



ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ  
MÜHENDİSLİK MİMARLIK  
FAKÜLTESİ  
DERGİSİ

ÇUKUROVA UNIVERSITY  
JOURNAL OF THE FACULTY OF ENGINEERING AND ARCHITECTURE

Cilt/Vol: 31

Özel Sayı/Special Issue: 2

Ekim/October 2016

ISSN 1019-1011



**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ**  
**MÜHENDİSLİK-MİMARLIK FAKÜLTESİ**  
**DERGİSİ**



**Çukurova University, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture**

**Sahibi**

Mesut BAŞIBÜYÜK

Ç.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dekanı

**Editör**

Özen KILIÇ

**ÖZEL SAYI YAZI İNCELEME KURULU (Editorial Board)**

Mustafa ÖZCANLI

Hasan SERİN

**Ekim 2016 Cilt 31 Özel Sayı 2 Hakemleri**

Beşir ŞAHİN (ÇÜ)	Kadir AYDIN (ÇÜ)
Alper YILMAZ (ÇÜ)	Ali KESKİN (ÇÜ)
Alp Tekin ERGENÇ (YTÜ)	Ahmet FERTELLİ (SÜ)
Selahattin SERİN (ÇÜ)	İlker SUGÖZÜ (MÜ)
Gökhan TÜCCAR (ABTÜ)	Tayfun ÖZGÜR (ÇÜ)
Durmuş Ali BİRCAN (ÇÜ)	M. Atakan AKAR (ÇÜ)
Abdulkadir YAŞAR (ÇÜ)	Mehmet BİLGİLİ (ÇÜ)
Kerimcan ÇELEBİ (ABTÜ)	Hasan SERİN (ÇÜ)
Mustafa ÖZCANLI (ÇÜ)	M. İlteriş SARIGEÇİLİ (ÇÜ)
Ertaç HÜRDOĞAN (OKÜ)	Coşkun ÖZALP (OKÜ)
Engin PINAR (ÇÜ)	Uğur EŞME (MÜ)
Berdan ÖZKURT (MÜ)	Onur BALCI (SİÜ)
Melik KOYUNCU (ÇÜ)	Çağatayhan B. ERSU (ÇÜ)
M. Kemal SANGÜN (MKÜ)	Erinç ULUDAMAR (ABTÜ)
Belkis ZERVENT ÜNAL (ÇÜ)	Ahmet EKİCİBİL (ÇÜ)

Özel Sayı'da yayınlanan makaleler "1<sup>st</sup> International Mediterranean Science and Engineering Congress (IMSEC 2016)" isimli kongrede yayınlanan bildiriler arasından seçilmiştir.

**YAZIŞMA ADRESİ**

Ç.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergi ve Yayın Kurulu Başkanlığı Balcalı 01330 Sarıçam/ADANA  
Tel : (322) 338 63 57 Fax : (322) 338 61 26 E-posta: mmfdergi@cu.edu.tr - cu.mmfdergi@gmail.com

**Hakemli Bir Dergidir. Yılda İki Sayı Basılır. / Refereed Journal. Published Semi-annually.**

Dergimiz TÜBİTAK ULAKBİM Mühendislik ve Temel Bilimler Veri Tabanı Listesi'nde taranmaktadır.

## **AMAÇ ve KAPSAM**

Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, yılda iki sayı olarak yayımlanan hakemli bilimsel bir dergidir. Dergi akademik ve araştırma kurumlarındaki mühendislik ve mimarlık alanındaki araştırmacı ve uygulamacılara hizmet etmeyi amaçlamaktadır. Daha önce başka bir yerde yayımlanmamış tüm özgün ve güncel bilimsel araştırma ve uygulamaları kapsayan yenilikçi, değerli ve yararlı araştırma makaleleri kabul edilmektedir.

## **AIM and SCOPE**

Journal of the Engineering and Architecture of Çukurova University is a peer-reviewed scientific journal which is currently published semi-annually. The journal aims to serve researchers and practitioners in the fields of engineering and architecture in academic and research organizations. All innovative, valuable, and useful research articles including original and current scientific research and applications, previously unpublished anywhere else, will be regarded.





## İÇİNDEKİLER/CONTENTS

- Titanyum Esaslı Kilitleme Plakalarının Toz Enjeksiyon Kalıplama Süreci..... ÖS 1**  
*Powder Injection Molding Process of Titanium Based Locking Plate*  
**Levent URTEKİN**
- Utilization of Chromite Waste as Colorant in Single Fired Wall Tile Glaze Compositions ..... ÖS 9**  
*Kromit Atığının Tek Pişirim Duvar Karosu Sırlarında Renklendirici Olarak Kullanılması*  
**Nergis KILINÇ MİRDALI**
- Yeni Bir Eddy Akımı Ayırıştırıcısı ile Küçük Boyutlu Demirsiz Metallerin Ayırıştırılması..... ÖS 15**  
*Separation of Small Sized Non-Ferrous Metals with a Novel Eddy Current Separator*  
**Ahmet FENERCİOĞLU ve Hamit BARUTÇU**
- A Novel Stacked Monopole Microstrip Antenna for Ultra-Wideband Applications.... ÖS 21**  
*Ultra Geniş Bant Uygulamaları için Yeni Bir Yiğın Monopole Mikroşerit Anten*  
**Mustafa Berkan BİÇER ve Ali AKDAĞLI**
- Su Bazlı Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> Süspansiyonlarda Dispersan Miktarının Optimizasyonu..... ÖS 27**  
*Optimization of the Dispersant Amount in Water Based Silicon Nitride Suspension*  
**Hakan ÜNSAL, Ayşen KILIÇ, Şeyda POLAT, Yasemin TABAK ve Bayise K. VATANSEVER**
- Asenkron Motorların Online Adaptif Sinirsel-Bulanık Denetim (ANFIS) Sistemine Dayalı Hız Denetim Performansının İncelenmesi..... ÖS 33**  
*Investigation of Performance Based on Online Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) for Speed Control of Induction Motors*  
**Sami ŞİT, Hasan Rıza ÖZÇALIK, Erdal KILIÇ, Osman DOĞMUŞ ve Mahmut ALTUN**
- Whole Cell Biotransformation of Fusel Oil into Banana Flavour by *Lindnera saturnus*..... ÖS 43**  
*Lindnera saturnus Kullanılarak Hücresel Biyodönüşüm Yolu ile Fuzel Yağından Muz Aroması Eldesi*  
**Murat YILMAZTEKİN ve Sevinç TAY**

## İÇİNDEKİLER/CONTENTS

- A Hybrid Extreme Learning Machine and its Variant for Stock Price Prediction ..... ÖS 53**  
*Melez Aşırı Öğrenme Makinesi ve Türevi ile Hisse Senedi Fiyatı Tahmini*  
**Mustafa GÖÇKEN, Mehmet ÖZÇALICI, Aslı BORU ve**  
**Ayşe Tuğba DOSDOĞRU**
- Yeraltı Krom İşletmesinde Acil Durum Planına Yönelik Bir Uygulama..... ÖS 63**  
*A Practice on the Emergency Action Plan in the Underground Chrome Operating*  
**Ahmet Mahmut KILIÇ, Esmâ KAHRAMAN ve Mustafa TOSUN**
- Experimental Investigation of Scour Hole Geometry around Circular Bridge Piers... ÖS 73**  
*Dairesel Köprü Ayakları Etrafındaki Oyulma Çukuru Geometrisinin Deneysel*  
*Araştırılması*  
**Ayşegül ÖZGENÇ AKSOY ve Mustafa DOĞAN**
- Altıgen Delikli Silindirin Geçirgenlik Oranının Silindir Arkasındaki Akış Bölgesine**  
**Etkisi..... ÖS 79**  
*The Effect of Hexagonal Perforated Cylinder Porosity on Flow Region Formed*  
*Behind the Cylinder*  
**Mustafa Atakan AKAR, Oğuz BAŞ ve Mehmet KÜÇÜK**
- Experimental Investigation of Low-Velocity Impact Response of Plain-Weave**  
**Glass/Epoxy Composites Reinforced with Carbon Nanotubes ..... ÖS 87**  
*Karbon Nano-Tüp Katkılı Düz Örgü Cam-Epoksi Kompozitlerin Düşük Hızlı Darbe*  
*Deneylerinin Deneysel Olarak İncelenmesi*  
**Gülşah ÖNER, Hasan Yavuz ÜNAL ve Yeliz PEKBAY**
- Determining the Optimum Application Recipe for Microcapsules of Ozonated**  
**Vegetable Oils to Save Antibacterial Activity to Textiles ..... ÖS 99**  
*Tekstil Yüzeylerine Antibakteriyel Aktivite Kazandırmak için Ozonlanmış*  
*Bitkisel Yağ Mikrokapsüllerinin Aktarılacağı En Uygun Aplikasyon Reçetesinin*  
*Belirlenmesi*  
**Burcu SANCAR BEŞEN, Onur BALCI, Cem GÜNEŞOĞLU, İ. İrem TATLI,**  
**Mehmet ORHAN ve A. Erdem BEYLİ**
- Environmental Risk Analysis of Turkey under Climate Change Scenarios using**  
**Spatial Modelling: Application of Net Primary Productivity ..... ÖS 107**  
*İklim Değişikliği Senaryoları Altında Konumsal Modelleme Kullanarak Türkiye'nin*  
*Çevresel Risk Analizi: Net Birincil Üretim Örneği*  
**Süha BERBEROĞLU, Cenk DÖNMEZ ve Ahmet ÇİLEK**

## İÇİNDEKİLER/CONTENTS

- Refrakter Tuğlaların Teknolojik Özelliklerinin İncelenmesi..... ÖS 117**  
*Investigation of Technological Properties of Refractory Bricks*  
**Özen KILIÇ ve Selin YARBİL**
- Experimental Investigation of Surface Roughness Effect over Wind Turbine  
Airfoil ..... ÖS 127**  
*Rüzgar Türbini Kanadı Üzerindeki Yüzey Pürüzlülüğü Etkisinin Deneysel İncelenmesi*  
**Kemal KOCA, M. Serdar GENÇ ve H. Hakan AÇIKEL**
- Fotovoltaik Güneş Panellerinin Sıvıya Daldırma Yöntemi ile Soğutulmasında  
Kanal Geometrisi ve Panel Konumunun Etkisi..... ÖS 135**  
*Effect of Channel Geometry and Panel Position at Cooling of Photovoltaic Solar  
Panels with Liquid Immersion Method*  
**Burak KURŞUN, Korhan ÖKTEN ve Gonca DEDE**
- Nanoparticle Shape Effect on Natural Convection in a Corner Partitioned  
Square Cavity ..... ÖS 143**  
*Köşe Bölmeli Kare Muhafazada Nanopartikül Şekil Etkisinin Doğal Konveksiyon Üzerine  
Etkileri*  
**Fatih SELİMEFENDİGİL ve Aşlı AKYOL İNADA**
- New Regression Models for Predicting the Hamstring Muscle Strength using  
Support Vector Machines..... ÖS 153**  
*Destek Vektör Makinelerini Kullanarak Hamstring Kas Kuvveti Tahmini için Yeni  
Regresyon Modelleri*  
**Boubacar SOW, Mehmet Fatih AKAY, Fatih ABUT, Ebru ÇETİN,  
İmdat YARIM ve Hacer ALAK**
- Tamamlayıcı Fonksiyonlar Yöntemi ile Heterojen Bir Çubuğun Zorlanmış  
Titreşim Analizi..... ÖS 161**  
*Forced Vibration Analysis of a Heterogeneous Rod by Complementary Functions Method*  
**Kerimcan ÇELEBİ, Durmuş YARIMPABUÇ ve Mehmet EKER**
- The Usability of 3D Flattening in Design and Pattern Preparation of Tight-Fit  
Garments..... ÖS 169**  
*Vücutu Saran Giysilerin Tasarımında ve Giysi Kalıbı Hazırlığında 3 Boyutlu Açınım  
Sistemlerinin Kullanılabilirliği*  
**Derya TAMA, Arzu ŞEN KILIÇ, Ziynet ÖNDOĞAN ve Selçuk NİZAMOĞLU**

## İÇİNDEKİLER/CONTENTS

- Production, Characterization and Effect of Te Doping on FeSe-11 Compounds..... ÖS 175**  
*Te Katkısının FeSe-11 Bileşiklerine Etkisi, Üretimi ve Karakterizasyonu*  
**Derya FARİSOĞULLARI, Nilay KANTARCI GÜLER, Faruk KARADAĞ,**  
**Ahmet EKİCİBİL ve Bekir ÖZÇELİK**
- TiO<sub>2</sub> ve AgS Katkılı TiO<sub>2</sub> Nanotüp Fotokatalizörlerinin Sentezlenmesi ve Karakterizasyonu..... ÖS 181**  
*Synthesis and Characterization of TiO<sub>2</sub> and AgS Doped TiO<sub>2</sub> Nanotube Photocatalysts*  
**Taner TEKİN, Derya TEKİN ve Hakan KIZILTAŞ**
- Çelik Lif ile Güçlendirilmiş Betonlarda Lif Yönünü ve Dağılımını Belirlemede Yeni Bir Yaklaşım ..... ÖS 187**  
*A Novel Approach to Determine Dispersion and Orientation of Steel Fiber Reinforced Concretes*  
**Murat ÖZTÜRK, Umur Korkut SEVİM, Oğuzhan AKGÖL ve Muharrem KARAASLAN**
- Effect of Titanium Dioxide and Titanium Dioxide-Silver Nanoparticles on Seed Germination of Lettuce (*Lactuca sativa*) ..... ÖS 193**  
*Titanyum Dioksit ve Titanyum Dioksit-Gümüş Nanopartiküllerinin Marul (*Lactuca sativa*) Tohumunun Çimlenmesine Etkisi*  
**Zeynep Görkem DOĞAROĞLU ve Nurcan KÖLELİ**
- A Parametric Study on Evaluation of Backfill Interaction on Seismic Response of a Cantilever Wall..... ÖS 199**  
*Konsol Bir İstinat Duvarının Sismik Davranışı Üzerinde Dolgu Etkileşiminin Değerlendirilmesi Üzerine Parametrik Bir Çalışma*  
**Tufan ÇAKIR**
- Meyve Suyu Endüstrisi Atıksuyundan Mikrobiyal Biyopolimer Üretiminin Araştırılması ..... ÖS 205**  
*Investigation of Microbial Biopolymer Production from Fruit Juice Industry*  
**Ezgi BEZİRHAN ARIKAN, Havva Duygu ÖZSOY, Abdullah EROL, Ayşe İSLAMOĞLU, Derya Nida KAYA ve Sevinç ÇAKMAK**
- Design of the Dual-Wideband Monopole Antenna for UMTS, WLAN and WiMAX Applications by using a Novel Hybrid Optimization Algorithm ..... ÖS 211**  
*Yeni Bir Melez Optimizasyon Algoritması Kullanarak UMTS, WLAN ve WiMAX Uygulamaları için Çift-Geniş Bantlı Monopole Anten Tasarımı*  
**Deniz ÜSTÜN ve Ali AKDAĞLI**

## İÇİNDEKİLER/CONTENTS

- Pull out Performance of Medical Screws used in Orthopaedic Surgeries..... ÖS 221**  
*Ortopedik Operasyonlarda Kullanılan Medikal Vidaların Sıyırma Performansı*  
**Durmuş Ali BİRCAN ve Ahmet ÇETİN**
- Casting the Swarms Problem in the Ensembles Context..... ÖS 229**  
*Sürüler Probleminin Topluluk Bağlamı Açısından Modellenmesi*  
**Çağatay KOK, Seven Burçin ÇELLEK, Çağlar KOŞUN ve Serhan ÖZDEMİR**
- A Novel Application of Chitosan Hydrogel for Eliminate Biofilm Formation  
on Urethral Catheters ..... ÖS 237**  
*Üriner Kateterlerin Biyofilm Oluşumunu Engellemesi için Kitosan Hidrojelinin Yeni bir  
Uygulaması*  
**Deniz ISMIK, Sevil YÜCEL, Melis ÖZGEN ve Ceren GENÇ**
- Tufanbeyli Linyitlerinin Mineral Madde İçeriğinin İnteraktif Rietveld Temelli  
X-Işını Difraksiyonu Yöntemi ile Kantitatif Olarak İncelenmesi..... ÖS 243**  
*A Quantitative Investigation of Mineral Content of Tufanbeyli Lignite by Interactive  
Rietveld Based X-Ray Diffraction Method*  
**Abdulkadir ÜRÜNVEREN ve Suphi URAL**
- Temiz Suya Ulaşmada Bina İçi Su Yapıları Üzerine Halktaki Farkındalık  
ve Bilincin Ölçülmesi..... ÖS 251**  
*An Analysis of Awareness and Consciousness of Public on the Indoor Water System in  
Apartment Building in Terms of Accessing to Clean Water*  
**Rozelin AYDIN, Yağmur ATAKAV ve Seda CEYLAN**
- A Product Search Engine Supporting “Best Product” Queries ..... ÖS 259**  
*“En İyi Ürün” Sorgularını Destekleyen Bir Ürün Arama Motoru*  
**Furkan GÖZÜKARA, Selma Ayşe ÖZEL**



## Titanyum Esaslı Kitleme Plakalarının Toz Enjeksiyon Kalıplama Süreci

Levent URTEKİN\*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ahi Evran Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü,  
Kırşehir

Geliş tarihi: 08.08.2016

Kabul tarihi: 13.10.2016

### Öz

Titanyum alaşımı otomotiv, medikal ve uçak/uzay sanayinde kullanılan önemli bir malzemedir. Titanyum alaşımlarının klasik yöntemlerle işlenmesi oldukça zordur. Özellikle karmaşık geometrilerin üretilmesi sırasında tolerans değerlerinin yakalanması imalatçıları farklı yöntemler geliştirmeye yöneltmiştir. Bu kapsamda titanyum esaslı kitleme plakalarının metal enjeksiyon kalıplama ile üretilmesi çalışmalarına başlanılmıştır. Metal enjeksiyon kalıplama yöntemi hassas tolerans, karmaşık şekil ve seri üretim için vazgeçilmez bir imalat sürecidir. Bu çalışmada; titanyum alaşım tozları ile elde edilen besleme stoklarının kalıp içerisindeki akış parametreleri incelenmiştir. Akış parametreleri Autodesk Moldflow Simülasyon programıyla denenmiştir. Silindir sıcaklığının 190-210°C arasında değiştiği tespit edilmiştir. Enjeksiyon basıncı kalıp ve yolluk geometrisine göre değişiklik gösterdiği belirlenmiştir. Ütuleme basıncı ise enjeksiyon basıncının %30-60'ı aralığında olduğu analiz edilmiştir. Yapılan analizler neticesinde titanyum esaslı kitleme plakalarının metal enjeksiyon kalıplama yöntemiyle üretilmesine karar verilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Titanyum, Metal enjeksiyon kalıplama, İmplant

### Powder Injection Molding Process of Titanium Based Locking Plate

#### Abstract

Titanium alloy is important material which is used for automotive, medical and aircraft/aerospace industry. It is very difficult to machine titanium alloys by conventional methods. The obtaining tolerance values during especially the production of complex geometry have led to manufacturers to develop different methods. In this content, the production of titanium based locking plate was initiated by metal injection molding method. The metal injection molding method is an indispensable manufacturing process for the sensitive tolerance, the serial manufacturing and the production of complex shapes. In this study, flow parameters inside the mold of the feedstocks made from the titanium alloy powder was investigated. The flow parameters were examined by Autodesk Moldflow simulation program. The cylinder temperature was found to be varied from 190 to 210°C. It was determined that the injection pressure was varied depending on the mold and allowances geometry. The holding pressure was found to be 30-60% of the injection pressure. Based on the performed analyses, titanium based locking plates could be produced by metal injection molding method.

**Keywords:** Titanium, Metal injection molding, Implant

\* Sorumlu yazar (Corresponding author): Levent URTEKİN, [levent.urtekin@ahievran.edu.tr](mailto:levent.urtekin@ahievran.edu.tr)

## 1. GİRİŞ

Toz Enjeksiyon Kalıplama (TEK), 1920'li yıllardan beri gelişmekte olan bir imalat yöntemidir [1]. İkinci Dünya Savaşı sırasında uranyum zenginleştirmek için kullanılan tüpler organik bağlayıcılar ile nikel tozları kullanılarak elde edilmiştir [2]. 1950'lerin içinde Sovyetler Birliğinde parafin bağlayıcı kullanılarak seramikler elde edilmiştir [3]. 1950'lerden sonra bir çok karbür ve seramik temelli karmaşık şekilli parçaların (epoksi, parafin yada selüloz bağlayıcılar kullanılarak) üretiminde TEK kullanılmıştır [4]. Endüstriyel olarak ise 1970'lerde Kaliforniya'da Parmatech firması tarafından ilk defa kullanılmıştır [5]. TEK işlemi plastik enjeksiyon ve toz metalurjisinin birleşmesiyle ortaya çıkmıştır. 1979'lara gelindiğinde, uçakta kullanılan TEK ile üretilmiş vida tıkaç ve niyobyum alaşımlı roket parçasının ödül alması gelişmeleri daha da hızlandırmıştır [2]. 1980'lerin başında ise seramik ısı makinası parçaları TEK ile yapılmıştır [4]. 1998'de ise, TEK ürünü helisel dişli ve cerrahide kullanılan kavisli makas MPIF (Metal Powder Industries Federation-ABD) tarafından ödüllendirilmiştir.

Toz Enjeksiyon Kalıplama (TEK) işleminde reoloji çalışmasından başlayarak, karıştırma, taneleme, kalıplama, bağlayıcı giderme ve sinterleme aşamasına kadar her aşamanın kontrollü yapılması ve ürün kalitesini artırmak için birden çok parametrenin eş zamanlı uygulanması oldukça önemlidir [5-8]. Ti alaşımı enjeksiyon kalıplama sırasında; eksik dolum, çarpılma, mikro gözenek, çatlak, gözenek ve boşluk, kaynak çizgi hatası, baskı sırasında kırılma, itici pim izleri, kalıba yapışma, ayrışma, kabuk ve katmanlaşma, düzgün olmayan yüzey, pürüzlülük gibi hatalar oluşmaktadır. Hataların bir çoğu reolojik özellikten, kalıplama yani enjeksiyon sırasında yada bağlayıcı giderme sırasında oluşmaktadır. Bu hataları minimize etmek için ortaya çıkmıştır.

Titanyum alaşımlarının işlenmesinde gerekli olan kesme kuvveti makine çeliklerinin ihtiyaç duyduğu kesme kuvvetinden biraz daha yüksektir. Eşit sertliklere sahip olmasına rağmen bu alaşımların sahip olduğu metalurjik özellikler onları işlemede güçlük çıkarmaktadır. Beta alaşımlar en zor işlenen titanyum alaşımlarıdır. İşleme şartları özellikle özel bir alaşım kompozisyonu ve işleme sırası için seçilirse işlenebilirliğin gerçekçi üretim oranları kabul edilebilir maliyet düzeyinde elde edilebilir. Özellikle taşlama sırasında, yüzey bütünlüğündeki düzensizlikleri engellemek için gerekli çalışmaların yapılması Titanyum alaşımları için gerekmektedir, aksi takdirde yorulma gibi mekanik davranışlarda dramatik kayıplar oluşabilmektedir. Bugüne kadar yüksek hızda işleme gibi tekniklerle titanyum işlemede gözle görülebilir gelişmeler olmamıştır. Yeni takım malzemelerinin geliştirilmesinin gerekliliği ortaya çıkmıştır [9-11]. Titanyum çeliğe göre nispeten daha düşük elastikiyet modülüne sahiptir dolayısıyla esnekliği çeliğe göre daha azdır. Ağır talaş kaldırma işlemleri için daha güçlü takımlara ihtiyaç duymaktadır. Takımdaki basınç nedeniyle, takımda sürtünme, tırlama ve tolerans problemleri gibi problemler oluşmaktadır. Titanyum alaşımlarının işlenmesi sırasında oluşan yukarıda belirtilen durumlar titanyum alaşımlarını işlenebilirliği güç malzemeler sınıfına sokmaktadır. Ti-6Al-4V vidalı kemik implantlarının işlenmesindeki zorluklar ve hem kalçada hem de bilekte yoğun olarak kullanılması bu parçanın seri üretimini gerektirmektedir. Bu tip malzemelerin klasik imalat yöntemlerinden farklı olarak lazer yada tel erozyon gibi ileri imalat yöntemleriyle işlendikleri bilinmektedir.

Titanyum alaşımı otomotiv, medikal ve uçak/uzay sanayinde kullanılan önemli bir malzemedir. Titanyum alaşımlarının klasik yöntemlerle işlenmesi oldukça zordur. Özellikle karmaşık geometrilerin üretilmesi sırasında tolerans değerlerinin yakalanması imalatçıları farklı yöntemler geliştirmeye yöneltmiştir. Bu kapsamda Titanyum esaslı kilitleme plakalarının metal enjeksiyon kalıplama ile üretilmesi çalışmalarına başlanılmıştır.



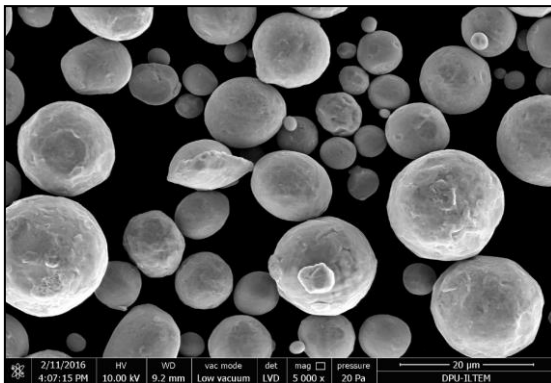
## 2. MATERYAL VE METOT

Toz Enjeksiyon Kalıplama (metal ve seramik) için toz boyutu ve formu önemli bir parametredir. Özellikle metaller için ortalama toz boyutu 20 mikron altı küresel tozlar yüksek paketleme yoğunluğu vermektedir. (Seramikler için toz boyutu 10 mikron altı istenmektedir) Toz boyut dağılımının da paketleme yoğunluğa etkisi bilinmekte olup sinterleme öncesi elde edilen paketleme yoğunluğunun son parçadaki yoğunluğu etkilediği önemli bir literatür bilgisidir. Yoğunluğu yüksek istenen toz metal parçalarda küresel toz şekli istenmektedir.

Dumlupınar Üniversitesi İleri Teknolojiler ve Tasarım Merkezinde yapılan analizler neticesinde ortalama toz boyutu ve toz boyut dağılımı, analizleri yapılarak Ti-6Al-4V malzemesinin Metal Enjeksiyon Kalıplama için uygunluğu belirlenmiştir. Analizler neticesinde ortalama toz boyutunun 13,4 mikron civarında olduğu ve küresel olduğu görülmüştür. Çizelge 1’de ise EDX sonucu elde edilen element analiz değerleri ağırlık ve atomik olarak verilmiştir. Şekil 1’de ise kullanılan tozların SEM görüntüsü verilmiştir.

Çizelge 1. Element analiz değerleri

Element	Ağırlık %	Atomik %
AlK	5,67	9,67
TiK	89,61	86,07
VK	4,72	4,26



Şekil 1. Ti-6Al-4V tozunun SEM görüntüsü

## 3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE SİMÜLASYON

### 3.1. Reoloji Deneyi

Metal Enjeksiyon Kalıplama yönteminin mutfağını oluşturan süreç reoloji çalışmasıdır. Metal tozu ve bağlayıcılardan oluşan karışımların granül haline getirilmesi ve Kılcal reometre (Şekil 2) adı verilen basit bir ekstruderden geçirilmesi ile bağlayıcı ve metal tozu karışımlarının (besleme stoku) akış özellikleri hakkında fikir edinilmektedir. Bağlayıcı ile metal toz karışım oranlarının belirlendiği reoloji çalışması granülleme, kalıplamada, bağlayıcı gidermede ve sinterlemede etkili bir parametredir. Akış tipinin psödo-plastik olması (yani kayma hızı arttıkça viskozitenin azalması), viskozitenin 1000 pa.s altında seyretmesi, erime akış indeksi tayini (10 gr/dk akan gram miktarı) enjeksiyon kalıplama sıcaklığının belirlenmesi reoloji çalışmalarıyla belirlenir. Şekil 2’de reoloji parametrelerinin incelendiği kılcal reometre görüntüsü verilmiştir.



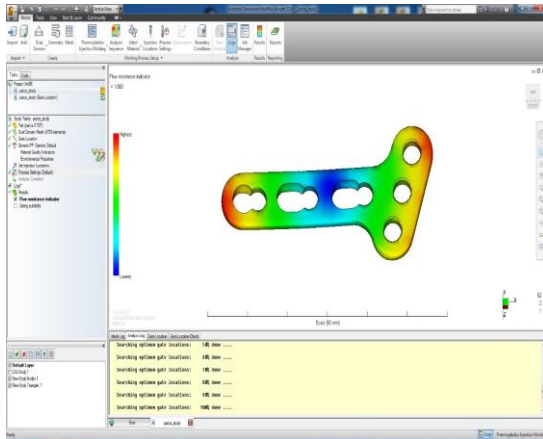
Şekil 2. Deneysel çalışmada kullanılan kılcal reometre

Kılcal reometre deneyi, Dumlupınar Üniversitesi Makina Mühendisliği Toz Metalurjisi laboratuvarında bulunan cihaz ile gerçekleştirilmiştir. 13,4 mikron Ti-6Al-4V tozları ile hazırlanan besleme stoklarının kılcal reometre denemeleri, ASTM D1238 - ASTM D3835 [12-13] standartlarına uygun olarak yapılmıştır. Elde edilen besleme stoku kılcal reometreden geçirilerek, değişen kayma gerilmelerinde viskozitesi ve kayma hızı belirlenmiştir. Reolojik çalışmalarda kullanılan kılcal reometrenin silindir uzunluğu 115 mm, iç çapı 10 mm’dir. Silindir boyunca çalışabilen pistonun boyu 6,35 mm’dir. Kalıp 8 mm uzunluğunda ve 2 mm çapındadır. Besleme

stoğu tane haline getirildikten sonra, cihaz temizlenmiştir. Deneylere başlamadan önce silindir ve piston sıcaklığı 15 dk süre ile  $80-260\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ 'de tutulmuştur, deney sırasında da bu sıcaklık aralığının değişmezliği sağlanmıştır. Silindir, ağırlığı bilinen besleme stoğu ile doldurulmuş ve üzerinde yük bulunmayan piston, silindir üstünden içeri doğru sokulmuştur.

