30x55cm ve döşeme ise 13cm olarak boyutlandırılmıştır.

### Model B2-8, B2-10, B2-12

B1 grubu planlara, 4 cepheden imar yönetmeliklerin izin verdiği maksimum oranda, 150cm çıkma oluşturularak daha önce 449,28m<sup>2</sup> olan kat alanı yaklaşık %32 artırılarak 592,76m<sup>2</sup> çıkarılmış ve kiriş süreksizliği olmayan bir kat planı seçilmiştir. Şekil 7'de kalıp planı, Şekil 8'de ise 3D görseli verilmiştir.



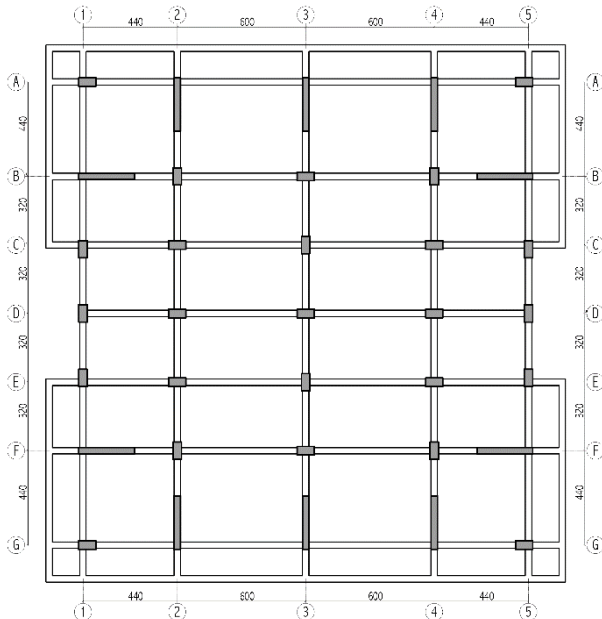
**Şekil 7.** Model B2 (Çıkmalı) gruba ait kalıp planı



Şekil 8. Model B2 (Çıkmalı) gruba ait 3D görsel

### Model B3-8, B3-10, B3-12

Şekil 9’da kalıp planı ve Şekil 10’da 3D görseli verilen B3 modellerinde; B2 grubu planlara, sağ ve sol cephelerden C ve E aksları arasındaki kirişler ve döşeme iptal edilerek cephe de çıkma kesintiye uğratılarak, cephede girinti oluşturulmuştur. Her katta çıkarılan 6 adet kiriş ve 4 adet döşeme ile birlikte 592,76m<sup>2</sup> olan kat alanı yaklaşık %3,4 kadar azalarak kat alanı 572,60m<sup>2</sup>’ye düşmüştür. Cephede çıkarılan kiriş ve döşemelerden dolayı ortaya çıkan süreksizliklerin yapı ve taşıyıcı sistem üzerindeki etkileri diğer modellerle karşılaştırılıp değerlendirilmiştir.



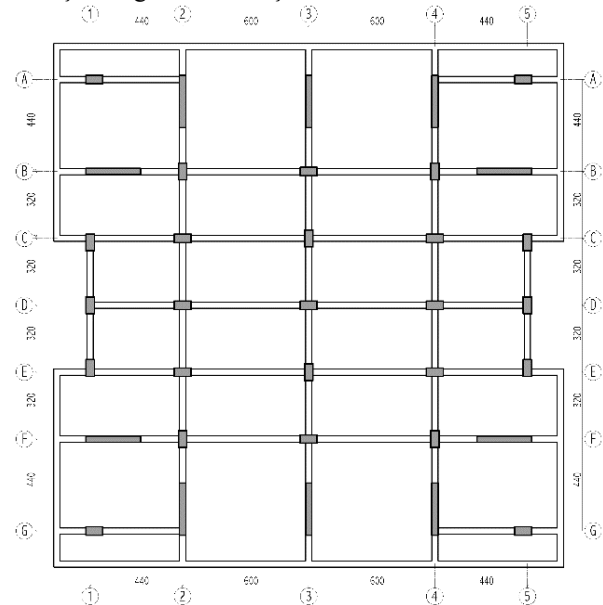
Şekil 9. Model B3 (Çıkmalı ve cephe hareketli) gruba ait kalıp planı



Şekil 10. Model B3 (Çıkmalı ve cephe hareketli) gruba ait 3D görsel

### Model B4-8, B4-10, B4-12

Şekil 11’de kalıp planı, Şekil 12’de 3D görseli verilen B4 modeli, B3 grubu planına, A2-A4, A1-C1, E1-G1, G2-G4, A5-C5, E5-G5 aks aralarındaki kirişler ile yine A1, A5, G1, G5 akslarının çıkma çerçeve kiriş arasındaki kirişlerin çıkarılması ile elde edilmiştir. Planda simetri olmasına rağmen, çıkarılan kirişler ile meydana gelen yatay süreksizliklerin yapı etkileri diğer B1, B2 ve B3 gruptaki modellerle karşılaştırılarak sonuçlar değerlendirilmiştir.



Şekil 11. Model B4 (Düzensiz) gruba ait kalıp planı



Şekil 12. Model B4 (Düzensiz) gruba ait 3D görsel

Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY-2007), etkin görelî kat ötelemeleri ve ikinci mertbe etkilerini aşağıdaki şekilde açıklamıştır.

#### Etkin görelî kat ötelemelerinin hesaplanması ve sınırlandırılması

Herhangi bir kolon ya da perde için, birbirini takip eden iki kat arasındaki yer değiştirme farkını ifade eden *azaltılmış görelî kat ötelemesi*,  $\Delta_i$ , Denklem (1.1)'e göre hesaplanacaktır.

$$\Delta_i = d_i - d_{i-1} \quad (1.1)$$

Denklem (1.1)'de  $d_i$  ve  $d_{i-1}$ , her bir deprem doğrultusu için binanın  $i$ 'inci ve  $(i-1)$ 'inci katlarındaki herhangi bir kolon ya da perdenin uçlarında azaltılmış deprem yüklerine göre hesaplanan yatay yer değiştirmeleri ifade etmektedir.

Her bir deprem doğrultusu için, binanın  $i$ 'inci katındaki kolon ya da perdeler için etkin görelî kat ötelemesi ( $\delta_i$ ), azaltılmış görelî kat ötelemesi ( $\Delta_i$ ) değerinin taşıyıcı sistem davranış katsayısı ( $R$ ) ile çarpılarak, Denklem (1.2)'deki gösterildiği gibi hesaplanır.

$$\delta_i = R \Delta_i \quad (1.2)$$

Her bir deprem doğrultusu için, binanın herhangi bir  $i$ 'inci katındaki kolon ya da perdeler de, Denklem (1.2)'de hesaplanan  $\delta_i$  etkin görelî kat ötelemelerinin kat içindeki en büyük değeri ( $\delta_i)_{max}$ , 'ın kat yüksekliğine olan oranı, Denklem (1.3)'deki koşulu sağlamalıdır.

$$\frac{(\delta_i)_{max}}{h_i} \leq 0.02 \quad (1.3)$$

Denklem (1.3)'deki koşulun binanın herhangi bir katında sağlanmaması durumunda, taşıyıcı sistemin rijitliği artırılarak deprem hesabı tekrarlanacaktır [1].

#### İkinci mertbe etkileri

Taşıyıcı sistem elemanlarının doğrusal elastik olmayan davranışını esas alan daha kesin bir hesap yapılmadıkça, ikinci mertbe etkileri yaklaşık olarak aşağıda verilen şekilde göz önüne alınabilir.

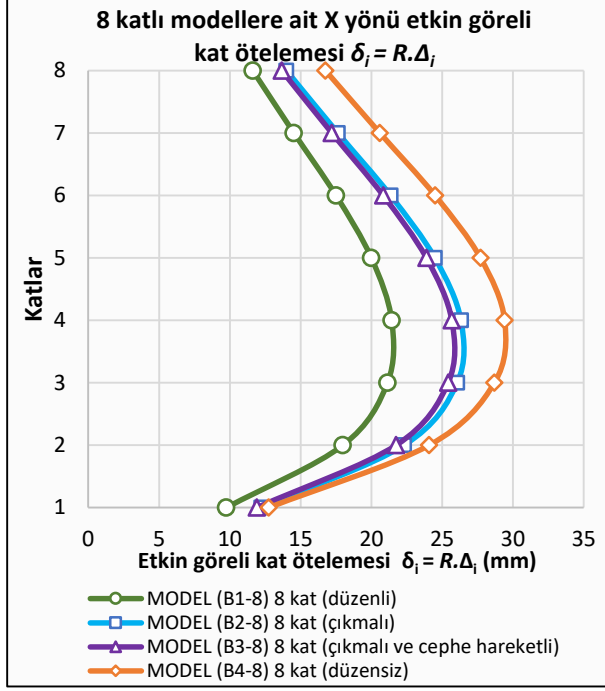
Göz önüne alınan deprem doğrultusundaki her bir katta, *İkinci mertbe gösterge değeri*,  $\theta_i$ 'nin Denklem (1.4)'te verilen koşulu sağlaması durumunda, ikinci mertbe etkileri yürürlükteki betonarme ve çelik yapı yönetmeliklerine göre değerlendirilecektir.

$$\theta_i = \frac{(\Delta_i)_{ort} \sum_{j=i}^N w_j}{V_i h_i} \leq 0.12 \quad (1.4)$$

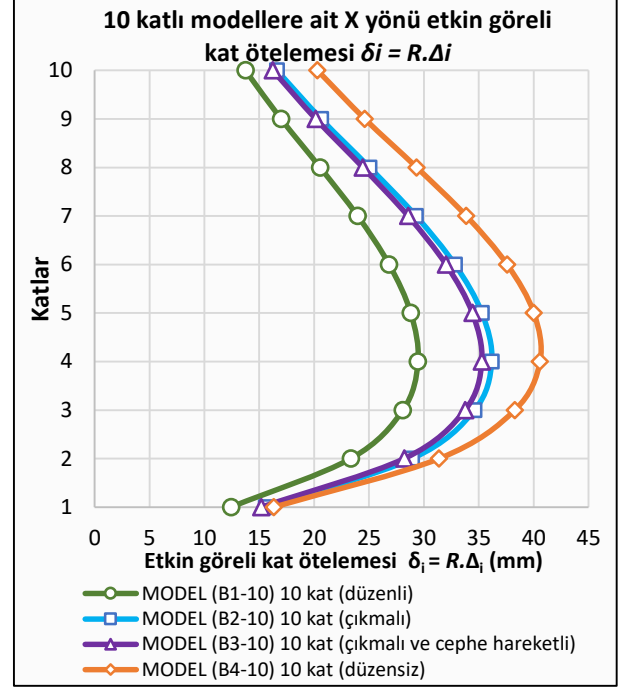
Burada  $(\Delta_i)_{ort}$ ,  $i$ 'inci kattaki kolon ve perdelerde hesaplanan azaltılmış görelî kat ötelemelerinin kat içindeki ortalama değeri olarak Denklem (1.1)'e göre bulunacaktır [1].

#### BULGULAR

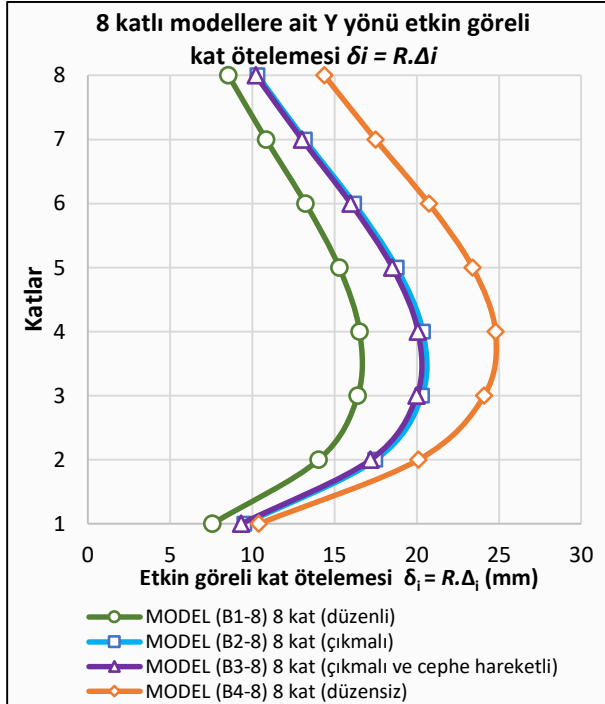
Şekil 13-18'deki bulgulara bakıldığında kat sayısı arttıkça etkin görelî kat öteleme değerlerinin de arttığı görülmüştür. En fazla artış 47,5mm etkin görelî kat ötelemesi değeri ile en yüksek kata sahip olan Şekil 17'de gösterilen 12 katlı B4-12 (düzensiz) modelinde X yönünde 5.katta meydana gelmiştir. Kat sayısı arttıkça düzensiz modellerin sınır değere yaklaştığı gözlemlenmiştir. B1-12 (düzenli) modelde 37,6mm olan görelî kat ötelemesi yaklaşık %26 artarak B4-12 (düzensiz) modelinde 47,5mm'e ulaşmıştır. Şekil 18'de verilen 12 katlı Y yönü değerlere bakıldığında ise B1-12 (düzenli) modelde 28,6mm olan değer yaklaşık %51 oranında artarak B4-12 (düzensiz) modelinde 43,2mm'e ulaşmıştır. B4-12 (düzensiz) model ile B4-12 modeline plan olarak en yakın olan B3-12 (çıkmalı ve cephe hareketli) kirişleri eksiltilmeyen model kıyaslandığında, X yönünde etkin görelî kat ötelemesi farkı %12, Y yönünde ise bu değer %25 olduğu görülmektedir.



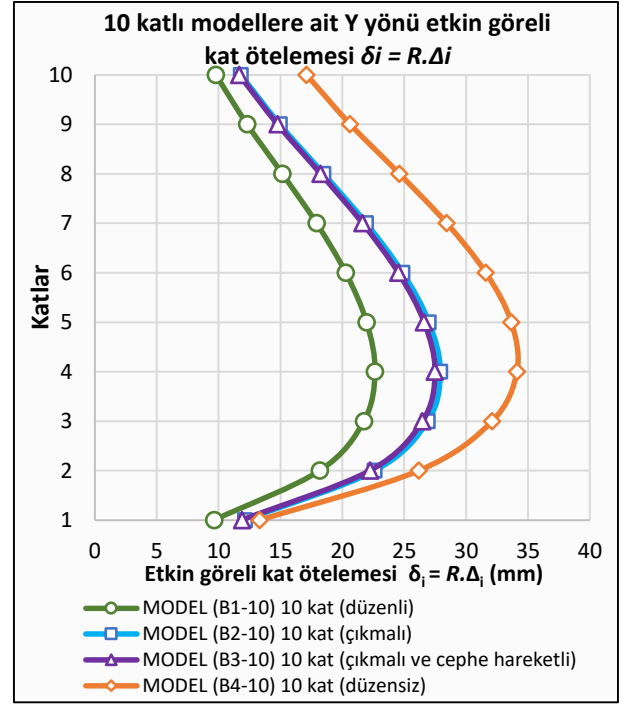
Şekil 13. 8 katlı modellere ait X yönü etkin görel kat ötelemasının karşılaştırılması



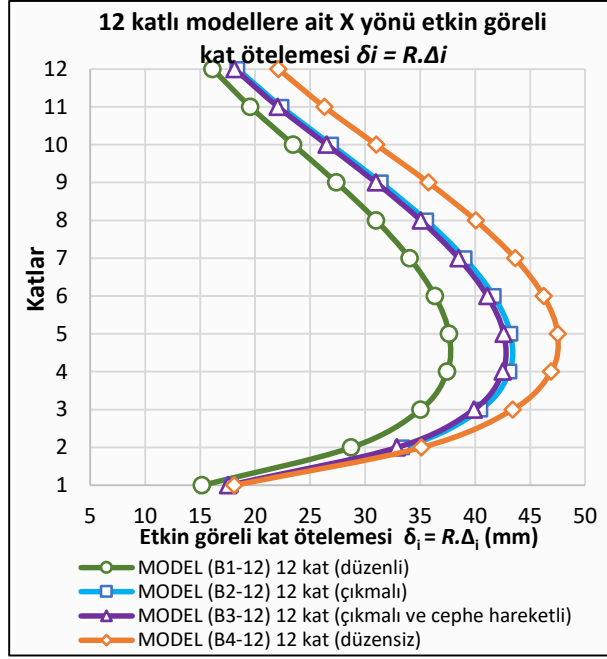
Şekil 15. 10 katlı modellere ait X yönü etkin görel kat ötelemasının karşılaştırılması



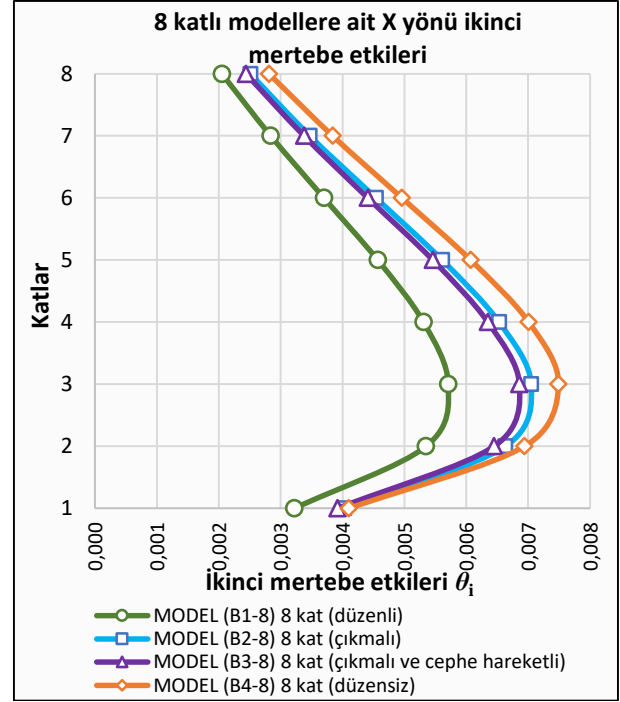
Şekil 14. 8 katlı modellere ait Y yönü etkin görel kat ötelemasının karşılaştırılması



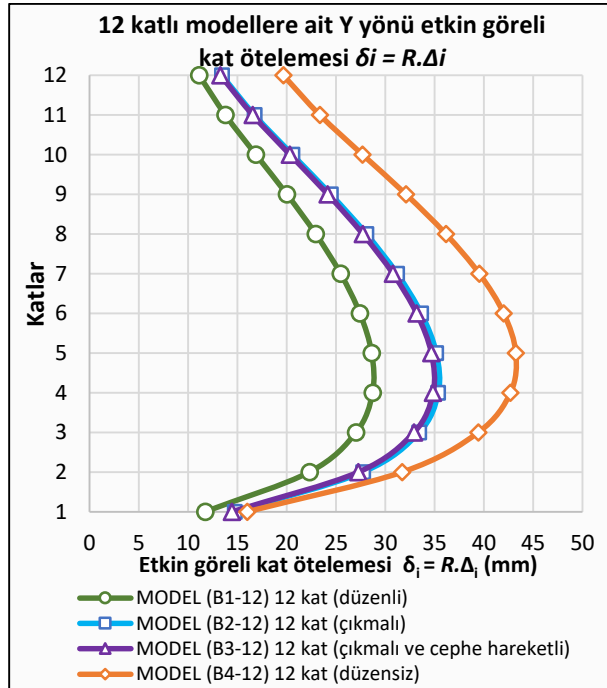
Şekil 16. 10 katlı modellere ait Y yönü etkin görel kat ötelemasının karşılaştırılması



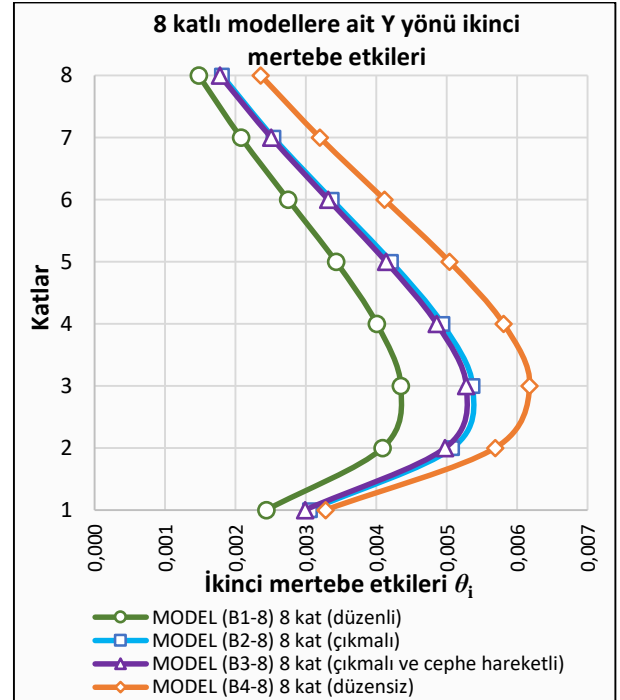
Şekil 17. 12 katlı modellere ait X yönü etkin göreceli kat ötelemesinin karşılaştırılması



Şekil 19. 8 katlı modellere ait X yönü ikinci derece etkilerinin karşılaştırılması

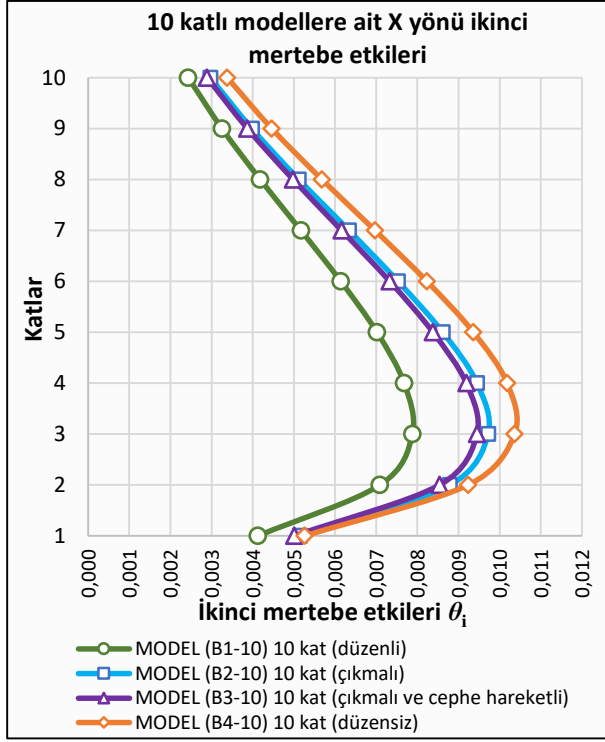


Şekil 18. 12 katlı modellerde ait Y yönü etkin göreceli kat ötelemesinin karşılaştırılması