### 3.2. Akış Simülasyonu Çalışmaları

Ahi Evran Üniversitesi Araştırma Hastanesi Ortopedi Bölümü ile görüşülmüş en çok kullanılan Ti esaslı kitleme plakası temin edilmiştir. Tersine mühendislik yöntemi ile vidalı parçanın tüm detayları ve tasarımı yapılmıştır. Eksik kalan ve taranamayan kısımlar Solidworks programı kullanılarak parçanın katı modeli çıkarılmıştır. Tasarım kalıp simülasyonu için hazır hale getirilmiştir. İlgili tasarımlar Şekil 3'de verilmiştir.



**Şekil 3.** Tasarlanmış Ti esaslı kitleme plakası

Solidworks ile çizilen kitleme plakası Autodesk Moldflow simülasyon programına import edilmiştir. Tasarımdan dolayı oluşabilecek boşluk kontrolü için yüzey kontrolü yapılmıştır. Yüzey kontrolü için kitleme plakası parça yüzey meshlemesine tabi tutulmuştur. Mesh analizlerinde 3D meshleme yöntemi tercih edilmiştir. 3D meshleme yapıldıktan sonra en iyi yolluk ve giriş analizleri yapılmıştır. Tek enjeksiyon girişi seçilmiştir. İki gözlü kalıp seçildiğinden her parçanın stabil olması için simetrik yerleştirilmiştir. Kalıba uygun basit yolluk

seçilmiş ve tıkanmalar minimize edilmiştir. Yolluklardan kaynaklanan ısı kayıpları önlenmiştir. Soğutma kanalları çizilmeden önce dolum prosesi incelenmiş oluşabilecek hava boşluğu yada dolmama sorunu incelenmiştir. Bunlara göre erime sıcaklığı, ütüleme basıncı değerleri girilmiştir. Soğutma kanalları geometriye uygun seçilmiştir. Hatalardan kaçınmak için (çarpılma, eksik dolum vb) gerçeğe çok yakın değerler seçilmiştir.

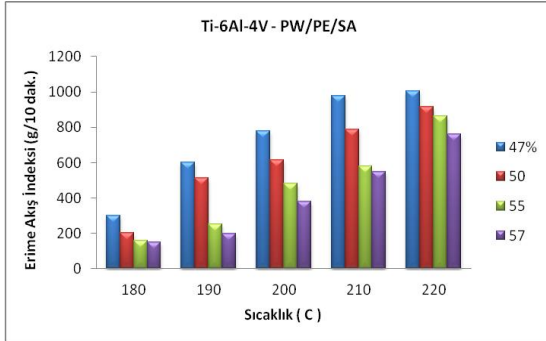
## 4. SONUÇLAR

### 4.1. Reoloji Sonuçları

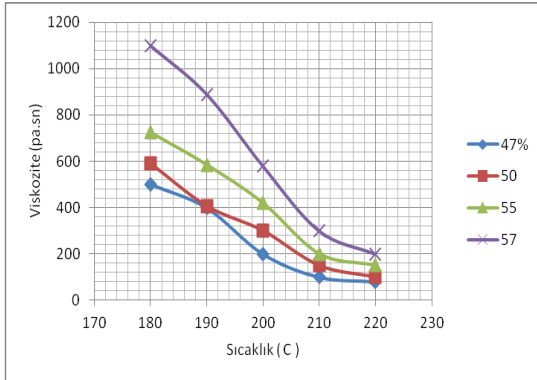
Ti-6Al-4V alaşımı ile PW/PE/SA esaslı bağlayıcı sistemi ile elde edilen besleme stoku (BTi) ile yapılan reoloji çalışmalarında hacimce %47-57 oranında toz yüklemesi yapılmıştır. Sıcaklık değişimi  $180-220^{\circ}\text{C}$  arasında değişmiştir. Erime akış indeksi 300-1005 (gr/10 dk) arasında değişmiştir. B1 besleme stokuna göre metal enjeksiyon kalıplama için daha uygun reolojik verilere sahiptir. Viskozite değerleri ise 80-1100 pa.sn arasında değişmektedir. Toz yüklemesinin %57'e kadar çıktığı BTi besleme stoku metal enjeksiyon kalıplama için uygun olduğu görülmüştür.

Akış tipinin newtoniyen olmayan akış ve psödo-plastik olduğu görülmüştür. Viskozitenin 100-1000 pa.sn altında seyretmesi besleme stoklarından istenen bir durumdur. Düşük viskozitelerde püskürme yüksek viskozitelerde ise kalıbı doldurmama ve tıkanma gibi hadiseler yaşanmaktadır. Besleme stoklarının üç ana bağlayıcıdan oluşur; ana bağlayıcı, iskelet bağlayıcı ve yağlayıcıdır. Literatür çalışmalarında (steatit, alümina, alüminyum, paslanmaz çelik) besleme stoklarının iskelet bağlayıcı ile hemen hemen aynı özellikte taşıdığı söylenebilir. Bu kapsamda BTi besleme stoğunun iskelet bağlayıcısı PE ile uyumlu olduğu söylenebilir. Bu uyumluluk termal analiz çalışmalarında da ortaya çıkmıştır.

Şekil 4 ve 5'de erime akış indeksi-sıcaklık ve viskozite-sıcaklık değişimleri verilmiştir.



Şekil 4. Erimme akış indeksi-sıcaklık değişimi



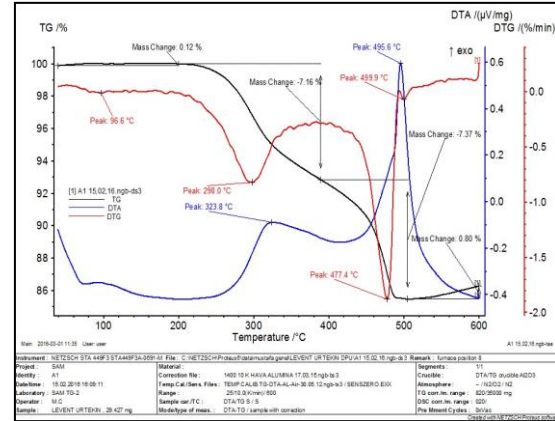
Şekil 5. Viskozite-sıcaklık değişimi

Besleme stok analizlerinin termal özellikleri birçok amaç için yapılmaktadır. Bunlardan en önemlisi akış sıcaklıklarının belirlenmesi, bağlayıcı giderme sıcaklıklarının tayini, bağlayıcı giderme hızlarının ve bağlayıcı giderme ortamının belirlenmesi olarak sıralanabilir. Bu kapsamda BTi besleme stoku için DTA/TGA analizleri yapılmış ve aşağıda veriler elde edilmiştir.

Şekil 6'da görüldüğü gibi BTi besleme stokları için TGA/DTA analizleri verilmiştir. BTi besleme stoku incelendiğinde 220°C'den sonra kütle kaybı başlamış ve malzeme maksimum bozulma sıcaklığı 371,5°C sıcaklığında ve 475°C sıcaklığa kadar bozulma devam etmiştir.

PW, PE ve SA bozulma başlangıç sıcaklıklarıyla grafikteki değerler uyumludur. Kademeli sinterlemenin önemli bir adımı olan ısıl bağlayıcı giderme için ısıl analizler faydalı bir metottür. Şekil 5'de görüldüğü gibi yaklaşık

60-190°C aralığında erime fazı mevcuttur. Bu aralık, SA (68-70°C) ve PE (190-210°C)'in erime sıcaklığı aralığıdır ve tepkime ısı alınır.

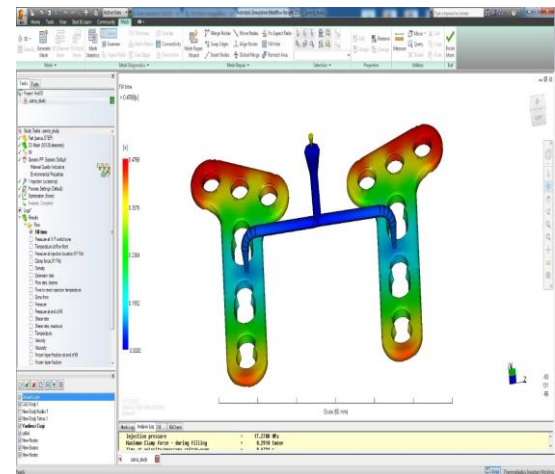


Şekil 6. BTi besleme stoku için TGA/DTA analizleri

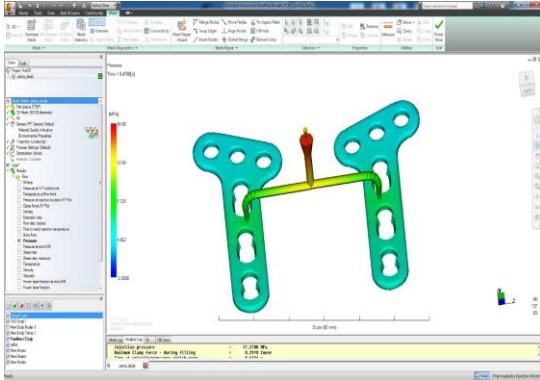
## 4.2. Akış Simülasyon Sonuçları

Autodesk Moldflow Simülasyon analizi ile kilitleme plaklarının akış özellikleri incelenmiştir. Şekil 7-10'da enjeksiyon parametrelerine ait sonuçlar verilmiştir.

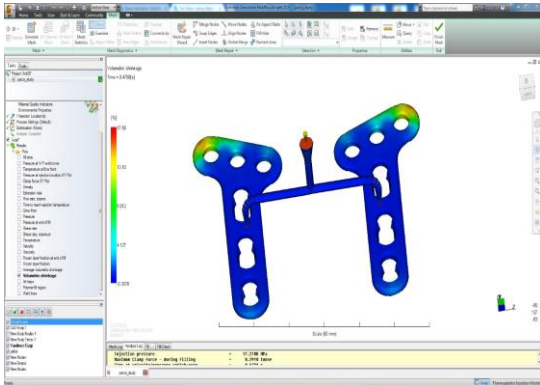
Reoloji çalışmaları ile uzun zaman ve tecrübe gerektiren belirlenen parametreler Moldflow simülasyon analizi ile daha kolay çözümlenebilmiştir.



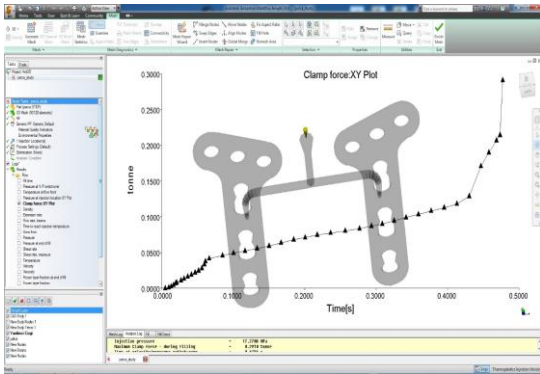
Şekil 7. Kalıp dolum süresi



Şekil 8. Enjeksiyon basınç dağılımı



Şekil 9. Lineer çekme payı (%)



Şekil 10. Kalıp kapama kuvveti-zaman dağılımı

Modflow analizleri neticesinde BTi besleme stoku için gerekli enjeksiyon parametreleri belirlenmiştir. TGA/DTA ve reoloji çalışmaları ile uyumlu olan simülasyon çalışmaları neticesinde toz enjeksiyon kalıplama ile Ti alaşımlı kilitleme plakalarının üretilebileceğine karar verilmiştir.

## 5. SONUÇ

BTi besleme stoku üzerine kılcal reometre ile deneyler yapılmış (Parafin wax/PE/SA) viskozite, erime akış indeksi ve sıcaklık davranışları toz enjeksiyon kalıplama ile uyumlu olduğu belirlenmiştir.

Moldflow simülasyon analizi ile reoloji çalışmalarının uyumu uzun zaman alan besleme stoku akış özelliklerinin belirlenme çalışmalarını azaltacak türdendir. Her bir karışı oranı için reoloji deneylerinin yapıldığı ve kritik yükleme ile optimum yükleme arasında %2-5 oranında bir değişim olduğu bilindiğine göre simülasyon analizinin *bilimsel çalışmalara yardımcı olacağı* görülmüştür.

## 6. TEŞEKKÜR

Bu çalışma Ahi Evran Üniversitesi MMF.E2.16. 008 No'lu BAP projesi tarafından desteklenmiştir.

## 7. KAYNAKLAR

1. Mutsuddy, B.C., Ford, R.G., 1995. Ceramic Injection Molding, Chapman and Hall, UK.
2. Urtekin, L., Uslan, İ., Tuç, B., 2012. Investigation of Different Feedstock Rheology for Net-Shape Injection Molding of Steatite, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 27, No 2, 333-341.
3. Sarıtaş, S., Türker, M., Durlu, N., 2007. Toz Metalurjisi ve Parçacıklı Malzeme İşlemleri 1. Baskı, Uyum Ajans, Ankara.
4. Urtekin, L., 2008. Toz Enjeksiyon Kalıplanmış Steatit Seramiklerin Özelliklerine Kalıplama ve Sinterleme Parametrelerinin Etkisinin Araştırılması, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora.
5. German, R.M., 2013. Progress in Titanium Metal Powder Injection Molding, Materials, 6, 3641-3662.
6. German, R.M., 1990. Powder Injection Molding, New Jersey, USA, 200-225.

7. German, R.M., Bose, A., 1997. Injection Molding of Metals and Ceramics, Metal Powder Industries Federation, New Jersey, 10-35.
8. Morita, A.T., Toma, M.S., De Paoli, M.A., 2005. Low Cost Capillary Rheometer, Transfer Molding and Die-Drawing Module, Polymer Testing, 25: 197-202.
9. Motorcu, A.R., 2009. Nikel Esaslı Süper Alaşımların ve Titanyum Alaşımlarının İşlenebilirliği, 1. Bölüm: Sinterlenmiş Karbur Takımların Performanslarının Değerlendirilmesi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 25(1-2); 302-330.
10. Zoya, Z.A., Krishnamurthy, R., 2000. The Performance of CBN Tools in the Machining of Titanium Alloys, Journal of Materials Processing Technology, 100; 80-86.
11. Rahman, M., Wang, Z.G., Wong, Y.S., 2006. A Review on High-Speed Machining of Titanium Alloys, JSME International Journal Series C, 49 (1); 11-19.
12. ASTM D1238, Standard Test Method for Melt Flow Rates of Thermoplastics by Extrusion Plastometer.
13. ASTM D3835, Standard Test Method for Determination of Properties of Polymeric Materials by Means of a Capillary Rheometer.



## Utilization of Chromite Waste as Colorant in Single Fired Wall Tile Glaze Compositions

Nergis KILINÇ MİRDALI\*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Çukurova Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, Seramik Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 18.09.2016

Kabul tarihi: 03.10.2016

### Abstract

The present study focuses on the utilization of chromite waste after neutralization process as coloring agent for transparent and opaque wall tile glaze compositions. The neutralized processed chromite ore waste obtained from the Soda-Chrome Industries Inc. in Kazanlı (Mersin), a branch of Şişe-Cam Chemicals Group, was used in increasing amounts in ceramic wall tile glazes. 3-6% of chromite waste was used in opaque and transparent wall tile glaze recipes. The glaze compositions were applied as thin layers (0.5 mm) on engobed wall tile bodies and fired at 1200°C. After firing, no surface defects were observed on glazed surface. Glazes were characterized by electron microscopy (SEM-EDX). The color obtained after glazing and firing was defined as CIE-L\*a\*b\* parameters by using UV-Visible Spectrophotometer. Glazed samples were subjected to thermal shock test at 200°C and no evidence of crack and peeling were found between body and glaze coating. It has been observed that waste material has positive effects as a colorant in ceramic glazes at 1200°C.

**Keywords :** Chromite Waste, Waste utilization, Glaze, Colorant

### Kromit Atığının Tek Pişirim Duvar Karosu Sırlarında Renklendirici Olarak Kullanılması

#### Öz

Bu çalışmada nötralizasyon işlemi sonrası elde edilen kromit atığının şeffaf ve opak duvar karosu sır kompozisyonlarında renklendirici olarak kullanılabilirliğine dikkat çekilmiştir. Nötralize edilmiş kromit cevheri atığı Kazanlı (Mersin)'da bulunan ve Şişecam Kimyasalları Grubuna bağlı Soda-Krom Fabrikaları'ndan elde edilmiş ve artan oranlarda şeffaf ve opak duvar karosu sır reçetelerinde %3-6 oranında kullanılmıştır. Sır kompozisyonları astarlı duvar karoları üzerine 0,5 mm kalınlığında uygulanmış ve 1200°C'de fırınlanmıştır. Pişirim sonrasında sırlı yüzeylerde herhangi bir hataya rastlanmamıştır. Sırların karakterizasyonu, Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM-EDX) ile yapılmıştır. Sırlama ve pişirme işlemlerinden sonra sırlı yüzeylerde UV-Visible Spectrophotometer ile CIE-L\*a\*b\* parametreleriyle ifade edilen renk değerleri elde edilmiştir. Sırlı örnekler 200°C'de ısı şok testine tabi tutulmuş bünye-sır arasında, herhangi bir çatlama veya kavlama görülmemiştir. 1200°C'de atık malzemenin seramik sırlarını renklendirmede olumlu etkilere sahip olduğu gözlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kromit atığı, Atık değerlendirme, Sır, Renklendirici

\* Sorumlu yazar (Corresponding author): Nergis KILINÇ MİRDALI, [nkilinc@cu.edu.tr](mailto:nkilinc@cu.edu.tr)



## 1. INTRODUCTION

Industrial activities are generating huge amounts of inorganic and toxic waste materials and are not inherent to the production process due to technological developments in all over the world. Recycling and reuse are the best solution for waste utilization that become very important for today's community because of increase in production of wastes and their impact on the environment for living beings.

The ceramics sector can incorporate large amounts of waste materials without relevant process modifications, while taking advantage of the calorific value from waste combustion or incorporating the residue in the internal structure of materials, such that the residue forms part of these materials' matrix and becomes an inert element, Eliche Quesada et al. [1].

As stated in the literature, possibility of using a wide variety of inorganic wastes has become important aspect in the ceramic sector like as ceramic engobes [2-3], ceramic glazes [4-8], ceramic colorants or pigments [9-15], glass and glass-ceramics [16-18], bricks and roof tiles [19-27], and ceramic tiles [28-30].

According to Eppler et al. [31] and Bonolini et al., [32], obtaining a color in a vitreous matrix requires dispersion of a colored insoluble crystal or crystals which acted as pigments of the matrix. The color of the crystals is then imparted to the transparent matrix.

Different materials are widely used in production of colored glazes but direct use of solid wastes as a coloring agent is quite rare in Turkey. As a result of these aims, the solid waste of Soda-Chrome Industries was utilized in the transparent and opaque tile glazes. It was observed that, there was a wide color variety altering from grey to black in transparent glazes and violet in opaque glazes at 1200°C.

## 2. EXPERIMENTAL PROCEDURE

Wall tile glazes (transparent and opaque) and neutralized chromite waste were used in this study. Chromite waste obtained from Soda-Chrome Industries as a coloring agent. Transparent and opaque glazes obtained from Yurtbay Seramik Factory. The body and glaze compositions are not reported since they are still produced industrially. Glazes were colored by adding 3-6 wt% of the waste to the transparent and opaque glazes. Homogenous mixing was achieved by milling the materials constituting the slip, for 2 hours in a mill. This treatment gave a homogeneous mixture of the neutralized waste and glaze. The ground mixtures were then sieved through 63 µm mesh. A spraying method was used to apply the stained ceramic glazes to test tiles. The phase identification in the neutralized waste was performed by X-ray diffraction (XRD) method. XRD patterns were obtained using conventional powder diffraction technique with Ni-filtered Cu K $\alpha$  radiation and X-ray scans were made between 2 $\theta$  angles of 0° and 70°. The microstructure and chemical homogeneity of representative fired samples were studied by scanning electron microscopy (SEM) using a Leo-440 electron microscope.

The optical parameters of all the fired wall tiles were measured using Minolta CR-300 series chroma meter using the CIELab method. L\* is the degree of lightness and darkness of the color in relation to the scale extending from white (L\*=100) to black (L\*=0). a\* is the scale extending from green (-a\*) to red (+a\*) axis and b\* is the scale extending from blue (-b\*) to yellow (+b\*) axis.

## 3. RESULTS AND DISCUSSIONS

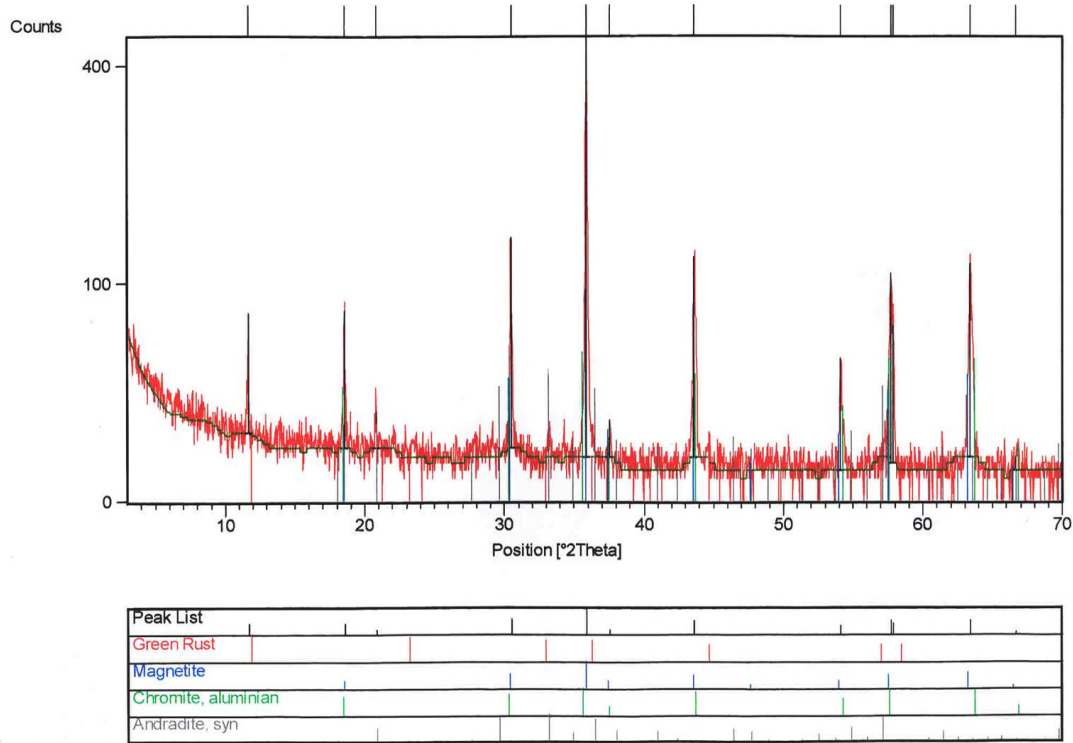
The result of the chemical composition of the neutralized chromite waste is given in the Table 1. According to the Table 1, neutralized chromite waste consists mainly of iron oxide (~59%), also with chromium oxide (~21%).

**Table 1.** Chemical composition wt % of chromite waste

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	MnO	NiO	CoO	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
2.24	0.01	1.49	58.96	1.28	8.70	1.85	0.04	20.52	0.19	0.48	0.19	0.09	0.81



The result of the XRD analysis of the chromite waste is shown in Figure 1. Chromite waste consists of chromite, magnetite, andradite (syn) and green rust.



**Figure 1.** X-ray diffraction spectra of the chromite waste of soda chrome industry

The chemical composition is basically characterized by high amounts of  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  and  $\text{MgO}$ . This waste material is extremely hazardous because it contains dangerous heavy metals such as Cr and Ni. Different amounts of chromite waste were ranged from 3% to 6% added into the transparent and opaque wall tile glaze compositions. These glaze compositions labeled as TG<sub>1</sub> (addition of 3% chromite waste to transparent glaze), TG<sub>2</sub> (addition of 6% chromite waste to transparent glaze), OG<sub>1</sub> (addition of 3% chromite waste to opaque glaze) and OG<sub>2</sub> (addition of 6% chromite waste to opaque glaze) respectively.

Figure 2 shows the surface appearance and color of the transparent and opaque wall tile glazes colored with the neutralized chromite waste applied on engobed single-fired wall tiles at 1200°C.



**Figure 2.** Surface appearance and color of the glazes prepared by neutralized chromite waste, fired at 1200°C; TG<sub>1</sub>, TG<sub>2</sub>, OG<sub>1</sub>, OG<sub>2</sub>

SEM micrographs and EDX patterns of TG<sub>1</sub> and OG<sub>1</sub> glazes were shown in Figure 3 and Figure 4. It could be seen that, large number of irregular shaped crystals disorderly distributed in glassy matrix. The chemical compositions of crystals (OG<sub>1</sub>) and glassy matrix (TG<sub>1</sub>) were analyzed by EDX. The crystals were rich in Si, Al, Na, Ca, Mg, Fe and Zn. The glassy matrix was rich in Si, Al, Cr, Na, Ca, Mg, Fe, Zn.

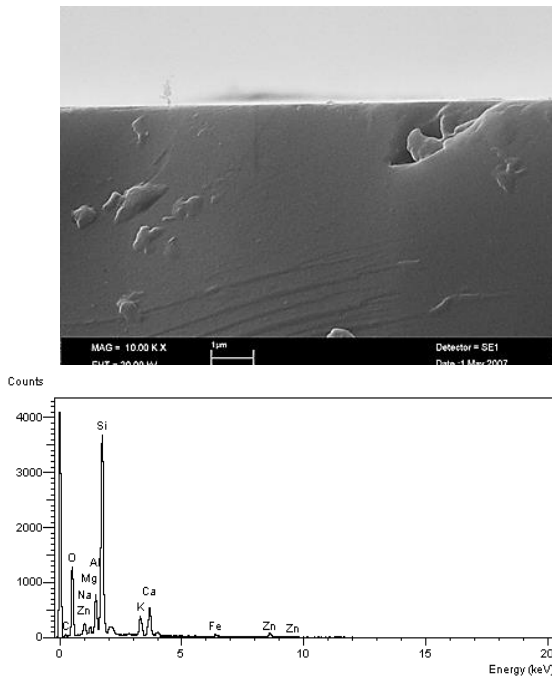
As the amount of waste increases in the coloring of ceramic glaze, color scale ranging from light brown to dark brown in transparent glazes and violet in opaque glazes at 1200°C. The chromite waste has reducing effect on whiteness. Transparent glaze matrix with 6% chromite waste (TG<sub>2</sub>) showed intense brown

coloration and opaque glaze matrix with 6% chromite waste (OG<sub>2</sub>) showed intense violet coloration, as seen in Figure 2 and Table 2.

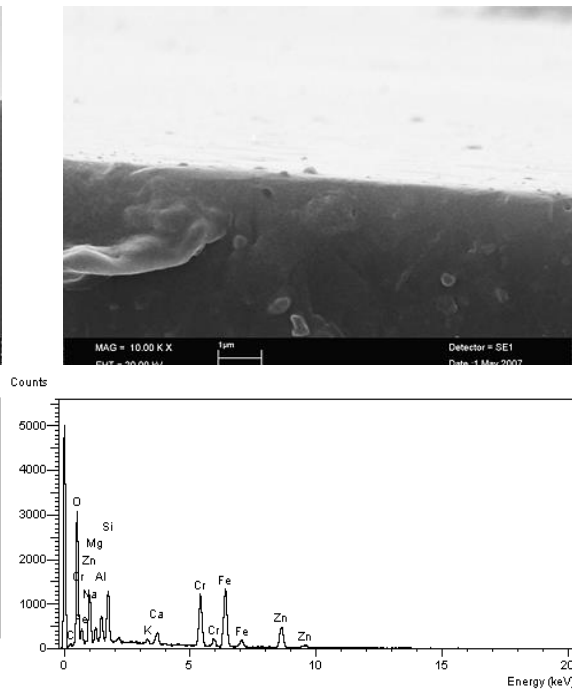
Under the lights of coloring parameters (L\*, a\* and b\*) of newly produced wall tile glazes with chromite waste it was concluded that higher waste contents caused decrease in whiteness.

**Table 2.** Optical parameters (L\*, a\*, b\*) of wall tile glazes

Glazes	L*	a*	b*
TG <sub>1</sub>	64	+12	+21
TG <sub>2</sub>	32	+17	+28
OG <sub>1</sub>	82	+5	+4
OG <sub>2</sub>	65	+6	+7



**Figure 3.** SEM micrograph of the TG<sub>1</sub> glaze and EDX pattern taken from the crystal occurrence



**Figure 4.** SEM micrograph of the OG<sub>1</sub> glaze and EDX pattern taken from the glassy matrix

#### 4. CONCLUSIONS

This work showed that, it's possible to utilize chromite waste for coloring purposes and

obtaining attractive textures for decorative purposes in different glaze compositions. The color change in transparent and opaque glazes is related with the phase transformation during firing,

where the chromite ore waste reacts with the glaze composition with depending on firing temperature. Various shades of brown and violet were observed when neutralized chromite waste was added into the transparent and opaque glazes. The variation of shade is considered due to firing temperature, presence of different amounts of neutralized chromite waste and chemical composition of glazes. Glazed samples were subjected to thermal shock test at 200°C and no evidence of crack and peeling were found. Good adhesion was observed between the body and glaze coatings. As a result, the utilization of chromite waste as coloring agent in ceramic products will reduce environmental pollution.

## 5. ACKNOWLEDGEMENTS

Author would like to give her sincere gratitude to the Authorities of Soda-Chrome Industries for supplying of the waste material.

## 6. REFERENCES

1. Eliche Quesada, D., Corpas-Iglesias, F.A., Pérez-Villarejo, L., Iglesias-Godino, F.J., 2012. Recycling of Sawdust, Spent Earth from Oil Filtration, Compost and Marble Residues for Brick Manufacturing, *Const. and Build. Mat.* 34, 275-284.
2. Dal Bó, M., Adriano, Bernardin, M., Hotza, D., 2014. Formulation of Ceramic Engobes with Recycled Glass Using Mixture Design, *J. Clean. Prod.*, Vol. 69, 243-249.
3. Nandi, V.S., Raupp-Pereira, F., Montedo, O.R.K., Oliveira, A.P.N., 2015. The Use of Ceramic Sludge and Recycled Glass to Obtain Engobes for Manufacturing Ceramic Tiles. *J. Clean. Prod.*, Vol. 86, 461-470.
4. Da Silva, R.C., Pianaro, S.A., Tebcherani, S.M., 2012. Preparation and Characterization of Glazes from Combinations of Different Industrial Wastes, *Ceram. Int.* Vol.38-4, 2725-2731.
5. Schabbach, L.M., Bolelli, G., Andreola, F., Lancellotti, I., Barbieri, L. 2012. Valorization of MSWI Bottom Ash Through Ceramic Glazing Process: A New Technology. *J. Clean. Prod.* Vol. 23(1) 147-157.
6. Karasu, B., Çakı, M., Yeşilbaş, Y.G., 2001. The Effect of Albite Wastes on Glaze Properties and Microstructure of Soft Porcelain Zinc Crystal Glazes, *J. Eur. Ceram. Soc.*, Vol., 21, 8, 1131-1138.
7. Pekkan, K., Karasu, B., 2012. Evaluation of Borax Solid Wastes in Production of Frits Suitable for Fast Single-Fired Wall Tile Opaque Glass-Ceramic Glazes, *Bull. Mater. Sci.*, 33, 2, 135-144.
8. Yalçın, N., Sevinç, V., 2000. Utilization of Bauxite Waste in Ceramic Glazes, *Ceramics International*, Vol. 26, 15, 485-493.
9. Costa Pereira, O.A., Bernardin, M., 2012. Ceramic Colorant from Untreated Iron Ore Residue, *J. Hazard. Mater.*, 233–234, 103-111.
10. Hajjaji, W., Costa, G., Zanelli, C., Ribeiro, M.J., Seabra, M.P., Dondi, M., Labrincha, J.A., 2012. An Overview of Using Solid Wastes for Pigment Industry, *J. Eur. Ceram. Soc.* Vol. 32-4 753-764.
11. Riella, G., Bernardin, A.M., 2008. Inorganic Pigment Made from the Recycling of Coal Mine Drainage Treatment Sludge, *J. Environ. Manage.* Vol. 88-4, 1280-1284.
12. Costa, G., Ribeiro, M.J., Labrincha, J.A., Dondi, M., Matteucci, F., Cruciani, G., 2008. (a) Malayaite Ceramic Pigments Prepared With Galvanic Sludge as Coloring Agent, *Dyes and Pigments*, Vol. 78 157–164.
13. Costa, G., Della, V.P., Ribeiro, M.J., Oliveira, A.P.N., Monroıs, G., Labrincha, J.A., 2008. (b) Synthesis of Black Ceramic Pigments from Secondary Raw Materials, *Dyes Pigments*, Vol. 77 137-144.
14. Legodi, M.A., de Waal, D., 2006. The Preparation of Magnetite, Goethite, Hematite and Maghemite of Pigment Quality from Mill Scale Iron Waste, *Dyes Pigments*, Vol., 74.
15. Prim, S.R., Folgueras, M.V., de Lima, M.A., Hotza, D., 2011. Synthesis and Characterization of Hematite Pigment Obtained from a Steel Waste Industry, *J. Hazard. Mater.*, Vol. 192 1307–1313.
16. Erol, M., Genç, A., Öveçoğlu, M.L., Yücelen, E., Küçükbayrak, S., Taptık, Y., 2000. Characterization of a Glass-Ceramic Produced

- from Thermal Power Plant Fly Ashes, *J. Eur. Ceram. Soc.*, Vol. 20 2209-2214.
17. Appendino, P., Ferraris, M., Matekovits, I., Salvo, M., 2004. Production of Glass-Ceramic Bodies from the Bottom Ashes of Municipal Solid Waste Incinerators, *J. Eur. Ceram. Soc.*, Vol. 24 803-810.
  18. Boccaccini, A.R., Bucker, M., Bossert, J., 1996. Glass and Glass-Ceramics from Coal Fly-Ash and Waste Glass, *Tile & Brick Int.*, Vol. 12 515-518.
  19. Raut, S.P., Ralegaonkar, R.V., Mandavgane, S.A., 2011. Development of Sustainable Construction Material Using Industrial and Agricultural Solid Waste: A Review of Waste-Create Bricks, *Const. and Build. Mat.* 25 4037-4042.
  20. Pérez-Villarejo, L., Martínez-Martínez, S., Carrasco-Hurtado, B., Eliche-Quesada, D., Ureña-Nieto, C., Sánchez-Soto, P.J., 2015. Valorization and Inertization of Galvanic Sludge Waste in Clay Bricks, *Appl. Clay Sci.*, 105-106, 89-99.
  21. Neves Monteiro, S., Maurício Fontes Vieira, C., 2014. On the Production of Fired Clay Bricks from Waste Materials: A Critical Update, *Const. and Build. Mat.*, Vol. 68, 599-610.
  22. Muñoz Velasco, P., 2014. Fired Clay Bricks Manufactured by Adding Wastes as Sustainable Construction Material—A Review. *Const. Build. Mat.* Vol. 63, 97-107.
  23. Hu, H., Deng, Q., Li, C., Xie, y., Dong, Z., Zhang, W., 2014. The Recovery of Zn and Pb and the Manufacture of Lightweight Bricks from Zinc Smelting Slag and Clay, *J. Hazard. Mater.*, Vol. 271, 220-227.
  24. Dondi, M., Guarini, G., Raimondo, M., Zanelli, C., 2009. Recycling PC and TV Waste Glass in Clay Bricks and Roof Tiles, *Waste Management* 29, 1945-1951.
  25. Torres, P., Fernandes, H.R., Olhero, S., Ferreira, J.M.F., 2009. Incorporation of Wastes from Granite Rock Cutting and Polishing Industries to Produce Roof Tile, *J. Eur. Ceram. Soc.*, Vol. 29, 23-30.
  26. Monteiro, S.N., Peçanha, L.A., Vieira, C.M.F., 2004. Reformulation of Roofing Tiles Body with Addition of Granite Waste from Sawing Operations, *J. Eur. Ceram. Soc.* Vol. 24, 2349-2356.
  27. Kute, S.E., Deodhar, S.V., 2003. Effect of Fly Ash and Temperature on Properties of Burnt Clay Bricks, *J. Civil Eng.* Vol. 84, 82-85.
  28. Olgun, A., Erdoğan, Y., Ayhan, Y., Zeybek, B., 2005. Development of Ceramic Tiles from Coal Fly Ash and Tincal Ore Waste, *Ceramics International* Vol. 31, 153-158.
  29. Souza, A.J., Pinheiro, B.C.A., Holanda, J.N.F., 2010. Recycling of Gneiss Rock Waste in the Manufacture of Vitrified Floor Tiles, *J Environ. Manage.*, Vol. 91, 13685-689.
  30. Baruzzo, D., Minichelli, D., Bruckner, S., Fedrizzi, L., Bachiiorini, A., Maschio, S., 2006. Possible Production of Ceramic Tiles from Marine Dredging Spoils Alone and Mixed with Other Waste Materials, *J. Hazard. Mat.*, Vol. 134, 1-3, 202-210.
  31. Eppler, R.A., Eppler, D.R., 2000. Glaze and Glass Coatings, *Am. Ceram. Soc.*, Hong Kong, p.130.
  32. Bonolini, F., Ferrari, A.M., Leonelli, C., Manfredini, T., 1997. Chromite as a Pigment for Fast-Fired Porcelain Tiles, *Ceram. Eng. Sci. Proch.*, Vol. 18, 45-59.

## Yeni Bir Eddy Akımı Ayırıştırıcısı ile Küçük Boyutlu Demirsiz Metallerin Ayırıştırılması

Ahmet FENERCİOĞLU\*<sup>1</sup>, Hamit BARUTÇU<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Tokat

Geliş tarihi: 20.08.2016 Kabul tarihi: 30.09.2016

### Öz

Bu çalışmada 5 mm'den küçük granül haldeki demirsiz metallerin ayrıştırılarak geri kazanımı amacıyla tasarlanan yeni bir eddy akımı ayırıştırıcısı (EAA)'nın performansı incelenmiştir. Ayrıştırılacak malzemenin küçüklüğünden dolayı oluşan itme kuvveti ayrıştırmada yetersiz kalmaktadır. Bu kuvveti artırabilmek için mıknatıs tambur tasarımı, tambur hızı, kutup sayısı, hava aralığı, mıknatıs seçimi ve ana gövde tasarımında yapılacak iyileştirmeler ile yeni bir EAA geliştirilmiştir. Bu etkilerin deneyle incelenmesi mümkün olduğu için tambur pozisyonunun değişimi, tambur ve konveyör hızının etkileri test edilerek performansa etkileri belirlenmiştir. Bu sistem ile granül atık içerisinde bulunan değerli metallerin yüksek verimle geri dönüşümü ve ekonomiye kazandırılması mümkün olmaktadır. Granül atık halindeki güç kablolarının ayrıştırılması için yapılan deneylerde en az %96'nın üzerinde verim elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Eddy akımı ayırıştırıcısı, Değerli metal ayrıştırma, Demirsiz metal ayrıştırma

## Separation of Small Sized Non-Ferrous Metals with a Novel Eddy Current Separator

### Abstract

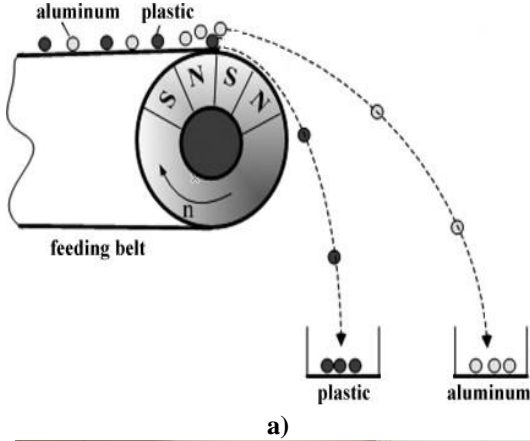
In this study; performance of novel eddy current separator (ECS) is designed for particle separation is examined for separation of non-ferrous metals smaller than 5 mm. The propulsion force in material is not sufficient due to small size for separation. Drum design and speed, number of magnet poles, airgap, magnet type and main frame design are improved to increase the propulsion force. Variations of drum position, drum and conveyor speed are examined by experiments for determination of performance effects. It is possible that recycling of granule nonferrous valuable metals, and obtaining economical value with high efficiency. In experiment of granule power cable wastes separation efficiency is higher than %96.

**Keywords :** Eddy current separator, valuable metal separation, Non-ferrous metal separation

\* Sorumlu yazar (Corresponding author): Ahmet FENERCİOĞLU, [ahmet.fenercioglu@gop.edu.tr](mailto:ahmet.fenercioglu@gop.edu.tr)

## 1. GİRİŞ

Ayırıştırma öncelikli işlem malzemeleri sınıflandırdıktan sonra ayrı ayrı parçalayarak geri kazanmaktır. Fakat değerli metallere birada montaj halinde olduğu veya plastik kılıfla birlikte bulunduğu durumlarda bunları birbirinden ayırmak oldukça zordur ve yüksek işçilik maliyetleri gerektirir. Bu tür malzemeler kıyıcı makinelerde hepsi bir arada parçalanmaktadır. Parçalanmış atıklar granül olarak karışık halde bulunurlar. Öngörülen sistem ile bu karışım içerisinde değerli metallere ayırıştırma mümkündür. Süreç içerisinde EAA ferromanyetik malzemeleri ayırıştırma kullanılmadığı için öncelikle atık içerisinde demir içeren metallere bir elektromıknatısla tutularak dışarı alınmalıdır. Kalan atıklar ise bant üzerinde taşınarak EAA yardımıyla ayırıştırılmaktadır. Ayırıştırma sonucunda değerli metallere bir bölmeye alınırken kalan diğer malzemeler başka bir bölmeye alınmaktadır. Şekil 1'de demirsiz metallere ayırıştırılmasını gösteren EAA'nın prensip şeması verilmiştir [1-2]



Şekil 1. EAA a) prensip şeması, b) prototip

Bu çalışmada granül haldeki değerli metallere ayırıştırma amacıyla tasarlanan EAA'nın performansı için bazı parametreler incelenecektir. Ayırıştırılacak malzemenin küçüklüğünden dolayı oluşan itme kuvveti ayırıştırma yetersiz kalmaktadır. Bu kuvveti artırabilmek için mıknatıs tambur tasarımı, tambur hızı ve kutup sayısı, hava aralığı, mıknatıs seçimi ve ana gövde tasarımı iyileştirmeler ile yeni bir EAA tasarımı geliştirilmiş ve 213M551 nolu Tübitak destekli bir proje kapsamında prototip olarak imal edilmiştir.

Bu çalışmada tamburun X ve Y eksenlerindeki konumu, tambur hızı, tambur ile malzeme arasındaki hava aralığı ve malzemeyi tambur üzerine taşıyan bant hızının ayırıştırma verimine etkileri incelenmiştir. Bu sistem ile granül atık içerisinde bulunan değerli metallere yüksek verimle geri dönüşümü sağlanarak hammaddeye dönüşümü ve ekonomiye kazandırılması mümkün olmaktadır. Geri dönüşümle kazanılan bu değerli metallere sayesinde bu madenlerin çıkarılması ve işlenmesi için harcanan işçilik ve enerji azalacaktır. Böylece doğal kaynaklar korunarak çevre daha az kirletilecektir. Ayrıca EAA'nın teknolojisi ve tasarımı konusunda yapılacak Ar-Ge çalışmaları sistemi üretmek isteyen makine-imalat firmalarına yön göstermesi ve ürünün ticarileştirilmesi hedeflenmektedir.

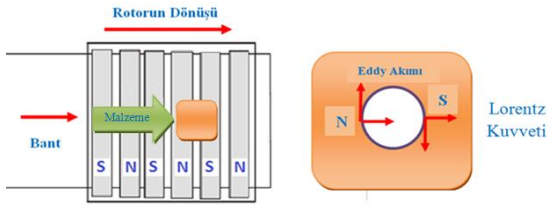
## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Genel anlamda uluslararası düzeyde EAA'lar ile ilgili oldukça az yayın ve akademik çalışmaya rastlanmıştır. Yurtiçinde ise yok denecek kadar az sayıda yayın bulunmaktadır.

Yapılan çalışmaların çoğunluğu 5 mm den küçük boyutlu demirsiz metallere ayırıştırılabilmesi için performans artırmayı hedefleyen çalışmalardır. Bu kapsamda tasarım değişiklikleri, tasarım doğrulama çalışmaları, EAA'nın simülasyonları ve sonlu elemanlar yöntemi ile analizleri, deneysel çalışmalarla farklı metallere için performansın belirlenmesi, tambur ve konveyör bant hızlarının verime etkisi, ayırıştırılacak malzemenin özkütle, iletkenlik ve şekil faktörünün performansa etkileri konularında literatürde çalışmalar bulunmaktadır [3-11].

### 3. MATERYAL VE METHOD

Demir içermeyen değerli metallerin ayrıştırılması için, eddy akımı etkin bir yöntemdir. Eddy akımı prensibi; bir iletken malzeme değişken bir manyetik alan içerisine yerleştirildiğinde manyetik akı tarafından kesilerek Faraday kanununa göre malzemede bir elektrik yükü indüklenir. Kapalı devre olan malzemede Eddy akımı olarak adlandırılan girdap şeklinde akımlar geçer. Bu akıma girdap akımı da denilmektedir. Eddy akımların etkisi ile malzemede Ampere kanununa göre manyetik alan oluşmaktadır. Bu alan mıknatıs bloklarından oluşan tamburun manyetik alanından etkilenir. Her iki alanın etkisi ile Biot-Savart yasasına göre malzemede kuvvet oluşur. Bu itme kuvveti ile malzeme ürün akışından dışarıya atılır. Şekil 2’de döner tamburlu tip EAA üzerinde gösterilmektedir.



Şekil 2. Döner tamburlu EAA'nın üstten görünüşü

Şekil 2’de görülen döner tamburlu Eddy akım ayrıştırıcısında, döner mıknatıslı tamburun değişken manyetik alanının yol açtığı itici kuvveti Eşitlik 1 ve 2 ile sade biçimde ifade edilmiştir [8].

$$F_r = H^2 f \times \frac{m\sigma}{\delta s} \quad (1)$$

$$f = \frac{np}{2} \quad (2)$$

Burada  $F_r$  fırlatma kuvvetini,  $H$  manyetik alan şiddetini,  $f$  manyetik alan frekansını,  $n$  mıknatıs tamburun hızını,  $p$  manyetik kutup sayısını,  $m$  kütleyi  $\sigma$  iletkenlik oranını,  $\rho$  malzemenin şekil ve yoğunluk faktörünü ifade etmektedir. Farklı malzemeler için, bileşik kuvvet malzeme özellikleri ile ilgilidir ve iletkenliğin yoğunluğa oranı ( $\sigma/\rho$ ) kuvvetin boyutunu ve ayrıştırma zorluğunun derecesi belirlemektedir. Bu oranın büyük olduğu malzemelerde ayrıştırma başarısı daha yüksektir [4,8,9].

Bu malzemeler yaklaşık 2 mm çapında 5 mm uzunluğundadır. Bu deneyler için belirli miktarda malzeme seçilmiş ve farklı parametrelerin belirlenen malzemelerin ne kadarını ayrıştırdığı tespit edilerek ayrıştırma verimi belirlenmiştir (Şekil 3). Malzeme olarak 70 g alüminyum ve 180 g bakır seçilmiştir [4].



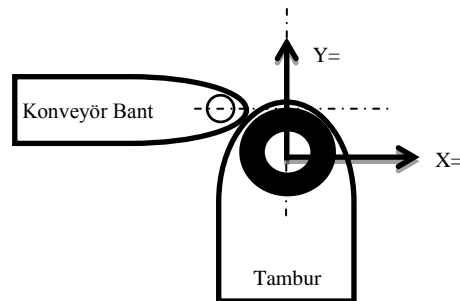
Şekil 3. Ayrıştırma verimi deneylerinde kullanılan malzemeler

Tasarlanan EAA’da malzemelerin düşeceği kap bölmelerine iki adet kutu yerleştirilmiş ve ayrıştırma işleminden sonra bu kapların içindeki malzeme miktarları yine hassas terazi ile ölçülmüş ve ayrıştırma verimi belirlenmiştir. Bu deneylerde tambur hızı, tambur konumu, malzeme cinsi ve bant hızı gibi parametrelerin ayrıştırma verimine etkisi belirlenmiştir. Tambur konumunun etkisi X ve Y koordinatları için ayrı ayrı olarak belirlenmiştir.

### 4. BULGULAR

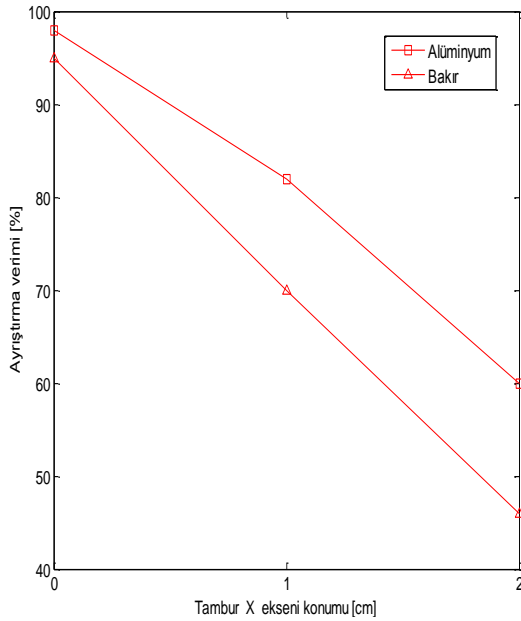
#### 4.1. Tambur Pozisyonunun Verime Etkisi

Tambur pozisyonunun X eksenindeki değişiminin ayrıştırma verimine etkisini gözlemlemek için tambur Y ekseninde -3 cm’de, tambur hızı 2000 rpm’de sabit tutulmuştur. Bant hızı ise 0,3 m/sn olarak belirlenmiştir. Tamburun x ve y eksenindeki konumunu Şekil 4’de gösterilmiştir.



Şekil 4. Tamburun X ve Y eksenine göre konumu

Tamburun X eksenindeki 0,1 ve 2 cm konumları için ne kadar malzemenin ayrıştığı tespit edilmiştir. İlk olarak alüminyum daha sonra bakır malzeme kullanılarak deney tamamlanmıştır. Bakır ve alüminyum malzeme için tamburun X eksenindeki konumuna göre ayırıştırma verimi Şekil 5’de gösterilmiştir.

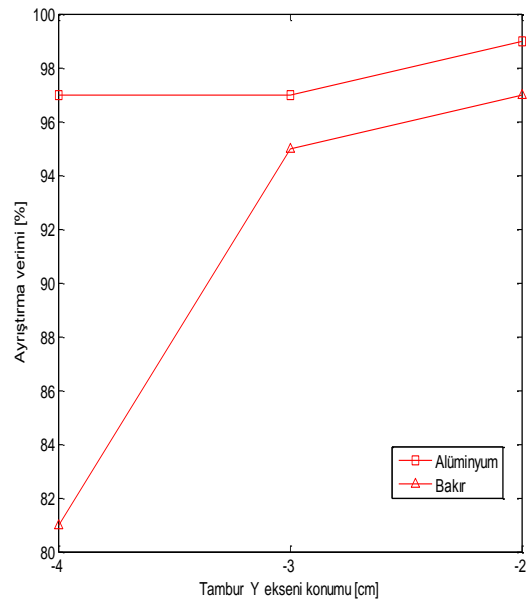


Şekil 5. Ayırıştırma veriminin tamburun X eksenindeki konumuna göre değişimi

Sonuçlara bakıldığında her iki malzeme için de tamburun X eksenindeki konumu arttırıldığında yani tambur ve bant birbirinden uzaklaştığında ayırıştırma verimi düşmektedir. Bunun sebebi tambur banttın uzaklaştığında daha az malzemenin tambur üstüne gelmesidir. Böylece ayırıştırma veriminin tamburun X=0 konumu için en yüksek değerde olduğu tespit edilmiştir.

Tamburun Y eksenindeki konumu için ayırıştırma verimi incelenmiştir. Tambur X=0 konumunda sabit tutulmuştur. Tambur hızı 2000 rpm’de bant hızı ise 0,3 m/s olarak sabit tutulmuştur. Tamburun Y eksenindeki -2, -3 ve -4 cm’deki konumları için ayırıştırma işlemi gerçekleştirilmiş ve verimler incelenmiştir. Tamburun Y eksenindeki konumu için ayırıştırma verimi Şekil 6’da verilmiştir.

Deney sonuçları incelendiğinde tamburun Y ekseninde banttın uzaklaştığında verimin düştüğü görülmüştür. Tambur bant seviyesinden ne kadar aşağıda olursa malzeme banttın düştüğünde daha fazla potansiyel enerjiye sahip olacaktır. Dolayısıyla tamburun manyetik alanının oluşturduğu kuvvet malzeme ile birlikte bu potansiyel enerjisini de karşılamaya yetmeyecektir. Ayırıştırma verimi Y=-2 konumu için en yüksek değerine sahiptir.

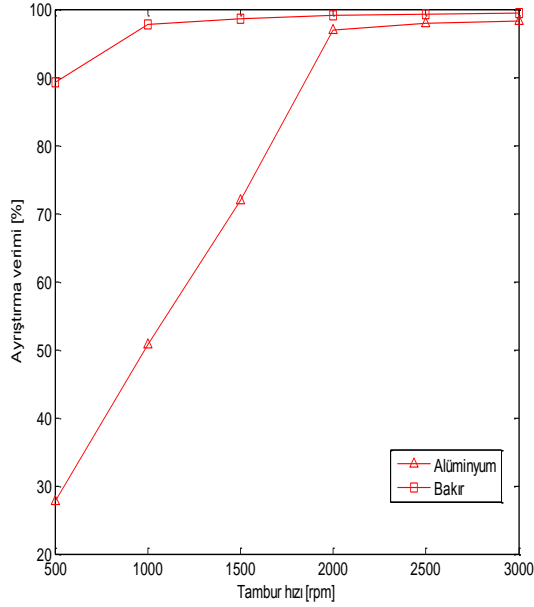


Şekil 6. Ayırıştırma veriminin tamburun Y eksenindeki konumuna göre değişimi

#### 4.2. Tambur Hızının Ayırıştırma Verimine Etkisi

Tamburun X-Y eksenlerinde ayırıştırma veriminin en yüksek olduğu konumları belirlenmiştir. Bu deney de ise tambur hızının ayırıştırma verimine etkisi incelenmiştir. Tambur X=0 ve Y=-2 konumunda, bant hızı ise 0,3 m/sn’de sabit tutulmuştur. Yine 70 g alüminyum granül malzeme besleme ünitesine konulmuş ve ayırıştırma işlemi tambur hızının 500 ile 3000 rpm arasındaki hız değerleri için ayrı ayrı yapılmıştır. Alüminyum ve bakır için deney sonuçları grafik olarak Şekil 7’de verilmiştir.





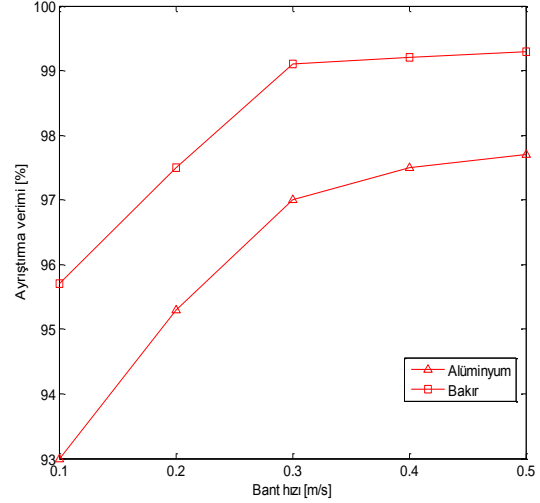
Şekil 7. Tamburun hızına göre verimin değişimi

Bu deney sonuçlarını incelediğimizde hız arttıkça ayrılan malzeme miktarı yükselmiştir. Öyleki 3000 rpm'de 70 g alüminyum malzemenin %99'dan fazlası 180 g bakır malzemenin %98'den fazlası ayrıştırılmıştır.

#### 4.3. Bant Hızının Ayrıştırma Verimine Etkisi

Bu deneyde ise bant hızının ayrıştırma verimine etkisinin gözlemlenmesi hedeflenmiştir. Deneyde tambur hızı 2000 rpm'de sabit tutulmuştur. Tambur X=0 ve Y=-2 konumunda iken bant hızının 0,1 ile 0,5 m/sn arasındaki değerler için ayrıştırma işlemi yapılmıştır ve sonuçlar Şekil 8'deki grafikte karşılaştırılmıştır.

Deney sonuçları incelendiğinde bant hızının artması ile ayrıştırma veriminin de arttığı görülmüştür. Bant hızı arttığında bant malzemeyi bitiş noktasında daha fazla ötelemektedir. Bundan dolayı mıknatıs tamburun manyetik alanı malzemeye daha fazla kuvvet uygulamaktadır. Fakat bant hızını belirli bir değerden fazla artırıldığında pvc atıkların da eylemsizlikten dolayı ayrıştırılan metal içerisine düşebilmektedir. Bu nedenle 0,3 m/s optimum bant hızı olarak belirlenmiştir.



Şekil 8. Bant hızına göre verimin değişimi

## 5. SONUÇ

Ayrıştırma verimi deneylerinde, mıknatıslı tamburun dönüş hızının, mıknatıslı tamburun konumunun, bant hızının ve malzeme cinsinin ayrıştırılan malzeme miktarına etkisi olduğu tespit edilmiştir. Prototipin mıknatıslı tamburu 500 rpm hızda çalıştığında alüminyum malzeme için yaklaşık %90 ayrıştırma verime, bakır malzeme için %25 sahip iken, 3000 rpm'de alüminyum malzemede yaklaşık %99, bakır malzeme için %98 ayrıştırma verimine sahiptir.

Bant hızının da ayrıştırma verimine etki ettiği görülmüş ve bant hızının ayrılan malzeme miktarını değiştirdiği tespit edilmiştir. Bant 0,1 m/s hızda çalışırken alüminyum malzeme kullanıldığında ayrıştırma verimi %96, bakır malzeme için verim %93 olmuştur. Bant hızı 0,5 m/sn olduğunda alüminyum malzeme için verim %99 ve bakır malzeme için verim yaklaşık %98 olmuştur. Bu deneylerde alüminyum ve bakır malzemeler için ayrıştırma veriminin farklı olduğu görülmüş ve malzeme cinsinin de ayrıştırma verimini etkilediği gözlemlenmiştir. Bakırın iletkenliği daha yüksek olduğu için malzemede indüklenen kuvvet daha yüksektir. Fakat özgül ağırlığı yüksek olduğu için oluşan kuvvet yeterli düzeyde malzemeyi fırlatmadığı için bakırdaki verim daha düşüktür.