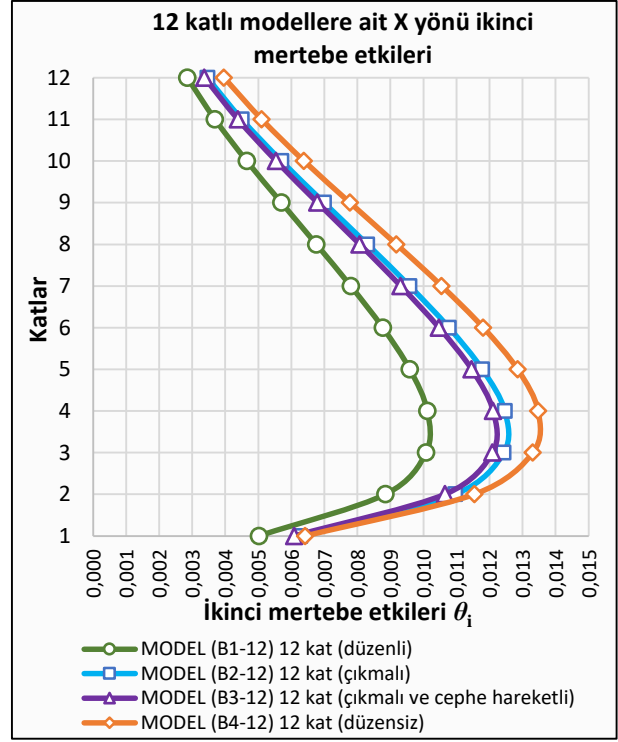


Şekil 20. 8 katlı modellere ait Y yönü ikinci derece etkilerinin karşılaştırılması

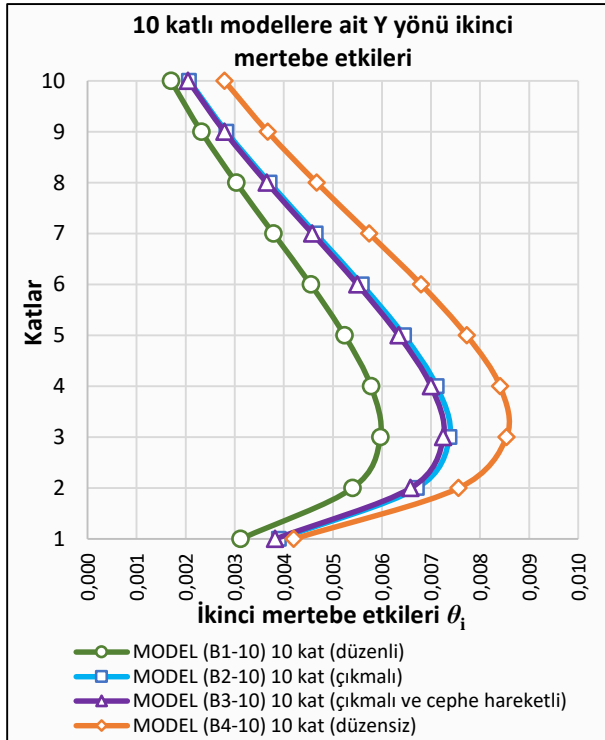




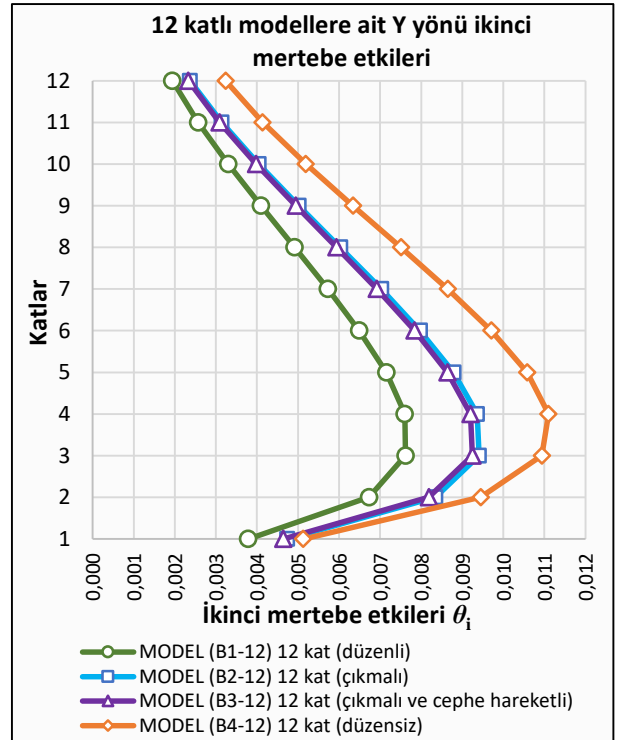
Şekil 21. 10 katlı modellere ait X yönü ikinci mertebeye etkilerinin karşılaştırılması



Şekil 23. 12 katlı modellere ait X yönü ikinci mertebeye etkilerinin karşılaştırılması



Şekil 22. 10 katlı modellere ait Y yönü ikinci mertebeye etkilerinin karşılaştırılması



Şekil 24. 12 katlı modellere ait Y yönü ikinci mertebeye etkilerinin karşılaştırılması

Şekil 19-24'deki bulgulara bakıldığında En fazla ikinci mertebeye etkisi Şekil 23'te gösterilen 12 katlı B4-12 (düzensiz) modelinde X yönünde 4.katta meydana gelmiştir. B4-12 (düzensiz) model, B4-12 (düzenli)

modele oranla X yönünde %34, Y yönünde ise %46 artmıştır. B4-12 (düzensiz) modelle B3-12 (çıkmalı ve cephe hareketli model) kıyaslandığında ise bu oran X yönünde %12, Y yönünde ise %21 olarak artmıştır.

## SONUÇ

Bu çalışmada aynı planlara sahip perde-çerçeve 8, 10, 12 katlı yapı ve her katta 4 farklı model incelenmiştir. Öncelikli olarak çalışmada DBYBHY-2007 yönetmeliğinde bahsi geçen planda herhangi bir burulma etkisi olmayan, X ve Y yönlerinde simetrik bina modelleri kullanılmıştır. Planın tüm cephelerinde oluşturulan çıkmalar imar yönetmeliklerinin maksimum izin verdiği 150cm çıkma yapılarak modellenmiş ve cephe giriş süreksizliği dışında bina iç akslarında herhangi bir süreksizliğe ve saplama girişin oluşumuna izin verilmemiştir. Uygulamada yapılan düzensiz yapılar, birden fazla düzensizliğe sahip olma ihtimali ve inşa aşamasında işçilik, malzeme, proje yetersizliği, denetim eksikliği vb. faktörlerde hesaba katıldığında bu çalışmada elde edilen değerlerin uygulamada daha yüksek değerlere ulaşabileceği söylenebilir.

Çalışmada kullanılan yapılar modellenirken B1 düzenli modelde ilk verilen kesitler yükleri karşılayabilecekken, B2, B3 ve özellikle B4 modellerinde aynı kesitler yeterli gelmemiş ve kesitler yukarıda belirlenen son ölçülere getirilmiş ve tüm modellerde aynı kesitler kullanılarak tekrar analiz edilmiştir. B4 düzensiz modellerde mahal içinde eksiltelen girişler daha fazla döşeme açıklığına sebep olmuş ve ilk taslak çalışmada 12cm olarak belirlenen döşeme kalınlığı yetersiz kalmış ve dolayısıyla tüm modellerde 13cm olarak güncellenmiştir. Bu aşamada binadaki giriş süreksizliklerine sahip modeller, deprem etkileri altında düzenli modellere kıyasla daha fazla kesite ihtiyaç duymuştur.


Çıkmalı B2 modellerde etkin kat öteleme miktarı ve ikinci merite etkileri B1 düzenli modele göre artmıştır. B3 çıkmalı ve cephe hareketli modellerde ise B2 çıkmalı modele göre konsol olarak çalışan çıkmalardan eksiltelen giriş ve döşemelerden ötürü yükler azaldığından dolayı B2 çıkmalı modellere oranla azalmıştır. Yapı performansı için olumsuz etkiye sahip olan kat çıkmaları, B3 modellerinde eksiltilesinden dolayı etkin görelî öteleme değerini ve ikinci merite etkilerini azaltmıştır.


B4 modelleri B3 modellerine oranla daha az bir yapı yüküne sahip olmasına rağmen en büyük değerler B4 modellerinde gerçekleşmiştir. Çıkmalar nedeniyle yapının iç akslarında kalan kolonlara bağlanan girişlerin mimari estetik kaygılardan ötürü eksiltilesi yatay sistemde süreksizliklere sebep olmuştur. Bu durum hem etkin görelî kat öteleme değerinin sınır değere yaklaşmasına hem de ikinci merite etkilerinin artmasına sebep olmuştur.

Bu sonuçlar giriş süreksizliğinin deprem etkileri altında olumsuz etkiler oluşturduğunu göstermektedir. Mimari planlar hazırlanırken disiplinler arası koordinasyon sağlanarak dayanımdan ödün verilmeden çözümler

geliştirilerek planlanması gerekmektedir. Girişlerin estetik kaygılardan dolayı mahal içerisinde kaldırılması durumunda yapının; yüksekliğine, deprem bölgesine, kullanılan taşıyıcı sistemin türüne göre yeniden analiz yapılması gerekmektedir. Bu analiz sonucunda girişlerin eksiltilep, eksilmeyeceği durumuna bakılmalıdır. Eğer sınır değerler aşılyorsa yapının rijitliği artırılarak yeniden analiz edilmeli ya da girişler eksiltilememeli ve dolaylı bağlantılar oluşturulmamalıdır. Bu girişleri eksiltmek yerine uygun yapı malzemeleri kullanılarak, iç mimari ve mimari dekoratif uygulamalar ile gizlenerek dayanım anlamında girişler eksiltilemeden çözümleme yapılmalıdır.

## ORCID

Sedat SEVEN  <http://orcid.org/0000-0003-1245-2381>

Ömer KELEŞOĞLU  <http://orcid.org/0000-0001-8967-5976>

## KAYNAKÇA

- [1] DBYBHY, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara, 2007.
- [2] Bal İ.E., Özdemir Z. Çevre çerçeve girişi süreksizliğinin yapı deprem davranışı üzerindeki etkileri, İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Bülten, 87 10-18, 2006.
- [3] Özmen G. Çok katlı yapılarda yatay süreksizlikler, İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Bülten, 119 16-22, 2012.
- [4] İlkhun M., Kasap H. Betonarme yapılarda çerçeve süreksizliklerinin yapı davranışlarına etkisinin incelenmesi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 21:5 842-850, 2017.
- [5] Gaur H., Goliya R.K., Murari K., Mullick A.K. A parametric study of multy-storey r/c buildings with horizontal irregularity, International Journal of Research in Engineering and Technology (IJRET). 3:4 360-364, 2014.
- [6] Monish S., Karuna S. A Study On Seismic Performance of High Rise Irregular RC Framed Buildings, International Journal of Research in Engineering and Technology (IJRET). 4:5 340-346, 2015.
- [7] Celep Z., Kumbasar N. Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Beta Dağıtım, İstanbul, 2004.
- [8] Amasralı S. Structural Analysis For Computer Aided Design, İstanbul, 2004.
- [9] Celep Z. Betonarme Yapılar, Beta Dağıtım, İstanbul, 2011.
- [10] Doğangün A. Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı, Birsan Yayınevi, İstanbul, 2016.
- [11] Christopher A. Mimari tasarımda deprem, Designing for Earthquakes A manual for Architects. 2006.
- [12] Seven S. Giriş Düzensizliğinin Deprem Etkileri Altında İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, 2018.
- [13] TS 498. Yapı Elemanlarının Boyutlandırmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1997.
- [14] TS 500. Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2000.

## Metil Kırmızısının Silikajel Üzerindeki Çözeltiden Adsorpsiyonu: Denge İzotermi Ve Kinetik İncelemeler

İbrahim GÖZETEN<sup>1</sup>, Ali SAVRAN<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Kimya Bölümü, Fen Fakültesi, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van, Türkiye  
✉: ibrahim6349@hotmail.com

Geliş (Received): 07.11.2018

Düzenleme (Revision):19.11.2018

Kabul (Accepted): 20.11.2018

### ÖZ

Bu çalışmanın amacı, sulu çözeltiden metilen kırmızısının uzaklaştırılmasıdır. Bu çalışmada adsorban olarak silikajel kullanılmıştır. Farklı pH'larda (2, 3, 4, 7, 10) 20 mg adsorban ile çalışmalar yapılmıştır. Deneysel veriler, Langmuir, Freundlich, Dubinin-Radushkevich-Kaganer (DKR), Temkin ve Brunauer-Emmett-Teller (BET) denklemleri kullanılarak analiz edilmiş ve bu denklemlerin sabitleri belirlenmiştir. 20 mg/L'lik boya çözeltilerinin Langergren yalancı birinci derece ve yalancı ikinci derece hız denklemlerine uygunluğu denenmiştir. Termodinamik parametrelerden adsorpsiyon entalpisi ( $\Delta H^\circ$ ), Gibbs serbest entalpisi ( $\Delta G^\circ$ ) ve adsorpsiyon entropisi ( $\Delta S^\circ$ ) değerleri hesaplanmıştır. Sonuç olarak, elde edilen veriler adsorpsiyonun fiziksel, ekzotermik ve kendiliğinden yürüyen bir olay olduğunu göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Boyar Madde, Metilen Kırmızısı, İzoterm, Kinetik, Silika jel.

## Adsorption of Methylene Red in Solution on Silica Gel: Equilibrium Isotherm and Kinetic Studies

### ABSTRACT

The aim of this study was to remove methylene red from the aqueous solution. In this study, silicagel was used as adsorbent. The experiments were made with 20 mg adsorbents at different pH (2, 3, 4, 7, 10). The experimental data were analyzed using Langmuir, Freundlich, Dubinin-Radushkevich-Kaganer (DKR), Temkin ve Brunauer-Emmett-Teller (BET) isotherm equations and the constants of these equations were determined. The suitability of 20 mg/L dye solution to Langergren pseudo-first order and pseudo-second order rate equations were tested. Thermodynamic parameter such as change of free energy, enthalpy and entropy of adsorption were calculated. As a result, the data obtained indicated that adsorption is a physical, exothermic and spontaneous.

**Keywords:** Dyestuff, Methyl Red, Isotherm, Kinetic, Silica gel

### GİRİŞ

Metil kırmızısı, su, eter etanol ve silika jel asetik asitte çözülen mono-azo anyonik boyadır. Bu boya genellikle tekstil ve diğer endüstrilerde kullanılmaktadır. Metil kırmızı gözlemlere, deriye ve sindirim sistemine zarar vermektedir [1]. Boya uzaklaştırmada oksidasyon [2], elektrokoagülasyon/elektrodializ [3], fotokataliz [4], ters ozmoz/nano filtrasyon [5] gibi birçok yöntem kullanılabilir. Ancak, bu yöntemler oldukça pahalı olduğu için kullanım alanı oldukça sınırlıdır. Sulu ortamlardan boya uzaklaştırmak için adsorpsiyon çok kullanılan yöntemlerdendir. Bu yöntemin yaygın olarak kullanılması sebepleri; deneysel işlemin kolay yapılabilmesi, verimlilik, düşük maliyet ve gerektiğinde adsorpları maddenin yeniden kullanılabilmesidir [6]. Bu nedenlerden dolayı son zamanlarda boyar maddelerin adsorpsiyon yöntemi ile uzaklaştırılması ile ilgili yapılan çalışmalar hızla artmaktadır [7]. Silika gel, silikanın gözenekli ve amorf halidir. Silisyum ve oksijenin gözeneklerde düzensiz bir şekilde üç boyutlu hareketi söz konusudur. Bu materyal; termal ve

kimyasal stabiliteye sahip, düşük maliyetli, tekrar kullanılabilir özellikli, şişme direnci ve seçicilik özelliği olan bir maddedir [8]. Silika jel yüzeyindeki –OH grupları katyonik boya adsorpsiyonunu kolaylaştırmaktadır. Sulu çözeltiden metil kırmızısını uzaklaştırmak için birçok materyal kullanılabilir. Bu çalışmada yüksek yüzey alanı ve ucuz materyal olması dikkate alınarak silika jel üzerinde adsorpsiyon incelenmiştir.

### MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışmada 0.038 mm tanecik boyutunda silikajel adsorban olarak kullanılmıştır. Elde edilen adsorban deneylerden önce desikatörde muhafaza edilmiştir. Adsorbat olarak kullanılan metil kırmızı (Sigma) öncelikle 1000 mg/L'lik stok çözeltisi hazırlanmıştır. Adsorpsiyon çalışmalarında kullanılan çözeltiler stok çözeltiden seyreltilerek hazırlanmıştır. Adsorpsiyon izotermelerini tespit çalışmaları 10-50 mg/L derişim aralığında oda sıcaklığında, 2, 3, 4, 7 ve 10 pH değerleri kullanılarak yapılmıştır. Kinetik çalışmalarda ise 20

mg/L'lik çözeltiler kullanılmıştır. Her bir adsorpsiyon işlemi her derişimden 10'ar ml çözelti alınıp uygun zamana kadar 20 mg adsorban madde ile karıştırılarak yapılmıştır. Santrifüjle ayrılan çözeltilerde adsorlanmadan kalan madde miktarı UV-Vis spektrometresi (Hitachi model) kullanılarak tespit edilmiştir. Adsorpsiyon olayının sıcaklıkla değişimini saptamak için 25 °C ve 40 °C'ler de denemeler yapılmıştır. Adsorpsiyon olayı sonucu dengedeki adsorplanan madde miktarı,  $q_e$ , aşağıdaki formülle hesaplanmıştır:

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{W} \quad (1)$$

Bu denklemde,  $C_0$  ve  $C_e$  (mg/L) sırasıyla boyanın çözeltideki başlangıç ve denge derişimidir.  $V$  çözeltinin hacmi (L),  $W$  ise kullanılan adsorbentün kütlesidir.

## BULGULAR VE TARTIŞMA

### İzoterm Modelleri

Adsorpsiyon denemelerinde elde edilen deneysel verilerin hangi adsorpsiyon izotermine uyduğu önemlidir. Adsorpsiyon izoterm denklemleri adsorpsiyon olayı hakkında fikir verdiği için bu tür çalışmalar yapılmaktadır [9]. Bu incelemede 25 °C ve 40 °C sıcaklıkta adsorpsiyon izotermleriyle ilgili çalışmalar yapılmıştır. Adsorpsiyon izoterm denklemlerinden Langmuir izotermi; adsorbent yüzeyinin tamamen aynı olduğunu, adsorpsiyonun adsorbent üzerinde tek tabaka halinde tutulduğunu ve adsorbent yüzeyindeki enerji dağılımında homojen olduğunu kabul etmektedir. Bu izoterm dengedeki katı ve sıvı fazdaki madde derişimleri arasındaki ilişkiyi açıklamakta önemli oranda kullanılan bir denklemdir [10]. Freunlich izotermi çok tabakalı tersinir heterojen adsorpsiyonu açıklar. Heterojen yüzeylerde adsorpsiyon ısı ve afiniteninde eşdeğer olmadığını belirtir [11]. Dubinin-Kagener-Radushkevich (DKR) izotermi adsorbentteki gözeneklerin dolma mekanizmasını aydınlatır ve adsorpsiyonun fiziksel veya kimyasal olup olmadığını hakkında fikir verir [12]. Temkin izotermi

adsorbent yüzeyindeki adsorpsiyon artışıyla moleküllerin ısısındaki azalışı açıklamaktadır. Maksimum bağlanma enerjisi olacak şekilde bağlanma enerjisinin uniform olarak dağıldığını belirtmektedir [13]. Brunauer, Emmett ve Teller (BET) izotermi çok tabakalı adsorpsiyon için geliştirilen bir denklemdir.

### Langmuir İzotermi

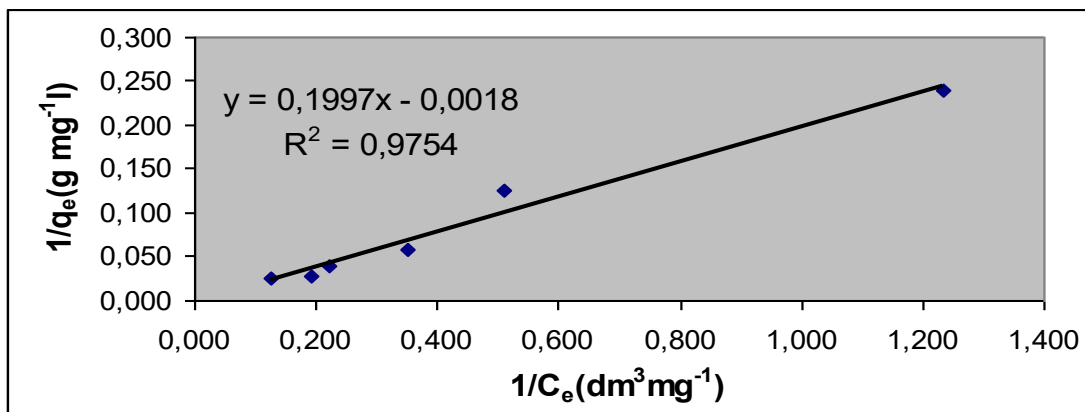
Langmuir izotermi Adsorpsiyon dengesiyle ilgili olayları açıklamak için kullanılan bir denklemdir. Bu izotermi çözeltiden adsorpsiyonla ilgili lineer denklemi aşağıdaki gibi verilmektedir [14]:

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_m K_L C_e} + \frac{1}{q_m} \quad (2)$$

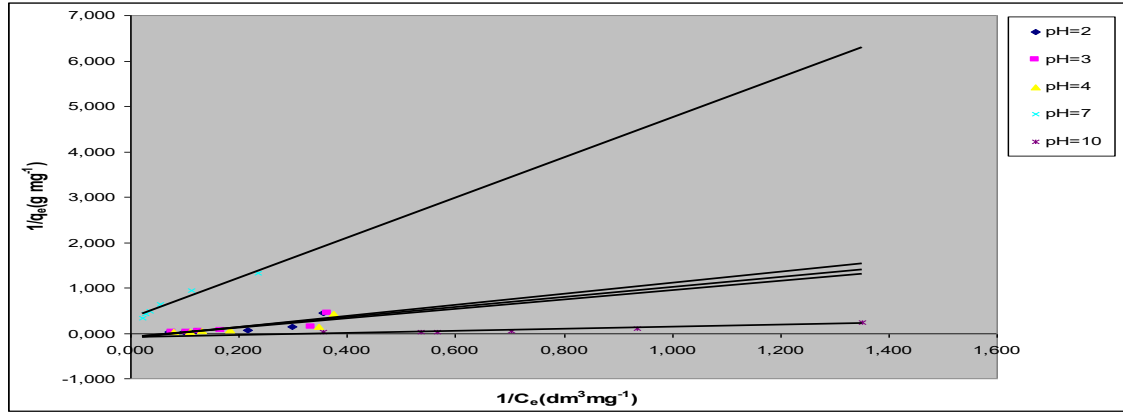
Bu denklemde,  $q_e$  dengede birim adsorplayıcı ağırlığı başına adsorplanan madde miktarını (mg/g),  $q_m$  maksimum adsorpsiyon kapasitesini,  $C_e$  dengede adsorplanmadan çözeltide kalan çözünür derişimini (mg/L),  $K_L$  ise Adsorpsiyon ısısıyla ilgili bir değeri göstermektedir. Bu izotermle adsorpsiyonu değerlendirmek için Webber ve Chakravorti tarafından tanımlanan boyutsuz ayırma sabiti olarak  $R_L$  kullanılır. Matematiksel ifadesi denklem 3'deki gibi olan bu faktörün değeri 0-1 arasında olursa olayın bu izotermeye uyduğu kabul edilmektedir. Sıfırdan küçük değerler ise izotermeye uyum olmadığını göstermektedir [15].

$$R_L = \frac{1}{1 + K_L C_0} \quad (3)$$

25 °C'de çeşitli pH'da ve 40 °C'de pH 7'de Langmuir izotermiyle ilgili veriler şekil 1 ve 2'de verilmiştir. Adsorpsiyon izotermi sabitleriyle ilgili veriler ise tablo 1'de verilmektedir. Tablo 1'de verilen doğru denklemleri incelendiğinde kaymalarının negatif olduğu gözlenmektedir. Bu veriler, bazı pH'da uydun ilgileşim ( $R^2$ ) değerleri elde edilse bile makul olabilecek Langmuir izoterm sabitlerini belirleme imkânını vermemektedir. Bundan dolayı adsorpsiyon olayının Langmuir izotermiyle açıklaması yapılamamaktadır.