Öngörülen ayırıştırıcı ile değerli metallerin birarada montaj halinde olduğu veya plastik ile birlikte bulunduğu durumlarda bunları birbirinden ayırmak mümkün olacaktır ve yüksek işçilik maliyetlerine gerek kalmayacaktır. Parçalanmış atıklar granül olarak karışık halde bulunduğundan öngörülen sistem ile bu karışım içerisinde değerli metalleri ayırıştırmak mümkün olmuştur. Süreç içerisinde EAA demir içeren malzemeleri ayırıştırmada kullanılmadığı için öncelikle atık içerisindeki bu metaller bir elektromıknatısla tutularak dışarı alınmalıdır. Kalan atıklar ise bant üzerinde taşınarak EAA yardımıyla ayırıştırlmaktadır. Ayırıştırma sonucunda alüminyum, bakır, pirinç gibi değerli metallerin ayırıştırlarak hammadde üretimine geri dönüşümü sağlanabilir.

Bu ayırıştırma işleminin etkin olarak yapılması sonucunda; önemli miktarda ekonomik fayda ve enerji tasarrufu sağlanacak, insan sağlığını olumsuz etkileyen unsurlar kısmen giderilecek, çevrenin korunmasına katkı sağlanmış olacaktır.

## 6. TEŞEKKÜR

Bu çalışma 213M551 nolu proje kapsamında TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir.

## 7. KAYNAKLAR

1. Dobney, S.J., 1993. Eddy Current Separators, IEE Colloquium on Permanent Magnet Machines and Drives, London, 9, pp: 1-3.
2. Fenercioğlu, A., Kurt, Ü., 2007. Manyetik Olmayan İletken Malzemelerin Ayırıştırlmasında Eddy Akımı Yönteminin Kullanılması ve Alüminyumun Geri Kazanılması Örneği, UMES 2007, Kocaeli 2, pp: 712-715.
3. Fenercioğlu, A., Barutçu, H., 2015. Finite Element Analysis of Separation Force on Non-Ferrous Metals Induced by Eddy Current Separator, PIERS 2015, 6-9 July, 2015, Prague, Czech Republic.
4. Fenercioğlu, A., Barutçu, H., 2015. Separation of Granule Non-Ferrous Metals in Shredded Cable Waste with Eddy Current Separator, Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Conference on Mechanics and Industrial Engineering, 20-21 July, 2015, Barcelona, Spain.
5. Kang, H.Y., Schoenung J.M., 2005. Electronic Waste Recycling: A Review of U.S. Infrastructure and Technology Options, Resources Conversation Recycling 45, pp: 368-400.
6. Lungu, M., Rem, P., 2003. Eddy-current Separation of Small Nonferrous Particles by a Single-Disk Separator with Permanent Magnets, IEEE Transactions on Magnetics, 39 (4), pp: 2062-2067.
7. Lungu, M., 2005. Separation of Small Nonferrous Particles using an Angular Rotary Drum Eddy-current Separator with Permanent Magnets, International Journal of Mineral Processing, 78, pp: 22-30.
8. Wang, Q., Zhao, Y., Jiao, H., Zhang, H., 2005. Effects of Operation Parameters of Eddy Current, 7<sup>th</sup> World Congress on Recovery, Recycling and Re-integration, China.
9. Zhang, S., Rem, P.C., Forssberg, E., 1999. Particle Trajectory Simulation of Two-drum Eddy Current Separators, Res. Conserv. Recycl. 26, pp: 71-90.
10. Zhang, S., Rem, P.C., Forssberg, E., 1999. The Investigation of Separability of Particles Smaller than 5 mm by Eddy-current Separation Technology, Part I: Rotating Type Eddy-current Separators. Magn. Electr. Separators, pp: 233-251.
11. Zhang, S., Forssberg, E., Arvidson, B., Moss, W., 1999. Separation Mechanisms and Criteria of a Rotating Eddy Current Separator Operation, Resources, Conservation and Recycling 25, pp: 215-232.

## A Novel Stacked Monopole Microstrip Antenna for Ultra-Wideband Applications

Mustafa Berkan BİÇER<sup>\*1</sup>, Ali AKDAĞLI<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mersin

Geliş tarihi: 07.08.2016

Kabul tarihi: 01.10.2016

### Abstract

In this study, a novel stacked monopole antenna with microstrip-fed is presented for ultra-wideband (UWB) applications covering 3.1 GHz–10.6 GHz. Three stacked identical radiating elements are utilized to improve the impedance bandwidth. The electrical characteristics of the proposed antenna and also achievable performance are analyzed with the use of an electromagnetic simulation tool based on method of moments (MoM). Both the stacked layer as the parasitic elements and the radiating element of the antenna are fabricated with FR4 substrate material. The permittivity, length, width and thickness of each layer are 4.4, 40 mm, 40 mm and 1.55 mm, respectively. Dimensions of the antenna and parasitic element are optimized with the use of artificial bee colony (ABC) algorithm. The simulation and measurement results exhibit a good performance such as bandwidth, return loss and radiation pattern through UWB range. As a result of this study, a microstrip antenna which is a versatile alternative for wireless communication in UWB applications is obtained.

**Keywords:** Artificial bee colony, ABC, Monopole, Stacked microstrip antenna, UWB

### Ultra Geniş Bant Uygulamaları için Yeni Bir Yığın Monopole Mikroşerit Anten

#### Öz

Bu çalışmada 3,1 GHz–10,6 GHz aralığını kapsayan çok geniş band (ÇGB, Ultra-wideband-UWB) uygulamaları için mikroşerit beslemeli yeni bir yığın monopole anten sunulmuştur. Empedans bant genişliğini geliştirmek için üç yığınlı özdeş ışıma elemanları kullanılmıştır. Önerilen antenin elektriksel karakteristikleri ve ulaşılabilir performansı, moment metodunu (MoM) temel alan bir elektromanyetik benzetim aracı kullanılarak analiz edilmiştir. Parazitik elemanların yer aldığı yığınlanmış katmanlar ile antenin ışıma elemanının yer aldığı katmanlar, FR4 alttaş malzemesi kullanılarak üretilmiştir. Her katmana ait dielektrik sabiti, uzunluk, genişlik ve kalınlık değerleri sırasıyla 4,4, 40 mm, 40 mm ve 1,55 mm'dir. Antenin ve parazitik elemanın boyutları yapay arı kolonisi (YAK, Artificial Bee Colony-ABC) algoritması kullanılarak optimize edilmiştir. Benzetim ve ölçüm sonuçları, ÇGB boyunca bant genişliği, geri dönüş kaybı ve ışıma diyagramı olarak iyi bir performans sergilemektedir. Bu çalışmanın bir sonucu olarak, ÇGB uygulamaları içinde kablosuz haberleşme için birçok işe uygun bir alternatif mikroşerit anten elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Yapay arı kolonisi, YAK, Monopol, Yığın mikroşerit anten, ÇGB

\* Corresponding author (Sorumlu yazar): Mustafa Berkan BİÇER, [mbbicer@mersin.edu.tr](mailto:mbbicer@mersin.edu.tr)

## 1. INTRODUCTION

Microstrip antennas (MAs) have been broadly employed in various applications such as wireless local area networks (WLANs), direct broadcast satellite systems (DBSs), mobile satellite communications (MSCs), global positioning systems (GPSs) and other portable devices which demand to small antennas because of having attractive features such as small in size, lightweight, cost-effective, ease in manufacturing, planar structure, and simple in use in handheld devices [1–6]. Conventional geometries such as rectangular, triangular and circular MAs are the most studied ones in the literature because of ease in analysis and design. On the other hand, these conventional MAs are relatively large in terms of size for wireless communication applications such as mobile devices using WLAN and GPS and the other portable devices. Due to the smaller antenna requirements in these frequencies, this conventional structures needed to be modified.

The conventional shaped MAs modified by various methods such as inserting the slots on the regular geometries, using shorting pins and shorting walls, designing the antenna on a substrate with high permittivity and stacking the substrate layers to reduce the antenna size are referred to as compact microstrip antennas (CMAs). CMAs are able to operate in lower frequencies for the same antenna size or operate in the same frequency for the smaller size as compared to the conventional MAs. In analysis, since the CMAs have complex geometries according to the conventional MAs, powerful simulation tools involving rigorous mathematical formulation and extensive numerical procedures such as finite element method (FEM) [5], finite difference time domain (FDTD) method [7] and method of moment (MoM) [8] are utilized for designing and analyzing their performance. In the literature, various CMA designs and the methods for various applications in wireless communication are available in several studies [6,9-20] and these studies may be used with their own limitations and benefits.

In this study, a novel stacked monopole antenna with microstrip-fed for ultra-wideband (UWB) applications is designed and fabricated. The antenna contains a radiating element with three electromagnetically coupled elements in a stacked structure. The antenna is fabricated using FR4 substrate in sizes of  $40 \times 40 \text{ mm}^2$ . The performance and electrical characteristics of the proposed antenna are analyzed with the use of an electromagnetic simulation tool based on method of moments (MoM). The effects of the stacked layers are analyzed and the comparative results are given to illustrate the achievability of the performance. The return loss measurements are performed by Agilent E5071B ENA Series RF Network Analyzer in anechoic chamber to decrease the effects of the external factors such as noise and reflections. The good agreement between simulation and measurement results supports the usability of the presented antenna for UWB applications.

## 2. ANTENNA DESIGN

In order to design an antenna operating at UWB range, rectangular and triangular shaped slots are formed on rectangular shaped radiating element and the dimensions are optimized with the use of artificial bee colony (ABC) [21-23] algorithm to perform the desired performance. As a result of the optimization, the obtained geometrical configuration is given in Figure 1 whereas the configuration of the parasitic element of the presented monopole antenna is illustrated in Figure 2.

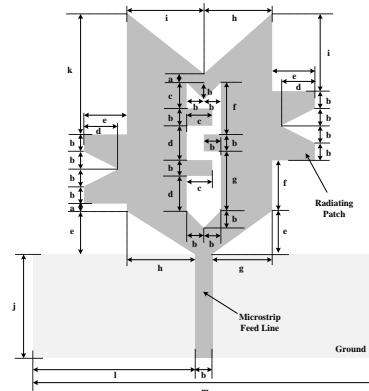
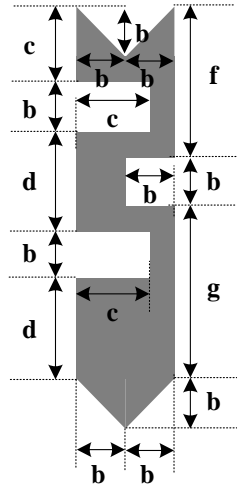


Figure 1. The presented antenna design



**Figure 2.** The electromagnetically coupled element used in each layer

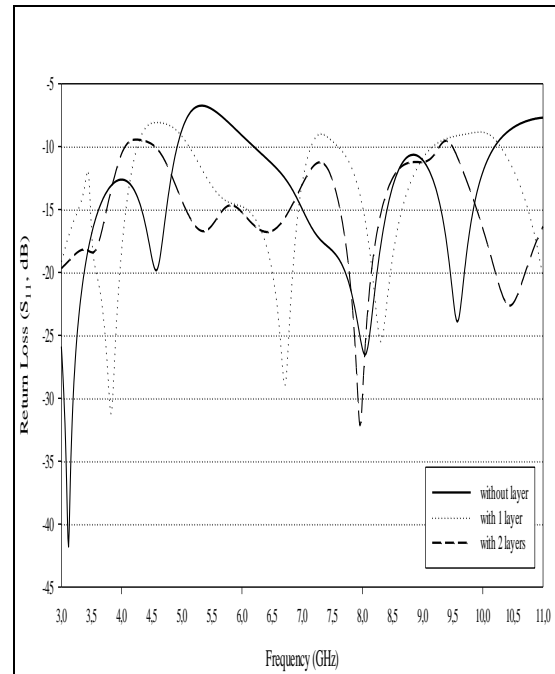
The electromagnetically coupled radiating element is shaped in the same manner as the slot of the main radiating patch. Due to ease of production, equivalent substrates are used in each stacked layer. The substrates of 1.55 mm height are used in the antenna and the stacked layers. Other dimensions which are obtained by the ABC algorithm for the radiating elements, microstrip feed and ground element are given in Table 1.

**Table 1.** Dimensions of the antenna

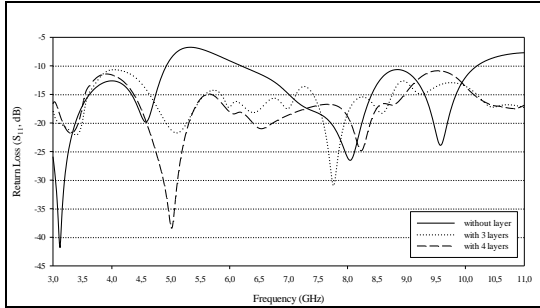
Parameter	Value (mm)
a	1
b	2
c	3
d	4
e	5
f	6
g	7
h	8
i	9
j	12
k	14
l	19
m	40

### 3. NUMERICAL RESULTS

The presented antenna is designed to be fed by a microstrip line of 2 mm width and 12 mm length. The radiating element is placed on the top of the FR4 substrate of 4.4 permittivity and 1.55 mm height while rectangular shaped ground element of 40 mm width and 12 mm length is formed on the other side. The positions of left, right and inner strips control the operating frequency while the number of the stacked layers controls the bandwidth and also frequency. Initially, the performance of the designed antenna without any stacked layer is examined and the simulation result is given by the solid curve in Figure 3. According to the simulation result, the antenna is not suitable between 4.7 GHz and 6.1 GHz. To achieve the desired performance, new layers with an electromagnetically coupled parasitic element shown in Figure 2 are inserted on top of the antenna. The dotted and dashed curves in Figure 3 show the simulated return loss results for one and two stacked layers, respectively.



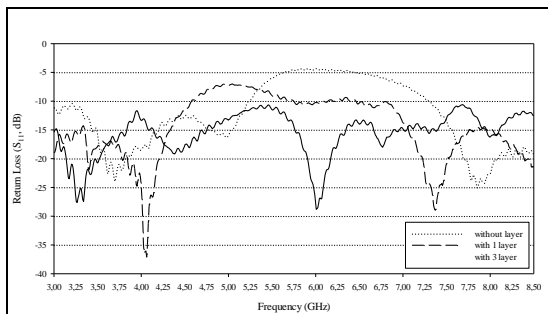
**Figure 3.** The return loss curves for one and two stacked layers



**Figure 4.** The return loss curves for three and four stacked layers

As can be seen from the Figure 3, although, overall performance of one and two layered structure is acceptable, the performance in some frequency bands is still not suitable for UWB applications. Thus, new layers are added until the aimed performance is reached. The simulated return loss results for the stacked antenna with three and four layers are shown in Figure 4. The performance for four layers are not much better than those of the three layers one. Therefore, the antenna with three layers is selected in order to keep the size of the antenna small and facilitate the design.

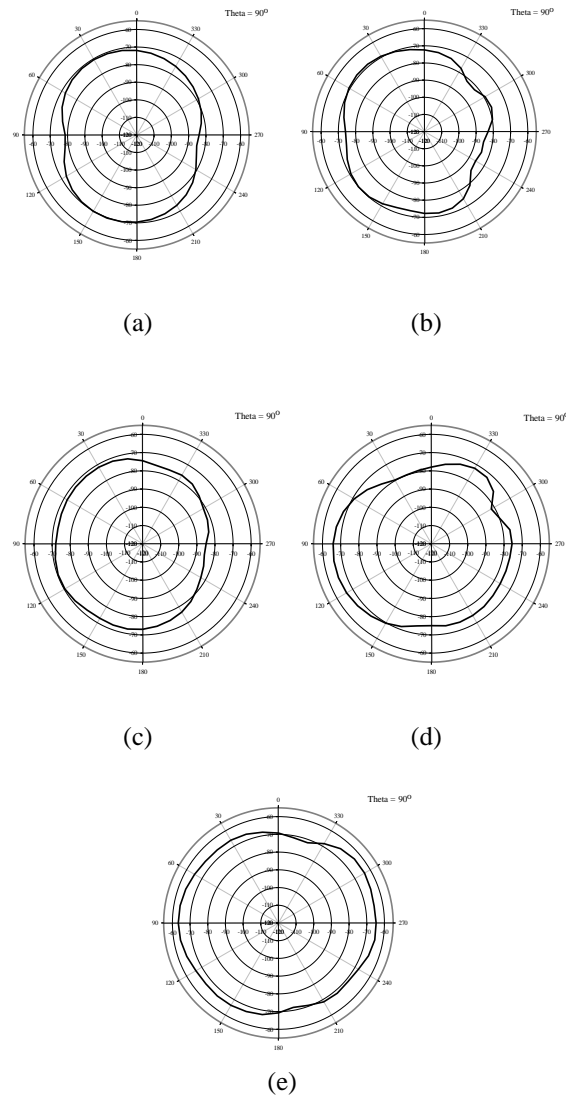
Since the Agilent E5071B ENA Series RF Network Analyzer is able to measure for maximum 8.5 GHz, the return loss measurements between 3 GHz and 8.5 GHz are performed in anechoic chamber and given in Figure 5.



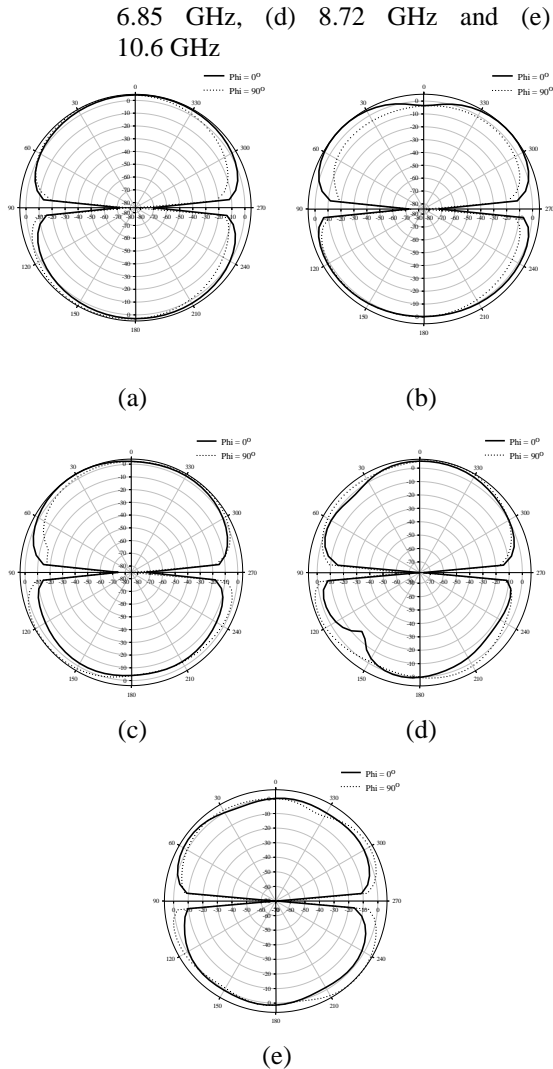
**Figure 5.** The measured return loss curves

Figures 6 and 7, respectively, show the simulated two-dimensional azimuth and elevation radiation patterns at 3.1 GHz, 4.97 GHz, 6.85 GHz, 8.72 GHz and 10.6 GHz operating frequencies. As

can be seen from the Figure 6, the azimuth radiation patterns perform approximately omnidirectional radiation characteristics while the elevation patterns have pretty good performance and the characteristics perform closer as bi-directional except for a small angle range for overall UWB range given in Figure 7.



**Figure 6.** The simulated radiation patterns of the presented antenna for  $\theta = 90^\circ$  operating at (a) 3.1 GHz, (b) 4.97 GHz, (c)



**Figure 7.** The simulated radiation patterns of the presented antenna for  $\varphi = 0^\circ$  (solid) and  $\varphi = 90^\circ$  (dashed) operating at (a) 3.1 GHz, (b) 4.97 GHz, (c) 6.85 GHz, (d) 8.72 GHz and (e) 10.6 GHz

#### 4. CONCLUSION

A novel and microstrip-fed compact stacked monopole antenna for UWB applications is designed and presented. The designed antenna performs satisfactory results by covering the entire frequency band from 3.1 GHz to 10.6 GHz. The presented antenna is simple in design and

fabrication and compact in size with  $40 \times 40 \text{ mm}^2$  outer dimensions. Design of the antenna is carried out with the use of an electromagnetic simulation tool based on method of moments (MoM). Dimensions of the designed antenna are determined by optimizing the main radiating element and parasitic element with the aid of artificial bee colony algorithm (ABC). The resultant antenna is fabricated on the FR4 substrate with permittivity of 4.44 and height of 1.55 mm. The simulation and measurement results have a good agreement with UWB frequency band requirements.

#### 5. REFERENCES

1. Balanis, C.A., 2005. Antenna Theory: Analysis and Design, Wiley Interscience.
2. James, J.R., Hall, P.S., 1989. Handbook of Microstrip Antennas, Peter Peregrinus Ltd., London.
3. Garg, R., Bhartia, P., Bahl, I., Ittipiboon, A., 2001. Microstrip Antenna Design Handbook, Artech House, London.
4. Kumar, G., Ray, K.P., 2003. Broadband Microstrip Antennas, Artech House, London.
5. Pozar, D.M., Schaubert, D.H., 1995. Microstrip Antennas: The Analysis and Design of Microstrip Antennas and Arrays, Wiley-IEEE Press.
6. Bicer, M.B., Akdagli, A., 2012. A Novel Microstrip-Fed Monopole Antenna for WLAN/WiMAX Applications, Journal of Electromagnetic Waves and Applications, vol. 26 (7), pp. 904–913.
7. Taflove, A., 2005. Computational Electrodynamics: The Finite-Difference Time Domain Method, Artech House, London.
8. Harrington, R.F., 1993. Field Computation by Moment Methods, Wiley-IEEE Press, NJ.
9. Gautam, A.K., Yadav, S., Kanaujia, B.K., 2013. A CPW-Fed Compact UWB Microstrip Antenna, IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol. 12, pp. 151–154.
10. Oraizi, H., Hedayati, S., 2011. Miniaturized UWB Monopole Microstrip Antenna Design by the Combination of Giuseppe Peano and

- Sierpinski Carpet Fractals, *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol.10, pp. 67-70.
11. Lui, W.J., Cheng, C.H., Cheng, Y., Zhu, H., 2005. Frequency Notched Ultra-Wideband Microstrip Slot Antenna with Fractal Tuning Stub, *Electronics Letters*, vol. 41(6), pp. 294- 296.
  12. Sadat, S., Fardis, M., Geran, F., Dadashzadeh, G., Hojjat, N., Roshandel, M., 2006. A Compact Microstrip Square-Ring Slot Antenna for UWB Applications, *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, Albuquerque, NM*, pp. 4629–4632.
  13. Liang, J., Chiau, C.C., Chen, X., Parini, C.G., 2005. Study of a Printed Circular Disc Monopole Antenna for UWB Systems, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 53 (11), pp. 3500–3504.
  14. Chung, K., Kim, J., Choi, J., 2005. Wideband Microstrip-Fed Monopole Antenna having Frequency Band-Notch Function, *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 15 (11), pp. 766–768.
  15. He, X., Shen, D., Zhou, Q., Zhang, X., Zeng, J., Lv, Y., 2015. A Novel CPW-Fed Compact UWB Microstrip Antenna, *IEEE International Symposium on Antennas and Propagation & USNC/URSI National Radio Science Meeting, Vancouver, BC*, pp. 1972–1973.
  16. Yin, X.C., Ruan, C.L., Ding, C.Y., Chu, J.H., 2008. A Compact Ultra-Wideband Microstrip Antenna with Multiple Notches, *Progress in Electromagnetics Research*, vol. 84, 321-332.
  17. Prombutr, N., Kirawanich, P., Akkaraekthalin, P., 2009. Bandwidth Enhancement of UWB Microstrip Antenna with a Modified Ground Plane, *International Journal of Microwave Science & Technology*;2009, Vol. 2009, Special section p.1.
  18. Khandelwal, M.K., Kanaujia, B.K., Dwari, S., Kumar, S., Gautam, A.K., 2015. Analysis and Design of Dual Band Compact Stacked Microstrip Patch Antenna with Defected Ground Structure for WLAN/WiMax Applications, *AEU - International Journal of Electronics and Communications*, vol. 69 (1), pp. 39–47.
  19. Rawat, S., Sharma, K.K., 2014. Annular Ring Microstrip Patch Antenna with Finite Ground Plane for Ultra-Wideband Applications, *International Journal of Microwave and Wireless Technologies*, vol. 7 (2), pp. 179-184.
  20. Abbak, M., Özgür, S., Akduman, I., 2015. Shorted Stacked Antenna with Folded Feed for Microwave Detection of Brain Stroke, *Telecommunications Forum Telfor (TELFOR), 2015 23<sup>rd</sup>, Belgrade*, pp. 603-606.
  21. Akdagli, A., Bicer, M.B., Ermis, S., 2011. A Novel Expression for Resonant Length obtained by using Artificial Bee Colony Algorithm in Calculating Resonant Frequency of C-Shaped Compact Microstrip Antennas, *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, vol. 19(4), pp. 597-606.
  22. Toktas, A., Bicer, M.B., Akdagli, A., Kayabasi, A., 2011. Simple Formulas for Calculating Resonant Frequencies of C and H Shaped Compact Microstrip Antennas Obtained by Using Artificial Bee Colony Algorithm, vol. 25 (11–12), pp. 1718–1729.
  23. Akdagli, A., Toktas, A., 2010. A Novel Expression in Calculating Resonant Frequency of H-Shaped Compact Microstrip Antennas Obtained by using Artificial Bee Colony Algorithm, vol. 24 (14–15), pp. 2049–2061.



## Su Bazlı Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> Süspansiyonlarda Dispersan Miktarının Optimizasyonu

Hakan ÜNSAL<sup>\*1</sup>, Ayşen KILIÇ<sup>1</sup>, Şeyda POLAT<sup>2</sup>, Yasemin TABAK<sup>1</sup>,  
Bayise K. VATANSEVER<sup>1</sup>

<sup>1</sup>TÜBİTAK MAM Malzeme Enstitüsü, Kocaeli

<sup>2</sup>Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü,  
Kocaeli

Geliş tarihi: 01.08.2016

Kabul tarihi: 22.09.2016

### Öz

Bu çalışmada, şerit döküm yöntemi ile şekillendirilmek ve biyomalzeme uygulamalarında kullanılmak üzere, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> esaslı su bazlı süspansiyon hazırlanması ve dispersiyon özelliklerinin incelenmesi hedeflenmiştir. Süspansiyonun reolojik davranışı, pH değeri, dispersan oranı, dağıtıcı ortam ve diğer reolojik parametreler kullanılarak optimize edilmiştir. Kullanılan Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> tozlarında yapılan zeta potansiyel ölçümleri ve sedimentasyon testleri sonucunda homojen dağılım için gerekli olan pH değeri 12 olarak belirlenmiştir. Belirlenen pH değeri sabit tutulup farklı oranlarda dispersan ilave edilerek viskozite ölçümleri yapılmış ve en düşük viskozite değerini sağlayan dispersan miktarı ağırlıkça % 1,0 olarak tespit edilmiştir. Karıştırma süresinin optimizasyonu kapsamında yapılan deneyler sonucunda uygun süre 20 saat olarak bulunmuştur. Belirlenen bu koşullarda su bazlı Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> esaslı süspansiyon hazırlanması durumunda şerit döküm uygulaması için uygun akış özelliklerinde karışım elde edildiği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, Şerit döküm, Reoloji, Sedimentasyon, Dispersan

### Optimization of the Dispersant Amount in Water Based Silicon Nitride Suspension

#### Abstract

In this study, it was aimed to prepare water based silicon nitride suspension for bio-applications by tape casting method and to evaluate its dispersion characteristics. Rheological behaviour of the suspension was optimized by concentration of the dispersant, pH value of dispersing medium and other process parameters. The pH value for homogeneous distribution was determined as 12 based on the zeta potential measurements and sedimentation tests on the Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> powders used. The determined pH value was kept constant and viscosity was measured by adding dispersant at different ratios and the amount of dispersant which gave the lowest viscosity value was determined as 1.0 wt%. As a result of experiments carried out for the optimization of mixing time, the appropriate time was found to be 20 hours. The mixture with the appropriate flow properties was obtained for the tape casting application using these specified conditions.

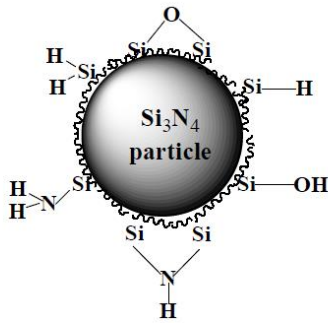
**Keywords:** Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, Tape casting, Rheology, Sedimentation, Dispersant

\* Corresponding author (Sorumlu yazar): Hakan ÜNSAL, [unsal@outlook.com](mailto:unsal@outlook.com)

## 1. GİRİŞ

Silisyum nitrür ( $Si_3N_4$ ) seramikler yüksek sertlik, mukavemet ve kırılma tokluğu gibi özellikleri nedeniyle uzay, otomotiv, kimya endüstrisi ve biyomalzeme alanlarında geniş kullanım alanına sahiptir [1,2].  $Si_3N_4$  seramikler günümüzde yüksek yük, aşınma ve korozyon içeren zorlu mekanik uygulamalarda kullanılmaktadır [3].