Şekil1. 40 °C sıcaklıkta silikajel üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Langmuir izotermi (pH=7).



Şekil2. Çeşitli pH’da silikajel üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Langmuir izotermi (25 °C).

Tablo1. Çeşitli pH’larda silikajel üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Langmuir izoterm parametreleri

T(°C)	pH	qm(mg g <sup>-1</sup> )	KL(dm <sup>3</sup> mg <sup>-1</sup> )	RL	R <sup>2</sup>	DENKLEM
40	7	-55.5556	-0.0090	1.8182	0.9754	y=0.1997x-0.018
25	2	-9.6154	-0.0854	-0.3058	0.7264	y=1.2179x-0.104
25	3	-11.4811	-0.0795	-0.3361	0.7136	y=1.096x-0.0871
25	4	-11.7371	-0.0831	-0.3170	0.7008	y=1.0257x-0.0852
25	7	-14.6413	-0.3152	-0.0678	0.9563	y=0.2167x-0.0683
25	10	-11.4548	-0.3858	-0.0547	0.9516	y=0.2263x-0.0873

### Freundlich İzotermi

Freundlich izotermine doğrusal ifadesi aşağıdaki şekilde verilmektedir [16]:

$$\ln q_e = \ln K_F + \frac{1}{n} \ln C_e \quad (4)$$

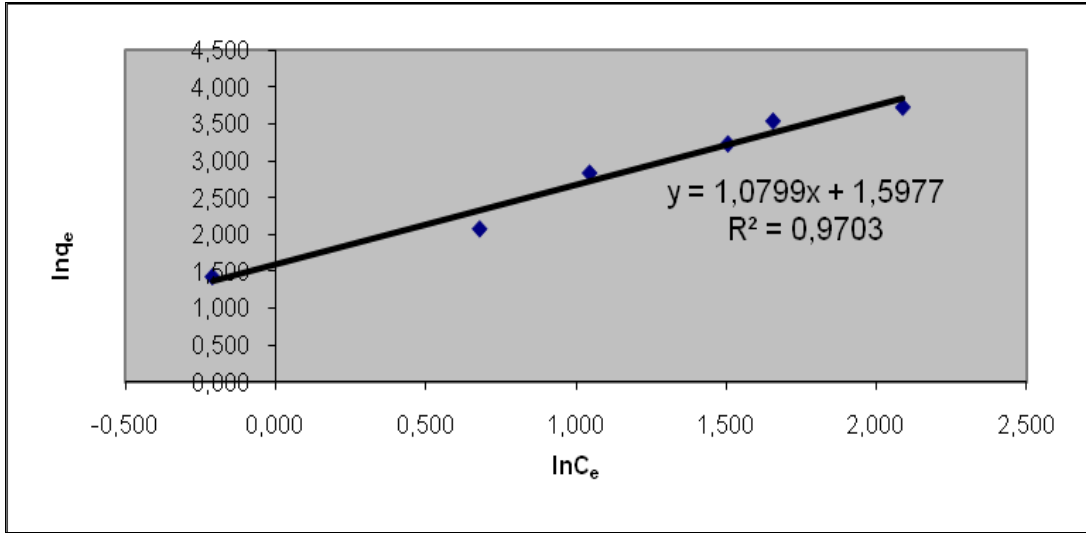
Bu denklemde,  $K_F$  adsorbent adsorpsiyon kapasitesiyle ilgili bir sabit (L/g),  $C_e$  dengede adsorplanmadan çözeltide kalan çözünen derişimi (mg/L),  $q_e$  dengede birim adsorplayıcı ağırlığı başına adsorplanan madde miktarını (mg/g),  $n$  ise adsorpsiyon şiddetiyle ilgili bir sabittir.  $n$  değerinin 1’den büyük olması adsorpsiyonun bu izotermle uyduğunun göstergesi olarak kabul

edilebilir [17]. 0-1 arasındaki  $n$  değerleri de genellikle bu izoterm için uygun değer olarak kabul edilebilir. Freundlich izotermine grafikleri şekil 3 ve 4’de verilmiştir. Bu izotermine sabitleriyle ilgili veriler ise tablo 2’de verilmiştir.

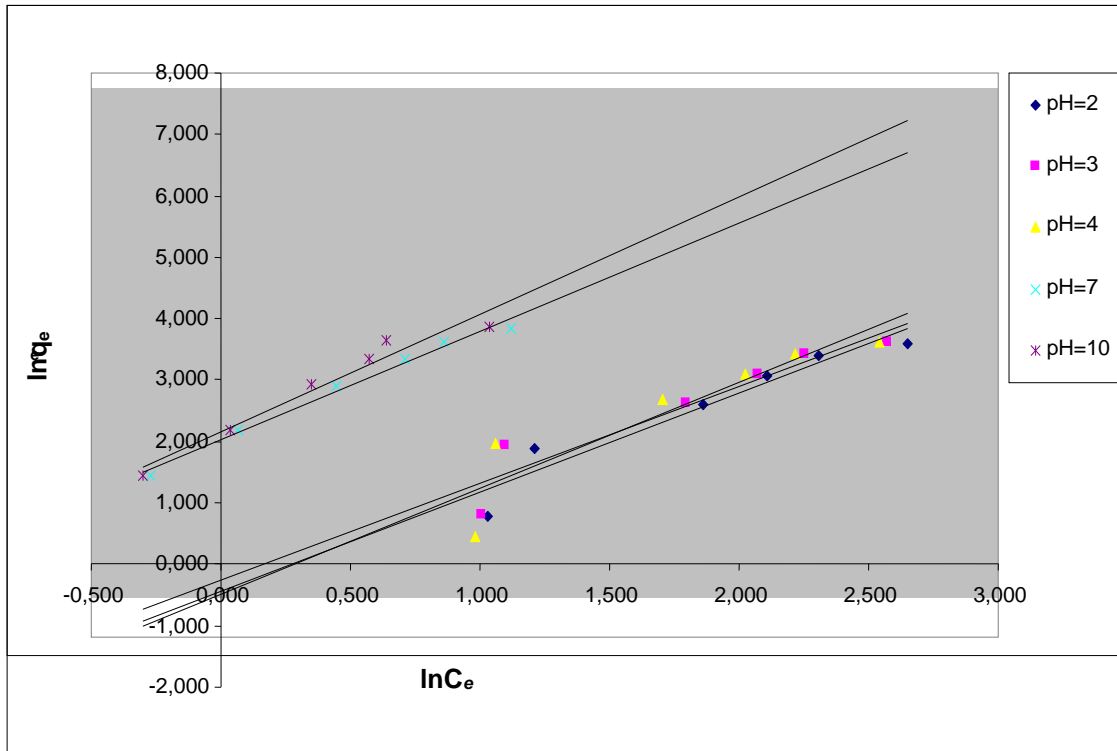
Tablo 2’deki veriler incelendiğinde en yüksek korelasyon katsayısı ( $R^2$ ) değerinin (0.9873) 25 °C, pH 7’de verilen verilerden olduğu görülmektedir. Freundlich izotermine sabitlerinden  $n$ ’nin 0-1 arası değerleri de adsorpsiyonun bu izotermle izah edilebileceğini göstermektedir. Adsorpsiyon kapasitesiyle ilgili sabit olan adsorpsiyon kapasitesi ( $K_F$ ) maksimum değeri pH 10’da vermektedir.

Tablo2. Çeşitli pH’larda silikajel üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Freundlich izoterm parametreleri

T(°C)	pH	K <sub>F</sub> (dm <sup>3</sup> g <sup>-1</sup> )	n	R <sup>2</sup>	DENKLEM
40	7	4.9416	0.9260	0.9703	y=1.0799x+1.5977
25	2	0.6417	0.6202	0.9232	y=1.6125x-0.4436
25	3	0.7745	0.6333	0.8994	y=1.5789x-0.2551
25	4	0.6179	0.5806	0.8412	y=1.7224x-0.4814
25	7	7.6255	0.5667	0.9873	y=1.7645x+2.0315
25	10	8.6486	0.5235	0.9555	y=1.9110x+2.1574



Şekil3. 40°C sıcaklıkta silikajel üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Freundlich izotermi.



Şekil4. Çeşitli pH' larda silikajel üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Freundlich izotermi (25 °C).

#### Dubinin-Kagener-Radushkevich (DKR) İzotermi

Dubinin-Kagener-Radushkevich (DKR) izotermi çözeltilerden adsorpsiyonla ilgili lineer ifadesi aşağıdaki gibidir [18]:

$$q_e = q_m \exp(-K_{DKR} \varepsilon^2) \quad (5)$$

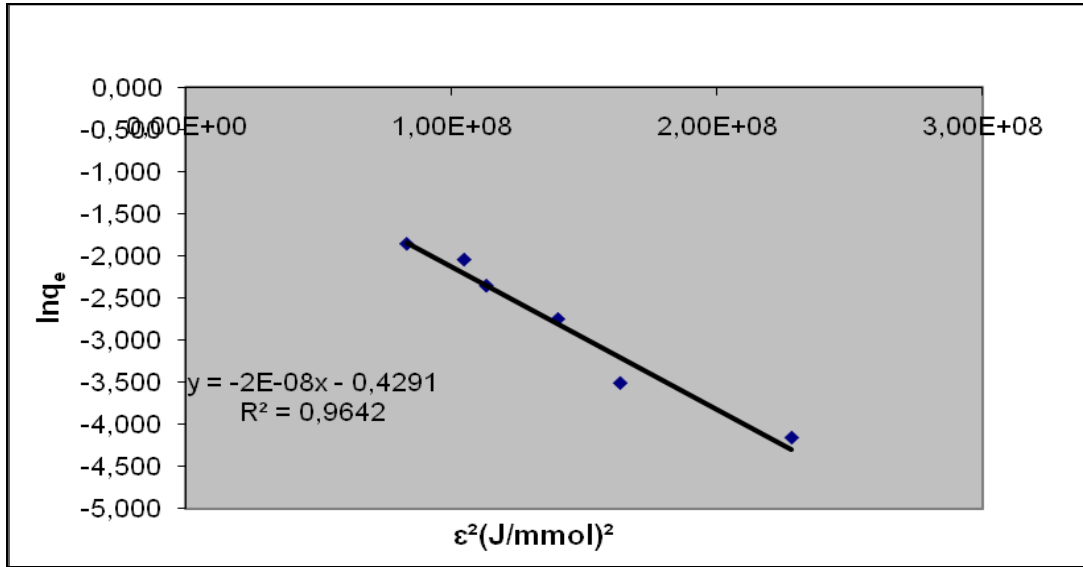
Bu denklemde,  $q_e$  dengede birim adsorplayıcı ağırlığı başına adsorplanan madde miktarı (mg/g),  $q_m$  dengede adsorbent birim kütlesi başına maksimum adsorplanan madde miktarı ( $\text{mmol g}^{-1}$ ),  $K_{DKR}$  Dubinin-Kagener-Radushkevich adsorpsiyon kapasitesi ( $\text{mmol}^2\text{kJ}^{-2}$ ), E ise

adsorpsiyon enerjisini ( $\text{kJ mol}^{-1}$ ) ifade etmektedir. Bu izoterm denkleminde yararlanarak Adsorpsiyon enerjisi aşağıdaki ifadeden hesaplanabilir. Bu denklemle hesaplanacak olan adsorpsiyon enerjisi (E) değerlerinin 8'den küçük olması fiziksel adsorpsiyon olduğunu göstermektedir [19].

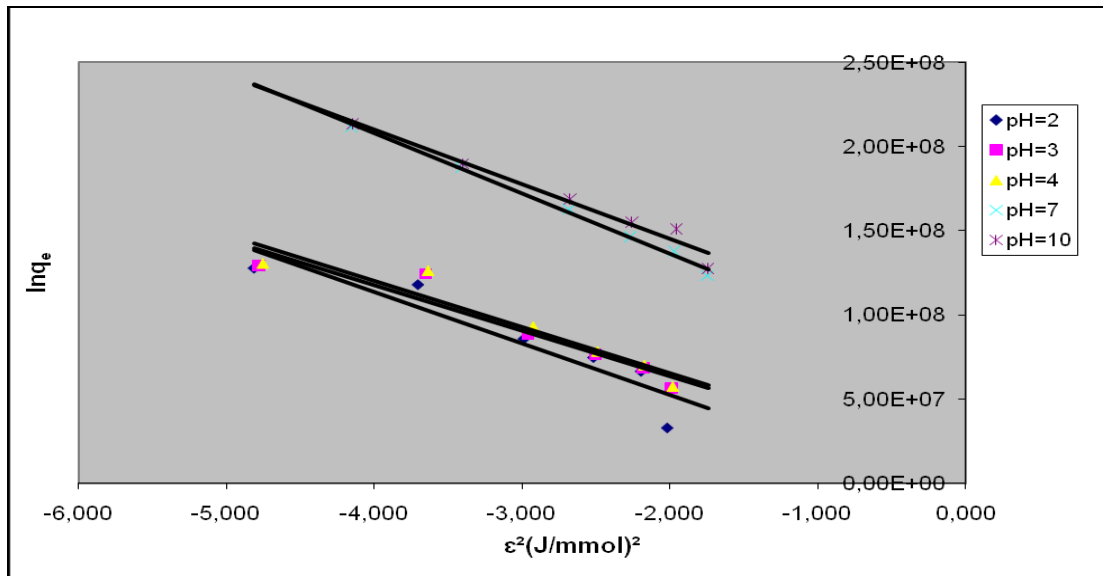
$$E = \frac{1}{\sqrt{2K_{DKR}}} \quad (6)$$

Bu denklemde  $\varepsilon$  değeri ise  $\varepsilon = RT \ln(1/C_e)$  formülünden belirlenmiştir.

Metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili izoterm grafikleri şekil 5 ve 6'da; sabitlerle ilgili hesaplamalar ise tablo 3'te verilmiştir.



Şekil 5. 40 °C sıcaklıkta silikajel üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Dubinin- Kagener Radushkevich (DKR) izotermi.



Şekil16. Çeşitli pH' lardasilikajel üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Dubinin- Kagener-Radushkevich (DKR) izotermi (25 °C).

Tablo 3 incelendiğinde 3.857-5.439 kJ/mol aralığında değişen adsorpsiyon enerjisi (E) değerleri adsorpsiyonun fiziksel olduğunun göstermektedir. Korelasyon katsayısı ( $R^2$ ) değerleri de (0,8657-0,9684) izoterm modelinin geçerliliğini göstermektedir.

Tablo3. Çeşitli pH' lardasilikajel üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Dubinin- Kagener-Radushkevich (DKR) parametreleri

T(°C)	pH	$q_m(\text{mmol g}^{-1})$	$K_{DKR}(\text{mmol}^2\text{kJ}^{-2})$	E(kJ mol <sup>-1</sup> )	$R^2$	DENKLEM
40	7	0.6511	$1.69 \cdot 10^{-8}$	5.439	0.9642	$y = -1.69 \cdot 10^{-8}x - 0,42$
25	2	0.5162	$2.82 \cdot 10^{-8}$	4.210	0.8657	$y = -2.82 \cdot 10^{-8}x - 0.66$
25	3	1.0324	$3.36 \cdot 10^{-8}$	3.857	0.9108	$y = -3.36 \cdot 10^{-8}x + 0.03$
25	4	1.0728	$3.30 \cdot 10^{-8}$	3.892	0.9063	$y = -3.30 \cdot 10^{-8}x + 0.07$
25	7	5.9793	$2.78 \cdot 10^{-8}$	4.240	0.9939	$y = -2.78 \cdot 10^{-8}x + 1.78$

25 10 10.0412 2.99.10<sup>-8</sup> 4.089 0.9684 y=-2.99.10<sup>-8</sup>x+2,31

### Temkin İzotermi

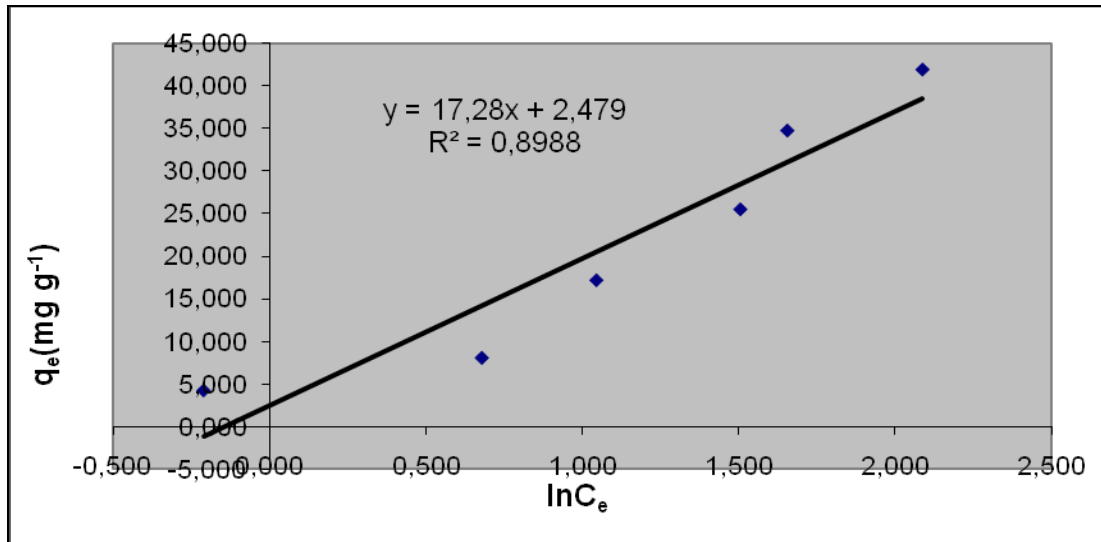
Temkin izotermi çözeltiden adsorpsiyonla ilgili doğrusal ifadesi denklem 7’de verilmektedir(20):

$$q_e = \frac{RT}{b_T} \ln A_T + \frac{RT}{b_T} \ln C_e \quad (7)$$

Bu denklemde,  $q_e$  dengede birim adsorplayıcı ağırlığı başına adsorplanan madde miktarı (mg/g),  $C_e$  dengede adsorplanmadan çözeltide kalan çözünen derişimi (mg/L),  $b_T$  adsorpsiyon ısıyla ilgili bir sabiti (kJ/mol),  $A_T$  ise adsorpsiyon kapasitesiyle ilgili bir sabiti (L/g) göstermektedir. Temkin izotermiyle ilgili veriler tablo 4’te, izoterm grafikleri ise şekil 7 ve 8’de verilmiştir.

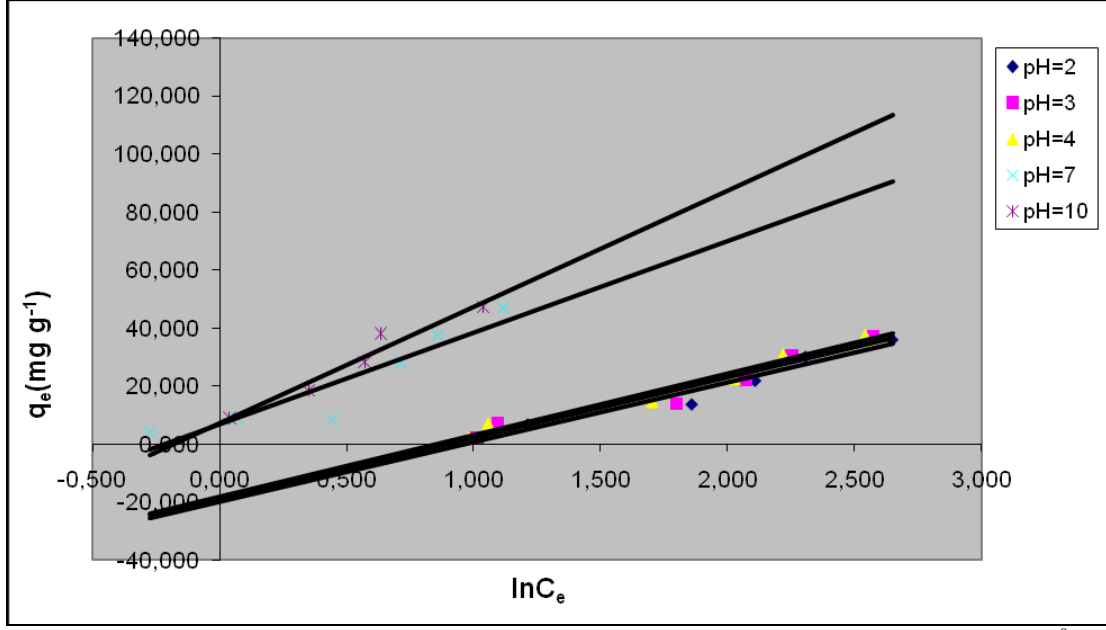
**Tablo4.** Çeşitli pH’larda silikajel üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Temkin parametreleri

T(°C)	pH	A <sub>T</sub> (L/ g)	b <sub>T</sub> (kJ/mol)	R <sup>2</sup>	DENKLEM
40	7	1.1543	150.595	0.8988	y=17.280x+2.479
25	2	0.3798	120.763	0.9586	y=20.516x-19.864
25	3	0.4079	119.148	0.9494	y=20.794x-18.64
25	4	0.4257	116.850	0.9652	y=21.203x-18.11
25	7	1.2456	78.424	0.8536	y=31.592x+6.9364
25	10	1.1911	61.607	0.9541	y=40.216x+7.034



**Şekil7.** 40 °C sıcaklıkta silikajel üzerinde metil kırmızı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Temkin izotermi.





Şekil18. Çeşitli pH'larda silikajel üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Temkin izotermi (25°C).

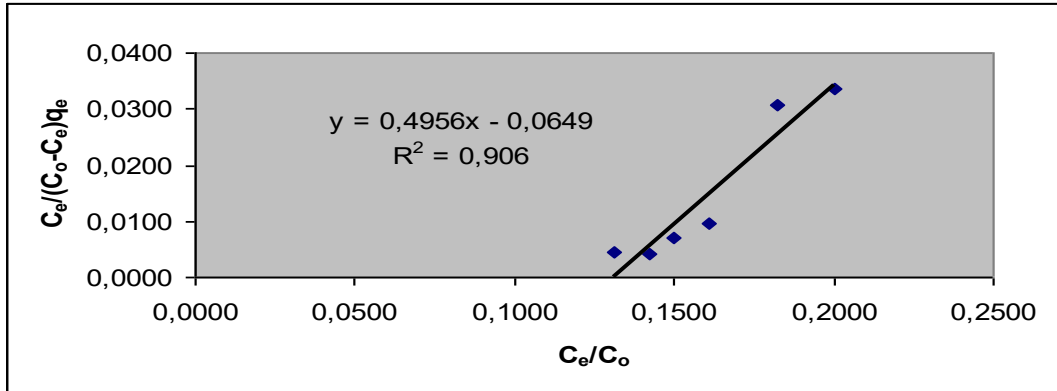
Tablo 4'te gözlenen en büyük adsorpsiyon ısı kapasitesi ( $b_T$ ) değeri 40 °C olup bu veri sıcaklık artışıyla adsorpsiyonun ısısının arttığını göstermektedir. Adsorpsiyon kapasitesinin bir ölçüsü olan adsorpsiyon kapasitesinin ( $A_T$ ) en büyük değeri 25 °C 'de (pH 7) elde edilmiştir. Bu verilerin adsorpsiyonun ekzotermik olduğuyla ilgili destek bilgileri kuvvetlendirmektedir.

#### Brunauer, Emmett ve Teller (BET) İzotermi

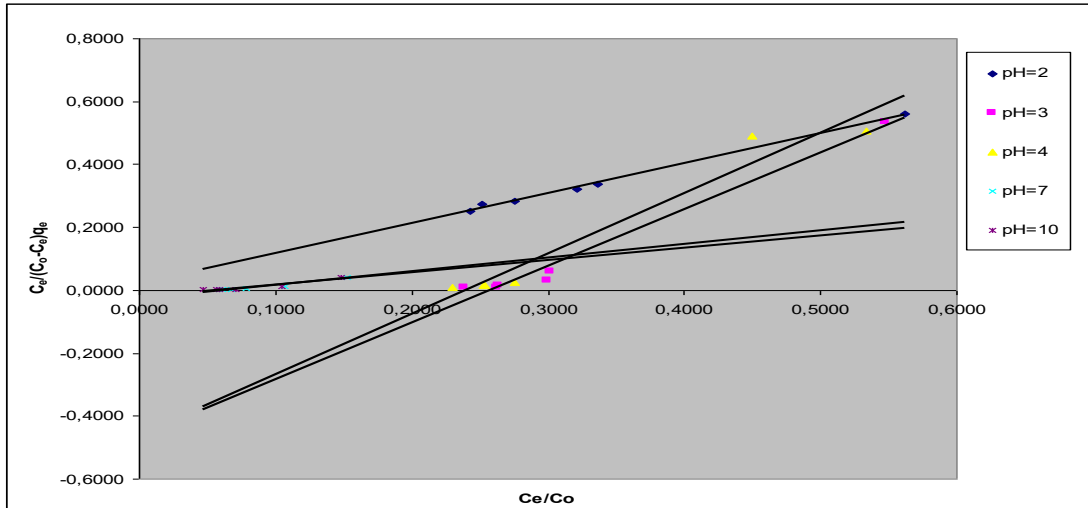
Brunauer, Emmett ve Teller (BET) izotermi çözeltilerden adsorpsiyonla ilgili lineer matematiksel denklem ve izotermi şekil 9 ve 10' da verilmiştir [21].

$$\frac{C_e}{[(C_0 - C_e)q_e]} = \frac{1}{kq_m} + \frac{k-1}{kq_m} \cdot \frac{C_e}{C_0} \quad (8)$$

Bu denklemde k; yüzeyle etkileşim enerjisini açıklayan bir sabiti (L/mg),  $C_0$  adsorbanın tek tabakasının doyumluk derişimini (mg/L) ve  $q_m$  teorik doyma kapasitesini (mg/g) göstermektedir. Tablo5 incelendiğinde korelasyon katsayılarının ( $R^2$ ) değerleri adsorpsiyonu BET izotermi ile açıklanabilirliği büyüklükte olmasına karşın elde edilen negatif değerler bu izoterm verileriyle sağlıklı bir değerlendirme yapma imkanını ortadan kaldırmaktadır.



Şekil19. 40 °C sıcaklıkta silikajel üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Brunauer, Emmett ve Teller (BET) izotermi.



**Şekil10.** Çeşitli pH' da silikajel üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Brunauer, Emmett ve Teller (BET) izotermi (25 °C).

**Tablo5.** Çeşitli pH' lar da silika jel üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Brunauer, Emmett ve Teller (BET) izotermi parametreleri

T(°C)	pH	q <sub>m</sub> (mg g <sup>-1</sup> )	k (L mg <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>	DENKLEM
40	7	2.3218	-6.6364	0.9060	y=0.4956x-0.0649
25	2	48.3092	0.9798	0.9953	y=-0.9564x+0.0211
25	3	7.4683	-2.8837	0.9796	y=1.8032x-0.4643
25	4	0.6849	-3.1605	0.9549	y=1.9188x-0.4612
25	7	-2.4728	15.1461	0.9491	y=-0.4311x-0.0267
25	10	2.7012	-17.4623	0.9332	y=0.3914x-0.0212

### Kinetik İncelemeler

Kinetik çalışmalar çözeltiden adsorbent yüzeyine geç eden adsorplanan maddenin adsorpsiyon dengeye gelene kadar ki süreçteki mekanizmayı anlamamızı sağlamaktadır.

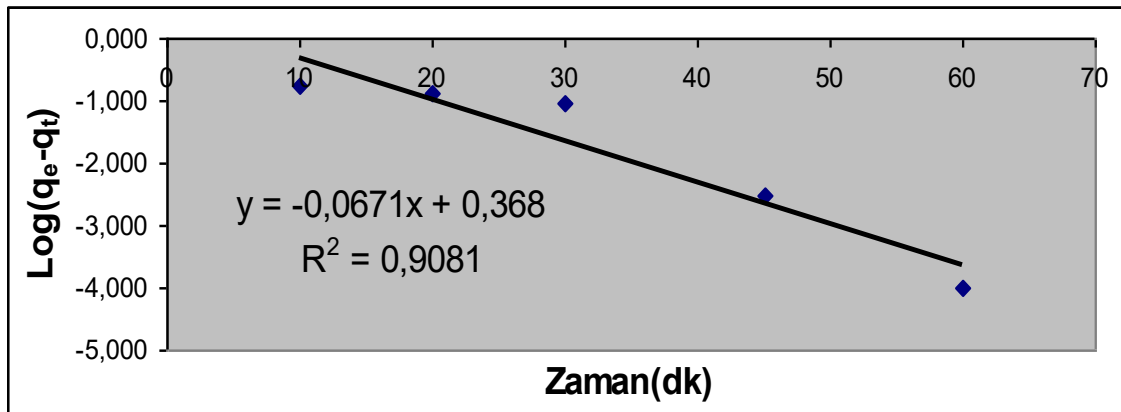
#### Lagergren Yalancı Birinci Derece Kinetik Denklemi

20 mg/L metil kırmızısı çözeltisinden 10 ml alınarak denge zamanı kurulana kadar 20 mg silikajel üzerinde karıştırılmasıyla ve denge zamanına kadar belli sürelerde alınan numunelerin analizleri yapılarak elde

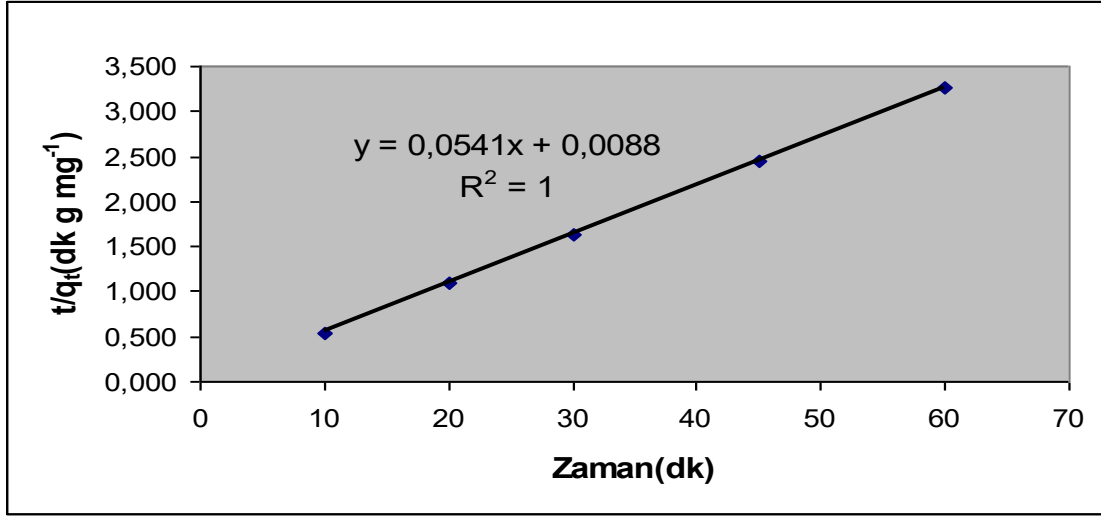
edilen adsorpsiyon verilerinin Lagergren denkleminde göre veriler hesaplanıp değerlendirilmesiyle oluşturulan grafik aşağıda verilmektedir.

$$\log(q_e - q_t) = \log q_m - \frac{k_1 t}{2,303} \quad (9)$$

Yukarıda verilen Lagergren [22] denkleminin sabitleri incelendiğinde q<sub>m</sub>= 2,3334 m/g, k<sub>1</sub> ise 0,1545 (dk<sup>-1</sup>) olarak belirlenmiştir. Doğru denklemi ve korelasyon katsayısı (R<sup>2</sup>) şekil 11 ve 12'de verilmiştir.



**Şekil11.** Silikajel üzerinde 20 mg/L metil kırmızısı çözeltisinin adsorpsiyonu ile ilgili Lagergren yalancı birinci derece denkleminin grafiği (25 °C)



Şekil12. Silikajel üzerinde 20 mg/L metilen kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili yalancı ikinci derece denkleminin grafiği (25 °C).

#### Yalancı İkinci Dereceden Kinetik Denklemi

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_m^2} + \frac{1}{q_m} t \quad (10)$$

Denklemlerle verilen yalancı ikinci dereceden hız ifadesi [23] ilgili kinetik parametreler saptanırken uygun doğrusal grafik çizilip kinetik denklemin sabitleri belirlenmiştir. Korelasyon katsayısının 1 çıktığı bu incelemeden belirlenen hız sabiti ( $k_2$ )  $0,0333 \text{ g mg}^{-1} \text{ dk}^{-1}$  incelenen derişimde dengede adsorplanan maksimum miktarı gösteren ( $q_e$ )  $18,4843 \text{ mg/g}$  olarak hesaplanmıştır. Kinetik hız verilerinin yalancı II. derece denkleme uyduğu korelasyon verilerinden görülmektedir.


#### 4. SONUÇ


Bu çalışmamızda,  $\Delta G^\circ$  ile gösterilen Gibbs serbest enerjisinin değerleri  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de  $-6,4271 \text{ kJ/mol}$ ,  $40 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de ise  $-4,4561 \text{ kJ/mol}$  olarak tespit edilmiştir. Gibbs serbest enerjisindeki negatif değerler adsorpsiyonun kendiliğinden olmaya eğimli olduğunu göstermektedir. Sıcaklık artışıyla azalan değer düşük sıcaklığa eğimli olduğunu göstermektedir.  $-34,65 \text{ kJ/mol}$  olarak belirlenen entalpi ( $\Delta H^\circ$ ) değeri ekzotermik olayın olduğunu göstermektedir.  $-95,7523 \text{ J/molK}$  olarak hesaplanan entropinin ( $\Delta S^\circ$ ) negatif değeri Adsorpsiyon esnasında moleküllerin düzenliliğinin arttığını göstermektedir.

Sonuç olarak, belli başlangıç pH' ları, sıcaklık uygun temas sürelerinde silka jel üzerinde metil kırmızı maddesinin adsorpsiyonuyla ilgili veriler değerlendirilmiştir. Adsorpsiyon izotermiyle yapılan hesaplamalarla en uygun adsorpsiyonun olduğu pH'lardaki korelasyon katsayıları ( $R^2$ ) dikkate alındığında adsorpsiyon olayının en iyi Freundlich ve DKR izotermi ile izah edileceği belirlenmiştir. Kinetik veriler yalancı II. derece hız denkleminin uymaktadır. Termodinamik veriler incelendiğinde kendiliğinden yürüyen ekzotermik bir adsorpsiyon olduğu

belirlenmiştir. DKR denkleminde hesaplanan adsorpsiyon enerjisi (E) değerleri de olayın fiziksel adsorpsiyon olduğunu göstermektedir.

#### ORCID

İbrahim GÖZETEN  <https://orcid.org/0000-0003-0346-9958>

Ali SAVRAN  <https://orcid.org/0000-0003-2099-727>

#### KAYNAKÇA

- [1] Badr Y., El-Wahed M.A., Mahmoud M. Photocatalytic degradation of methyl red dye by silica nanoparticles. 154 245-253, 2008.
- [2] Ercan Ö., Deniz S., Yetimoğlu E.K., Aydın A. Degradation of reactive dyes using advanced oxidation method. Clean: Soil, Air, Water, 43 1031-1036, 2015.
- [3] Sindelar F.W., Silva L.F., Machado V.R., Santos L.C., Stuelp S. Treatment of effluent from the agate Dyeing industry using photo degradation and electro dialysis processes. Sep. Sci. Technol, 50 142-147, 2015.
- [4] Duta A., Visa M. Simultaneous removal of two industrial dyes by adsorption and photocatalysis on a fly-ash  $\text{TiO}_2$  composite. 306 21-30, 2015.
- [5] Nataraj S., Hosamani K., Aminabhavi T. Nanofiltration and reverse osmosis thin film composite membrane module for the removal of dye and salts from the simulated mixtures. Desalination. 249 12-17, 2009.
- [6] Khan T.A., Dahiya S., Khan E.A. Removal of direct red 81 from aqueous solution by adsorption onto magnesium oxide-coated kaolinite: isotherm, dynamics and thermodynamic studies. Environ. Prog. Sustain. Energy. 36 45-58, 2017.
- [7] Saygı S. Kil Katkılı Poli (Hipe) Adsorban Üzerinde Metil Moru Boyar Maddenin Bilimleri Adsorpsiyonu: Kinetik, İzoterm ve Termodinamik İncelemeler, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2017.
- [8] Donia M.M., Atia A.A., Al-amrani W.A., El-Nahas A. M. Effect of structural properties of acid dyes on their adsorption behaviour from aqueous solutions by amine modified silica. 161 1544-1550, 2009.
- [9] Vasanth K.K., Sivanesan S. Isotherm parameters for basic dyes onto activated carbon: Comparison of linear and non-linear method. B129 147-150, 2006.
- [10] Adamson A.W., Gast A.P. Physical Chemistry of Surfaces, sixth ed, Wiley- Interscience, New York, 1997.

- [11] Dabrowski A. Adsorption-from theory to practice. *Adv. Colloid Interface (Sci)*. 93 135-224, 2001.
- [12] Sheha R.R., Metwally E. Equilibrium isotherm modeling of cesium adsorption onto magnetic materials.143 354-361, 2007.
- [13] Langmuir I. The constitution and fundamental properties of solids and liquids. 38 2221-2295, 1916.
- [14] Khattri S.D., Singh M. Adsorption of basic dyes from aqueous solution by natural adsorbent. 6 112-116, 1999.
- [15] Freundlich H.M.F. Over the adsorption in solution. 57 385-471, 1906.
- [16] Mishra G., Tripathy M.A. Critical Review of The Treatment For Decolorization of Dye Wastewater. *Biotechnol. (Adv)*. 9 613-622, 1993.
- [17] Perez M., Torrades F., Domenech X., Peral J.F. Oxidation of Textile Effluents, *Water Research*. 36 2703-2710, 2002.
- [18] Prado A.G.S., Torres J.D., Faria E.A., Dias S.C.L. Comparative Adsorption Studies Of Indigo Carmine Dye on Chitin And Chitosan, *Journal of Colloid and Interface Science*. 277 43-47, 2004.
- [19] Wong Y.C., Szeto Y.S., Cheung W.H., Mc Kay G. Adsorption Of Acid Dyes On Chitosan-Equilibrium Isotherm Analyses, *Process Biochemistry*, 39 693-702, 2004.
- [20] Sulak M.T., Demirbas E., Koby M. Removal of astrazon yellow 7GL from Chitosan-Equilibrium Isotherm Analyses, *Process Biochemistry*. 39 693-702, 2006.
- [21] Tsai T., Lai C.W., Su T.Y. Adsorption of Bisphenol-A from Aqueous Solution onto Minerals and Carbon Adsorbats, 2005.
- [22] Vadivelan V., Kumar K.V. Equilibrium, Kinetics, Mechanism and Process Design for The Sorption of Methylene Blue onto Rice Husk. *J. Colloid Interf. (Sci)*. 286 90-100, 2005.
- [23] Weber W.J., Morris J.C. Preliminary Appraisal of Advanced Waste Treatment Processes. *Water Pollut. (Res)*. 2 231-24, 1963.

## Effect of Multi-Walled Carbon Nanotubes on the Water-Based Drilling Muds

Abdullah ÖZKAN<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Iskenderun Technical University, Faculty of Engineering and Natural Science,  
Department of Petroleum and Natural Gas Engineering, Hatay, TURKEY  
abdullah.ozkan@iste.edu.tr

Received (Geliş): 28.11.2018

Revision (Düzenleme): 11.12.2018

Accepted (Kabul): 13.12.2018

### ABSTRACT

This study aims to investigate of the effect of multi-walled carbon nanotubes (MWCNTs) that production by chemical vapor deposition (CVD) on the performance of water-based drilling muds (WBDM). MWCNT was added to WBDM at 0.001, 0.005, 0.01, 0.05 and 0.1 % w/v. The rheological properties of the MWCNTs added drilling fluid were determined according to the API standarts. The drilling muds at different ratios of MWCNTs addition are compared with each other, it is found that 0.1 % of MWCNTs added drilling mud has the best properties.

**Anahtar Kelimeler:** Multi-Walled Carbon Nanotubes, Water based drilling mud, Rheological properties

### Çok Duvarlı Karbon Nanotüplerin Su Bazlı Sondaj Çamurlarına Etkisi

#### ÖZ

Bu çalışmada, kimyasal buhar biriktirme yöntemi (CVD) ile üretilen çok-duvarlı karbon nanotüplerin (MWCNTs), su bazlı sondaj çamurlarının (WBDM) performansı üzerine etkisinin araştırılması amaçlanmıştır. 0.001, 0.005, 0.01, 0.05 and 0.1 % w/v oranında MWCNTs eklenmiş WBDM'lerin reolojik özellikleri API standartlarına göre tespit edilmiştir. Analiz sonuçları MWCNTs'nin iyi bir katkı maddesi olduğunu göstermiştir. Ayrıca farklı oranlarda MWCNTs eklemesi sonucu elde edilen WBDM'ler kendi içlerinde karşılaştırıldığında, en iyi katkılama oranının % 0.1 w/v olduğu görülmüştür.

**Keywords:** Çok Duvarlı Karbon Nanotüp, Su Bazlı Sondaj Çamuru, Reolojik Özellikler

#### INTRODUCTION

Drilling fluid (also called "drilling mud") has many functions in drilling operations. Some of these are wellbore cleaning, cooling and lubricating of the bit and drill sting, formation of an impermeable cake, checking high formation pressures and corrosion protection. Drilling fluids are generally classify water-based, oil-based and air based drilling fluid [1]. The water-based drilling fluid is frequently used and consists of mainly water, bentonite, viscosifier, fluid loss reducer and lubricants [2]. Good drilling fluid makes drilling operation more comfortable. In recent times, important reports were performed about the properties of drilling fluids by using, polymers, nano-materials, at different compositions [3-11]. The ultrafine size and high surface area can solve drilling fluids problems [12-14]. Beg et al. [15], aims to evaluate the enhance the rheological properties, lubricity. Rheology is evaluated by AV, PV and GS variation for water-based muds (WBM). The SiO<sub>2</sub> NPs and TiO<sub>2</sub> NPs were used at various amounts. These properties were observed for the mud samples at static conditions. The titanium nanoparticles show optimal performance at a concentration of 0.60 % (w/w). The thermal properties of nanofluids at various carbon nanotubes were investigated. According to the results, CNTs-nanofluids reveal the higher performance. In addition, the thermal properties increase with temperature and concentration [16]. Alvi et al. [17],

studied the effect of MWCNTs and functionalized MWCNTs with -OH and COOH groups such as bentonite, KCL and xanthan gum (XG). Hence, the addition of 0.0095wt % of MWCNTs, MWCNTs-OH and MWCNTs-COOH nanoparticles decreases the filtrate-loss. In xanthan gum drilling fluid, MWCNTs reduced the friction coefficient by 38 %. In the present study, the effects of MWCNTs as an additive on rheological properties, mud cake thickness and water loss of a WBDF were investigated. The filtration and the rheological properties such as apparent viscosity (AV), plastic viscosity (PV), yield point (YP), gel strengths (GS) of the plain WBDF and the MWCNTs added drilling mud were performed by American Petroleum Institute API RP 13B-1 [18] recommendations.