$Si_3N_4$  seramikler oksit seramiklerle karşılaştırıldığında su bazlı süspansiyonunun hazırlanması oldukça zor ve karmaşıktır.  $Si_3N_4$  tozunun yüzeyindeki ( $Si_2NH$  ve  $SiNH_2$ ) amin yapıları gibi hidrofobik grupların varlığı  $Si_3N_4$  sulu süspansiyonlarının reolojik özelliklerini kötüleştirir.  $Si_3N_4$  partiküllerinin yüzey grupları Şekil 1'de verilmiştir. Buna ek olarak farklı firmalar tarafından üretilen silisyum nitrür tozları partikül şekli, boyut dağılımı, çözülebilir iyon miktarı ve tipi gibi farklı özellikleri nedeniyle süspansiyonlardaki reolojik özelliklerde farklılık gösterir. Bu nedenle mükemmel reolojik özellikteki silisyum nitrür süspansiyonlarını hazırlamak oldukça zordur [4].



Şekil 1.  $Si_3N_4$  partiküllerinin yüzeydeki kimyasal grupları [4]

$Si_3N_4$  seramiklerin üretiminde homojenliğin artırılması ve geliştirilmesi için kolloidal proses tekniklerinin iyi bilinmesi çok önemlidir. Kolloidal proses tekniklerinin yaygın olarak kullanıldığı seramik üretim yöntemlerinden birisi de şerit döküm yöntemidir [2,5].

Şerit döküm düz, geniş yüzey alanına sahip, katmanlı ve yüksek kalitede malzemeler üretmek

için kullanılan yaygın ve düşük maliyetli bir üretim yöntemidir. Şerit döküm ayrıca doktor bıçağı olarak da bilinir [1,6]. Şerit döküm süspansiyonu ana bileşen olarak toz, solvent, dispersan, bağlayıcı ve plastikleştirici karışımından oluşur. Süspansiyona ek olarak az miktarda ıslatıcı ajan, köpük giderici ve homojenleştirici eklenebilir [7]. Şerit döküm formülasyonunda iki ana solvent sistemi bulunur. Bunlar; organik bazlı ve su bazlı sistemlerdir. Su bazlı sistem düşük maliyetli, toksik olmayan ve çevre dostu bir sistem olduğu için daha çok tercih edilir [1]. Şerit döküm prosesinde süspansiyon hazırlarken solvent miktarı, homojenleştirmek ve kolay kuruma sağlanması için minimum olmalıdır. Dispersan miktarı ise süspansiyonun stabilitesini sağlayacak yeteri miktarda olmalıdır [7].

Süspansiyon hazırlama işleminde ilk olarak toz, dispersan ve solvent ile karıştırılarak çok iyi bir şekilde disperse olması sağlanır. İkinci aşamada ise plastikleştirici ve bağlayıcı eklenmesiyle süspansiyon son halini alır. Hazırlanan süspansiyon daha sonra 100-300  $\mu m$  aralığında şerit elde etmek için sabit ya da hareketli bir yüzeye doktor bıçağı kullanılarak dökülür. Kurutma işleminden sonra elde edilen şeritler farklı uygulamalarda arzu edilen nihai ürünü elde etmek için kesilir, ardından bağlayıcı giderme ve sinterleme işlemleri uygulanır [6].

Şerit döküm kompleks bir sistemdir ve kullanılan her bileşen süspansiyon özelliklerini etkilemektedir. Örneğin,  $Si_3N_4$  yüzey kompozisyonu iki farklı gruba sahiptir bunlar; silanol ve silamin (ikincil ve/veya birincil) gruplarıdır. Silanol grupları asidik davranış sergilemekte ve düşük  $pH_{iep}$  (iep: izoelektrik nokta) noktası vermektedir. Amin grupları ise yüksek  $pH_{iep}$  noktası ile sonuçlanmaktadır. Silamin grupları olarak ikincil olanlar daha baskın bir yapıya sahiptir.  $pH$ 'a bağlı çözülme davranışı ve yüzey gruplarının fraksiyonuna bağlı olarak  $pH$  dağılımı genelde 3-9 arasında görülmektedir [4,6-7].

Seramik partiküllerinin su içerisinde dağıtılması için amonyum poliakrilat (Darvan C), poliakrilik asit ve polietilenimin (PEI) gibi polimerler

dispersan olarak kullanılmaktadır. Dispersanlar aynı zamanda deflokant, ıslatıcı ajan veya surfaktan olarak da adlandırılır ve seramik partiküllerini sterik ve elektrostatik itme kuvvetleri nedeniyle birbirinden ayırarak kararlı süspansiyon meydana getirirler. Süspansiyonun kararlılığı genellikle sedimentasyon testi, zeta potansiyel ölçümü ve sabit kayma hızlarında ölçülen viskozite ile karakterize edilmektedir [6]. Seramik tozlarının su ortamında disperse olmasını sağlamak için süspansiyonun pH'ı ve seramik tozlarının yüzey özellikleri oldukça önemlidir. Seramik tozlarında yüzey yüklerinin anlaşılması ve uygun pH değerinin bulunması için zeta potansiyel ölçümleri yapılmaktadır. Zeta potansiyel ölçümünde toz yüzeylerinin aynı yükler ile yüklenmesi seramik tozları arasında oluşan itme kuvvetleri ile kolay bir şekilde disperse edilebilirliği arttırmaktadır. Toz yüzeylerinin farklı yükler ile yüklendiği durumda ise taneler birbirlerini çekme kuvveti uygulayarak aglomerasyona sebep olmaktadır [8]. Şerit döküm için süspansiyon içindeki su ve organik katkı miktarı mümkün olduğunca düşük olmalıdır. Böylece ham şerit homojenliği artmakta ve hata oluşma riski en aza indirilmektedir. Bu nedenle düşük viskoziteli yüksek katı miktarına sahip süspansiyonlar tercih edilmektedir. Diğer bir taraftan şerit döküm uygulaması esnasında süspansiyonun bıçak altından rahat akabilmesi için viskozite yeterince düşük olmalıdır [6].

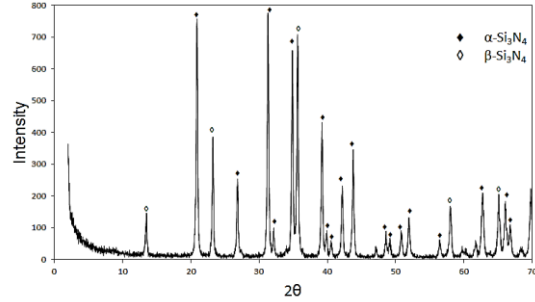
Bu çalışmada  $\text{Si}_3\text{N}_4$  süspansiyonlarının reolojik davranışlarının optimizasyonu üzerine odaklanılmıştır. Amaç, optimum parametrelerle yüksek performanslı ham şerit elde etmek için uygun özellikte süspansiyonlar üretmektir.

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 2.1. Materyal

Şerit döküm yöntemi ile  $\text{Si}_3\text{N}_4$  esaslı seramiklerin üretimi için su bazlı süspansiyon hazırlanması ve dispersiyon özelliklerinin incelenmesi için yapılan deneysel çalışmalarda kullanılan  $\text{Si}_3\text{N}_4$  (UBE-E10 Tokyo, Japan) tozunun ortalama partikül boyutu 231,3 nm ve yüzey alanı 11,12  $\text{m}^2/\text{g}$  olup kullanılan tozun XRD analizi Şekil 2'de,

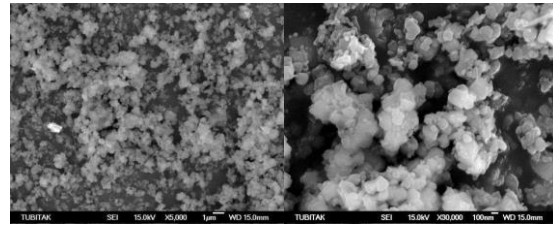
XRF analizi Çizelge 1'de, SEM görüntüleri Şekil 3'de verilmiştir. Dispersan olarak Darvan C (Vanderbilt Minerals, LLC) kullanılmıştır.



Şekil 2. UBE-E10  $\text{Si}_3\text{N}_4$  tozunun XRD analizi

Çizelge 1. UBE-E10  $\text{Si}_3\text{N}_4$  tozunun XRF sonuçları

UBE-E10 $\text{Si}_3\text{N}_4$						
Element	N	O	Mg	Si	S	Mo
% ağı.	39,93	<<	<<	<<	60,07	<<



Şekil 3. UBE-E10  $\text{Si}_3\text{N}_4$  toza ait SEM görüntüleri

$\text{Si}_3\text{N}_4$  tozu, distile su ve Darvan C kullanılarak zeta potansiyel ölçümü, sedimentasyon testi ve viskozite ölçümü için süspansiyon hazırlama ve test yöntemleri aşağıda verilmiştir.

### 2.2. Zeta Potansiyel Ölçümleri

Zeta potansiyel ölçümleri Malvern (Zetasizer Nano ZS) marka cihazda gerçekleştirilmiştir. Zeta potansiyel ölçümleri için ağırlıkça %1,0 katı kullanılarak distile su içinde 15 dakika manyetik karıştırıcı ve 5 dakika ultrasonik proba karıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Karışımın pH değerlerini ayarlamak için NaOH ve HCl kullanılmıştır. Gözlemlenen zeta potansiyel değerine göre ağırlıkça %0,25 Darvan C eklenerek

dispersanın zeta potansiyel değeri üzerindeki etkisi ölçülmüştür.

### 2.3. Sedimentasyon Testi

Sedimentasyon testi için hacimce %5  $\text{Si}_3\text{N}_4$  tozu içeren 25 ml'lik 8 farklı pH değerindeki karışım ultrasonic karıştırıcıda 30 dakika boyunca disperse edilip sedimentasyon tüplerine yerleştirilmiştir. Belirli zaman aralıklarında sediment hacim yükseklikleri ölçülmüştür.

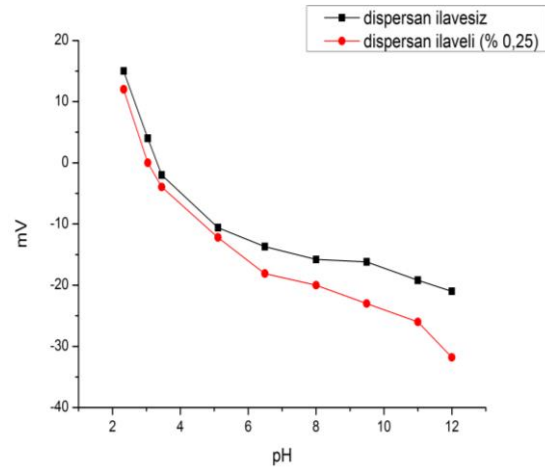
### 2.4. Viskozite Ölçümleri

Reolojik ölçümler için hacimce %40  $\text{Si}_3\text{N}_4$  tozu, distile su ve ağırlıkça %0-2,0 aralığında farklı oranlarda dispersan kullanılarak süspansiyonlar hazırlanmıştır. Hazırlanan süspansiyonlar değirmende 24 saat boyunca karıştırılmıştır. Elde edilen süspansiyonların reolojik davranışlarını karakterize etmek için Brookfield DVIII ULTRA reometre cihazı kullanılmıştır. Optimum karıştırma zamanının belirlenmesi için hacimce %40  $\text{Si}_3\text{N}_4$  ve ağırlıkça %1,0 dispersan kullanılarak 2-24 saat aralıklarında karıştırma işlemi yapılmış, her 2 saatlik periyotlar halinde süspansiyonun viskozite ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

## 3. SONUÇLAR

Zeta potansiyel analizleri kolloidal sistemler için süspansiyonun disperse olmasını sağlamak amacıyla güçlü bir etkiye sahiptir. Zeta potansiyel sonuçlarında gözlemlenen izoelektrik nokta partiküllerin çevresinde bulunan artı ve eksi yüklerin eşit olduğu noktayı göstermektedir. Bu noktada süspansiyondaki partiküller yüksüz olacağından flokülasyonla beraber çökme meydana gelecektir. Dispersan ilavesi içermeyen  $\text{Si}_3\text{N}_4$  tozuna yapılan zeta potansiyel ölçüm sonuçlarına göre izoelektrik noktası 3,04 pH olarak belirlenmiştir. İzoelektrik noktanın asidik bölgede ve düşük olması durumunda yüzeyde silanol gruplarının çok olduğu Zhang ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada gözlemlenmiştir [6]. Süspansiyonda pH 11-12 değerlerinde ise en yüksek zeta potansiyel değerine ulaşılmıştır.

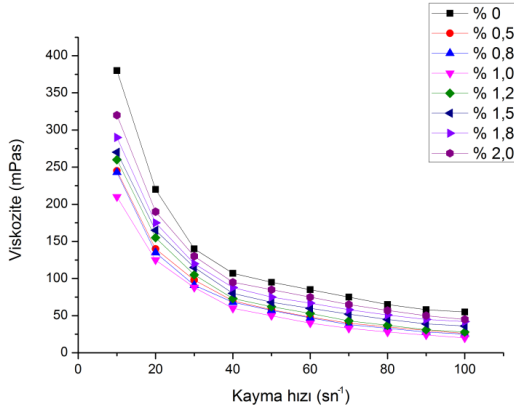
Ancak kararlılığı sağlamak için zeta potansiyel değerinin +30 ve -30 mV aralığının dışında olması gerekmektedir. Bu nedenle zeta potansiyel değerini kararlı bölgeye çekmek amacıyla dispersan olarak anyonik bir dispersan olan Darvan C seçilmiştir. Süspansiyona ağırlıkça %0,25 Darvan C eklenerek zeta potansiyel ölçümleri yapılmıştır. Dispersanın eklenmesiyle zeta potansiyel Şekil 4'de görüldüğü gibi pH 12 değerinde -30 mV'un dışına çekilmiştir ve partiküllerin dispersiyonu için yeterli değere ulaşılmıştır. Ancak kullanılan bu dispersan miktarı göreceli bir değer olup optimum değildir.



Şekil 4.  $\text{Si}_3\text{N}_4$  tozunun dispersan ilaveli ve ilavesiz zeta potansiyel ölçüm sonuçları

Süspansiyon sisteminde kullanılan dispersan miktarının az olması durumunda partiküllerin yüzeyine yeterli miktarda adsorbe olamayan dispersandan dolayı yeterli elektriksel yük sağlanamayacak ve Van der Waals kuvvetlerinden dolayı flokülasyon meydana gelerek çökme oluşacaktır. Bundan dolayı farklı dispersan oranlarında hacimce %40  $\text{Si}_3\text{N}_4$  süspansiyonları hazırlanıp viskozite ölçümleri yapılmıştır (Şekil 5). Yapılan viskozite ölçümleri sonucu dispersansız süspansiyonun viskozite değeri dispersanlı süspansiyonlarla karşılaştırıldığında yüksek çıkmıştır. Dispersan miktarının artmasıyla viskozite değerleri azalmaya başlamış ve belirli bir dispersan oranından sonra tekrar yükselmeye başlamıştır. Viskozitenin tekrar yükselmesi şöyle açıklanabilir; dispersan miktarının fazla olmasından dolayı yüzeye adsorbe olamayan

dispersan solvent içinde serbest olarak dolaşmaktadır ve partiküllerin birbiri ile etkileşime girmesine neden olarak flokülasyon meydana getirmiştir, böylece floküle olan partiküller nedeniyle viskozitede artış gözlemlenmiştir.

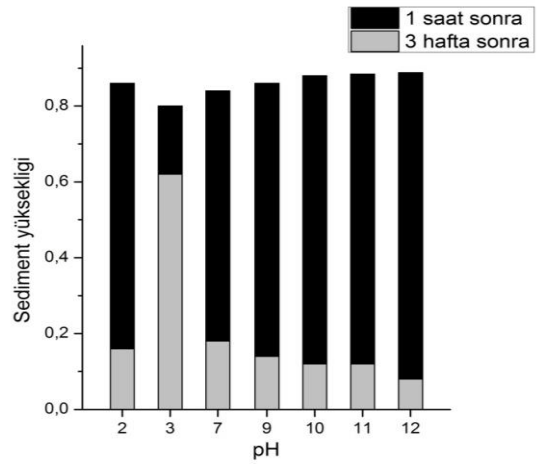


Şekil 5. Farklı dispersan miktarlarında kayma hızına bağlı viskozite ölçümleri

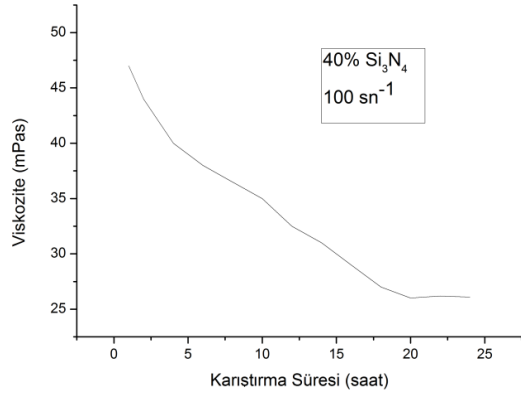
Süspansiyonlarda partiküllerin uygun pH'da optimum dağılımını gözlemlemek için sedimentasyon deneyi yapılmıştır (Şekil 6). Farklı pH'larda hazırlanan sedimentasyon deneylerinde izoelektrik noktaya yakın olan pH'larda dispersiyon için yeterli yük olmadığından hızlı bir şekilde çökme meydana gelmiş ve 1 saat sonraki ölçümlerde en düşük sediment yüksekliği bu noktada gözlemlenmiştir. Uzun bekleme sürelerinde ise partiküllerin düzenli bir şekilde yerleşmesinden dolayı pH 12 değerinde en düşük sediment yüksekliği gözlenmektedir. En düşük sediment yüksekliğinin ölçüldüğü bu nokta yapılan zeta potansiyel sonuçları ile örtüşmektedir ve dispersiyonun en uygun bu pH'da olduğu bulunmuştur.

Optimum süspansiyon şartları için bulunan katı miktarı, pH ve dispersan değerlerine uygun olarak karıştırma zamanı tayini için süspansiyonlar hazırlanmış ve belirli zaman aralıklarında viskoziteleri ölçülmüştür (Şekil 7). Karıştırma süresi tayininde kısa karıştırma sürelerinde Şekil 7'de görüldüğü gibi yüksek viskozite değerleri görülmektedir. Karıştırma süresinin artmasıyla beraber toz partiküllerinin boyutları

küçülüp dispersan ile daha iyi etkileşime girmesi nedeniyle viskozitenin azaldığı gözlenmektedir. Yaklaşık 20 saat sonra ise viskozite değeri sabit kalmakta ve partiküller sürenin artmasıyla birlikte daha fazla küçülmemektedir. Bu nedenle optimum karıştırma süresi 20 saat olarak belirlenmiştir.



Şekil 6. Farklı pH değerlerinde yapılan sedimentasyon test sonuçları



Şekil 7. Farklı karıştırma sürelerinde viskozite ölçüm grafiği

#### 4. TEŞEKKÜR

Bu çalışma, TÜBİTAK UİDB tarafından desteklenen, TÜBİTAK-SAS (Slovakya) Tematik İkili İş Birliği Programı kapsamında yürütülen 113M580 no'lu proje çalışmalarını ve elde edilen sonuçların bir bölümünü içermektedir.

## **5. KAYNAKLAR**

1. Liu, S., Chen, P., Li, Y., Gao, S., Ye., 2016. Effect of Stacking Pressure on the Properties of Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> Ceramics Fabricated by Aqueous Tape Casting, *Ceramics International*, vol. 42, pp. 16281-16286.
2. Liu, M., Xu, L., Bi, Y., Zhang, H., Fu, Z., 2007. Silicon Nitride Ceramic Prepared by Colloidal Process, *Key Engineering Materials*, vol. 336-338, pp. 2388-2390.
3. McEntire, B.J., Lakshminarayanan, R., Thirugnanasambandam, P., Seitz-Sampson, J., Bock, R., O'Brien, D., 2016. Processing and Characterization of Silicon Nitride Bioceramics, *Bioceramics Development and Applications*, vol. 6:1, pp. 1-9.
4. Cheng, C., Fan, R., Yan, K., Sun, K., Li, Q., Hou, Q., Liu, G., Xie, P., 2015. Effect of Ammonium Polyacrylate and Pre-oxidation on Rheological Properties of Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> Slurries, *Materials Science Forum*, vol. 816, pp. 102-106.
5. Xuejian, L., Liping, H., Xin, X., Xiren, F., Hongchen, G., 2000. Optimizing the Rheological Behavior of Silicon Nitride Aqueous Suspensions, *Ceramics International*, vol. 26, pp. 337-340.
6. Zhang, J., Feng, Y., Jiang, D., Iwasa, M., 2005. Dispersion of Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> Powders in Aqueous Media, *Colloids and Surfaces A*, vol. 259, pp. 117-123.
7. Suwannasiri, T., 1997. High Solids Loading for Water-Based Tape Casting, the State University of New Jersey, *Ceramic Science And Engineering*, New Jersey, Ph.D Thesis.
8. Ceylan, A., 2006. Şerit Döküm Yöntemi Kullanarak Fonksiyonel Aşamalı SiAlON Seramiklerinin Üretimi, *Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*.

## Asenkron Motorların Online Adaptif Sinirsel-Bulanık Denetim (ANFIS) Sistemine Dayalı Hız Denetim Performansının İncelenmesi

Sami ŞİT<sup>\*1</sup>, Hasan Rıza ÖZÇALIK<sup>1</sup>, Erdal KILIÇ<sup>2</sup>, Osman DOĞMUŞ<sup>3</sup>,  
Mahmut ALTUN<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi,  
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş

<sup>2</sup>Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Aşşin MYO, Elektrik ve Enerji Bölümü,  
Kahramanmaraş

<sup>3</sup>Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş MYO, Elektronik Teknolojileri  
Bölümü, Kahramanmaraş

Geliş tarihi: 01.09.2016

Kabul tarihi: 10.10.2016

### Öz

Üç fazlı asenkron motorların hız denetiminde sistemin doğrusal olmayan yapısı, yük momentindeki değişimler, parametre değişimleri ve bilinmeyen bozucu etkilerinden dolayı geleneksel PI tipi denetim ile iyi bir performans sağlanamamaktadır. Bu nedenle asenkron motorun hız denetiminde, daha iyi bir performans elde etmek için adaptif kontrol yöntemleri uygulanmaya başlamıştır. Bu çalışmada vektör kontrollü asenkron motorun hız denetiminde geleneksel PI denetim yerine modern denetim yöntemlerinden olan adaptif sinirsel-bulanık denetim (ANFIS) sistemi önerilmiştir. Bu çalışmanın esas amacı, PI denetimli çalışmadan elde edilen giriş-çıkış verileri kullanılarak önerilen denetleyici parametrelerini ayarlamak ve asenkron motorun hız denetiminde yüksek performans elde etmektir. Her iki denetim sisteminin performansı MATLAB/Simulink ortamında farklı çalışma koşullarında incelenmiştir. Asenkron motorun hız kontrolü simülasyon çalışmasında, yükselme zamanı, aşım, yerleşme zamanı ve sürekli hal hatası gibi performans parametreleri ayarlanarak önerilen denetim sistemi geleneksel PI denetime kıyasla daha iyi bir performans sağlamıştır.

Ayrıca, sistemde referans hızın değiştirildiği ve yükün değiştirildiği bölgelerde ANFIS, geleneksel PI tipi denetimden daha iyi bir performansa sahip olduğu simülasyon sonuçlarından gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Asenkron motor, Adaptif sinirsel-bulanık denetim (ANFIS), PI denetim, Yapay sinir ağları

### Investigation of Performance Based on Online Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) for Speed Control of Induction Motors

#### Abstract

In the speed control of three-phase induction motor, conventional PI type control can not provide a good performance due to non-linear structure of the system, change in load torque, change in parameters and

\*Corresponding author (Sorumlu yazar): Sami ŞİT, [samisit@hotmail.com](mailto:samisit@hotmail.com)



unknown disturbance effects. Therefore, adaptive control methods have been applied in speed control of induction motor in order to obtain better performance. In this study of speed control of vector controlled induction motor, adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) which is one of modern control techniques are commonly proposed compared to conventional PI control. The aim of the study is to set the parameters of proposed controller and to obtain high performance in speed control of induction motor by using obtained input-output data over PI control. The performance of both the control systems in MATLAB/Simulink environment was investigated in case of different operating conditions. In this simulation study of speed control of induction motor, the suggested controller produces better performance compared with the conventional PI controller by arranging the performance parameters such as rise time, overshoot, settling time and steady state error. Besides, it is observed that in the region of change in reference speed and change in load, ANFIS provided better performance than PI type control.

**Keywords:** Induction motor, Adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS), PI control, Artificial neural networks

## 1. GİRİŞ

Asenkron motorların hız denetiminde, sistemin doğrusal olmayan yapısı, değişen çevre koşulları ve bozucu girişlerin etkisiyle iyi bir performans elde etmek oldukça zor olmaktadır. Son yıllarda elektronik cihaz teknolojisinde ve kontrol tekniklerindeki gelişmelerle birlikte doğru akım motorlarından elde edilebilen yüksek dinamik performans, asenkron motorlarda da elde edilmesi mümkün olmuştur. Asenkron motorlarda dolaylı alan yönlendirmeli vektör kontrolün kullanılmasıyla, DC motorlarda olduğu gibi, akı ve moment bileşenleri birbirinden bağımsız bir şekilde kontrol edilerek mükemmel bir dinamik performans sağlanmaktadır. Asenkron motor sürücülerinin performansının artırılmasında yapay zekâ tabanlı yöntemlerin kullanılmasının yararları son yıllardaki araştırmalarla açık bir şekilde ortaya konulmuştur [1-3]. Doğrusal olmayan sistemlerin tasarımlarında YSA (yapay sinir ağları)'nın doğrusal olmayan sistemleri modelleme yeteneğinden faydalanılmaktadır. YSA'nın öğrenme ve adaptasyon yeteneği kontrol sistemleri için ideal bir özelliktir. YSA yük parametreleri bilinmeyen bir motorun kontrolünde bile başarıyla uygulanabilmektedir. Bulanık mantık denetleyicinin yapısı uyarlanabilir özelliklere ve geniş çalışma koşullarına sahiptir. Ayrıca belirsizliklere, değişken parametrelere ve yük dağılımına sahip sistemlerin denetiminde kullanıldığında sistemin güçlü cevaplar vermesini sağlar [4-6].

Adaptif Sinirsel- Bulanık Çıkarım Sistemi, yapay sinir ağlarının paralel hesaplayabilme ve öğrenme kabiliyeti ile bulanık mantığın çıkarım özelliğini kullanan melez bir adaptif kontrol yöntemidir. ANFIS, daha iyi performans ve doğruluk sağlamak için tasarlanan modern kontrol sistemlerinde yaygın olarak kullanılan kontrol stratejilerden biridir [7-8]. Adaptif kontrolün amacı bilinmeyen veya değişen kontrol parametrelerini ayarlamaktır. Adaptif bulanık sistemlerin kullanılmasıyla gerçekleştirilen, modelleme ve denetim uygulamaları da literatürde geniş bir biçimde yer almaktadır. Bu nedenle bulanık sistemlerin etkinliğinin artırılmasında, uyarılma tekniğinin katkısını sağlamaya yönelik çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu çalışmada üç fazlı bir asenkron motorun hız denetimi için ANFIS denetleyici geliştirilmiştir. Bu çalışmamızda asenkron motorun hız hata ve hata değişimi parametreleri giriş çıkışları incelenmiştir ve asenkron motorun tepkisine ait ANFIS denetimi ve referansı yakalama başarısı sergilenmiştir. ANFIS ve PI tipi klasik denetleyici kullanılarak asenkron motorun vektör esaslı hız denetiminin benzetim çalışması MATLAB/Simulink ortamında yapılmıştır. Çalışmada asenkron motorun sürme yönteminde alan yönlendirmeli vektör kontrol yöntemi kullanılmıştır [8]. Eviricinin anahtarlamasında Uzay Vektör Darbe Genişlik Modülasyonu (UVDGM) kullanılmıştır. ANFIS ve PI tipi denetleyici için asenkron motorun değişken referans ve yük altında gösterdikleri tepkileri incelenmiş ve benzetim sonuçları karşılaştırılmıştır.

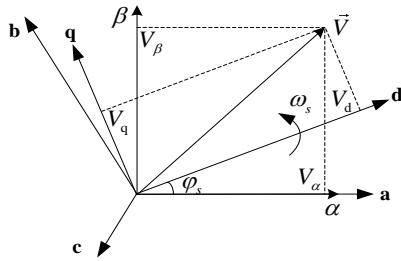


## 2. MATERYAL VE METOT

### 2.1. Materyal

Bir sistemin fiziksel davranışının benzetimini yapmak için, matematiksel modelinin çıkarılması gereklidir. Model üzerinde yapılan çalışmalarla sistemin kontrolü için en uygun kontrol kuralları belirlenebilmektedir. Asenkron motorun matematiksel modelini elde etmek için motora ait üç faz değişkenleri d-q düzlemine aktarılmaktadır. Böylece senkron hızda dönen d-q eksen takımındaki modele alan yönlendirmeli kontrol uygulanarak asenkron motor bir doğru akım motoruna benzetilmektedir. Bu model, kontrol kuralları belirlemede kullanılan bilgisayar analiz ve benzetim çalışmalarına uygun bir hale getirilmiştir [8-11]. Şekil 1'de asenkron motorun matematiksel modelini elde etmek için üç fazlı değişkenlerin d-q eksen takımına aktarımı gösterilmiştir.

Asenkron motor için d-q eksen takımındaki diferansiyel denklemleri, denklem 1-9'deki gibi düzenlenebilir [11].



Şekil 1. a-b-c, α-β ve d-q eksen takımları düzlemi

Eşdeğer direnç;

$$R_E = R_s + \frac{R_r' L_m^2}{L_r^2} \quad (1)$$

Kaçak faktörü;

$$\sigma = 1 - \frac{L_m^2}{L_s L_r^2} \quad (2)$$

$$\frac{di_{sd}}{dt} = \frac{1}{\sigma L_s} \left[ -R_E i_{sd} + \sigma L_s \omega_s i_{sq} + \frac{L_m R_r'}{L_r} \psi_{rd} + \omega_r \frac{L_m}{L_r} \psi_{rq} + V_{sd} \right] \quad (3)$$

$$\frac{di_{sq}}{dt} = \frac{1}{\sigma L_s} \left[ -R_E i_{sq} - \sigma L_s \omega_s i_{sd} - \omega_r \frac{L_m}{L_r} \psi_{rd} + \frac{L_m R_r'}{L_r} \psi_{rq} + V_{sq} \right] \quad (4)$$

$$\frac{d\psi_{rd}}{dt} = \frac{R_r' L_m}{L_r} i_{sd} - \frac{R_r'}{L_r} \psi_{rd} + \omega_{sl} \psi_{rq} \quad (5)$$

$$\frac{d\psi_{rq}}{dt} = \frac{R_r' L_m}{L_r} i_{sq} - \frac{R_r'}{L_r} \psi_{rq} - \omega_{sl} \psi_{rd} \quad (6)$$

$$\frac{d\omega_m}{dt} = \frac{p L_m}{J L_r'} (i_{sq} \psi_{rd} - \psi_{rq} i_{sd}) - \frac{B}{J} \omega_m \quad (7)$$

Kayma hızı;

$$\omega_{sl} = \omega_s - \omega_r = \frac{R_r' i_{qs}}{L_r' i_{ds}} \quad (8)$$

Senkron pozisyon;

$$\theta_s = \int \omega_s dt \quad (9)$$

$\omega_s$  ve  $\omega_r$  sırasıyla elektriksel senkron hızı ve rotor hızını belirtmektedir;  $V_{sd}$ ,  $V_{sq}$ ,  $i_{sd}$ ,  $i_{sq}$ ,  $\psi_{rd}$  ve  $\psi_{rq}$  parametreleri ise sırasıyla d-q eksenli stator gerilimleri, d-q eksenli stator akımlarını ve d-q eksenli rotor akımlarını ifade etmektedir.  $R_s$  ve  $R_r$  ise her faz için stator ve rotor dirençlerini gösteriyor; Yine aynı şekilde  $L_s$ ,  $L_r$  ve  $L_m$  stator ve rotorun ana indüktanslarını ve karşılıklı indüktanslarını;  $p$  motor kutup sayısını,  $J$  rotor ataletini,  $B$  viskoz sürtünme katsayısını,  $T_L$  yük momentini,  $R_E$  eşdeğer direnci,  $\sigma$  ise kaçak faktörü ifade etmektedir.

### 2.2. Metot

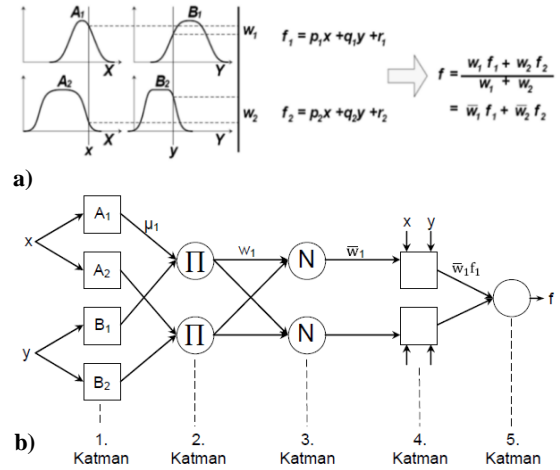
ANFIS temel olarak Bulanık Çıkarım Sistemi'nin (Fuzzy Inference System) adaptif sinirsel ağlara uyarlanmış halidir. Melez öğrenme algoritması ile birlikte ANFIS, bulanık eğer-ise kuralları ile insan bilgisini yansıtan girdi çıktı yapısını ortaya

koymaktadır. 1993 yılında R. Jang tarafından ANFIS yöntemini geliştirmiş ve doğrusal olmayan fonksiyonların modellenmesinde, kaotik zaman serilerinin tahmininde kullanmıştır [7]. MATLAB yazılımındaki bulanık mantık modülünde bir kullanıcı ara yüzü (ANFIS Editor) aracılığı ile yöntem araştırmacıların kullanımına sunulmuştur. Yöntemin çıkış noktası, insan düşünce ve bilgisini yansıtan bulanık *Eğer-İse* kurallarının avantajı ile sinirsel ağların öğrenme yeteneklerini bir araya getirerek entegre etkili bir çözüm sunma gereksinimidir.

Bulanık *eğer-ise* kuralları, “Eğer A koşul ise B sonucudur.” şeklinde ifade edilebilecek kurallar olup bulanık çıkarım sistemlerinin de temelini oluşturmaktadır. Yapıları itibariyle, bulanık ve belirsiz ortamlarda insan düşünce ve muhakeme yeteneğini yansıtma kabiliyeti bulunmaktadır. Bulanık çıkarım sistemi de bulanık *eğer-ise* kurallarını kullanarak ve kati sayısal analizleri kullanmadan insan bilgisinin muhakeme sürecini ve nicel yönünü modelleyebilmektedir.

Adaptif sinirsel ağ, çeşitli sayıda birbirine bağlanmış düğümler içeren, elde bulunan girdi ve çıktı veri setini ortaya koymaya yarayan bir ağ yapısıdır. Her bir düğüm bir işlem birimi içerir ve düğümler arası bağlantılar, birleştirilen düğümler arasındaki nedensel ilişkiyi belirler [11]. Düğümlerin hepsi veya bir kısmı adaptiftir, bunun anlamı düğümlerin çıktısının bu düğümlerle ilişkili düzenlenebilir parametrelere dayandığıdır. Öğrenme kuralı, öngörülmuş bir hata ölçüsünü minimize etme adına bu parametrelerin nasıl güncellenmesi gerektiğini belirler. Hata ölçüsü ağın mevcut çıktısı ile beklenen çıktı arasındaki farkı belirten matematiksel bir gösterimdir. ANFIS’in en önemli özelliği gradyan azaltım (gradient descent) ve en küçük kareler yöntemini bir arada uygulayarak sunduğu melez öğrenme algoritmasıdır ve bu da ANFIS’in diğer yöntemlere yönelik üstünlüğünde temel teşkil etmektedir. Şekil 2’de iki kurallı ve iki girdili birinci derece Sugeno bulanık modeli ile buna karşılık gelen ANFIS yapısı yer almaktadır. Düğümlerin 4. Katmana kadar ileri gidişlerinde soncul parametreler en küçük kareler yöntemi ile belirlenmekte, geriye doğru gidişte ise bu sefer

öncül parametreler gradyan azaltım yöntemi ile belirlenmektedir [7-8].



**Şekil 2. (a)** Sugeno bulanık modeli, **(b)** ANFIS yapısı [12-13]

Şekil 2’de belirtildiği üzere ANFIS beş katmandan oluşmaktadır. Her bir katmanın fonksiyonları aşağıda anlatılmaktadır.

ANFIS’in giriş değişkenleri olan  $x=e(t)$  hatayı ve  $y=\Delta e(t)$  ise hata değişimi ifade eder.

Katman 1: Bu katmanda her düğüm kare olup bir düğüm fonksiyonu ile ilişkilidir.

$$O_i^1 = \mu_{A_i}(x) \quad (10)$$

$x$  i düğümü ile ilişkili girdi,  $A_i$  ise ilgili düğüm fonksiyonu ile ilişkili sözel değişkendir (iyi, çok iyi vs.). Diğer bir ifadeyle,  $O_i^1$ ,  $A_i$ ’nin üyelik fonksiyonu olup  $x$ ’in  $A_i$ ’yi ne kadar karşıladığının derecesini vermektedir. Genel olarak,  $\mu_{A_i}(x)$  maksimum 1 ve minimum 0’a eşit olmak üzere çan eğrisi şeklinde seçilir:

$$O_i^1 = \mu_{A_i}(x) = \frac{1}{1 + \left[ \left( \frac{x - c_i}{a_i} \right)^2 \right]^{b_i}} \quad (11)$$

veya

$$\mu_{A_i}(x) = \exp \left\{ - \left( \frac{x - c_i}{a_i} \right)^2 \right\} \quad (12)$$

{ $a_i, b_i, c_i$ } parametre seti olup öncül parametreler olarak nitelendirilir. Bu aşamada çeşitli üyelik fonksiyonları kullanılabilir.

Katman 2: Bu katmanda yer alan bütün düğümler ( $\Pi$ ) daire şeklinde olup gelen sinyalleri çarpıp değeri dışarı çıkarır.

$$O_i^2 = w_i = \mu_{A_i}(x) \mu_{B_i}(y) \quad (13)$$

Her düğüm çıktısı, her bir kuralın ateşleme seviyesini (firing strength) gösterir.

Katman 3: Bu katmanda yer alan bütün düğümler ( $N$ ) daire şeklinde olup,  $i$ . düğüm,  $i$ . kuralın ateşleme seviyesinin tüm kuralların toplam ateşleme seviyesine oranını hesaplar.

$$O_i^3 = \bar{w}_i = \frac{w_i}{\sum_i w_i}, i = 1, 2, \dots \quad (14)$$

Bu katmanın çıktısı normalleştirilmiş ateşleme seviyesi olarak da nitelendirilmektedir.

Katman 4: Bu katmanda her düğüm kare olup bir düğüm fonksiyonu ile ilişkilidir.

$$O_i^4 = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i (p_i x + q_i y + r_i) \rightarrow i = 1, 2, \dots \quad (15)$$

$w_i$  katman 3'ün çıktısı olup normalleştirilmiş tetikleme seviyesidir. { $p_i, q_i, r_i$ } ayarlanabilir için gerekli olan, ayar değişken kümesidir. Bu katmandaki değişkenler sonuç değişkenlere karşılık gelir.

Katman 5: Bu katmanda yer alan tek düğüm ( $\Sigma$ ) daire şeklinde olup tüm çıkışları bütün gelen sinyallerin toplamı şeklinde hesaplar. Burada elde edilen sonuç sistemin gerçek çıkışı  $f$  değerini verir.

Ağın gerçek çıkışı ise aşağıdaki eşitlikte verilmiştir [14].

$$O_i^5 = \sum_i \bar{w}_i f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i} \quad (16)$$

ANFIS parametreleri aşağıdaki gibi hata teriminin geri yayılım algoritması kullanılarak güncellenir:

$$\frac{\partial E}{\partial O^5} = k_1 \cdot e + k_2 \cdot \Delta e \quad (17)$$

Giriş sinyalleri hata ( $e$ ) ve hatanın değişimi ( $\Delta e$ )  $k_1$  ve  $k_2$  katsayıları ile çarpılır.

$$\alpha_{k+1} = \alpha_k - \eta \frac{\partial E}{\partial \alpha_k} \quad (18)$$

Burada  $\alpha$  ANFIS'in herhangi bir parametresi ve  $\eta$  öğrenme oranıdır. Hata sonraki eğitim iterasyonu azaltacaktır [8].

### 3. BULGULAR

Asenkron motorun hız denetimine ait simülasyon çalışmalarında MATLAB/Simulink programı kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan asenkron motora ait parametreler Çizelge 1'de verilmiştir.

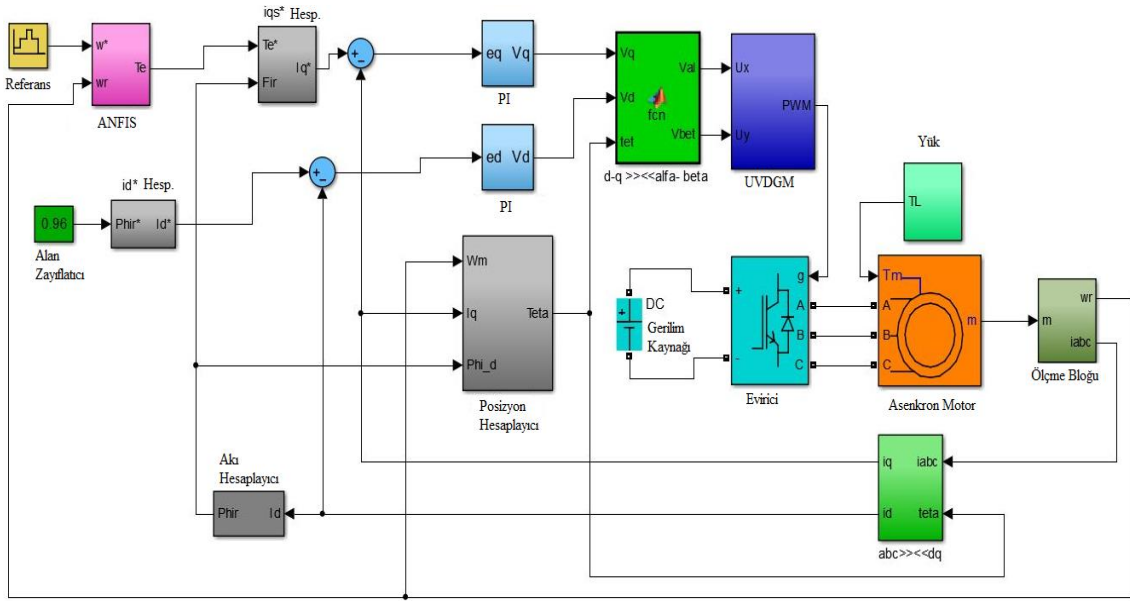
Çizelge 1. Asenkron motor parametreleri

Parametreler	Simge	Birim	Değeri
Nominal güç	P	kW	3
Nominal hız	n	dev/dk	1430
Nominal stator gerilimi	U	V	380
Nominal stator akımı	I	A	6,7
Stator direnci	$R_s$	$\Omega$	1,45
Rotor direnci	$R_r$	$\Omega$	1,93
Moment	M	Nm	19
Hava aralığı endüktansı	$L_m$	H	0,1878
Eylemsizlik momenti	J	Kg.m <sup>2</sup>	0,03
Sürtünme momenti	B	Nm.s/rd	0,03
Kutup çifti sayısı	p		2

Motor çıkışından alınan değerler ile referans hız ve akı bilgileri karşılaştırılarak hata değerleri elde edilmiştir. Bu değerler kullanılarak modülasyon için gerekli dönüşümler ve hesaplamalar yapılmıştır. Referans gerilim vektörünün bulunduğu sektöre göre eviricinin uygun anahtarlama vektörleri tespiti yapılmıştır. Bu vektörlerin süreleri hesaplanarak elde edilen

UVDGM sinyalleri eviriciye uygulanarak motor sürülmüştür. Bu çalışmada kontrolör çıkışında elde edilen sayısal değerler  $V_d$  ve  $V_q$  gerilimleridir.

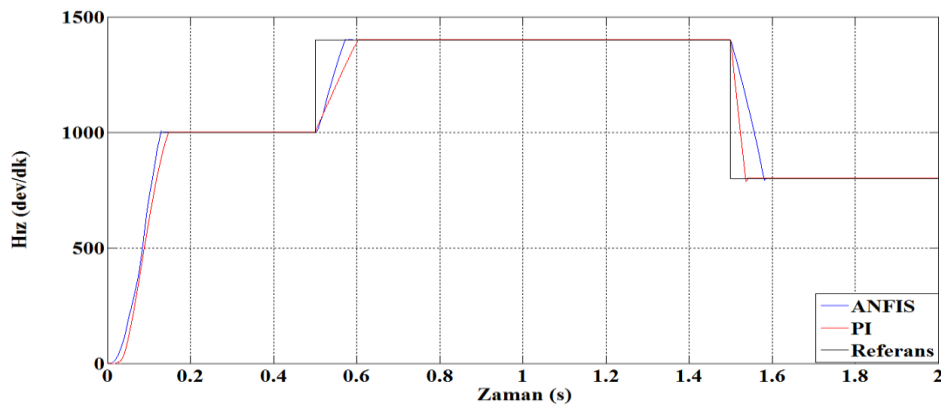
Çalışmada kullanılan eviricinin besleme gerilimi  $450 V_{DC}$  olup anahtarlama frekansı  $5 \text{ kHz}$ 'tir. Çalışmada örnekleme zamanı  $T_s=0,2 \text{ ms}$  olarak alınmıştır.



Şekil 3. Vektör kontrollü asenkron motor sürücü sistemine ait Simulink model

Asenkron motorun simülasyon çalışmasında referans hız değeri  $t=0-0,5$  saniye için  $1000$ ,  $t=0,5-1,5$  saniye arası  $1400$  ve  $t=1,5-2$  saniye arasında ise  $800 \text{ dev/dk}$  olarak verilmiştir. Asenkron motor

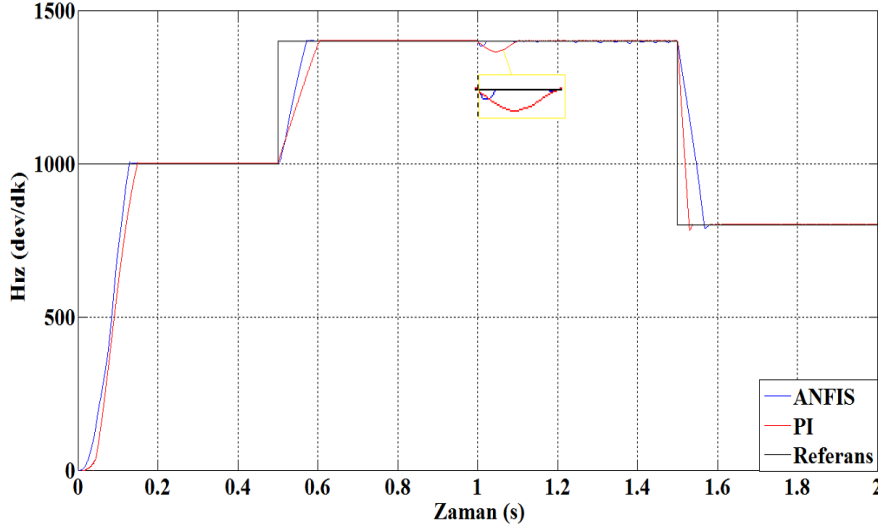
yüksüz çalıştırılmıştır. Elde edilen PI tipi ve ANFIS tipi denetimin değişen referans hız değerlerine ulaşma tepkileri Şekil 4'teki hız-zaman grafiğinde gösterilmiştir.



Şekil 4. Asenkron motorun değişken referanslı hız-zaman grafiği

Asenkron motorun simülasyon çalışmasında değişken referanslı hız değeri,  $t=0-0,5$  saniye için 1000,  $t=0,5-1,5$  saniye arası 1400 ve  $t=1,5-2$  saniye arasında ise 800 dev/dk olarak verilmiştir. Çalışmanın 1'inci saniyesinde motora 19 Nm yük

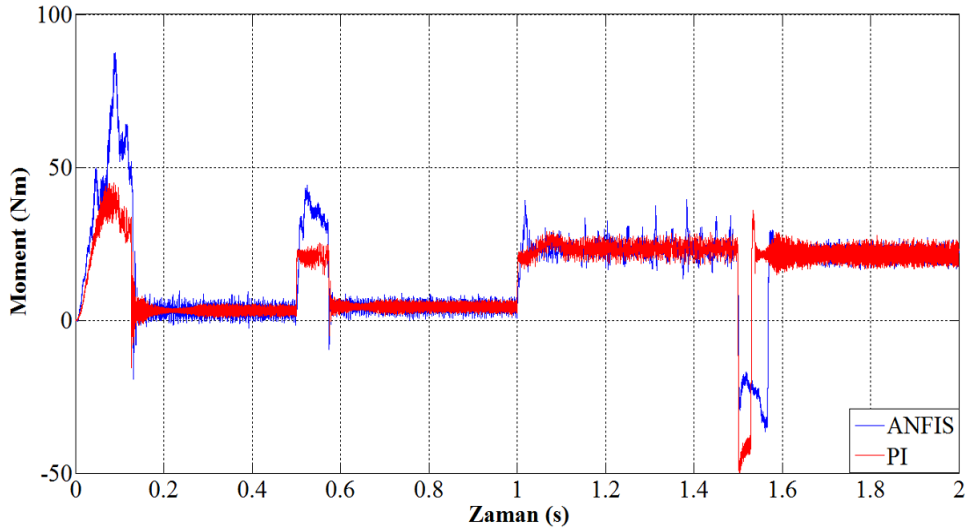
uygulanmıştır. Geleneksel PI tipi ve ANFIS tipi denetimin değişen referans hız değerlerine ulaşma ve yüklenme durumundaki tepkileri Şekil 5'teki hız-zaman grafiğinde gösterilmiştir.



Şekil 5. Yüklenme anında asenkron motorun değişken referanslı hız-zaman grafiği

Asenkron motorun simülasyon çalışmasında değişken referanslı hız değeri,  $t=0-0,5$  saniye için 1000,  $t=0,5-1,5$  saniye arası 1400 ve  $t=1,5-2$  saniye arasında ise 800 dev/dk olarak verilmiştir.

Çalışmanın 1'inci saniyesinde motora 19 Nm yük uygulanmıştır. ANFIS tipi ve PI tipi denetimin değişen referans hız değerlerine ait moment değişimleri Şekil 6'daki grafikte gösterilmiştir.



Şekil 6. Asenkron motorun moment-zaman grafiği

#### 4. SONUÇ

Bu çalışmada ANFIS ve PI tipi denetleyici için asenkron motorun değişken referans ve yük altında gösterdikleri tepkileri incelenmiş ve benzetim sonuçları karşılaştırılmıştır. Her iki denetim sisteminin performansı MATLAB/Simulink ortamında farklı çalışma koşullarında incelenmiştir.

Simülasyon çalışmasında, asenkron motorun hız kontrolü, yükselme zamanı, aşım, yerleşme zamanı ve sürekli hal hatası gibi performans parametreleri ayarlanarak ANFIS tipi denetim geleneksel PI denetime kıyasla daha iyi bir performans sağlamıştır. Ayrıca, sistemde referans hızın değiştirildiği ve yüklenme yapıldıktan sonra ANFIS tipi denetleyici, geleneksel PI tipi denetimden daha iyi bir performansa sahip olduğu simülasyon sonuçlarından gözlemlenmiştir.

Üç fazlı asenkron motorlar gibi doğrusal olmayan sistemler için ANFIS tipi denetleyiciler önerilebilir.

#### 5. KAYNAKLAR

1. Sit, S., Kilic, E., Ozcalik, H.R., Altun, M., Gani, A., 2016. Model Reference Adaptive Control based on RBFNN for Speed Control of Induction Motors, International Conference on Natural Science and Engineering (ICNASE'16), pp. 3355-3364.
2. Kim, G-S., Ha, I-J., Myoung-Sam KO., 1992. Control of Induction Motors for Both High Dynamic Performance and High Power Efficiency, IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 39, No. 4, August 1992.
3. Sit, S., Ozcalik, H.R., Kilic, E., Yilmaz, S., 2015. Investigation of Speed Control Method in Three-Phase Induction Motor Drives, International Refereed Journal of Engineering and Sciences, Vol:2 No:5, pp. 125-151 (Open Access, DRJI, ISRA).
4. Eltamaly, A.M., Alolah, A.I., Badr, B.M., 2010. Fuzzy Controller for Three Phases Induction Motor Drives, IEEE Autonomous and Intelligent Systems-First International Conference, (AIS 2010), Povo de Varzim, Portugal, June 21-23.
5. Fu, X., Li, S., 2015. A Novel Neural Network Vector Control Technique for Induction Motor Drive, IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 30, No. 4, December 2015, pp. 1428-1437.
6. Niasar, A.H., Khoei, H.K., 2015. Sensorless Direct Power Control of Induction Motor Drive Using Artificial Neural Network, Hindawi Publishing Corporation Advances in Artificial Neural Systems, Volume 2015, Article ID 318589, p. 9.
7. Jang, J.S.R., 1993. ANFIS: Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. 23, No. 3, pp. 665-685. <http://dx.doi.org/10.1109/21.256541>
8. Kilic, E., Ozcalik, H.R., Yilmaz, S., Sit, S., 2015. A Comparative Analysis of FLC and ANFIS Controller for Vector Controlled Induction Motor Drive, 2015 IEEE International Aegean Conference on Electrical Machines & Power Electronics (ACEMP2015), 2-4 September 2015, Side-Antalya, Turkey.
9. Özçalık, H.R., Kılıç, E., Şit, S., 2013. Uzay Vektör Darbe Genişlik Modülasyonu İle Sürülen Üç Fazlı Bir Asenkron Motorun Denetiminde PI-Fuzzy Tipi Denetim Yönteminin Başarımının İncelenmesi, 15. Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, TOK2013, Malatya, Türkiye, ss:1153-1158, 26-28.
10. Paçacı, S., 2011. Yapay Sinir Ağları, Bulanık Mantık ve Sinirsel Bulanık Denetleyiciler ile Asenkron Motorların Hız Denetimi için Simülatör Tasarımı, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Isparta.
11. Şit, S., 2013. Üç Fazlı Sincap Kafesli İndüksiyon Motorunun Bulanık Mantık Esaslı Yöntemler Kullanılarak Denetimi. Yüksek Lisans Tezi, KSÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş, 87.
12. Sugeno, M., Takagi, T., 1985. Fuzzy Identification of Systems and its Applications to Modelling and Control, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. 15, pp. 116-132.

- 13.** Tutmez, B., Hatipoglu, Z., Kaymak, U., 2006. Modelling Electrical Conductivity of groundwater using an Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System. *Computer & Geosciences* 32 (4), 421-433.
- 14.** Elmas, Ç., 2011. *Yapay Zeka Uygulamaları*, Seçkin Yayıncılık, Ankara.





## Whole Cell Biotransformation of Fusel Oil into Banana Flavour by *Lindnera saturnus*

Murat YILMAZTEKİN<sup>\*1</sup>, Sevinç TAY<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Inonu University, Faculty of Engineering, Department of Food Engineering, Malatya

<sup>2</sup>Inonu University, Darende Bekir Ilıcak Vocational School, Food Technology Programme, Malatya

Geliş tarihi: 10.08.2016

Kabul tarihi: 05.10.2016

### Abstract

An efficient biotransformation of isoamyl alcohol obtained from fusel oil to isoamyl acetate in a molasses based medium via in situ product removal (ISPR) with macroporous adsorption resin was carried out with *Lindnera saturnus*. Nine types of macroporous adsorption resins with different polarities and surface areas were tested with synthetic medium and then in batch and fed-batch cultivations. H103 resin had the best adsorption capacity because of its large and nonpolar surface areas. The isoamyl acetate concentration was increased with 42 and 30 folds in batch and fed-batch cultivations, respectively, compared to the biotransformations without addition of adsorbent resin. When 1 g H103 resin (wet w/v) was added to 50 mL of the biotransformation medium, the total isoamyl acetate concentration achieved was 1.9 g/L, of which 123 mg/L remained in the aqueous phase and 1787 mg/L was adsorbed onto the resin, within 120 h in fed-batch system. This was the highest isoamyl acetate yield by biotransformation until now and was remarkable for making the process more feasible for industrial application.

**Keywords:** Isoamyl acetate, Fusel oil, Biotransformation, *Lindnera saturnus*

### *Lindnera saturnus* Kullanılarak Hücresel Biyodönüşüm Yolu ile Fuzel Yağından Muz Aroması Eldesi

### Öz

Bu çalışmada, fuzel yağından elde edilen izoamil alkolün şeker pancarı melası içeren ortamda izoamil asetatı *Lindnera saturnus* mayası ile biyodönüşümü, makrogözenekli adsorpsiyon reçineleri ile Yerde Ürün Kazanımı tekniği kullanılarak etkin bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Farklı polarite ve yüzey alanlarına sahip dokuz farklı makrogözenekli adsorpsiyon reçinesi sentetik ortamda test edilmiş ve daha sonra kesikli ve kesikli-beslemeli biyodönüşüm denemelerinde kullanılmıştır. H103 reçinesi nonpolar özelliği ve geniş yüzey alanına sahip oluşu nedeniyle adsorpsiyon kapasitesi en yüksek reçine olarak bulunmuştur. Kontrol denemesi ile karşılaştırıldığında, reçine ilevesi yapılan kesikli ve kesikli-beslemeli biyodönüşüm denemelerinde izoamil asetat konsantrasyonunda sırasıyla 42 ve 30 kat artış gözlemlenmiştir. 120 saatlik kesikli-beslemeli biyodönüşüm denemesinde, 1 g H103 reçinesi (ıslak w/v) 50 mL biyodönüşüm ortamına ilave edildiği zaman, elde edilen izoamil asetat miktarı 1,9 g/L (123 mg/L sulu ortamda + 1787 mg/L reçineye adsorplanmış vaziyette) bulunmuştur. Bu miktar, biyodönüşüm

\*Sorumlu yazar (Corresponding author): Murat YILMAZTEKİN, [murat.yilmaztekin@inonu.edu.tr](mailto:murat.yilmaztekin@inonu.edu.tr)

yoluyla şimdiki kadar elde edilmiş en yüksek izoamil asetat miktarı olup ve prosesin endüstriyel uygulamaya aktarılması açısından kayda değer veriler olarak değerlendirilebilir.