#### MATERIAL and METHODS

##### Synthesis of MWCNTs

MWCNTs were synthesized at 720 °C in the presence of CaCO<sub>3</sub>. CaCO<sub>3</sub> was used for the catalyst. pH-value of the suspension was 7.0. The mixture was heated and dried at 120 °C overnight as MWCNTs [19].

##### Water based drilling mud (WBDM)

WBDM is the most used drilling mud in the petroleum industry [20]. Water is the continuous phase, providing the initial rheological properties of the drilling mud. In this study, firstly a WBDF system was prepared using fresh water, Na-bentonite (6 w/v %) (particle size lower than 75  $\mu$  and sodium type) according to API 13A [21]. The pH of the fluid was adjusted by sodium hydroxide (NaOH) (pH range of drilling mud 9.5 - 10). After preparation of the mud, the system was mixed for 30 minutes in total. This drilling mud was used as an arbitration specimen. Secondly, the same drilling mud was prepared and different amounts of MWCNTs (0.001, 0.005, 0.01, 0.05 and 0.1 w/v %) was added into it. The mixture was kept mixing for 3 minutes and then aged for 16 hours (average temperature 25 °C). Conventional WBDM and MWCNTs added WBDM formulations are given in Table 1.

**Table 1.** Formulations of conventional and MWCNTs added WBDM

Materials	WBDM	MWCNTs added WBDM (w/v %)				
		0.001	0.005	0.01	0.05	0.1
MWCNTs (g)	-	4.06 x 10 <sup>-3</sup>	2.03 x 10 <sup>-2</sup>	4.06 x 10 <sup>-2</sup>	2.03 x 10 <sup>-1</sup>	4.06 x 10 <sup>-1</sup>
Fresh water (g)	400	400	400	400	400	400
Na-Bentonite (w/v %)	6	6	6	6	6	6

The physical and chemical differences between the arbitration specimen and the MWCNTs added drilling mud were determined and compared with each other. The elemental compositions of the Na-bentonite was determined using XRF. The filtration and the rheological properties such as AV, PV, YP and GS the drilling muds were determined in line with the American Petroleum Institute API 13 - B1 recommendations. A FANN 35 viscometer was used to measure rheological properties of the drilling muds. The filtration properties (filtrate loss and mud cake thickness) of drilling muds was measured using an API filter press device.

## RESULTS and DISCUSSION

### Characterization of Na-bentonite

The elemental compositions of the Na-bentonite was determined by X-ray fluorescence (XRF)(ARL OPTIMX model) which are shown in Tables 2. As expected, the results showed that SiO<sub>2</sub> and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> are the main components in the structures and at the same time Na-bentonite of suitable for the API Specification 13A standard [20, 21].

**Table 2.** Formulations of conventional and MWCNTs added WBDM

Sample	Content of Oxides (wt %)							
	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Na-Bentonite	2.48	2.44	20.9	65.85	0.75	1.44	0.29	5.85

### Rheological Results

Flow characteristics (viscosity and gel strengths) of the drilling mud were determined with a FANN 35 viscometer by dial readings at 600 and 300 revolutions per min (rpm) in terms of shear rate and shear stress (the experimental results are given in Table 3). The viscosities, shear stress and shear rate are defined as follows:

$$PV = \phi 600 - \phi 300$$

$$AV = \frac{1}{2} \phi 600$$

$$YP = \phi 300 - PV$$

$$AV = cP$$

$$PV = cP$$

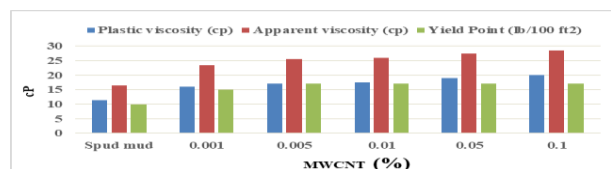
$$YP = lb/100 ft^2$$

$$\phi = \text{dial reading (value of revolutions per min (rpm))}$$

**Table 3.** Rheological results of the drilling fluids

Parameters	WBDM	MWCNTs added WBDM (w/v %)				
		0.001	0.005	0.01	0.05	0.1
300 (rpm)	21.5	31	34	34.5	36	37
600 (rpm)	33	47	51	52	52	57
PV (cP)	11.5	16	17	17.5	19	20
YP (lb/100 ft <sup>2</sup> )	10	15	17	17	17	17
AV (cP)	16.5	23.5	25.5	26	27.5	28.5
Gel at 10-second	4	4	4	4	4	5
Gel at 10-minute	6	7	7	7	8	8

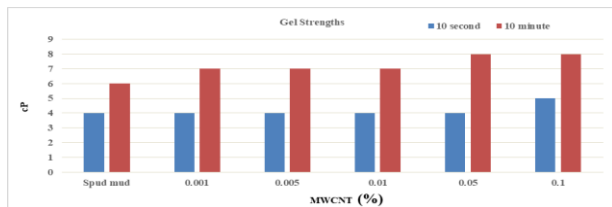
According to Table 3, the PV and AV increases with the amount of MWCNTs. The values of PV are harmony with the study which was indicated that these values are in the range of 18–29 cP at room temperature for the mud after 0.05 % ratio [22]. In addition, the mud is effectively circulated without much pressure loss owing to friction. The reason of pressure loss is the increase of mud viscosities in contact with drilled cuttings. The change of the AV, the PV and YP versus the MWCNTs ratio were represented in the Figure 1.



**Figure1.** PV, AV and YP vs Colemanite Concentration

The values of YP increased with the amount of MWCNTs up to 0.005 %. After that, it remained stable. Figure 1 was formed by the calculated shear stress and shear rate by viscosities measurements. It is shown that the rheological properties in terms of PV and AV, which are important for good cuttings suspension

characteristics when drilling is stopped, was improved with addition of the MWCNTs. The maximum value was recorded for 0.1 % w/v MWCNTs added into the drilling mud (Figure 1). In addition, the gel strengths (GS) versus the MWCNTs concentration graph is given in Figure 2.

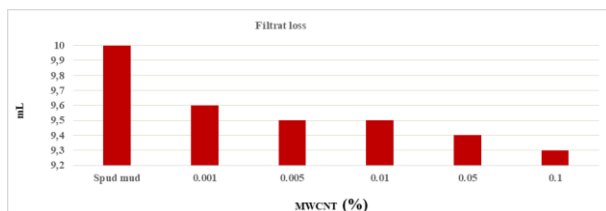


**Figure2.** Gel strength vs MWCNTs concentration

When the drilling is suspended or paused, the GS reacts to the mud behavior [23]. Higher GS has higher hydraulic power to restart the mud circulation. This is a problem of drilling operation [24]. The values of 10s and 10min increased with MWCNTs and WBDM was added.

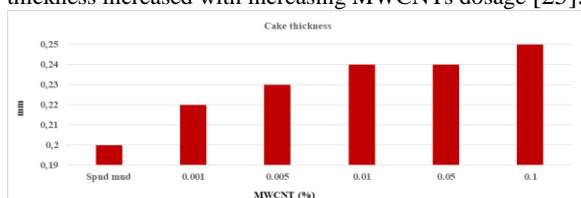
### Filtration Results

Filtration is important for hole durability. Low filtration is highly desired for water based drilling muds which contributes to wellbore durability. Figure 3 shows the filtration loss characteristics of the prepared drilling mud systems.



**Figure3.** Filtrate loss vs MWCNTs concentration

Minimum filtration loss was obtained at the addition of the 0.1 % w/v MWCNTs. It was also found that the MWCNTs addition decreases the filtrate loss of drilling mud by about 7 %. The loss of filtration resulting from naturally fractured, crevices and channels [14] is important in terms of the cost and the required time for the drilling to reach the target depth. The cake thickness versus the MWCNTs concentration in the drilling mud is plotted in Figure 4, indicating that the cake thickness increased with increasing MWCNTs dosage [25].



**Figure4.** Cake thickness vs MWCNTs concentration in the drilling mud

Tight borehole along with increased cake thickness and the damage to the rig pump resulting from pressure increase cause the undesirable situations such as high cost and long rig time [26]. A thick mud cake is not favorable for drilling operation,

however a lower filtration loss can decrease the cost of drilling operation.

### CONCLUSIONS

Effects of MWCNTs on rheological and filtration properties of WBDM were investigated. The experimental results showed that MWCNTs is a promising additive for improvement of the rheological properties and filtration properties of the drilling muds. The results showed that the MWCNTs was a well applicant as a drilling mud additive owing to the increasing PV 74 %, AV 73 %, YP 70 %, GS (10-second 25 % and 10-minute 33 %) and the reduction in the loss of filtrate 7 % when compared to the water based drilling muds prepared without any addition. According to the results, the optimal ratio of the MWCNTs addition on drilling mud was obtained with 0.1 % of MWCNTs.

### ORCID

Abdullah ÖZKAN  <http://orcid.org/000-0002-6799-2396>

### REFERENCES

- [1] Bourgoyne Jr A.T., Millheim K.K., Chenevert M.E., Young JrF. S. Applied Drilling Engineering. Society of Petroleum Engineers, Richardson, TX, Second Ed. Louisiana, State U. p. 42-82, 1991.
- [2] Amanullah M., Arfaj M.K., Abdullati Z.A. Effect of CuO and ZnO nanofluids in xanthan gum on thermal, electrical and high pressure rheology of water-based drilling fluids. Journal of Petroleum Science and Engineering, 117 1-9, 2011.
- [3] Zhong H., Qiu Z., Huang W., Cao J. Shale inhibitive properties of polyether diamine in water-based drilling fluid. Journal of Petroleum Science and Engineering, 78 510-515, 2011.
- [4] Amanullah Md., Yu L. Environment friendly fluid loss additives to protect the marine environment from the detrimental effect of mud additives. Journal of Petroleum Science and Engineering, 48 199-208, 2005.
- [5] Gentzis T., Deisman N., Chalaturnyk R.J. Effect of drilling fluids on coal permeability: Impact on horizontal wellbore stability. International Journal of Coal Geology, 78 177-191, 2009.
- [6] Fink J. Petroleum engineer's guide to oil field chemicals and fluids. Gulf Professional Publishing, 2011.
- [7] Agi A., Junin R., Gbadamosi A. Mechanism governing nanoparticle flow behaviour in porous media: insight for enhanced oil recovery applications. International Nano Letters, 8 1-29, 2018.
- [8] Franco C.A., Zabala R., Cortés, F.B. Nanotechnology applied to the enhancement of oil and gas productivity and recovery of Colombian fields. Journal of Petroleum Science and Engineering, 157 39-55, 2017.
- [9] Gbadamosi A.O., Junin R., Manan M.A., Yekeen N., Agi A., Oseh J.O. Recent advances and prospects in polymeric nanofluids application for enhanced oil recovery. Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 1-16, 2018a.
- [10] Yekeen N., Manan M. A., Idris A. K., Padmanabhan E., Junin R., Samin A.M., Gbadamosi A.O., Oguamah I.A comprehensive review of experimental studies of nanoparticles-stabilized foam for enhanced oil recovery. Journal of Petroleum Science and Engineering, 164 43-74, 2018.

- [11] Gbadamosi A. O., Junin R., Abdalla Y., Agi A., Oseh, J.O. Experimental investigation of the effects of silica nanoparticle on hole cleaning efficiency of water-based drilling mud. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 2018b.
- [12] Afolabi R. O., Orodu O. D., Seteyeobot I. Predictive modelling of the impact of silica nanoparticles on fluid loss of water based drilling mud. *Applied Clay Science*, 151 37-45, 2018.
- [13] Smith S.R., Rafati R., Haddad A.S., Cooper A., Hamidi H. Application of aluminium oxide nanoparticles to enhance rheological and filtration properties of water based muds at HPHT conditions. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 537 361-371, 2018.
- [14] Abdo J., Haneef M.D. Nano-Enhanced Drilling Fluids: Pioneering Approach to Overcome Uncompromising Drilling Problems. *Journal of Energy Resources Technology*, 134 014501, 2012.
- [15] Bég O.A., Espinoza D.S., Kadir A., Shamshuddin M.D., Sohail A. Experimental Study of Improved Rheology and Lubricity of Drilling Fluids Enhanced with Nanoparticles. *Applied Nanoscience*. 8 1-22, 2018.
- [16] Xing M., Yu J., Wang R. Experimental study on the thermal conductivity enhancement of water based nanofluids using different types of carbon nanotubes. *International journal of heat and mass transfer*, 88 609-616, 2015.
- [17] Alvi M. A.A., Belayneh M., Saasen A., Fjelde K.K., Aadnøy B. S. Effect of MWCNT and MWCNT Functionalized -OH and -COOH Nanoparticles in Laboratory Water Based Drilling Fluid. *ASME 2018 37th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering*. OMAE2018-78702, p. V008T11A069, 2018.
- [18] API recommended practice 13B-1. *API Standard Practice for Field Testing of Water-based Drilling Fluids*, 2009.
- [19] Couteau E., Hernadi K., Seo J.W., Thien-Nga L., Miko Cs., Gaal R., Forro L. CVD synthesis of high-purity multiwalled carbon nanotubes using CaCO<sub>3</sub> catalyst support for large-scale production. *Chemical Physics Letters*, 378 9-17, 2003.
- [20] Shah S.N., Shanker N.H., Ogugbue C.C. Future challenges of drilling fluids and their rheological measurements. In *AADE fluids conference and exhibition*, Houston, Texas, 2010.
- [21] API, 13A. *Specification for Drilling Fluid Materials*. American Petroleum Intitute, ANSI/API 13A/ISO 13500, 2010.
- [22] Aftab A., Ismail A.R., Khokhar S., Ibupoto Z. H. Novel zinc oxide nanoparticles deposited acrylamide composite used for enhancing the performance of water-based drilling fluids at elevated temperature conditions. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 146 1142-1157, 2016.
- [23] Kelessidis V.C., Tsamantaki C., Pasadakis N., Repouskou E., Hamilaki E. Permeability, porosity and surface characteristics of filter cakes from water-bentonite suspensions. *Computational Methods in Multiphase Flow IV*, WIT Transactions on Engineering Sciences, WIT Press, Southampton, UK, 56 173-182, 2007.
- [24] Guo J., Yan J., Fan W., Zhang H. Applications of strongly inhibitive silicate-based drilling fluids in troublesome shale formations in Sudan. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 50 195-203, 2006.
- [25] Nabhani N., Emami M. *The Potential Impact of Nanomaterials in Oil Drilling Industry*. NANOCON, Brno, Czech Republic, EU, 2012.
- [26] Bailey L., Boek E., Jacques S., Boassen T., Selle O., Statoil, Argillier J.F., Longeron D. Particulate invasion from drilling fluids. *European Formation Damage Conference*, 5:4 412-419, 2000.



## G=S(1), G=S(2) ve alt Grubları için G- Yörüngeler

Muhsin İNCESU<sup>1</sup>, Osman GÜRSOY<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Matematik Eğitimi ABD, Eğitim Fakültesi, Muş Alparslan Üniversitesi, Muş, Türkiye.

<sup>2</sup> Matematik Bölümü, Eğitim Fakültesi, Maltepe Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.

✉: m.incesu@alparslan.edu.tr

Geliş (Received): 07.11.2018

Düzenleme (Revision): 19.11.2018

Kabul (Accepted): 20.11.2018

### ÖZ

$(G, *)$  bir grup,  $X$  bir küme olmak üzere  $G : X$  etkisi verilsin. Bir  $x \in X$  noktası için  $Gx = \{gx : g \in G\}$  kümesine  $x$  elemanının  $G$ - yörüngesi denir.  $(G, *)$  bir grup olmak üzere bir  $x \in X$  elemanının kendisini içeren en küçük  $G$ -invariant altküme  $x$ 'in  $G$ -yörüngesidir. Bu çalışmada Benzerlik grubu  $G = S(n)$  ve tüm alt grupları için  $n=1$  ve  $n=2$  durumlarında  $G$ - invariant alt uzaylar olan  $G$ - yörüngeler elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Benzerlik grubu,  $G$ - invariant altküme,  $G$ - yörüngeler

### The G- orbits for $G=S(1)$ , $G=S(2)$ and their Subgroups

#### ABSTRACT

Let  $(G, *)$  is a group and  $X$  is a nonempty set and let group action  $G : X$  are given. For any point  $x \in X$  the set  $Gx = \{gx : g \in G\}$  is called  $G$ - orbits of the element  $x$ . Let  $(G, *)$  is a group then, the smallest  $G$ - invariant subset containing  $x \in X$  is  $G$ - orbit of  $x$ . In this paper  $G$ -orbits of the similarity group  $S(n)$  and all subgroups of it in case  $n=1$  and  $n=2$ , which are  $G$ - invariant subspaces therewithal, are obtained.

**Keywords:**  $G$ - invariant subsets,  $G$ - orbits, Similarity group

#### GİRİŞ

Bir  $G$  dönüşüm grubunun herhangi bir küme üzerine etkisi  $G:X$  ile gösterilir. Bu etkiye  $G$  grubun  $X$  üzerinde hareketi de denir. Bir  $x \in X$  elemanının  $G$  nin tüm dönüşümleri altındaki görüntülerinin kümesine  $x$  elemanının  $G$ - yörüngesi denir.  $(G, *)$  bir grup olmak üzere bir  $x \in X$  elemanının kendisini içeren en küçük  $G$ -invariant altküme  $x$ 'in  $G$ -yörüngesidir ve bir  $G$ -invariant altküme eğer bir noktayı kapsıyorsa onun yörüngesini de kapsamaktadır. İnvaryant altuzayların bulunması probleminin matematikte oldukça yaygın bir kullanım alanı vardır. Özellikle operatör teoride Hilbert uzaylarda ve tam sürekli operatörler için ve nonlineer diferensiyel denklemlerin çözümlerinde kullanılan bir kavramdır [12-15].

Yörünge uzaylarının invaryant teoride pek çok alanda çalışıldığı görülür [1, 2, 10].  $O(n)$  grubu için noktaların tam invaryant sistemini 1897 de E. Study vermiştir. Daha sonra bunu Hermann Weyl geliştirmiştir [16]. 1988 de, Djavvat Khadjiev, R. Aripov tüm öklid hareketlerinin grubu  $E(n)$  için bu problemi çözmüştür [17]. Daha sonra Weyl gösterimleri çok çeşitli alanlara uygulanmaya başlamıştır. Biyolojide bakterilerin sınıflandırılmasından, insanların kavramları algılama problemlerine kadar bir çok alana bu uygulamalar genişletilmiştir. Örneğin, E. Cassier [18], transformasyon grubunun invaryantlarını, algısal karakterizasyonlar olarak vermiştir. Daha sonra Hoffman [19,20] Lie transformasyon grupları ve Lie cebirlerine dayalı olarak algı teorisini geliştirmiştir. Bunları Chan ve Chan [21,22] ve Leyton [23] takip

etmiştir. İnvaryant parametrisasyon ve eğriler teorisi ile ilgili diğer çalışmalar [24-29] gösterilebilir.

#### MATERYAL ve YÖNTEM

**Tanım:**  $(G, *)$  bir grup,  $X$  bir küme ve  $G \times X = \{(g, x) ; g \in G, x \in X\}$  olmak üzere

$\varphi : G \times X \rightarrow X$  dönüşümü verilsin. Eğer,

1.  $\varphi(g_1, \varphi(g_2, x)) = \varphi(g_1 * g_2, x)$ ,  $\forall g_1, g_2 \in G$  ve  $\forall x \in X$ ;
2.  $\varphi(e, x) = x$ ,  $\forall x \in X$  ve  $e, G$  nin birim elemanı,

ise  $\varphi$  dönüşümüne  $G$  grubunun  $X$  kümesi üzerindeki etkisi denir. Bu etki  $G : X$  ile  $\varphi(g, x)$  ifadesi de  $gx$  ile belirtilir.

**Örnek**  $G = LH(2) = \left\{ \begin{pmatrix} \lambda & 0 \\ 0 & \lambda \end{pmatrix}, \lambda > 0, \lambda \in R \right\}$  kümesini

alalım. Bu küme, matrislerin çarpma işlemine göre bir gruptur.  $G$  grubunun  $X = R^2$  üzerindeki  $G : R^2$  etkisini,

$g = \begin{pmatrix} \lambda & 0 \\ 0 & \lambda \end{pmatrix}$  ve  $x = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix}$  olmak üzere,

$\varphi : G \times R^2 \rightarrow R^2$

$(g, x) \xrightarrow{\varphi} \varphi(g, x) = gx$

yani  $g$  matrisinin  $x$  sütun matrisi ile çarpımı olarak tanımlayalım. Gerçekten bu bir etkidir: Her

$$g_1 = \begin{pmatrix} \lambda_1 & 0 \\ 0 & \lambda_1 \end{pmatrix}, \quad g_2 = \begin{pmatrix} \lambda_2 & 0 \\ 0 & \lambda_2 \end{pmatrix} \in G \quad \text{ve} \quad x = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} \in R^2$$

için,

$$1. \quad \varphi(g_1, \varphi(g_2, x)) = \varphi\left(\begin{pmatrix} \lambda_1 & 0 \\ 0 & \lambda_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \lambda_2 & 0 \\ 0 & \lambda_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix}\right) = \varphi\left(\begin{pmatrix} \lambda_1 & 0 \\ 0 & \lambda_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \lambda_2 x_1 \\ \lambda_2 x_2 \end{pmatrix}\right) = \begin{pmatrix} \lambda_1 \lambda_2 x_1 \\ \lambda_1 \lambda_2 x_2 \end{pmatrix}$$

$$= \varphi\left(\begin{pmatrix} \lambda_1 & 0 \\ 0 & \lambda_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \lambda_2 & 0 \\ 0 & \lambda_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix}\right)$$

$$= \varphi(g_1 g_2, x)$$

$$2. \quad \varphi(1, x) = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix}; \quad \forall x = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} \in R^2 \quad \text{ve} \quad 1 = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \in G \text{ birim eleman.}$$

dır. ♦

$G$  bir grup olmak üzere,  $\varphi_1 = G : X_1$  ve  $\varphi_2 = G : X_2$  de  $G$  grubunun verilen  $X_1$  ve  $X_2$  kümeleri üzerindeki iki etkisi olsun.

$X_1 \times X_2 = \{(x_1, x_2) : x_1 \in X_1, x_2 \in X_2\}$  olmak üzere

$$\varphi : G \times (X_1 \times X_2) \rightarrow X_1 \times X_2$$

$$(g, (x_1, x_2)) \xrightarrow{\varphi} \varphi(g, (x_1, x_2)) = (\varphi_1(g, x_1), \varphi_2(g, x_2))$$

dönüşümü de bir etkidir. Bu etkiyi  $\varphi = G : X_1 \times X_2$  ile göstereceğiz. Şimdi bunun bir etki olduğunu gösterelim:

$\varphi_1$  ve  $\varphi_2$  birer etki olduklarından,

$$1. \quad \varphi(g_1, \varphi(g_2, (x_1, x_2))) = \varphi(g_1, (\varphi_1(g_2, x_1), \varphi_2(g_2, x_2))) = \varphi(g_1, (\varphi_1(g_2, x_1), \varphi_2(g_2, x_2)))$$

$$= (\varphi_1(g_1, \varphi_1(g_2, x_1)), \varphi_2(g_1, \varphi_2(g_2, x_2)))$$

$$= (\varphi_1(g_1 g_2, x_1), \varphi_2(g_1 g_2, x_2))$$

$$= \varphi(g_1 g_2, (x_1, x_2))$$

$$2. \quad \varphi(e, (x_1, x_2)) = (\varphi_1(e, x_1), \varphi_2(e, x_2)) = (x_1, x_2); \quad \forall (x_1, x_2) \in X_1 \times X_2 \quad \text{ve} \quad e \in G \text{ birim eleman.}$$

**Örnek:**  $G = LS(1)$  olmak üzere,  $\varphi_1 = G : R$  öyleki

$\varphi_1(r, x) = rx$  ve  $\varphi_2 = G : R$  öyleki  $\varphi_2(r, x) = r^2 x$  verilsin.

$R^2 = RxR = \{(x_1, x_2) : x_1 \in R, x_2 \in R\}$  olmak üzere

$$\varphi : G \times R^2 \rightarrow R^2$$

$$(r, (x_1, x_2)) \xrightarrow{\varphi} \varphi(r, (x_1, x_2)) = (\varphi_1(r, x_1), \varphi_2(r, x_2))$$

dönüşümü de bir etkidir. Şimdi bunun bir etki olduğunu

gösterelim:  $\varphi_1$  ve  $\varphi_2$  birer etki olduklarından,

$$1. \quad \varphi(r_1, \varphi(r_2, (x_1, x_2))) = \varphi(r_1, (\varphi_1(r_2, x_1), \varphi_2(r_2, x_2)))$$

$$= \varphi(r_1, (\varphi_1(r_2, x_1), \varphi_2(r_2, x_2)))$$

$$= (\varphi_1(r_1, \varphi_1(r_2, x_1)), \varphi_2(r_1, \varphi_2(r_2, x_2)))$$

$$= (\varphi_1(r_1 r_2, x_1), \varphi_2(r_1 r_2, x_2))$$

$$= \varphi(r_1 r_2, (x_1, x_2))$$

$$2. \quad \varphi(e, (x_1, x_2)) = (\varphi_1(e, x_1), \varphi_2(e, x_2)) = (x_1, x_2); \quad \forall (x_1, x_2) \in X_1 \times X_2 \quad \text{ve} \quad e \in G \text{ birim eleman.}$$

dır. ♦

Bir  $\varphi : G \times X \rightarrow X$  dönüşümüyle verilen bir etkide  $g \in G$  elemanını seçip sabitlediğimizde

$$\varphi : G \times X \rightarrow X$$

$$(g, x) \xrightarrow{\varphi} \varphi(g, x) = gx$$

dönüşümü

$$\varphi(g, \cdot) : X \rightarrow X$$

$$x \xrightarrow{\varphi(g, \cdot)} \varphi(g, x) = gx$$

dönüşümüne indirgenmiş olur.

**Tanım:**  $G$  bir grup olmak üzere,  $\varphi_1 = G : X_1$  ve

$\varphi_2 = G : X_2$  de  $G$  grubunun verilen  $X_1$  ve  $X_2$  kümeleri

üzerindeki iki etkisi olsun. Eğer,  $\exists F : X_1 \rightarrow X_2$

birebir ve örten dönüşümü,

$$\begin{array}{ccc} X_1 & \xrightarrow{F} & X_2 \\ \varphi_1(g, \cdot) \downarrow & & \downarrow \varphi_2(g, \cdot) \\ X_1 & \xrightarrow{F} & X_2 \end{array}$$

diyagramı değişmeli olacak şekilde ya da

$F \circ \varphi_1(g, \cdot) = \varphi_2(g, \cdot) \circ F$  eşitliğini sağlayacak biçimde

bulunabilirse  $\varphi_1$  ve  $\varphi_2$  etkilerine denktir denir.

**Örnek:**  $G = LH(2)$  olsun.  $G$  grubunun

$X_1 = \{(x, y) : y > x\} \subset R^2$  ve  $X_2 = \{(x, y) : x > y\} \subset R^2$

kümeleri üzerindeki etkileri  $\lambda = \begin{pmatrix} \lambda & 0 \\ 0 & \lambda \end{pmatrix}$  olmak üzere

$$\varphi_1 : G \times X_1 \rightarrow X_1$$

$$(\lambda, (x, y)) = \left( \begin{pmatrix} \lambda & 0 \\ 0 & \lambda \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \right) \xrightarrow{\varphi_1} \varphi_1(\lambda, (x, y)) = \begin{pmatrix} \lambda & 0 \\ 0 & \lambda \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \lambda x \\ \lambda y \end{pmatrix} \quad \forall$$

e

$$\varphi_2 : G \times X_2 \rightarrow X_2$$

$$(\lambda, (x, y)) = \left( \begin{pmatrix} \lambda & 0 \\ 0 & \lambda \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \right) \xrightarrow{\varphi_2} \varphi_2(\lambda, (x, y)) = \begin{pmatrix} \lambda & 0 \\ 0 & \lambda \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \lambda x \\ \lambda y \end{pmatrix}$$

olarak verilsin. Bu durumda bir  $F : X_1 \rightarrow X_2$  dönüşümü olarak  $F(x, y) = (y, x)$  alınabilir.  $F$ , birebir ve örten bir dönüşümdür. Buna göre;

$$\begin{array}{ccc} X_1 & \xrightarrow{F} & X_2 \\ \varphi_1(\lambda, \cdot) \downarrow & & \downarrow \varphi_2(\lambda, \cdot) \\ X_1 & \xrightarrow{F} & X_2 \end{array}$$

$(F \circ \varphi_1(\lambda, \cdot))(x, y) = F(\varphi_1(\lambda, \cdot)(x, y)) = F(\varphi_1(\lambda, (x, y))) = F(\lambda x, \lambda y) = (\lambda y, \lambda x)$   
öte yandan

$$(\varphi_2(\lambda, \cdot) \circ F)(x, y) = \varphi_2(\lambda, \cdot)(F(x, y)) = \varphi_2(\lambda, \cdot)(y, x) = \varphi_2(\lambda, (y, x)) = (\lambda y, \lambda x)$$

olur. Böylece bu diyagramın değişmeli olduğu görülür. Buna göre bu iki etki denktir.

### G- Denk Noktalar ve G- Yörünge

**Tanım:**  $G$  bir grup ve  $\varphi = G : X$  etkisi verilmiş olsun. Eğer  $\forall h \in H$  ve  $\forall g \in G$  için  $gh \in H$  ise  $H \subset X$  altkümesine  $G$ -invariant altküme denir.

Bu tanımda  $H$  olarak  $H = \{x_0\} \subset X$  alındığında;  $\forall g \in G$  için  $gx_0 = x_0$  ise bu  $x_0$  noktasına  $G$ -invariant nokta denir.

**Tanım:**  $G : X$  verilsin. Bir  $x \in X$  noktası için

$$Gx = \{gx : g \in G\}$$

kümesine  $x$  elemanının  $G$ -yörüngesi denir.

**Önerme:**  $G : X$  etkisi verilmiş olsun. Keyfi  $x \in X$  elemanının  $G$ - yörüngesi bir  $G$ -invariant altkümedir.

**İspat:**  $x \in X$  elemanının  $G$ - yörüngesi  $Gx = \{gx : g \in G\}$  dir. Şimdi  $Gx \subset X$  in bir  $G$ -invariant altküme olduğunu gösterelim. Bunun için her  $y \in Gx$  ve her  $g \in G$  için  $gy \in Gx$  olduğunu göstermeliyiz.  $y \in Gx$  olduğundan  $\exists g_1 \in G$  öyleki  $y = g_1x$  dir. Buna göre  $gy = g(g_1x)$  yazabiliriz. Etkinin tanımından  $g(g_1x) = (gg_1)x$  dir.  $G$  bir grup ve  $g^* = gg_1 \in G$  olduğundan  $gy = g^*x \in Gx$  dir.

**Önerme:**  $G : X$  etkisi verilmiş olsun. Keyfi bir  $x \in X$  elemanının  $G$ - yörüngesi  $Gx$  olmak üzere  $Gx$  -in kendisinden farklı  $G$ -invariant altkümeleri yoktur.

**İspat:**  $H \subset Gx$  alalım ve  $H$ ,  $G$ -invariant altküme olsun.  $H = Gx$  olduğunu gösterelim. e,  $G$  nin birim elemanı olmak üzere  $x = ex$  ve  $e \in G$  olduğundan  $x \in Gx$  dir.  $y \in H$  olsun. Bu takdirde  $\exists g_1 \in G$  öyleki  $y = g_1x \in H$  dir.  $H$ ,  $G$ -invariant altküme olduğundan her  $g \in G$  için  $gy = g(g_1x) \in H$  dir. O halde  $g = g_1^{-1}$  için de doğrudur. Dolayısıyla,  $gy = g_1^{-1}(g_1x) = (g_1^{-1}g_1)x = x \in H$  dir.  $x \in H$  ve  $H$ ,  $G$ -invariant altküme ve her  $g \in G$  için  $gx \in H$  olduğundan  $Gx \subset H$  dir. Buradan  $Gx = H$  elde edilir. ♦

Burada bu önerme ile şu gösterilmiş oldu: bir  $G$ -invariant altküme eğer bir noktayı kapsıyorsa onun yörüngesini de kapsamaktadır ve bir elemanın kendisini içeren en küçük  $G$ -invariant altküme o elemanın yörüngesidir. Yani bir  $x \in X$  için  $x$ - i kapsayan en küçük  $G$ -invariant altküme  $Gx$  dir.

**Sonuç:** Keyfi  $a \in Gx$  için  $Ga = Gx$  dir.

**İspat:** Önceki önermelerden kolayca görülebilir.

**Önerme:**  $G$  bir grup ve  $G : X$  etkisi verilmiş olsun.  $x, y \in X$  ( $x \neq y$ ) noktalarının yörüngeleri  $Gx$  ve  $Gy$  ler olmak üzere  $Gx \cap Gy \neq \emptyset$  ise,  $Gx = Gy$  dir. Başka bir ifade ile  $Gx \neq Gy$  ise  $Gx \cap Gy = \emptyset$  dir.

**İspat:** Varsayalım ki  $Gx \cap Gy \neq \emptyset$  olsun. Bu takdirde  $a \in Gx \cap Gy$  elemanı mevcuttur. Bir önceki Sonuç'a göre  $Ga = Gx$  ve  $Ga = Gy$  dir. Dolayısıyla  $Gx = Gy$  dir. ♦

**Tanım:**  $G$  bir grup ve  $G : X$  etkisi verilmiş olsun. Eğer,  $\exists g \in G$  öyleki  $x_2 = gx_1$  ise  $x_1, x_2 \in X$

noktalarına G-denik noktalar denir. Bu noktaların G-denik olması  $x_1 \sim x_2$  şeklinde gösterilir.

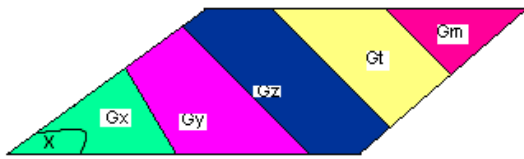
**Önerme:** Noktaların G- denklik bağıntısı bir denklik bağıntısıdır.

**İspat:** 1.  $x_1 \sim x_1$  dir. Çünkü e, G nin birim elemanı olmak üzere  $x_1 = ex_1$  dir.

2.  $x_1 \sim x_2$  olsun. Bu takdirde bir  $g \in G$  vardır öyleki,  $x_2 = gx_1$  dir. Bu durumda  $g^{-1}x_2 = (g^{-1}g)x_1 = x_1$  olacağından  $x_2 \sim x_1$  dir.

3.  $x_1 \sim x_2$  ve  $x_2 \sim x_3$  olsun. Buna göre bir  $g_1 \in G$  vardır, öyleki  $x_2 = g_1x_1$  dir ve bir  $g_2 \in G$  vardır öyleki,  $x_3 = g_2x_2$  dir. O halde  $x_3 = g_2(g_1x_1) = (g_2g_1)x_1$  ve  $g_2g_1 \in G$  olduğundan  $x_1 \sim x_3$  dir. Dolayısıyla  $\sim$  bağıntısı bir denklik bağıntısıdır. ♦

Böylece bir elemanın  $\sim$  bağıntısına göre denklik sınıfları o elemanın G- yörüngeleridir. Bu  $\sim$  bağıntısı kümenin elemanlarını arakesitleri boş olan denklik sınıflarına ayırmaktadır.



**Şekil 1.** X kümesinin elemanlarının  $\sim$  bağıntısına göre yörüngeleri.

## TARTIŞMA ve SONUÇ

### Benzerlik Grupları İçin G- Yörüngeler

Bu çalışmada benzerlik grupları denince, benzerlik dönüşümlerin grubu ve bu grubun tüm alt grupları anlaşılacaktır. Şimdi n boyutlu uzayda benzerlik gruplarını ifade edelim.

- 1-  $O(n) = \{f : R^n \rightarrow R^n \mid f(x) = gx; g^{-1} = g^T\}$
- 2-  $SO(n) = \{f : R^n \rightarrow R^n \mid f(x) = gx; g^{-1} = g^T; \det g = +1\}$
- 3-  $Tr(n) = \{f : R^n \rightarrow R^n \mid f(x) = x + b; b \in R^n\}$
- 4-  $E(n) = \{f : R^n \rightarrow R^n \mid f(x) = gx + b; g \in O(n); b \in R^n\}$
- 5-  $SE(n) = \{f : R^n \rightarrow R^n \mid f(x) = gx + b; g \in SO(n); b \in R^n\}$
- 6-  $LH(n) = \{f : R^n \rightarrow R^n \mid f(x) = \lambda x; \lambda > 0\}$
- 7-  $H(n) = \{f : R^n \rightarrow R^n \mid f(x) = \lambda x + b; \lambda > 0; b \in R^n\}$
- 8-  $LS(n) = \{f : R^n \rightarrow R^n \mid f(x) = \lambda gx; g \in O(n); \lambda > 0\}$
- 9-  $SLS(n) = \{f : R^n \rightarrow R^n \mid f(x) = \lambda gx; g \in SO(n); \lambda > 0\}$
- 10-  $SS(n) = \{f : R^n \rightarrow R^n \mid f(x) = \lambda gx + b; g \in SO(n); \lambda > 0; b \in R^n\}$
- 11-  $S(n) = \{f : R^n \rightarrow R^n \mid f(x) = \lambda gx + b; g \in O(n); \lambda > 0; b \in R^n\}$

Şimdi tüm bu grupların n = 1 durumunda R deki, n = 2 durumunda da R<sup>2</sup> deki G-yörüngelerini bulalım:

1-  $SO(1) : R$  etkisini alalım. Bu etki  $gx$  biçiminde iki reel sayının çarpımı olarak verilsin.  $SO(1) = \{1\}$  olduğundan bu etki  $\varphi(1, x) = x$  olur. Buna göre

**Teorem:** bir  $x \in R$  elemanının  $SO(1)$  yörüngesi  $Gx = \{x\}$  dir. Yani  $SO(1)$  R yi tek noktalı yörüngelere ayırır.

Böylece R de sonsuz sayıda  $SO(1)$ - yörünge mevcuttur.



**Şekil 2.** R nin  $SO(1)$  yörüngeleri

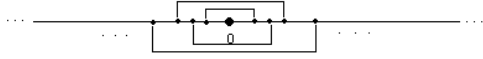
2-  $O(1) : R$  etkisini alalım. Bu etki  $gx$  biçiminde iki reel sayının çarpımı olarak verilsin.  $O(1) = \{-1, 1\}$  olduğundan bu etki  $\varphi(1, x) = x$  ya da

$\varphi(1, x) = -x$  biçiminde olur. Buna göre

**Teorem:** Bir  $x \in R$  elemanının  $O(1)$  yörüngesi  $Gx = \{\pm x\}$  dir. Yani  $O(1)$ , R yi en fazla iki noktadan oluşan yörüngelere ayırır. O halde yörüngeler,

$$Gx = \begin{cases} 0 & x = 0 \\ \pm x & x \neq 0 \end{cases}$$

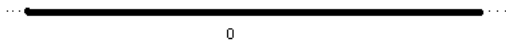
dir.



Şekil 3. R nin  $O(1)$  yörüngeleri

- 3-  $SE(1) : R$  ve  $Tr(1) : R$  etkilerini alalım. Bu etkiler  $\varphi(x) = x + b$ ,  $b \in R$  biçiminde olur. Buna göre

**Teorem:** Bir  $x \in R$  elemanın  $SE(1)$  yörüngesi  $R$  nin kendisidir. Yani  $Gx = R$  dir.



Şekil 4. R nin  $SE(1)$ ,  $E(1)$ ,  $Tr(1)$ ,  $H(1)$ ,  $SS(1)$ ,  $S(1)$  yörüngesi

- 4-  $E(1)$ : R etkisini alalım. Bu etki  $\varphi(x) = x + b$ ,  $b \in R$  ya da  $\varphi(x) = -x + b$ ,  $b \in R$  biçiminde olur. Buna göre

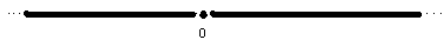
**Teorem:** Bir  $x \in R$  elemanın  $E(1)$  yörüngesi de  $R$  nin kendisidir. Yani  $Gx = R$  dir.

- 5-  $LH(1)$ : R etkisini alalım. Bu etki  $gx$  biçiminde iki reel sayının çarpımı olduğundan bu etki  $\varphi(x) = \lambda x$ ,  $\lambda > 0$  olur. Buna göre

**Teorem:** Bir  $x \in R$  elemanın  $LH(1)$  yörüngesi

$$Gx = \begin{cases} (-\infty, 0) & , x < 0 \\ 0 & , x = 0 \\ (0, \infty) & , x > 0 \end{cases}$$

dir. Yani  $LH(1)$ ,  $R$  yi 3 yörüngeye ayırır.



Şekil 5. R nin  $LH(1)$ ,  $SLS(1)$  yörüngeleri

- 6-  $H(1)$ : R etkisini alalım. Bu etki  $\varphi(x) = \lambda x + b$ ,  $\lambda > 0, b \in R$  olur. Buna göre

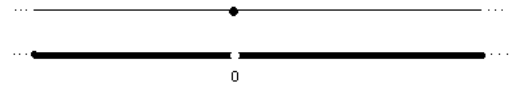
**Teorem:** Bir  $x \in R$  elemanın  $H(1)$  yörüngesi  $R$  nin kendisidir. Yani  $Gx = R$  dir.

- 7-  $LS(1)$ : R etkisini alalım. Bu etki  $\varphi(x) = \lambda x$ ,  $\lambda \neq 0$  biçiminde olur. Buna göre

**Teorem:** Bir  $x \in R$  elemanın  $LS(1)$  yörüngesi

$$Gx = \begin{cases} \{0\} & x = 0 \\ R - \{0\} & x \neq 0 \end{cases}$$

dir. Yani  $LS(1)$ ,  $R$  yi 2 yörüngeye ayırır.



Şekil 6. R nin  $LS(1)$  yörüngeleri

- 8-  $SLS(1)$ : R etkisini alalım.  $SLS(1)$  ve  $LH(1)$  çakışır. Buna göre

**Teorem:**  $SLS(1)$ - in  $R$  deki yörüngeleri  $LH(1)$  in yörüngeleri ile aynıdır.

- 9-  $SS(1)$  : R etkisini alalım.  $SS(1)$  ve  $H(1)$  çakışır. Buna göre

**Teorem:**  $SS(1)$  - in  $R$  deki yörüngeleri  $H(1)$  in yörüngeleri ile aynıdır.

- 10-  $S(1)$ : R etkisini alalım. Bu etki  $\varphi(x) = \lambda x + b$ ,  $b \in R, \lambda \neq 0$  biçiminde olur. Buna göre

**Teorem:** Bir  $x \in R$  elemanın  $S(1)$  yörüngesi de  $R$  nin kendisidir. Yani  $Gx = R$  dir.

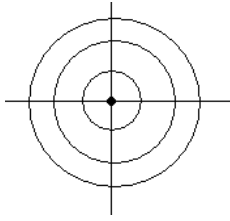
- 11-  $SO(2)$  :  $R^2$  etkisini alalım. Bu etki  $g = \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \in SO(2)$  ve  $x = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} \in R^2$  olmak üzere

$$\varphi(x) = \begin{pmatrix} g_{11} & g_{12} \\ g_{21} & g_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} \text{ biçiminde olur. Buna göre}$$

**Teorem:** Bir  $x \in R^2$  elemanın  $SO(2)$  yörüngesi

$$Gx = \begin{cases} (0,0), & x = (0,0) \\ C(0, r), r = \sqrt{x_1^2 + x_2^2} & x \neq (0,0) \end{cases}$$

dir. Yani  $SO(2)$ ,  $R^2$  yi orjin ve orjin merkezli çemberlerden oluşan yörüngelere ayırır.