**Anahtar Kelimeler:** İzoamil asetat, Fuzel yağı, Biyodönüşüm, *Lindnera saturnus*

## 1. INTRODUCTION

Flavour compounds found widespread application in food, beverages, cosmetics, detergents and pharmaceutical products with a world-wide industrial size estimated at US \$ 24 million in 2015 [1]. Most of the available flavour compounds (84 %) are now produced via chemical synthesis, although extraction from natural material continues [2]. However, recent market surveys have shown that consumers prefer foodstuff that can be labelled as “natural”. Although flavours may be produced by chemical transformation of natural substances, the resulting products cannot legally be labelled as natural [3]. An alternative route for natural flavour synthesis which is based on employment of new biotechnological processes, de novo microbial processes (fermentation) or bioconversions of natural precursors using microbial cells or enzymes (biocatalysis), have increased considerably in the past two decades [4-6].

Esters are commonly used flavouring agents, very appreciated for the fruity aromas they provide. They are employed in fruit-flavoured products, baked goods, wines, and dairy products. Acetate esters, such as ethyl acetate, hexyl acetate, isoamyl acetate and 2-phenylethyl acetate are recognised as important flavour compounds [3]. Especially, isoamyl acetate, the characteristic compound of banana flavour, is produced with an amount of 74 tonnes per annum [7]. Several yeasts are capable of producing large amounts of fruity ester flavours. The genus *Lindnera* (formerly *Williopsis*) synthesizes high amounts of volatile esters, e.g. isoamyl acetate [8-9]. The most efficient biotechnological approach used to obtain natural isoamyl acetate is the growth-associated biotransformation of isoamyl alcohol to isoamyl acetate using the yeast *Lindnera* [7,10,11]. However substrate and product inhibition during biotransformation limits the final isoamyl acetate concentrations in conventional biotransformations.

In our previous study, isoamyl acetate formation was affected by the addition of fusel oil at the ratios of more than 1% to the medium. The toxicity of fusel oil was the main reasons for low isoamyl acetate productivity [7].

Fed-batch cultivation is an industrial technique where the process is started with a relatively low substrate concentration. As the substrate is consumed, it is replaced by adding a concentrated substrate solution at a low rate while keeping the substrate concentration in the medium below the toxic level [12]. Fed-batch fermentation is advantageous in cases where an initial high substrate concentration and product accumulation is toxic to the culture. However, when applied to systems such as biotransformation of isoamyl alcohol to isoamyl acetate, an ISPR technique should be applied in combination with the fed-batch cultivation. By feeding the medium at a slow and controlled rate, isoamyl alcohol toxicity can be kept below inhibitory levels, while the ISPR technique can be applied simultaneously to remove isoamyl acetate toxicity.

Stark et al. [13] listed, in a complete review, all the projects on ISPR on flavour production in the last 20 years. The wide variety of flavour compounds amenable of microbial production permits the application of various separation methods. For example, organic solvent extraction [14], ionic liquid extraction [15], solid-liquid sorption [16], supercritical CO<sub>2</sub> extraction [17], immobilized solvent extraction [18], and pervaporation [19], have been employed to remove 2-phenylethanol from the medium following its production. Although some of these techniques are more efficient, they have some shortcomings. For example, the viscosity of organic solvents causes problems during fermentation and product separation [16]. The choice of the right solvent is a critical point, since many solvents can be toxic towards the biocatalyst. At the industrial scale, safety becomes an important issue, if large

volumes of "critical" solvent are to be used [20]. ISPR using adsorption processes have been mostly applied for the concentration and separation of various bioproducts like proteins, flavours, secondary metabolites etc. Especially, adsorbent resins are used in bioproduction of natural flavours and antibiotics, which are toxic to the producing organisms [20,21]. Adsorption resins have many advantages including high loading capacity, concentration of targeted components, higher adsorption specificities and easier desorption, better mechanical strength and re-uses [21]. In the fermentation of kirromycin and rubradirin, adsorbent resins have been successfully applied to decrease the toxicity and repression of the fermentation products [22,23]. Solid adsorbents also have been found useful in the fermentation of benzaldehyde, which shifted the biotransformation pathways of L-phenylalanine into benzaldehyde and greatly enhanced benzaldehyde production [24,25]. Some biotransformations improved by in situ product recovery have been studied by different researchers [16,26-33].

In this study, production of isoamyl acetate by biotransformation of isoamyl alcohol using the yeast *Lindnera saturnus* was investigated with using ISPR by macroporous adsorption resins in a molasses-based medium. Batch and fed-batch biotransformations were carried out in order to determine the effect of substrate and product inhibition on microorganism during the production.

## 2. MATERIALS AND METHODS

### 2.1. Chemicals and Macroporous Resins

Isoamyl acetate of 99% purity and molecular sieve were purchased from Sigma Chemical (St. Louis, MO, USA). Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> and absolute ethanol were supplied by Merck (Darmstadt, Germany). Sugarbeet molasses was supplied from Malatya Sugar Factory (Malatya, Turkey), while isoamyl alcohol 98.8% purity for the bioconversion was sourced from the distillation of fusel oil obtained from Mey Suma Factory (Tarsus, Turkey). The macroporous resins tested included H103, AB8,

NKA2 and NKA9 were purchased from the Chemical Plant of Nankai University (Tianjin, China) with the exception of XAD4, XAD1180, XAD7HP, DAX8 and HP2MG, which were purchased from Sigma Chemical (St. Louis, MO, USA). Detailed properties of these resins were shown in Table 1. All other chemicals were of analytical grade and were commercially available.

### 2.2. Strain, Medium, Culture Conditions and Biotransformation

*Lindnera saturnus* HUT 7087 was obtained from HUT Culture Collection (Higashihiroshima, Japan). This strain was chosen in a previous study for the highest isoamyl acetate production [9]. Yeast was routinely maintained in slant medium containing 10 g/L glucose, 5 g/L peptone and 3 g/L yeast extract and re-cultured monthly.

Fusel oil was distilled by Vigreux column in order to obtain a pure isoamyl alcohol fraction (98.8%) as precursor for biotransformation. The water content of fusel oil was reduced by Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> and molecular sieve before distillation [34].

Sugarbeet molasses was diluted with deionized water to 10° Brix and pretreated according to Yilmaztekin et al. [7] to separate heavy metal ions that could affect yeast growth. The molasses solution was then adjusted to pH 5.0 with NaOH and used as preculture and biotransformation medium.

The strain was inoculated into 50 mL of preculturing medium, and incubated at 25°C and 160 rpm for 48 h. Then a 3 mL cell suspension was transferred to 250 mL Erlenmeyer flasks containing 50 mL of biotransformation medium. After inoculation, 1 g of macroporous resins, without prior sterilization, were added to the submerged culture and incubated at 25°C and 100 rpm. In the batch biotransformation, 50 µL isoamyl alcohol was directly added to the medium after 48 h of biotransformation. In the fed-batch biotransformation, 50 µL isoamyl alcohol was directly added to the medium at 48, 72 and 96 h of biotransformation. All biotransformations were terminated at 120 h. Triplicate experiments were

performed under the same conditions. alcohol were analysed by gas chromatography Concentrations of isoamyl acetate and isoamyl (GC).

**Table 1.** Typical properties of macroporous adsorption resins

Resins	Polarity	Surface area (m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )	Average pore diameter (Å)	Particle size (mm)
XAD-1180N	Nonpolar	≥ 450	400	0.35-0.60
XAD-4	Nonpolar	≥ 750	55-80	1.20-6.80
H103	Nonpolar	1000-1100	85-95	0.30-1.25
DAX-8	Moderately polar	160	225	0.30-1.25
XAD-7HP	Moderately polar	≥ 380	90	0.56-0.71
AB-8	Moderately polar	480-520	130-140	0.30-1.25
HP2MG	Polar	500	200	0.30-1.25
NKA-2	Polar	160-200	145-155	0.30-1.25
NKA-9	Polar	250-290	155-165	0.30-1.25

### 2.3. Testing of Adsorption Capacity, Adsorption Ratio and Desorption Recovery

Nine macroporous adsorption resins with different polarities and surface areas were used. Before use, the resins were washed with distilled water and soaked in ethanol to remove impurities and then washed with distilled water sufficiently to remove the solvent. The affinity of isoamyl acetate and isoamyl alcohol for these adsorbents was measured as follows: 1 g of the hydrated macroporous resins and 50 mL of biotransformation medium containing 2.78 g/L isoamyl acetate and 1.98 g/L isoamyl alcohol were introduced into a 250 mL Erlenmeyer flask, and the flask was then shaken in a rotary shaker at 25°C and 100 rpm for 2 h. The isoamyl acetate and isoamyl alcohol concentrations in solution after adsorption were analysed by GC. The resins were collected and eluted with absolute ethanol in 250 mL Erlenmeyer flasks and shaken at 25°C and 100 rpm for 2 h. The desorption solutions were analysed by GC to determine the concentration of isoamyl acetate and isoamyl alcohol. The adsorption capacity, adsorption ratio and desorption recovery were calculated by equations 1, 2 and 3 as follows:

Adsorption capacity:

$$Q_e = (C_0 - C_e) \frac{V_i}{W} \quad (1)$$

Adsorption ratio:

$$E (\%) = \frac{(C_0 - C_e)}{C_0} \times 100 \quad (2)$$

where  $Q_e$  is the adsorption capacity (mg/g resin), which represents the mass of adsorbate on 1 g of resin at adsorption equilibrium;  $E$  is the adsorption ratio, which represents the percentage of total adsorbate at adsorption equilibrium;  $C_0$  and  $C_e$  are the initial and equilibrium concentrations of isoamyl acetate and isoamyl alcohol in the solution, respectively (mg/L);  $V_i$  is the volume of the initial feed solution (mL) and  $W$  is the weight of the macroporous resins (g).

Desorption recovery:

$$D (\%) = \frac{C_d V_d}{(C_0 - C_e) V_i} \times 100 \quad (3)$$

where  $D$  is the desorption recovery (%);  $C_d$  is the concentration of isoamyl acetate in the desorption solution (mg/L);  $V_d$  is the volume of the solution;  $C_0$ ,  $C_e$  and  $V_i$  are the same as defined as above.

### 2.4. Analytical Methods

After the cultivation period, the macroporous resins in the biotransformation culture were separated into a 250 mL Erlenmeyer flask by filtration, and were eluted with absolute ethanol (volume equal to the biotransformation medium) at

25°C and 100 rpm for 2 h to recover the isoamyl acetate. The eluant was analysed by GC to determine the isoamyl acetate concentration adsorbed on the resin. Isoamyl acetate in the aqueous phase was analysed by GC after yeast cells were removed by centrifugation. GC was carried out using DBWAX fused silica capillary column (0.25 mm i.d. x 30 m x 0.25 µm film thickness) (J&W Scientific, CA, USA), flame ionisation detection (180°C) and split/splitless injection (160°C) with a gas chromatograph, Agilent 7080 (Palo Alto, USA). GC settings were as follows: oven temperature: 4 min at 40°C, then increased by 1.8°C per minute up to 94°C and 40°C per minute up to 180°C and finally 4 min at 180°C; carrier gas: He (1.3 mL/min); split rate: 1:50. The quantification was performed by using internal standard (3-pentanol) method. The results given represent the means for three determinations each, with their standard deviations.

### 3. RESULTS AND DISCUSSION

#### 3.1. Selection of Macroporous Adsorption Resins

The choice of the most suitable adsorption resin was based on two criteria: a strong ability to adsorb the product and in contrast a low ability to adsorb substrate [30]. Adsorption capacity is also one of the main factors influencing process cost. The higher the adsorption capacity, the smaller the amount of adsorbent required in order to keep product concentration under the toxicity level, and thus the smaller the necessary adsorption unit. Expressed in terms of cost, the higher the capacity, the lower the investment costs involved [20].

The adsorption capacity ( $Q_e$ ), adsorption ratio ( $E$ ) and desorption recovery ( $D$ ) of the resins tested for both isoamyl alcohol and isoamyl acetate were listed in Table 2. The affinities of the selected adsorption resins for isoamyl alcohol and isoamyl acetate were determined in a molasses based aqueous solution containing known amounts of isoamyl alcohol and isoamyl acetate. All adsorbents showed an acceptable affinity for both

isoamyl alcohol and isoamyl acetate. The resins could be ordered, regarding to their isoamyl acetate  $Q_e$  as follows:

H103 > NKA2 > XAD1180 > XAD4 > XAD7HP > DAX8 > AB8 > NKA9 > HP2MG. The  $Q_e$  of resins H103, NKA2 and XAD-1180N were close and considerably higher than the other resins. Highest  $Q_e$  is shown by H103, followed by NKA-2 with a slightly lower capacity. XAD-1180N has a quite smaller capacity. This could be explained based on the differences in the surface areas and polarities of the resins. Since the surface area of H103 is greater than those of XAD-1180N and NKA-2, hence H103 showed a better  $Q_e$ . The selection of the proper resin should be in accordance with their polarities, surface areas and the features of the adsorbates. In the present work, H103 was chosen as the best resin for its high surface area and nonpolarity, which in nature have good affinity for the nonpolar isoamyl acetate molecule. However, because of close  $Q_e$  values of H103, NKA2 and XAD-1180N, we decided to test them also in biotransformation trials.

The recovery of the isoamyl acetate from the resins was conducted with absolute ethanol. Isoamyl acetate is used in food industry as a fragrant ingredient, therefore some solvent with toxic nature or non-acceptable odour such as methanol, acetone and butanol were not considered. Ethanol was chosen in desorption for its nontoxic and wide acceptance in perfumes and flavours. However, the results of the desorption tests carried out with a volume of ethanol equal to biotransformation medium for only one cycle were not satisfactory for all the resins having 12.9-29.6% desorption yields. The desorption recoveries of the resins followed the order:

NKA2 > H103 > XAD1180 > XAD4 > XAD7HP > HP2MG > DAX8 > AB8 > NKA9. NKA2, H103 and XAD1180 had the best desorption recoveries among the other resins. It is predicted that repeated cycles of desorption with ethanol would increase the recovery of the isoamyl acetate from the resins.

**Table 2.** Results of adsorption capacity ( $Q_e$ ), adsorption ratio ( $E$ ) and desorption recovery ( $D$ ) for isoamyl acetate (IAc) and isoamyl alcohol (IAI) with different macroporous resins

Resins	$Q_e$ IAc (mg/g resin)	$Q_e$ IAI (mg/g resin)	$E$ IAc (%)	$E$ IAI (%)	$D$ IAc (%)
XAD-1180N	129.3 ± 1.5	29.4 ± 2.0	97.7 ± 1.6	30.9 ± 1.9	27.3 ± 1.5
XAD-4	127.4 ± 1.7	10.3 ± 1.4	95.6 ± 1.3	10.8 ± 1.4	24.3 ± 1.7
H103	132.2 ± 0.9	46.3 ± 1.7	99.1 ± 1.7	48.6 ± 1.5	27.3 ± 0.6
DAX-8	121.8 ± 2.1	14.9 ± 1.2	91.3 ± 1.2	15.7 ± 1.7	16.3 ± 1.1
XAD-7HP	125.5 ± 0.6	17.4 ± 0.8	94.1 ± 1.8	18.2 ± 1.6	24.3 ± 1.2
AB-8	121.3 ± 1.1	11.2 ± 1.0	91.0 ± 2.2	11.8 ± 1.3	16.0 ± 0.9
HP2MG	111.5 ± 1.9	10.1 ± 0.4	83.6 ± 0.9	10.6 ± 0.6	19.0 ± 0.8
NKA-2	131.5 ± 0.7	47.5 ± 0.9	98.6 ± 2.1	49.9 ± 0.9	29.6 ± 1.8
NKA-9	118.0 ± 1.3	5.4 ± 0.3	88.4 ± 0.7	5.7 ± 0.5	12.9 ± 0.6

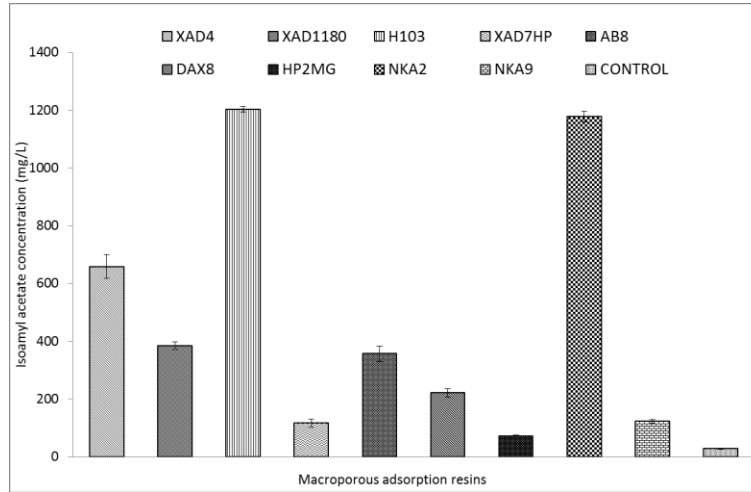
### 3.2. Batch Biotransformation with Adsorption Resins

As shown in Fig. 1, with the addition of the macroporous resins to the biotransformation medium, the isoamyl acetate concentration exceeded that without the addition of resin. The process consists of a logarithmic growth phase which took 48 h, followed by biotransformation of added isoamyl alcohol during the stationary phase. The isoamyl alcohol was added in small amounts due to substrate toxicity and it was completely converted to isoamyl acetate after 120 h of biotransformation. The highest isoamyl acetate concentration reached was 1204 mg/L with resin H103, which was 42 times higher than the isoamyl acetate concentration without resin addition (28.5 mg/L). Surprisingly, the addition of NKA-2 resin did also improve the isoamyl acetate concentration, although it has a polar nature and small surface area. It was concluded that H103 resin was the best adsorbent in batch biotransformation.

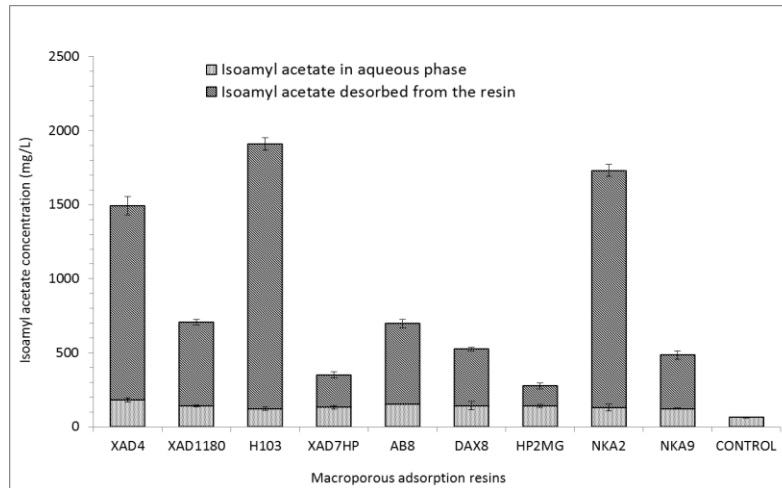
### 3.3. Fed-Batch Biotransformation with Adsorption Resins

The concentrations of isoamyl acetate produced in fed-batch biotransformations carried out with different macroporous adsorption resins were given in Fig. 2. Isoamyl alcohol was added to the medium at 48. h of biotransformation and continued with 24 h intervals up to the end of biotransformation. The strategy for fed-batch

biotransformation was to avoid the inhibition of isoamyl alcohol on the yeast, which was observed in our previous work [7]. Addition of small amounts of isoamyl alcohol at intervals of 24 h led to a 2.2 fold increase in isoamyl acetate concentration in fed-batch biotransformation (64 mg/L) compared to batch transformation (28.5 mg/L). This indicated that large amounts of isoamyl alcohol in the medium negatively affected yeast growth. Since the biotransformation of isoamyl alcohol to isoamyl acetate is strictly growth-associated, yeast growth could act as an indicator of isoamyl acetate production during the process [7]. In the experiments carried out with addition of resins, the total isoamyl acetate concentration (isoamyl acetate in aqueous phase plus adsorbed onto the resin) exceeded that without addition of resin. When the biotransformation was finished, the highest total isoamyl acetate concentration reached 1.9 g/L with H103 resin added biotransformation (123 mg/L in the aqueous phase and 1787 mg/L adsorbed onto the resin) which was 30 times higher than the control. To our knowledge, this is by far the highest isoamyl acetate production from isoamyl alcohol by biotransformation. About 1374 mg/L isoamyl alcohol was not converted and remained in the biotransformation medium carried out with H103 resin, which was the lowest amount of isoamyl alcohol detected in the medium after biotransformation among the other resins. It seemed that better results could be achieved in fed-batch biotransformation with macroporous adsorption resins than in batch biotransformation.



**Figure 1.** Isoamyl acetate production from isoamyl alcohol by *Lindnera saturnus* HUT 7087 in batch cultivation with the addition of nine types of macroporous resins to the biotransformation medium. The amount of macroporous resin was 1 g/50 mL. The isoamyl alcohol was added at 48<sup>th</sup> hour of biotransformation. Cultivation was carried out in an orbital shaker at 25°C and 100 rpm for 120 h. The control experiment was carried out without the adding of resin. Desorption was also carried out on a rotary shaker with 100 rpm at 25°C with absolute ethanol for 2h. The concentrations of isoamyl alcohol and isoamyl acetate were analysed by GC. The values were means of three replicates, and the error bars indicated standard deviations



**Figure 2.** Isoamyl acetate production from isoamyl alcohol by *Lindnera saturnus* HUT 7087 in fed-batch cultivation with the addition of nine types of macroporous resins to the biotransformation medium. The amount of macroporous resin was 1 g/50 mL. The isoamyl alcohol was added at 48, 72 and 96<sup>th</sup> hour of biotransformation. Cultivation was carried out in an orbital shaker at 25°C and 100 rpm for 120 h. The control experiment was carried out without the adding of resin. Desorption was also carried out on a rotary shaker with 100 rpm at 25°C with absolute ethanol for 2h. The concentrations of isoamyl alcohol and isoamyl acetate were analysed by GC. The values were means of three replicates, and the error bars indicated standard deviations

## 4. CONCLUSION

In conclusion, critical strategies of improving biotransformation of isoamyl alcohol to isoamyl acetate are to limit the amount of added isoamyl alcohol below the inhibitory level with continuous addition at 24 h intervals and to use macroporous adsorption resin for ISPR. A fed-batch biotransformation with ISPR technique demonstrated very promising results for isoamyl acetate production by *Lindnera saturnus* in this work. By combining the fed-batch technique with product recovery, inhibition for both substrate and product was eliminated. 1.9 g/L isoamyl acetate concentrations obtained with the process presented in this paper have been never achieved before. However, according to us the isoamyl acetate productivity could be improved further by a continuous bioprocess using external adsorption columns for ISPR. Efforts are underway to build a continuous adsorptive bioprocess for isoamyl acetate production.

## 5. ACKNOWLEDGEMENTS

The authors gratefully acknowledge the financial support of The Scientific and Technological Research Council of Turkey (Project No. 111 O 369) (Ankara, Turkey) and Inonu University Scientific Research Center (Project Number 2012/177) (Malatya, Turkey), the HUT Culture Collection for providing yeast strain (Higashihiroshima, Japan), Malatya Sugar Factory (Malatya, Turkey) for molasses and Mey Suma Factory (Tarsus, Turkey) for fusel oil. The authors also would like to acknowledge the contribution of the COST Action FA0907 (BIOFLAVOUR).

## 6. REFERENCES

1. Leffingwell & Associates, 2004. Leffingwell & Associates Flavor database, [http://www.leffingwell.com/top\\_10.htm](http://www.leffingwell.com/top_10.htm), consulted 07.03.2015.
2. Soares, M., Christen, P., Pandey, A., Soccol, C.R., 2000. Fruity Flavour Production by *Ceratocystis fimbriata* Grown on Coffee Husk in Solid-state Fermentation, *Process Biochemistry*, 35(8): 857-861.
3. Longo, M.A., Sanromán, M.A., 2006. Production of Food Aroma Compounds: Microbial and Enzymatic Methodologies, *Food Technology and Biotechnology*, 44(3): 335-353.
4. Janssens, L., De Pooter, H.L., Schamp, N.M., Vandamme, E.J., 1992. Production of Flavours by Microorganisms, *Process Biochemistry*, 27(4): 195-215.
5. Krings, U., Berger, R.G., 1998. Biotechnological Production of Flavours and Fragrances, *Applied Microbiology and Biotechnology*, 49(1): pp. 1-8.
6. Reineccius, G., 2006. Flavor Chemistry and Technology, CRC Press.
7. Yilmaztekin, M., Erten, H., Cabaroglu, T., 2009. Enhanced Production of Isoamyl Acetate from Beet Molasses with Addition of Fusel Oil by *Williopsis saturnus* var. *saturnus*, *Food Chemistry*, 112(2): 290-294.
8. Iwase, T., Morikawa, T., Fukuda, H., Sasaki, K., Yoshitake, M., 1995. Production of Fruity Odor by Genus *Williopsis*, *Journal of the Brewing Society of Japan*, 90(5): pp. 394-396.
9. Yilmaztekin, M., Erten, H., Cabaroglu, T., 2008. Production of Isoamyl Acetate from Sugar Beet Molasses by *Williopsis saturnus* var. *Saturnus*, *Journal of the Institute of Brewing*, 114(1): pp. 34-38.
10. Janssens, L., 1991. Microbial Production of Fruity Flavours (Doctoral Dissertation, PhD Thesis).
11. Vandamme, E.J., Soetaert, W., 2002. Bioflavours and Fragrances Via Fermentation and Biocatalysis. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 77(12): 1323-1332.
12. Ezeji, T.C., Qureshi, N., Blaschek, H.P., 2004. Acetone Butanol Ethanol (ABE) Production from Concentrated Substrate: Reduction in Substrate Inhibition by Fed-batch Technique and Product Inhibition by Gas Stripping, *Applied Microbiology and Biotechnology*, 63(6): 653-658.
13. Stark D., Jaquet A., von Stockar, U., 2003. In situ Product Removal (ISPR) in Whole Cell Biotechnology During the Last 20 Years,



- Advanced Biochemical Engineering and Biotechnology, pp.149-175.
14. Etschmann, M.M.W., Schrader, J., 2006. An Aqueous-organic Two-phase Bioprocess for Efficient Production of the Natural Aroma Chemicals 2-phenylethanol and 2-Phenylethylacetate with Yeast, *Applied Microbiology and Biotechnology*, 71(4): pp. 440-443.
  15. Sendovski, M., Nir, N., Fishman, A., 2010. Bioproduction of 2-phenylethanol in a Biphasic Ionic Liquid Aqueous System, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(4): pp. 2260-2265.
  16. Mei, J., Min, H., Lü, Z., 2009. Enhanced Biotransformation of L-phenylalanine to 2-Phenylethanol using an in Situ Product Adsorption Technique, *Process Biochemistry*, 44(8): pp. 886-890.
  17. Fabre, C.E., Blanc, P.J., Marty, A., Goma, G., Souchon, I., Voilley, A., 1996. Extraction of 2-Phenylethyl Alcohol: By Techniques Such as Adsorption, Inclusion, Supercritical CO<sub>2</sub>, Liquid-liquid and Membrane Separations, *Perfumer & Flavorist*, 21(5): pp. 27-40.
  18. Serp, D., Von Stockar, U., Marison, I.W., 2003. Enhancement of 2-phenylethanol Productivity by *Saccharomyces cerevisiae* in Two-phase Fed-batch Fermentations using Solvent Immobilization, *Biotechnology and Bioengineering*, 82(1): pp. 103-110.
  19. Etschmann, M.M., Sell, D., Schrader, J., 2005. Production of 2-phenylethanol and 2-phenylethylacetate from L-phenylalanine by Coupling Whole-cell Biocatalysis with Organophilic Pervaporation, *Biotechnology and Bioengineering*, 92(5): pp. 624-634.
  20. Stark, D., 2001. Extractive Bioconversion of 2-phenylethanol from L-phenylalanine by *Saccharomyces cerevisiae*. Swiss Federal Institute of Technology; Ph.D. thesis.
  21. Jin, Q., Yue, J., Shan, L., Tao, G., Wang, X., Qiu, A., 2008. Process Research of Macroporous Resin Chromatography for Separation of N-(p-coumaroyl) Serotonin and N-feruloylserotonin from Chinese Safflower Seed Extracts, *Separation and Purification Technology*, 62(2): pp. 370-375.
  22. Gastaldo, L., Marinelli, F., Acquarella, C., Restelli, E., Quarta, C., 1996. Improvement of the Kirromycin Fermentation by Resin Addition, *Journal of Industrial Microbiology*, 16(5): pp. 305-308.
  23. Marshall, V.P., McWethy, S.J., Sirotti, J.M., Cialdella, J.I., 1990. The Effect of Neutral Resins on the Fermentation Production of Rubradirin, *Journal of Industrial Microbiology*, 5(5): pp. 283-287.
  24. Lomascolo, A., Lesage-Meessen, L., Labat, M., Navarro, D., Delattre, M., Asther, M., 1999. Enhanced Benzaldehyde Formation by a Monokaryotic Strain of *Pycnoporus cinnabarinus* Using a Selective Solid Adsorbent in the Culture Medium, *Canadian Journal of Microbiology*, 45(8): pp. 653-657.
  25. Lomascolo, A., Asther, M., Navarro, D., Antona, C., Delattre, M., Lesage-Meessen, L., 2001. Shifting the Biotransformation Pathways of L-phenylalanine into Benzaldehyde by *Trametes suaveolens* CBS 334.85 using HP20 Resin, *Letters in Applied Microbiology*, 32(4): pp. 262-267.
  26. Rito-Palomares, M., Negrete, A., Miranda, L., Flores, C., Galindo, E., Serrano-Carreón, L., 2001. The Potential Application of Aqueous Two-phase Systems for in Situ Recovery of 6-Pentyl- $\alpha$ -pyrone Produced by *Trichoderma harzianum*, *Enzyme and Microbial Technology*, 28(7): pp. 625-631.
  27. Miyazawa, M., Ohsawa, M., 2002. Biotransformation of  $\alpha$ -terpineol by the Larvae of Common Cutworm (*Spodoptera litura*), *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(17): pp. 4916-4918.
  28. Ezeji, T.C., Qureshi, N., Blaschek, H.P., 2003. Production of Acetone, Butanol and Ethanol by *Clostridium beijerinckii* BA101 and in Situ Recovery by Gas Stripping, *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 19(6): pp. 595-603.
  29. Ribeiro, C.P., Lage, P.L., Borges, C.P., 2004. A Combined Gas-stripping Vapour Permeation Process for Aroma Recovery, *Journal of Membrane Science*, 238(1): pp. 9-19.
  30. Hua, D., Ma, C., Song, L., Lin, S., Zhang, Z., Deng, Z., Xu, P., 2007. Enhanced Vanillin Production from Ferulic Acid using Adsorbent

- resin, *Applied Microbiology and Biotechnology*, 74(4): pp. 783-790.
31. Zhang, Q.F., Jiang, Z.T., Gao, H.J., Li, R., 2008. Recovery of Vanillin from Aqueous Solutions using Macroporous Adsorption Resins, *European Food Research and Technology*, 226(3): pp. 377-383.
  32. Hua, D., Lin, S., Li, Y., Chen, H., Zhang, Z., Du, Y., Xu, P., 2010. Enhanced 2-Phenylethanol Production from L-phenylalanine Via in Situ Product Adsorption, *Biocatalysis and Biotransformation*, 28(4): pp. 259-266.
  33. Wang, H., Dong, Q., Meng, C., Ai Shi, X., Guo, Y., 2011. A Continuous and Adsorptive Bioprocess for Efficient Production of the Natural Aroma Chemical 2-phenylethanol with Yeast, *Enzyme and Microbial Technology*, 48(4): pp. 404-407.
  34. Güvenç, A., Aydoğan, Ö., Kapucu, N., Mehmetoğlu, Ü., 2007. Fuzel Yağından İzöamil Asetat Üretimi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22(4): pp. 801-808.