Şekil 7.  $R^2$  nin  $SO(2)$  ve  $O(2)$  nin yörüngeleri

12-  $O(2) : R^2$  etkisini alalım. Bu etki  $g \in SO(2)$

ve  $x = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} \in R^2$  olmak üzere

$$\omega = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} g$$

biçiminde ifade edilirse  $\varphi(x) = \omega x$  olur. Buna göre

**Teorem:** Bir  $x \in R^2$  elemanın  $O(2)$  yörüngesi

$$Gx = \begin{cases} (0,0), & x = (0,0) \\ C(0,r), r = \sqrt{x_1^2 + x_2^2} & x \neq (0,0) \end{cases}$$

dir. Yani  $O(2)$  de,  $R^2$  yi orijin ve orijin merkezli çemberlerden oluşan yörüngelere ayırır.

13-  $SE(2) : R^2$  etkisini alalım. Bu etki

$$g = \begin{pmatrix} g_{11} & g_{12} \\ g_{21} & g_{22} \end{pmatrix} \in SO(2), \quad x = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix},$$

$$b = \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \end{pmatrix} \in R^2 \quad \text{olmak} \quad \text{üzere}$$

$$\varphi(x) = \begin{pmatrix} g_{11} & g_{12} \\ g_{21} & g_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \end{pmatrix} \quad \text{biçiminde}$$

olur. Buna göre

**Teorem:** Bir  $x \in R^2$  elemanın  $SE(2)$  yörüngesi  $R^2$  nin kendisidir. Yani

$$Gx = R^2$$

dir.

14-  $E(2) : R^2$  etkisini alalım. Bu etki

$$g = \begin{pmatrix} g_{11} & g_{12} \\ g_{21} & g_{22} \end{pmatrix} \in O(2), \quad x = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix},$$

$$b = \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \end{pmatrix} \in R^2 \quad \text{olmak} \quad \text{üzere}$$

$$\varphi(x) = \begin{pmatrix} g_{11} & g_{12} \\ g_{21} & g_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \end{pmatrix} \quad \text{biçiminde}$$

olur. Buna göre

**Teorem:** Bir  $x \in R^2$  elemanın  $E(2)$  yörüngesi  $R^2$  nin kendisidir. Yani  $Gx = R^2$  dir.

15-  $LH(2) : R^2$  etkisini alalım. Bu etki  $x = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} \in R^2$

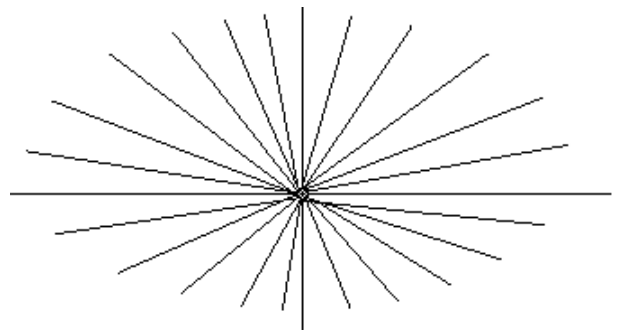
olmak üzere

$$\varphi(x) = \begin{pmatrix} \lambda & 0 \\ 0 & \lambda \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix}$$

biçiminde olur. Buna göre

**Teorem:** Bir  $x \in R^2$  elemanın  $LH(2)$  yörüngesi sıfır noktası için sıfır, diğer noktalar için ise başlangıç noktası orijin olan yarıdoğrudur ( burada orijin yani  $(0,0)$  noktası yarıdoğrulara dahil değildir ).

Yani  $LH(2)$ ,  $R^2$  yi orijin ve orijin çıkışlı açık yarıdoğrulardan oluşan yörüngelere ayırır.



Şekil 8.  $R^2$  nin  $LH(2)$  yörüngeleri

16-  $H(2) : R^2$  etkisini alalım. Bu etki

$\varphi(x) = \lambda x + b$ ,  $\lambda > 0, b \in R^2$  biçiminde olur.

Buna göre

**Teorem:** Bir  $x \in R^2$  elemanın  $H(2)$  yörüngesi  $R^2$  nin kendisidir. Yani  $Gx = R^2$  dir.

17-  $LS(2) : R^2$  etkisini alalım. Bu etki

$$g = \begin{pmatrix} g_{11} & g_{12} \\ g_{21} & g_{22} \end{pmatrix} \in O(2) \quad \text{ve} \quad x = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} \in R^2 \quad \text{olmak}$$

üzere  $\varphi(x) = \begin{pmatrix} \lambda & 0 \\ 0 & \lambda \end{pmatrix} \begin{pmatrix} g_{11} & g_{12} \\ g_{21} & g_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix}$  biçiminde

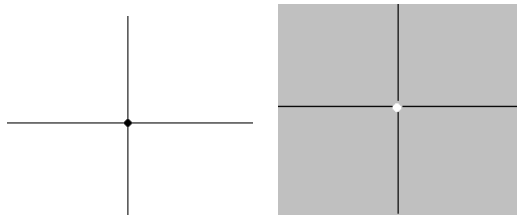
olur. Buna göre

**Theorem:** Bir  $x \in \mathbb{R}^2$  elemanın LS(2)

yörüngesi

$$Gx = \begin{cases} (0,0) & x = (0,0) \\ \mathbb{R}^2 - \{(0,0)\} & x \neq (0,0) \end{cases}$$

dir. Yani LS(2),  $\mathbb{R}^2$  yi 2 yörüngeye ayırır.



Şekil 9.  $\mathbb{R}^2$ 'nin LS(2) ve SLS(2) yörüngeleri

18- SLS(2):  $\mathbb{R}^2$  etkisini alalım. Bu etki

$$g = \begin{pmatrix} g_{11} & g_{12} \\ g_{21} & g_{22} \end{pmatrix} \in \text{SO}(2) \text{ ve } x = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} \in \mathbb{R}^2$$

olmak üzere  $\varphi(x) = \begin{pmatrix} \lambda & 0 \\ 0 & \lambda \end{pmatrix} \begin{pmatrix} g_{11} & g_{12} \\ g_{21} & g_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix}$

biçiminde olur. Buna göre

**Theorem:** Bir  $x \in \mathbb{R}^2$  elemanın SLS(2)

yörüngesi

$$Gx = \begin{cases} (0,0) & x = (0,0) \\ \mathbb{R}^2 - \{(0,0)\} & x \neq (0,0) \end{cases}$$

dir. Yani SLS(2),  $\mathbb{R}^2$  yi 2 yörüngeye ayırır.

19- SS(2):  $\mathbb{R}^2$  etkisini alalım. Bu etki

$$g = \begin{pmatrix} g_{11} & g_{12} \\ g_{21} & g_{22} \end{pmatrix} \in \text{SO}(2), \quad x = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix},$$

$b = \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \end{pmatrix} \in \mathbb{R}^2$  olmak üzere

$$\varphi(x) = \begin{pmatrix} \lambda & 0 \\ 0 & \lambda \end{pmatrix} \begin{pmatrix} g_{11} & g_{12} \\ g_{21} & g_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \end{pmatrix} \text{ biçiminde}$$

olur. Buna göre

**Theorem:** Bir  $x \in \mathbb{R}^2$  elemanın SS(2) yörüngesi

$\mathbb{R}^2$  nin kendisidir. Yani

$$Gx = \mathbb{R}^2$$

dir.

20- S(2):  $\mathbb{R}^2$  etkisini alalım. Bu etki

$$g = \begin{pmatrix} g_{11} & g_{12} \\ g_{21} & g_{22} \end{pmatrix} \in \text{O}(2), \quad x = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix},$$

$b = \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \end{pmatrix} \in \mathbb{R}^2$  olmak üzere

$$\varphi(x) = \begin{pmatrix} \lambda & 0 \\ 0 & \lambda \end{pmatrix} \begin{pmatrix} g_{11} & g_{12} \\ g_{21} & g_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \end{pmatrix} \text{ biçiminde}$$

olur. Buna göre

**Theorem:** Bir  $x \in \mathbb{R}^2$  elemanın S(2) yörüngesi

$\mathbb{R}^2$  nin kendisidir. Yani  $Gx = \mathbb{R}^2$  dir.

#### ORCID

Muhsin İncesu  <http://orcid.org/0000-0003-2515-9627>

Osman Gürsoy  <http://orcid.org/0000-0002-6391-6214>

#### KAYNAKÇA

- [1] Sartori G. A theorem on orbit structures (strata) of compact linear Lie groups, Journal of Mathematical Physics, 24:4 765-768, 1983.
- [2] Symonds P., The orbit space of the p-subgroup complex is contractible, Commentarii Mathematici Helvetici, 73 400-405, 1998.
- [3] Kenzi O. Generic homeomorphisms have the pseudo-orbit tracing property. Proceeding American Mathematical Society, 110 281-284, 1990.
- [4] Mukhi S. SL(2,R) conformal field theory, minimal models and two dimensional gravity, Modern Quantum Field Theory Proceedings of the International Colloquium International Colloquium on Modern Quantum Field Theory, TIFR, Bombay, India, 1991.
- [5] Gatto R., Sartori G. Zeros of the D-term and complexification of the gauge group in supersymmetric theories, Physics Letters B, 157: 5-6 389-392, 1985.
- [6] Richardson R.W. Affine Coset Spaces of Reductive Algebraic Groups, Bulletin of the London Mathematical Society, 9:1 38-41,1977.
- [7] Ozeki I. On the microlocal structure of the regular prehomogeneous vector space associated with  $\mathbb{S}\text{L}(5, \mathbb{R}) \times \text{GL}(4, \mathbb{R})$ . I. Proc. Japan Acad. Ser. A Math. Sci. 55:2 37-40,1979.
- [8] Kirillov S.A., Kuznetsov M.I., Chebochko N.G. on deformations of the lie algebra of type  $\mathfrak{g}_2$  of characteristic 3, Russian Mathematics (Iz. VUZ), 44:3 31-36, 2000.
- [9] Guralnick RM.. Invertible Preservers and Algebraic Groups II: Preservers of Similarity Invariants and Overgroups of  $\text{PSL}_n(\mathbb{F})$ , Linear and Multilinear Algebra, 43:1-3 221-255, 1997.
- [10] Hinrichsen D., O'Halloran J. A Complete Characterization of Orbit Closures of Controllable Singular Systems under Restricted System Equivalence, SIAM J. Control and Optimization, 28:3 602-623, 1990.
- [11] İncesu M. The complete system of point invariants in the similarity geometry. PhD Thesis, Karadeniz Technical University, Trabzon. 2008.
- [12] Kolmogoroff A.N. Interpolation und Extrapolation, Bull. Acad. Sci. U.S.S.R. Ser. Math. 5 3-14, 1941.

- [13] Wiener N. Extrapolation, Interpolation, and Smoothing of Stationary Time Series, New York, 1949.
- [14] Aronszajn N., Stmith K.T. invariant subspaces of completely continuous operators, *Annals of Mathematics* 60:2 345-350, 1954.
- [15] Galaktionov VA. Invariant subspaces and new explicit solutions to evolution equations with quadratic nonlinearities, *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh*, 125A 225-246, 1995.
- [16] Weyl H. *The Classical Groups, Their Invariants and Representations*, 2nd ed., with suppl.. Princeton, Princeton University Press, 1946.
- [17] Khadjiev Dj. *An Application of the Invariant Theory to the Differential Geometry of Curves*, Fan, Tashkent, 1988. (in Russian )
- [18] Cassier E.T. The concept of group and the theory of perception, *Philosophy and Phenomenological Research*, 5 1-35, 1944.
- [19] Hoffman W.C. The Lie algebra of visual perception, *Journal of Mathematical Psychology*, 3 65-98, 1966.
- [20] Hoffman W.C. The Lie transformation group approach to visual neuropsychology, in E.L.J. Leewenberg H.F.J.M. Buffart, *Formal theories of visual perception*, 27-66, Chichester, UK. Wiley, 1978.
- [21] Chan K.C., Chan M. A transformational analysis of form recognition under plane isometries, *Journal of Mathematical Psychology*, 26:3 237-251, 1982.
- [22] Chan K.C., Chan M. A mental space similarity Group model of Shape constancy, *Journal of Mathematical Psychology*, 43 410-432, 1999.
- [23] Leyton M. A theory of information structure: II. A theory of perceptual organization, *Journal of Mathematical Psychology*, 30, 257-305, 1986.
- [24] Asil V., Körpınar T., Bas S. New Parametric Representation of a Surfaces B-Pencil with a Common Line of Curvature, *Siauliai Math. Semin.* 9:17 5-14, 2014.
- [25] Körpınar T., Bas S. Characterization of Quaternionic Curves by Inextensible Flows, *Prespacetime Journal* 7:12 1680-1684, 2016.
- [26] Khadjiev D., Ören İ., Pekşen Ö. Global invariants of paths and curves for the group of all linear similarities in the two-dimensional Euclidean space. *International Journal of Geometric Methods in Modern Physics*, 15:06 1850092, 2018.
- [27] Khadjiev D., Ören İ., Pekşen Ö. Generating systems of differential invariants and the theorem on existence for curves in the pseudo-Euclidean geometry. *Turkish Journal of Mathematics*, 37:1, 80-94, 2013.
- [28] Sağiroğlu Y. Equi-affine differential invariants of a pair of curves, *TWMS Journal of Pure and Applied Mathematics*, 6 238-245, 2015.
- [29] Yapar Z., Sağiroğlu Y. Curvature Motion On Dual Hyperbolic Unit Sphere  $H_0^2$ , *Journal of Applied Mathematics and Physics*, 2:8 828-826, 2014.



## Investigation of the Severe Geomagnetic Storm Effects on Ionosphere at Nighttime through ROTI

Selçuk SAĞIR<sup>1</sup>, Ramazan ATICI<sup>2</sup>, İskender DÖLEK<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Department of Electronic and Automation, Technic Science Vocational School, Mus Alparslan University, Muş, Turkey

<sup>2</sup> Faculty of Education, Mus Alparslan University, Muş, Turkey

<sup>3</sup> Faculty of Education, Mus Alparslan University, Muş, Turkey

✉: s.sagir@alparslan.edu.tr

Received (Geliş): 06.12.2018

Revision (Düzenleme):14.12.2018

Accepted (Kabul): 15.12.2018

### ABSTRACT

In this study, the effect of the intense geomagnetic storm on the Earth's ionosphere during the period 07-08 September 2017 with the early arrival of coronal mass discharges associated with X-9 flares on the 6 September 2017 was investigated through ROTI, an index of Total Electron Content (TEC) ratio (ROT). The study was conducted with TEC values obtained from ten stations connected to the IGS-GPS network for five different latitude regions. As a result, it was observed that during the storm, the disturbances that occurred in the high latitude region of the southern hemisphere were more disturbed than the high latitude region of the northern hemisphere at nighttime. In addition, ROTI values were found to be higher than other days on disturbed days (07-08 September 2017).

**Keywords:** Ionospheric TEC, ROTI, geomagnetic storm

### Şiddetli Jeomanyetik Fırtınanın Gece Yarısı İyonosfer Üzerindeki Etkisinin ROTI Aracılığıyla İncelenmesi

#### ÖZ

Bu çalışmada, 6 Eylül 2017'deki X-9 ışımaları ile ilişkili koronal kütle boşalmalarının erken ulaşması ile 07-08 Eylül 2017 tarihlerinde Dünya'nın iyonosferindeki yoğun jeomanyetik fırtınanın etkisi ROTI, Toplam Elektron İçerik (TEC) indeksinin oranı (Rate of TEC Index-ROTI) aracılığıyla incelendi. Çalışma beş farklı enlem bölgesi için IGS-GPS ağına bağlı on istasyondan elde edilen TEC değerleri ile gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, fırtına sırasında gece yarısı güney yarımkürenin yüksek enlem bölgesinde meydana gelen rahatsızlıkların kuzey yarımkürenin yüksek enlem bölgesinden daha büyük olduğu gözlenmiştir. Ayrıca, tedirgin günlerdeki ROTI değerlerinin (07-08 Eylül 2017) diğer günlerden daha yüksek olduğu belirlendi.

**Anahtar Kelimeler:** İyonosferik TEC, ROTI, jeomanyetik fırtına

#### INTRODUCTION

A geomagnetic storm expresses a great perturbation of the Earth's magnetosphere, which occurs when there is a very effective energy exchange from the solar wind to the space environment around the Earth. These storms are caused by changes in the solar winds that bring about major changes in the currents, plasmas and fields in Earth's magnetosphere. Polar, auroral and equatorial regions, especially in high geomagnetic activity, are areas where plasma distribution is disturbance. Compared to high and low latitudes, mid-latitude ionosphere is generally regarded as less irregular environment [1]. The effects of geomagnetic storms at different altitudes and latitudes reflect different features of geomagnetic storms as their development varies in time and intensity, and their mechanics are different. This makes it difficult to determine the effect of storms and to establish responsible mechanisms for these effects [2]. In the high-latitude ionosphere, phase fluctuations of GPS signals are primarily caused by vertical ionospheric density gradients and disturbances associated with auroral and Cusp precipitation and polar

head patches [3-7]. However, during strong geomagnetic storms, the auroral region moves towards the equator and the equatorial ionization anomaly (EIA) expands towards the mid-latitudes, so that the mid-latitude ionosphere becomes very disturbed and irregular [1]. The ionospheric irregularities in the equatorial region are produced on the magnetic equator due to plasma instabilities after sunset and the most important parameter for their development is vertical plasma drift at night ( $\mathbf{E} \times \mathbf{B} / B^2$ ) [8, 9].

The ionospheric response to the geomagnetic storm is known as the ionospheric storm and causes a variety of effects not yet fully understood [1]. Ionospheric storms lead to various disturbances, such as large and small-scale travel disturbances. Estimating and modeling of the formation of ionospheric distributions is difficult because the ionosphere and solar energy change with time and location [10]. It has been found that the formation of these disturbances depends on the season, geographical region, solar activity and geomagnetic activities. Ionospheric disturbances generally affect the amplitude and phase

fluctuations of trans-ionospheric radio waves passing through the ionosphere. These can cause significant effects on GPS positioning accuracy [11].

In this study, the effect of the severe geomagnetic storm on 07-08 September 2017 on the Earth's ionosphere was investigated through the Rate of TEC Index (ROTI). Ionospheric disturbances on the globe were identified on 05-09 September 2017 and the causes were discussed by calculating ROTI values at ten stations from five different latitudes (Northern Hemisphere High and Middle Latitude, Equatorial Latitude, Southern Hemisphere High and Middle Latitude).

### MATERIAL and METHOD

In this study, we used raw GPS measurements provided by GPS receivers on the Earth's networks. We considered the high and mid-latitudes of the northern and southern hemispheres and the equatorial region in the study. TEC values were calculated by obtaining raw GPS data for each station (total of five regions, i.e. 50 stations) for the station. These stations and their coordinates are given in Table 1.

#### 3.1. Obtaining GPS TEC Data

Raw data is available in RINEX format with a resolution of 30 s. The processing of raw data to obtain TEC data was done by means of the ionolabtec1.26 software provided by the IONOLAB group. IONOLAB-TEC provides accurate, reliable and robust GPS-TEC 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) [12-14]. The current version of IONOLAB-TEC, which can be used online or downloaded as \*.exe from www.ionolab.org, can estimate the GPS-TEC 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.

#### 3.2. Rate of TEC Index (ROTI)

The ROTI is defined as the standard deviation of the ROT (Rate of TEC) over certain time intervals. This index calculation is used by many researchers to detect ionospheric disturbances, as it is fairly simple to calculate based on the data obtained from normal Global Navigation Satellite System (GNSS) receivers and can also eliminate the variances and uncertainties that often complicate the analysis of GNSS data [15]. In this study, ROTI as a GPS-based index was used to detect the presence of GPS ionospheric irregularities and to measure irregular structures of TEC spatial gradients [16].

To calculate the ROTI from the vertical TEC (VTEC) values, the ROT value was first calculated using the following formula;

$$ROT = \frac{VTEC_k^i - VTEC_{k-1}^i}{(t_k - t_{k-1})} \quad (1)$$

where  $i$  is a GPS receiver and  $t_k$  is a period of time. The ROT is calculated as the total electron content unit

(TECU) per minute for each GPS station. A TECU equals  $10^{16}$  electrons/m<sup>2</sup>. Then, ROT values were used to obtain ROTI values as standard deviation at 5-minute intervals.

$$ROTI = \sqrt{\langle ROT^2 \rangle - \langle ROT \rangle^2} \quad (2)$$

Additional sources of ionospheric error include amplitude and phase scintillations and a straight-line deviation of the signal paths due to break in the ionosphere. In general, these effects can be fully reproduced during periods of high ionospheric activity resulting from the interaction between the solar wind and the Earth system. Except for amplitude scintillation, the ROTI is expected to be affected by such disorders. ROTI is more closely related to phase scintillation [15].

### RESULT and DISCUSSION

In order to investigate the global response of the ionospheric TEC to the geomagnetic storm at G4 level, which was formed on 07-08 September 2017 in the study, IGS stations shown in Table 1 were selected from the northern and southern hemisphere (30° S-30° N, 30° S-60° S, 60° S-90° S, 30° N-60° N, 60° N-90° N) have selected ten stations for each latency interval. The formation of ionospheric disturbances according to latitudes is handled separately at 24:00 universal time (UT).

In this study, Dst index was used for the detection of geomagnetic storm. The change in the Dst index from 05-09 September 2017 is shown in Figure 1. At 00:00 UT on 07 September 2017, the Dst value increased suddenly in the north direction and reached 32 nT at 1:00 UT. The geomagnetic Dst index used to describe the storm displays an increase in the positive direction before heading south. This indicates the sudden start of the storm.

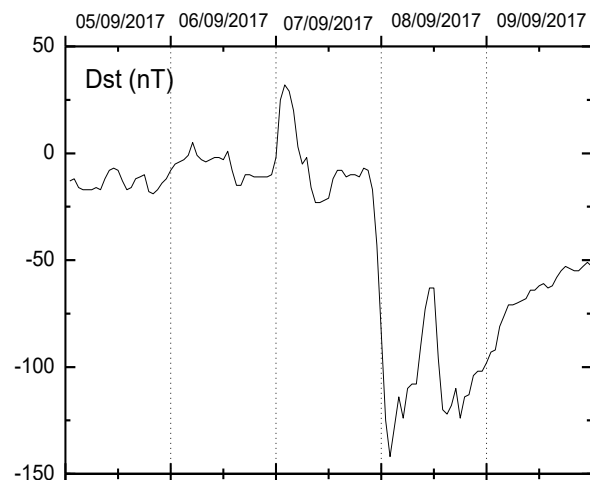


Figure1. Change of geomagnetic indices Dst over time from 05-09 September 2017.

**Table1.** Information on the stations used in the study.

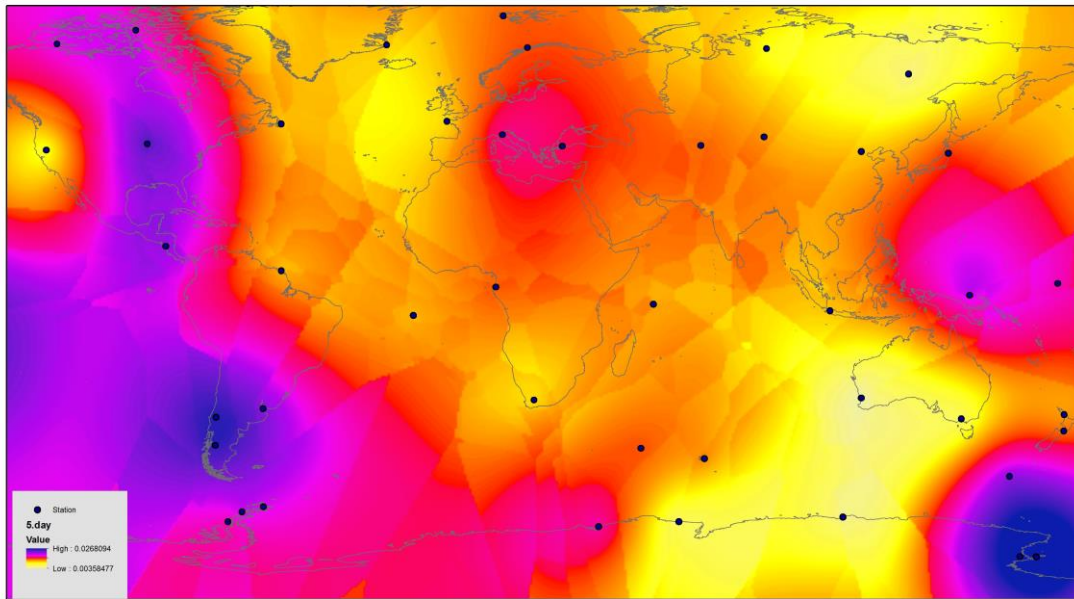
No	Station's Name	Country	Latitude	Longitude	Magnetic Latitude	Magnetic Longitude
1	FAIR	ABD	64.97	-147.49	66.20	-96.44
2	HOLM	CANADA	70.73	-117.76	76.10	-73.87
3	RESO	CANADA	74.69	-94.89	82.89	-53.33
4	ALRT	CANADA	82.49	-62.34	87.22	152.41
5	SCOR	GREELAND	70.48	-21.95	74.96	78.55
6	NYAL	NORWAY	78.93	11.87	76.41	129.28
7	NYA1	NORWAY	78.93	11.86	76.41	129.27
8	TRO1	NORWAY	69.66	18.93	67.53	116.48
9	NRIL	RUSSIAN	69.36	88.35	60.25	166.99
10	YAKT	RUSSIAN	62.03	129.68	52.90	-162.25
1	QUIN	ABD	39.97	-120.94	46.30	-55.91
2	NLIB	ABD	41.77	-91.57	50.55	-22.66
3	STJO	CANADA	47.59	-52.67	56.68	24.38
4	BRST	FRANCE	48.38	-4.49	51.19	78.94
5	MEDI	ITALY	44.51	11.64	44.72	94.41
6	ISTA	TURKEY	41.10	29.01	38.38	109.53
7	TASH	UZBEKISTAN	41.32	69.29	33.54	146.60
8	URUM	CHINA	43.80	87.60	35.02	163.29
9	BJFS	CHINA	39.61	115.89	30.36	-171.71
10	MIZU	JAPAN	39.13	141.13	30.92	-149.53
1	ASPA	UNITED STATES	-14.32	-170.72	-15.62	-95.80
2	FAA1	FRENCH	-17.55	-149.61	-15.45	-74.40
3	MANA	NICARAGUA	12.15	-86.25	21.47	-14.27
4	KOUG	FRENCH GULANA	5.09	-52.64	14.12	20.33
5	ASCG	SAINT HELENA	-7.92	-14.33	-3.37	57.45
6	NKLG	GABON	0.35	9.67	1.74	83.15
7	SEY2	SEYCHELLES	-4.67	55.45	-11.00	127.52
8	BAKO	INDONESIA	-6.49	106.85	-16.35	-179.73
9	PNGM	PAPU	-2.043	147.36	-9.96	-138.86
10	KIRI	KIRIBATI	1.35	172.92	-2.27	-113.57
1	ANTC	CHILE	-37.33	-71.53	-27.79	0.86
2	COYQ	CHILE	-45.51	-71.89	-36.08	0.31
3	LPGS	ARGENTINA	-34.91	-57.93	-26.03	12.95
4	SUTM	SOUTH AFRICA	-32.38	20.81	-32.65	88.06
5	CZTG	FRENCH SOUTHERN	-46.43	51.85	-51.41	115.74
6	KERG	FRENCH	-49.35	70.25	-56.66	134.90
7	PERT	AUSTRALIA	-31.80	115.88	-41.60	-169.45
8	MOBS	AUSTRALIA	-37.83	144.97	-45.41	-135.87
9	AUCK	NEW ZELAND	-36.60	174.83	-39.82	-104.56
10	WGTM	NEW ZELAND	-41.32	174.80	-44.25	-103.34
1	ROTH	ANTARCTICA	-67.57	-68.12	-58.26	3.33
2	PALM	ANTARCTICA	-64.77	-64.05	-55.64	6.51
3	OH13	ANTARCTICA	-63.32	-57.90	-54.03	10.89
4	SYOG	ANTARCTICA	-69.00	39.58	-70.57	87.00
5	MAW1	ANTARCTICA	-67.60	62.87	-73.48	113.72
6	CAS1	ANTARCTICA	-66.28	110.52	-75.87	-173.89
7	MAC1	AUSTRALIA	-54.49	158.94	-59.64	-114.86
8	COTE	ANTARCTICA	-77.80	161.99	-79.93	-73.64
9	MCM4	ANTARCTICA	-77.83	166.66	-79.26	-70.29
10	SCTB	ANTARCTICA	-77.84	166.75	-79.25	-70.11

The Dst value, which varies from -15 / -20 nT after the initial phase reaches -84 nT at 23:00 UT, -125 nT at 00:00 UT and -142 nT at 1:00 UT. Thus, it can be said that the main phase of the severe storm has begun. Geomagnetic parameters decreased to Dst = -63 nT in the first twelve hours of the main phase. From at 11:00 UT on 8 September 2017, by decreasing in negative direction to Dst value reach to -122 nT. In the main phase of this severe storm, again a severe storm appeared. After about 14:00 UT on 8 September 2017, both Dst value have begun to damp and return to its

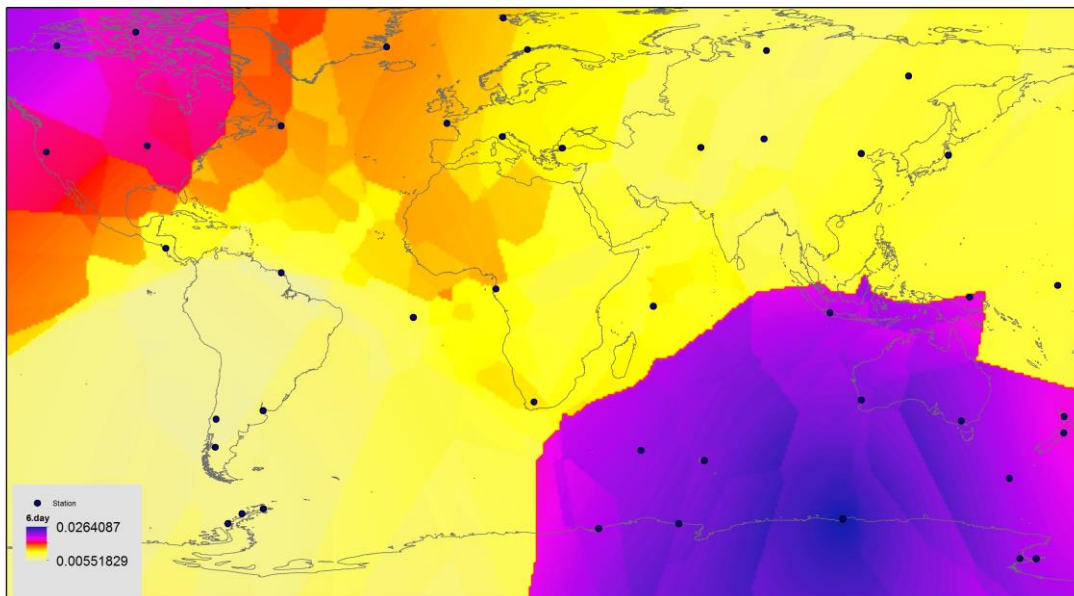
ground-state values. This stage represents the recovery phase of the storm.

In the literature, if the ROTI values are greater than 0.08 TECU/min, then there is an ionospheric event in this region [17-19]. The results obtained are shown in Figure2-6.

ROTI changes calculated from TEC values obtained from fifty stations from different latitudes of the Earth at 5 and 6 September 2017 are shown in Figures 2 and 3.



**Figure2.** The determination of the irregularities occurred in Earth's ionosphere at 24:00 UT on 5 September 2017. The dots indicate the stations used in this study.

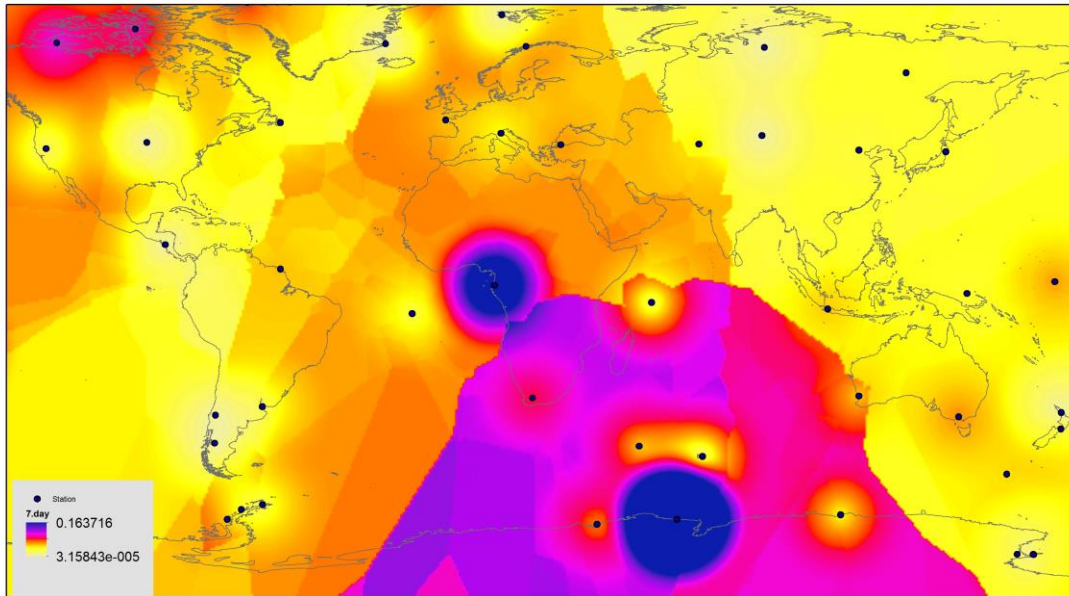


**Figure3.** The determination of the irregularities occurred in Earth's ionosphere at 24:00 UT on 6 September 2017. The dots indicate the stations used in this study.

The highest ROTI values are 0.026 TECU/min. These values were obtained on the American continent. These values mean that there is no ionospheric disturbance because the ROTI values are lower than the threshold values of 0.08 TECU/min.

On September 7, 2017, the largest ROTI values increased to 0.16 TECU/min. Since these values are greater than the threshold (0.08 TECU/min), this indicates that ionospheric disturbances have occurred.

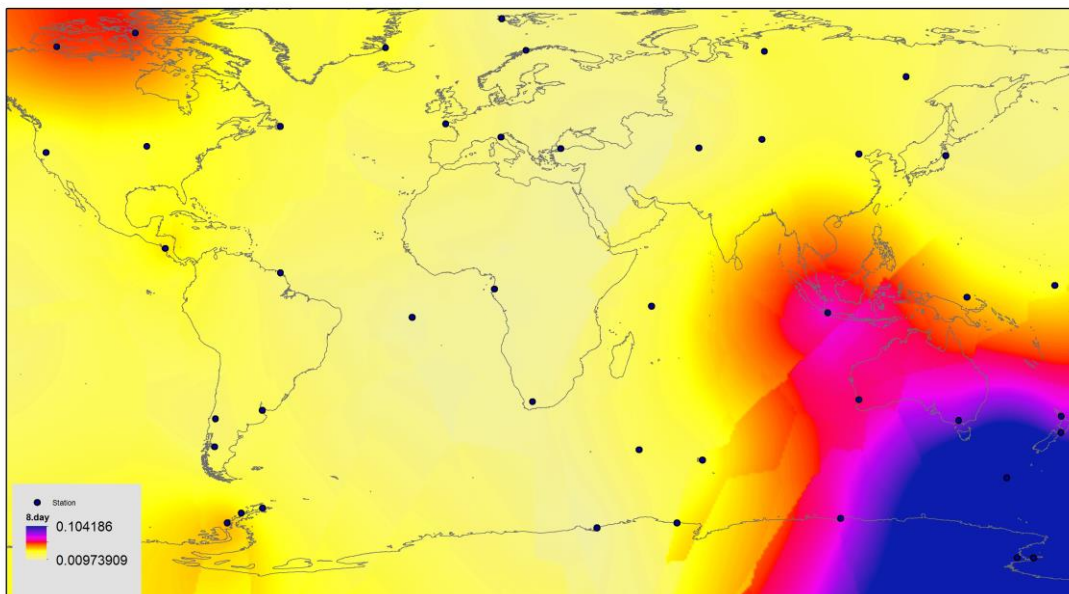
Ionospheric perturbations are particularly concentrated in the upper latitudes of the southern hemisphere. During the geomagnetic storms, ionospheric perturbations occurring in the upper latitudes of the Earth are associated with auroral particle precipitation [10]. Ionospheric perturbations occurring during this geomagnetic storm may also be related to auroral particle precipitation.



**Figure4.** The determination of the irregularities occurred in Earth's ionosphere at 24:00 UT on 7 September 2017. The dots indicate the stations used in this study.

Figure 5 shows that ionospheric disturbances occurred on September 8, 2017. These ionospheric perturbations have lower ROTI values than those occurring on the

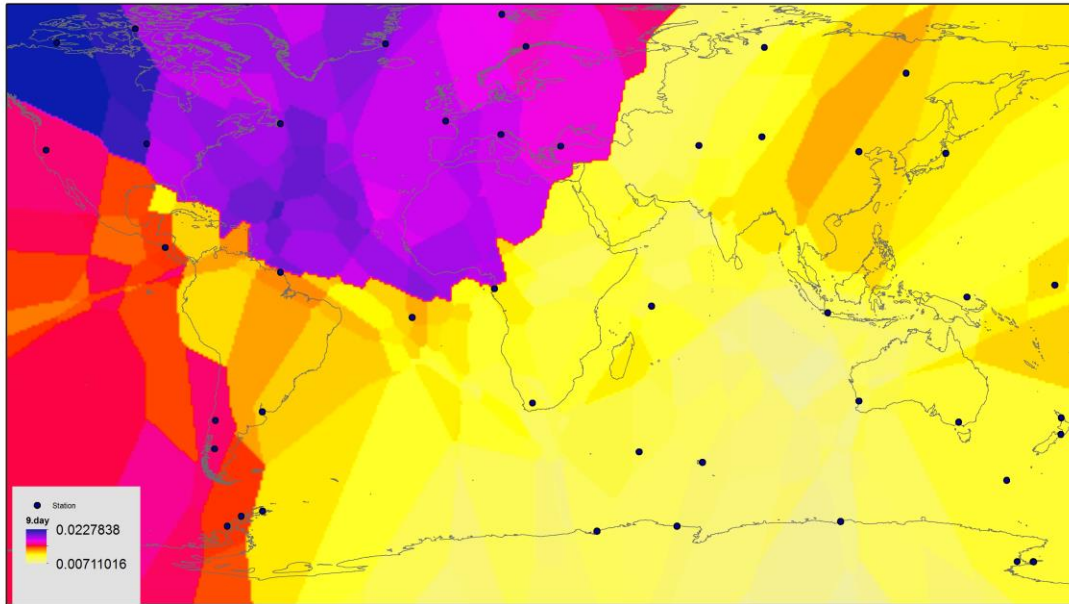
previous day. However, these perturbations occurred again in the upper latitudes of the southern hemisphere.



**Figure5.** The determination of the irregularities occurred in Earth's ionosphere at 24:00 UT on 8 September 2017. The dots indicate the stations used in this study.

The change of ROTI values on September 09, 2017 is shown in Figure 6. In the return phase of the geomagnetic storm (September 09, 2017), it can be

stated that the ionospheric disturbances disappeared because ROTI values fall below the threshold value.



**Figure6.** The determination of the irregularities occurred in Earth's ionosphere at 24:00 UT on 9 September 2017. The dots indicate the stations used in this study.


## CONCLUSIONS


Using the TEC data obtained from at fifty stations around the earth provided from the IGS GPS network, the occurrence of density perturbations of the ionospheric plasma spherically during the geomagnetic storm of 07-08 September 2017 was investigated. During the days of the storm (07-08 September), many ionospheric disturbances have occurred in the signals obtained at GPS stations in the southern hemisphere high latitude at nighttime.


## ACKNOWLEDGMENT

The authors thank the IONOLAB group for providing ionolabvtec.exe program, and the OMNIWeb service for providing Dst data.

## ORCID

Selçuk SAĞIR  <http://orcid.org/0000-0002-5698-0154>

Ramazan ATICI  <http://orcid.org/0000-0001-7884-0112>

İskender DÖLEK  <http://orcid.org/0000-0002-5922-8515>

## REFERENCES

- [1] Astafyeva E., Yasyukevich Y., Maksikov A., Zhivetiev I. Geomagnetic storms, super-storms, and their impacts on GPS-based navigation systems, *Space Weather*. 12, 508-525, 2014.
- [2] Danilov A., Lastovicka, J. Effects of geomagnetic storms on the ionosphere and atmosphere, *International Journal of Geomagnetism and Aeronomy*. 2, 209-224, 2001.
- [3] Skone S., Cannon, M. E. Ionospheric effects on differential GPS applications during auroral substorm activity, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 54, 1995.
- [4] Noja M., Stolle C., Park J., Lühr H. Long-term analysis of ionospheric polar patches based on CHAMP TEC data, *Radio Science*. 48, 289-301, 2013.
- [5] Prikryl P., Ghoddousi-Fard R., Kunduri B.S. R., Thomas E. G., Coster A. J., Jayachandran, P. T., Spanswick E., Danskin, D. W. GPS phase scintillation and proxy index at high latitudes during a moderate geomagnetic storm, *Annales Geophysicae*. 31, 805-816, 2013.
- [6] Prikryl P., Jayachandran P.T., Mushini S.C., Richardson I. G. High-latitude GPS phase scintillation and cycle slips during high-speed solar wind streams and interplanetary coronal mass ejections: a superposed epoch analysis, *Earth, Planets and Space*. 66, 62, 2014.
- [7] Cherniak I., Zakharenkova, I. Dependence of the high-latitude plasma irregularities on the auroral activity indices: a case study of 17 March 2015 geomagnetic storm, *Earth, Planets and Space*. 67, 151, 2015.
- [8] Fejer B.G., Scherliess L., Paula E.D. Effects of the vertical plasma drift velocity on the generation and evolution of equatorial spread F, *Journal of Geophysical Research: Space Physics*. 104, 19859-19869, 1999.
- [9] Rezende L.F.C.D., Paula E.R.D., Batista I.S., Kantor, I.J., Muella M.T.D.A.H. Study of ionospheric irregularities during intense magnetic storms, *Revista Brasileira de Geofísica*. 25, 151-158, 2007.
- [10] Cherniak I., Zakharenkova, I. High-latitude ionospheric irregularities: differences between ground-and space-based GPS measurements during the 2015 St. Patrick's Day storm, *Earth, Planets and Space*. 68, 136, 2016.
- [11] Oladipo O.A., Schüler T. Magnetic storm effect on the occurrence of ionospheric irregularities at an equatorial station in the African sector, *Annals of Geophysics*. 56, 0565, 2014.

- [12] Arikan F., Nayir H., Sezen U., Arikan O. Estimation of single station interfrequency receiver bias using GPS-TEC, *Radio Science*. 43, RS4004, 2008.
- [13] Nayir H., Arikan F., Arikan O., Erol, C. Total electron content estimation with Reg-Est, *Journal of Geophysical Research: Space Physics*. 112, A11313, 2007.
- [14] Sezen U., Arikan F., Arikan O., Ugurlu O., Sadeghimorad A. Online, automatic, near-real time estimation of GPS-TEC: IONOLAB-TEC, *Space Weather*. 11, 297-305, 2013.
- [15] Jacobsen, K. S. The impact of different sampling rates and calculation time intervals on ROTI values, *Journal of Space Weather and Space Climate*. 4, A33, 2014.
- [16] Pi X., Mannucci A. J., Lindqwister U. J., Ho C. M. Monitoring of global ionospheric irregularities using the worldwide GPS network, *Geophysical Research Letter*. 24, 2283-2286, 1997.
- [17] Liu X., Yuan Y., Tan B., Li M. Observational analysis of variation characteristics of GPS-based TEC fluctuation over China, *ISPRS International Journal of Geo-Information*.5, 237, 2016.
- [18] Oladipo O.A., Schüler T. Equatorial ionospheric irregularities using GPS TEC derived index, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*. 92, 78-82, 2013.
- [19] Wautelet, G.: Characterization of ionospheric irregularities and their influence on high-accuracy positioning with GPS over mid-latitudes, Ph.D. Thesis, Université de Liège, Liège, Belgique, 2013.

## 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**

**1. BİRİNCİ DERECE BAŞLIK**

1.1. İkinci Derece Başlık

1.1.1. 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., 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.
- **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.

**1. FIRST-LEVEL TITLE**

1.1. Second-Level Title

*1.1.1. Third-level Title*

(i) 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.
  - Aydın 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 yayınları 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, physic, 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 electronical 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](mailto:msufbd@alparslan.edu.tr)