## A Hybrid Extreme Learning Machine and its Variant for Stock Price Prediction

Mustafa GÖÇKEN<sup>\*1</sup>, Mehmet ÖZÇALICI<sup>2</sup>, Aslı BORU<sup>1</sup>,  
Ayşe Tuğba DOSDOĞRU<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Adana Science and Technology University, Industrial Engineering Department, Adana

<sup>2</sup>Kilis 7 Aralık University, Business and Administration Department, Kilis

<sup>3</sup>Gaziantep University, Industrial Engineering Department, Gaziantep

Geliş tarihi: 10.07.2016

Kabul tarihi: 24.09.2016

### Abstract

Accurate and effective stock price prediction is appealing for investors due to the potential of obtaining a very high return. However, it is still a challenging task in the modern business world because of the complex, evolutionary, and nonlinear nature of stock market. Therefore, we proposed two hybrid models, which are Harmony Search (HS) based Extreme Learning Machine (ELM) that is denoted as HS-ELM and HS based Recurrent Extreme Learning Machine (RELM) that is represented as HS-RELM, to provide accurate and fast one-day ahead stock price prediction. This study provides a new direction in the field of stock price prediction and offers some suggestions on how to configure HS-ELM and HS-RELM for performing stock price prediction, with an application on stocks listed in BIST50 Index. The results of the performance measures show that although both proposed models are very helpful for the practical applicability of the stock market, HS-RELM model is more powerful than HS-ELM model.

**Keywords:** Extreme learning machine, Recurrent extreme learning machine, Harmony search, Stock price prediction

### Melez Aşırı Öğrenme Makinesi ve Türevi ile Hisse Senedi Fiyatı Tahmini

#### Öz

Çok yüksek getiri elde etme potansiyeline sahip olması nedeniyle doğru ve etkili hisse senedi fiyatı tahmini yatırımcılar için caziptir. Bununla birlikte, borsanın karmaşık, evrimsel ve doğrusal olmayan yapısı nedeniyle, modern iş dünyasında hâlâ karmaşık bir iştir. Bu nedenle, iki melez model, HS-ELM olarak adlandırılan Harmoni Araması (HS) tabanlı aşırı öğrenme makinesi (ELM) ve HS-RELM olarak adlandırılan HS tabanlı tekrarlı aşırı öğrenme makinesi (RELM), günlük hisse senedi fiyatı tahminini doğru ve hızlı bir şekilde elde etmek için önerilmiştir. Bu çalışma, hisse senedi fiyatı tahmini alanına yeni bir yön vermekte ve BIST50 Endeksinde bulunan farklı hisse senetleri üzerinde uygulanması ile HS-ELM ve HS-RELM'nin hisse senedi fiyat tahmininde nasıl yapılandırılması gerektiği konusunda bazı öneriler

\* Sorumlu yazar (Corresponding author): Mustafa GÖÇKEN, [mgocken@adanabtu.edu.tr](mailto:mgocken@adanabtu.edu.tr)

sunmaktadır. Performans ölçümlerinin sonuçları, her iki önerilen modelin hisse senetleri fiyat tahminine pratik uygulanabilirliği açısından oldukça yararlı olduğunu göstermesine rağmen HS-RELM modelinin performansının HS-ELM modelinin performansından daha iyi olduğu gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Aşırı öğrenme makinesi, Tekrarlı aşırı öğrenme makinesi, Harmoni araması, Hisse senedi fiyatı tahmini

## 1. INTRODUCTION

Over the years, stock markets are an important part of the nations' economy since the greatest amount of capital is exchanged implicitly through stock markets all over the world [1]. In this case, analyzing stock market performance has become reasonably challenging due to the effect of economic globalization and information technology. One of the most common characteristics for all stock markets is the uncertainty related to their future states. This is undesirable for the investors, but unavoidable when stock market is chosen for investment. At this point, decisions on investment are important and entail prediction [1]. The prediction largely affects the profitability of investing and trading in the stock market [2]. Therefore, academicians and practitioners have primarily investigated the various prediction models for years. In the light of previous studies, it can be said that although many models have been employed for predicting stock price, each model has its own advantages and disadvantages under different situations. Also, we determined three major drawbacks. Firstly, various input variables are used to predict stock price based on personal experience that can lead to wrong judgement on investment decisions. Secondly, multi-feature data typically generate high-dimensional data and cause higher computational complexity. Thirdly, specific assumptions are needed for statistical models that cannot be implemented to the datasets which do not satisfy these assumptions [3]. At this point, extreme learning machine (ELM) can be considered as one of the most powerful models to overcome difficulties encountered by other models. For example, ELM avoids many of the difficulties faced by gradient-based learning models such as learning rate and epochs, stopping criteria, and local minima while producing higher generalization performance [4]. Details can be

found in Huang et al. [5]. Zhu et al. [4] presented a hybrid learning algorithm where the output weights of ELM are analytically assigned by using Moore–Penrose (MP) generalized inverse while the input weights and hidden biases of ELM are randomly determined by modified differential evolution. The result of study shows that proposed model can provide a much more compact network. Bazi et al. [6] applied the differential evolution to analyze the model selection problem of ELM. Yang et al. [7] proposed evolutionary based ELM with differential evolution to balance the explorative power and exploitive power and to reduce the prediction time of original ELM. Suresh et al. [8] presented a real-coded genetic algorithm to determine the input weights, optimal hidden neuron numbers, and bias values of ELM. In the study, proposed model gets a compact network with better generalization but it causes a higher computational effort. To solve this problem, a sparse-ELM is used to choose the number of neurons, input weights and bias values quickly in ELM. Hegazy et al. [9] used flower pollination algorithm and ELM for monthly stock price prediction. In the study, flower pollination algorithm is utilized to select input weights and hidden biases to create more compact network structure than traditional ELM model. Application of ELM on stock market prediction can also be found in Wang et al. [10] and Li et al. [11].

In recent years, recurrent ELM (RELM) is also used to improve the prediction performance. The major difference between RELM and ELM is that RELM is built for sequential (time ordered) datasets but the order of the data in the dataset is not important in ELM. In addition, the number of neurons in the input layer of ELM is the same with the number of features in the dataset while the number of neurons in the input layer of RELM is the sum of the number of features and the number

of context neurons [12]. Application of RELM on electricity load forecasting can be found in [12]. Considering previous research, this study is basically aimed to show how the use of HS together with ELM and RELM models allows one to obtain considerable prediction accuracy and to compare the performance of the proposed models in three stocks listed in BIST50 for emphasizing

the importance of the specific parameter setting in HS-ELM and HS-RELM.

To the best of our knowledge, this study applies RELM on predicting one-day ahead stock price in BIST50 for the first time. In addition, we strengthen RELM and ELM models by integrating them with HS (Figure 1).

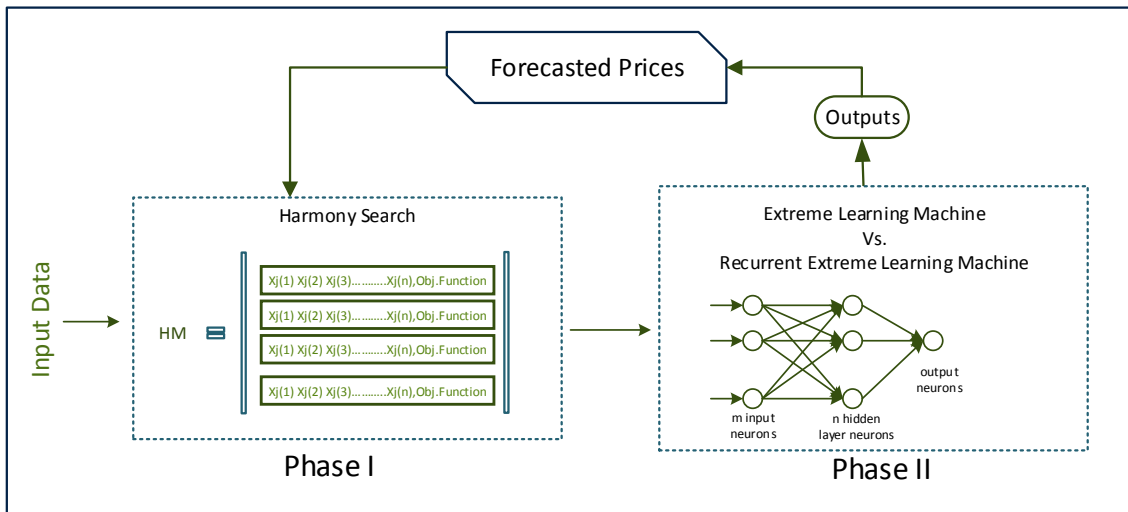


Figure 1. Hybrid ELM approach

Thus, hybrid stock price prediction models including HS-ELM and HS-RELM are proposed to provide a new perspective on developing ELM and RELM models. The advantage of these hybrid models lies in synergy between the HS and ELM (RELM) model. HS is used in Phase I to get the optimal parameters of the HS-ELM and HS-RELM models including input variables (technical indicators), activation function type, number of neurons in hidden layer and also number of neurons in the context layer for RELM. The results of HS are evaluated according to performance measure. In Phase II, the best results of HS are fed in proposed hybrid models. This procedure is repeated until desired iteration is reached in ELM and RELM. If desired iteration is not satisfied, HS is reused to obtain the better result.

The rest of the paper is organized as follows. Section 2 describes the basic structure of HS, ELM, and RELM models. In Section 3, analysis of

proposed HS-ELM and HS-RELM models is given. Finally, conclusions are expressed in Section 4.

## 2. PROPOSED MODELS

### 2.1. Harmony Search

Metaheuristics are known as one of the most practical models to solve many complex optimization problems. The practical advantages of these models are their effectiveness and general applicability because many optimization models have failed to be either efficient or effective. Therefore, metaheuristics are generally preferred over other optimization models to find the solutions with many local optima and little inherent structure to guide the search [13]. In this study, we used Harmony Search (HS) to optimize the structure of ELM and RELM. HS is inspired

by the music improvisation process. The major advantages of HS are that it does not need to specify the initial value settings and complex mathematical calculations. Basic steps of HS can be given as follows [14]:

Step 1. Harmony Memory Initialization: A harmony memory matrix (HMM) is generated and initialized. It includes a specified number of solutions that are also known as harmony memory size (*hms*). Each solution (harmony vector,  $I^l$ ) consists of  $m$  integer numbers between 1 to  $N$  that are selected randomly and each of which corresponds to the sequence number of design variables in the design pool, and is displayed in a separate row of the matrix; consequently the size of HMM is  $hms \times m$  (Eq. (1)).

$$HMM = \begin{pmatrix} I_1^1 & I_2^1 & I_3^1 & \dots & I_m^1 & \vdots & \emptyset(I^1) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ I_1^{hms} & I_2^{hms} & I_3^{hms} & \dots & I_m^{hms} & \vdots & \emptyset(I^{hms}) \end{pmatrix} \quad (1)$$

$I_i^j$  is the sequence number of the  $i^{\text{th}}$  design variable in the  $j^{\text{th}}$  randomly selected feasible solution.

Step 2. Harmony Memory Evaluation: In this step, HS model analyzed *hms* solutions whose objective function values are computed. According to each objective function value in ascending order of magnitude, the solutions are sorted in the *HMM*.

Step 3. A New Harmony Improvisation: HS utilizes a stochastic random search instead of a gradient search. Note that stochastic random search is based on harmony memory considering rate (*hmcr*) and the pitch adjusting rate (*par*) so that derivative information is unnecessary [15]. *hmcr*, which is the probability of selecting a component from the harmony memory, is used in improvisation process. For each variable, a random number  $r_i$  is produced between 0 and 1 to execute this probability. According to  $r_i$ , either harmony memory (if  $r_i \leq hmcr$ ) or the entire discrete set (if  $r_i > hmcr$ ) is used to select each design variable for a new harmony ( $I' = I'_1, I'_2, \dots, I'_m$ ) improvisation as given in Eq. (2).

$$I'_i = \begin{cases} I_i \in \{I_i^1, I_i^2, \dots, I_i^h\} & \text{if } r_i \leq hmcr \\ I_i \in \{1, \dots, N\} & \text{if } r_i > hmcr \end{cases} \quad (2)$$

After the *hmcr*, each decision variable is evaluated to decide whether pitch-adjusted or not. At this point, *par* parameter (Eq. 3) is used to carry out this evaluation. *par* can be defined as sampling the variable's one of the neighboring values, obtained by adding or subtracting one from its current value. Note that the value of the variable does not change when it is not activated by *par* (Eq. (3)).

$$I_i^r = \begin{cases} I_i \mp 1 & \text{if } r_i \leq par \\ I_i & \text{if } r_i > par \end{cases} \quad (3)$$

Step 4. Update of Harmony Matrix: The objective function value is used to evaluate the newly generated harmony vector. If this value is better than the objective function value of the worst harmony vector in *HMM*, the existing worst harmony vector is excluded from the *HMM* and the newly generated harmony vector is included in the *HMM*.

Step 5. Termination: Steps 3 to Step 4 are repeated until desired iteration is reached. Finally, the best solution is chosen from the final *HMM*. HS parameter values for proposed models are given in the Table 1.

**Table 1.** HS parameter values

hms	50
hmcr	0.95
par	0.3
Maximum number of iteration	50

Determining the most relevant input variables (technical indicators) is a primary task of stock price prediction models. In addition, some essential modifications are required to provide more accurate prediction. Therefore, we used HS for the selection of the most relevant technical indicators and activation function type in ELM and RELM. Furthermore, HS is used for the determination of number of neurons in hidden layer in ELM and RELM. Apart from these, the number of neurons in the context layer is

determined by HS. In literature, trial and error models are generally used to determine these parameters but this model is very time consuming and error-prone. Therefore, proposed HS-ELM and

HS-RELM provide a new perspective on stock price prediction. The initial feature pool is given in Table 2.

**Table 2.** Initial feature pool

Index	Feature Name	Index	Feature Name
1	Previous Close	23	Close Price Accelerator
2	Previous High	24	Opening Price Momentum
3	Previous Low	25	High Price Momentum
4	Previous Open	26	Low Price Momentum
5	5 Day Simple Moving Average	27	Close Price Momentum
6	6 Day Simple Moving Average	28	Chaikin Volatility
7	10 Day Simple Moving Average	29	K% Stochastic
8	20 Day Simple Moving Average	30	D% Stochastic
9	5 Day Exponential Moving Average	31	Slow K% Stochastic
10	6 Day Exponential Moving Average	32	Slow D% Stochastic
11	10 Day Exponential Moving Average	33	William %R
12	20 Day Exponential Moving Average	34	Relative strength Index
13	5 Day Triangular Moving Average	35	Middle Bollinger Band
14	6 Day Triangular Moving Average	36	Upper Bollinger Band
15	10 Day Triangular Moving Average	37	Lower Bollinger Band
16	20 Day Triangular Moving Average	38	Highest High Value
17	Accumulation Distribution Oscillator	39	Lowest Low Value
18	Closing Price MACD	40	Median Price
19	9 Day Moving average of Close MACD	41	Price Rate of Change
20	Opening Price Accelerator	42	Typical Price
21	High Price Accelerator	43	Weighted Close
22	Low Price Accelerator	44	William's Accumulation/Distribution Line

**Table 3.** The parameter values in proposed hybrid models

	Model type	Activation Function Type	Number of neurons in hidden layer	Number of neurons in the context layer	Index of Selected features				
					15	12	32	18	8
AKSEN	HS-RELM	1	16	17	15	12	32	18	8
	HS-ELM	4	8	-	11	25	6	8	36
DOHOL	HS-RELM	1	21	16	11	33	4	40	37
	HS-ELM	4	16	-	15	7	24	21	2
SISE	HS-RELM	1	21	16	11	33	4	40	37
	HS-ELM	4	16	-	15	7	24	21	2

In HS, the number of input variables is fixed at 5 to receive fast result from HS. Thus, five features are selected from initial feature pool. The optimal activation function is selected from five different types that are sigmoidal (1), sinus (2), hard limit (3), triangular basis (4), radial basis (5). Note that upper bound of neurons in the hidden layer is fixed at 30 for both ELM and RELM models. Also, upper bound of neurons in the context layer is fixed at 25 for RELM. The details of the determined parameters are summarized in Table 3.

**2.2. Extreme Learning Machine**

ELM can be considered a promising learning algorithm for single-hidden layer feedforward neural networks (SLFNs). ELM is a faster learning algorithm compared to other conventional learning algorithms such as backpropagation algorithm. Furthermore, no parameters are needed to be tuned except predefined network architecture [16]. The general structure of an ELM and the algorithm for training this network can be summarized as follows [17]:

For N arbitrary distinct samples  $(x_i, t_i)$ , where  $x_i = [x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}]^T \in \mathbb{R}^n$  and  $t_i = [t_{i1}, t_{i2}, \dots, t_{im}]^T \in \mathbb{R}^m$ , standard SLFNs with  $\tilde{N}$  hidden nodes and activation function  $g(x)$  are mathematically modeled as (Eq. 4):

$$\sum_{i=1}^{\tilde{N}} \beta_i g_i(x_j) = \sum_{i=1}^{\tilde{N}} \beta_i g(w_i x_j + b_i) = o_i, \quad (4)$$

$j = 1, \dots, N$

where  $w_i = [w_{i1}, w_{i2}, \dots, w_{in}]^T$  is the weight vector connecting the  $i^{\text{th}}$  hidden node and the input nodes,  $\beta_i = [\beta_{i1}, \beta_{i2}, \dots, \beta_{im}]^T$  is the weight vector connecting the  $i^{\text{th}}$  hidden node and the output nodes, and  $b_i$  is the threshold of the  $i^{\text{th}}$  hidden node.  $w_i x_j$  denotes the inner product of  $w_i$  and  $x_j$ .

Standard SLFNs with  $\tilde{N}$  hidden nodes and n number of neuron in input layer with activation function  $g(x)$  can approximate these N samples with zero error means that  $\sum_{j=1}^N \|o_j - t_j\| = 0$ .

The above N equations can be written compactly as (Eqs. (5) to (7), respectively):

$$H\beta = T \quad (5)$$

where

$$H(w_1, \dots, w_{\tilde{N}}, b_1, \dots, b_{\tilde{N}}, x_1, \dots, x_N) = \begin{bmatrix} g(w_1 x_1 + b_1) \cdots g(w_{\tilde{N}} x_1 + b_{\tilde{N}}) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ g(w_1 x_N + b_1) \cdots g(w_{\tilde{N}} x_N + b_{\tilde{N}}) \end{bmatrix}_{N \times \tilde{N}} \quad (6)$$

$$\beta = \begin{bmatrix} \beta_1^T \\ \vdots \\ \beta_{\tilde{N}}^T \end{bmatrix}_{\tilde{N} \times m} \quad \text{and} \quad T = \begin{bmatrix} t_1^T \\ \vdots \\ t_N^T \end{bmatrix}_{N \times m} \quad (7)$$

The hidden layer output matrix of the neural network is denoted as H. The  $i^{\text{th}}$  column of H is the  $i^{\text{th}}$  hidden node output with respect to inputs  $x_1, x_2, \dots, x_N$ . T is the output of the neural network as it is obvious from equations. Then, output weight matrix ( $\beta = H^{\dagger}T$ ) is calculated.  $H^{\dagger}$  is the MP generalized inverse of matrix H. Details can be found in [17].



### 2.3. Recurrent Extreme Learning Machine

RELM has been shown a novel training approach for a single hidden layer Jordan recurrent neural network whose output can be defined by [12]:

$$T = \sum_{i=1}^m \beta_i g(\sum_{j=1}^n w_{ij}x_j + \sum_{j=n+1}^{n+r} w_{ij}\delta(t-j+n) + b_i) \dots \dots \dots (8)$$

where  $m$  and  $n$  are the neuron numbers in the hidden and input layers, respectively.  $\delta$  denotes delay,  $t$  shows the instance order,  $r$  is the employed context neuron numbers, which are backward connections from the output layer to the input layer (Eq. 8). Proposed RELM is seen in Figure 2.

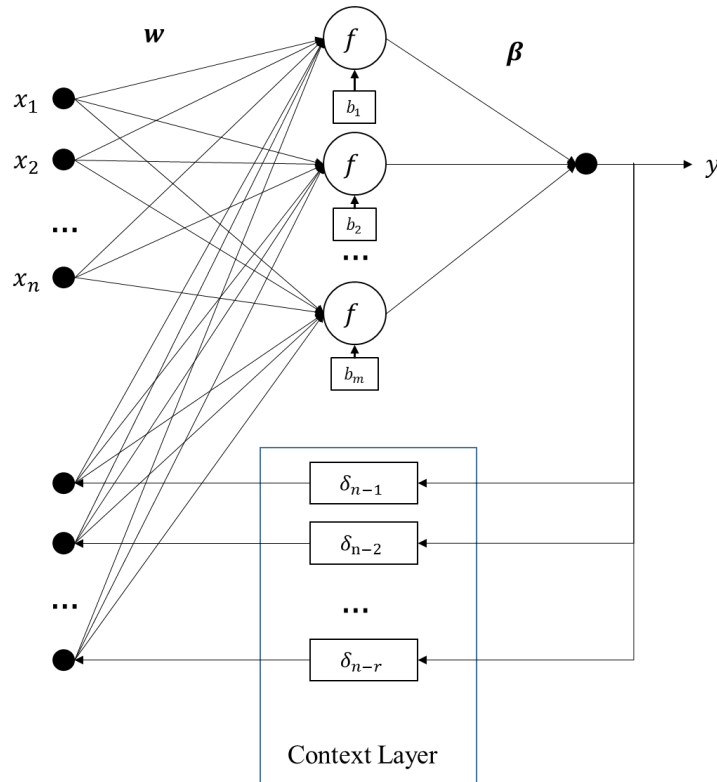


Figure 2. Recurrent extreme learning machine

Context neurons are employed as if they are extra input neurons and hold delayed values of the output. Then, the same learning procedure of ELM is used to determine the output weights. In RELM, the feedbacks are assigned as new inputs with delay and added to the H matrix. Details can be found in [12].

### 3. RESULT AND DISCUSSION

To evaluate the prediction quality and performance of HS-ELM and HS-RELM models, our work is applied to three stocks listed in BIST50 that are

Aksa Energy (AKSEN), Doğan Group of Companies (DOHOL), Şişecam Group (SISE). Training dataset is between 17 April 2013 and 11 September 2015 and there are 1200 observations. Testing dataset is between 14 September 2015 and 30 November 2015 and there are 60 observations.

Five different loss functions namely mean absolute percent error (MAPE), mean absolute error (MAE), mean square error (MSE), root mean square error (RMSE), and Theil's inequality coefficient (TheilU) are utilized to evaluate the performance of HS-ELM and HS-RELM models.

They are calculated as follows (Eqs. 9 to 13 respectively):

$$MAPE = \frac{100}{N} \sum_{t=1}^N \left| \frac{X_t - F_t}{X_t} \right| \quad (9)$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N |X_t - F_t| \quad (10)$$

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N (X_t - F_t)^2 \quad (11)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{t=1}^N (X_t - F_t)^2} \quad (12)$$

$$\text{Theil U} = \frac{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{t=1}^N (X_t - F_t)^2}}{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{t=1}^N (X_t)^2} + \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{t=1}^N (F_t)^2}} \quad (13)$$

**Table 4.** The comparison of proposed models

	Model type	MAPE	MAE	MSE	RMSE	TheilU
AKSEN	HS-RELM	4.1769	0.0024	0.000011	0.0033	0.0287
	HS-ELM	13.5789	0.0076	0.000111	0.0105	0.0896
DOHOL	HS-RELM	0.6262	0.0022	0.00001	0.0031	0.0042
	HS-ELM	14.0359	0.0514	0.003465	0.0588	0.085
SISE	HS-RELM	3.5944	0.0017	0.000004	0.0021	0.0218
	HS-ELM	12.7325	0.0058	0.000049	0.007	0.0724

Note that  $F_t$  is predicted stock price,  $X_t$  is actual stock price and  $N$  is total number of tests. Resulting values of performance measures are given in Table 4. Note that, smaller values of MAPE, MAE, MSE, RMSE, and TheilU show better prediction performance for AKSEN, DOHOL, and SISE. Specifically, the MAPE performance of HS-RELM model in DOHOL shows that the prediction error is 0,6262% that is quite reasonable for such a very complex stock prediction model.

#### 4. CONCLUSION

In recent years, stock price prediction is gaining more attention but no consensus exists among researchers as to which type of model is the best for stock price prediction and it is not obvious how to extend this model under different types of stock market. In literature, researchers generally iterate ELM and RELM models many times until they get a satisfying result. To create a more systematic approach for ELM and RELM models, hybrid models that overcome some critical shortcomings of a single model can be used. In this study, we proposed two hybrid methodologies for selecting the most relevant technical indicators and determining the most suitable structure of ELM

and RELM, simultaneously. Thus, we are concerned with the design of the hybrid ELM and RELM models by providing a more sensitive and comprehensive setting using HS. Furthermore, we aim to unveil the extent to how HS-ELM and HS-RELM have been used to predict the one-day ahead prediction of daily closing price of stocks listed in BIST50 Index. Based on the results, although the prediction performance of HS-RELM model is significantly better than HS-ELM model, both models are highly promising and can be used in stock price prediction.

#### 5. REFERENCES

1. Zahedi, J., Rounaghi, M.M., 2015. Application of Artificial Neural Network Models and Principal Component Analysis Method in Predicting Stock Prices on Tehran Stock Exchange, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 438: 178-187.
2. Majumder, M., Hussian, M.D.A., 2007. Forecasting of Indian Stock Market Index Using Artificial Neural Network, Available at: <https://nseindia.com/content/research/FinalPaper206.pdf>.
3. Wei, L.Y., Cheng, C.H., 2012. A Hybrid Recurrent Neural Networks Model Based on

- Synthesis Features to Forecast the Taiwan Stock Market, *International Journal of Innovative Computing Information and Control*, 8(8): 5559-5571.
4. Zhu, Q.Y., Qin, A.K., Suganthan, P.N., Huang, G.B., 2005. Evolutionary Extreme Learning Machine, *Pattern Recognition*, 38: 1759-1763.
  5. Huang, G., Huang, G.B., Song, S., You, K., 2015. Trends in Extreme Learning Machines: a Review, *Neural Networks*, 61: 32-48.
  6. Bazi, Y., Alajlan, N., Melgani, F., AlHichri, H., Malek, S., Yager, R.R., 2014. Differential Evolution Extreme Learning Machine for the Classification of Hyperspectral Images, *Geoscience and Remote Sensing Letters*, 11: 1066-1070.
  7. Yang, H., Yi, J., Zhao, J., Dong, Z., 2013. Extreme Learning Machine Based Genetic Algorithm and its Application in Power System Economic Dispatch, *Neurocomputing*, 102: 154-162.
  8. Suresh, S., Saraswathi, S., Sundararajan, N., 2010. Performance Enhancement of Extreme Learning Machine for Multi-category Sparse Data Classification Problems, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 23: 1149-1157.
  9. Hegazy, O., Soliman, O.S., Salam, M.A., 2015. FPA-ELM Model for Stock Market Prediction, *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, 5: 1050-1063.
  10. Wang, F., Zhang, Y., Xiao, H., Kuang, L., Lai, Y., 2015. Enhancing Stock Price Prediction With a Hybrid Approach Based Extreme Learning Machine, 2015 IEEE 15th International Conference on Data Mining Workshops, 1568-1575.
  11. Li, X., Xie, H., Wang, R., Cai, Y., Cao, J., Wang, F., Min, H., Deng, X., 2016. Empirical Analysis: Stock Market Prediction Via Extreme Learning Machine, *Neural Computing and Applications*, 27: 67-78.
  12. Ertugrul, Ö.F., 2016. Forecasting Electricity Load by a Novel Recurrent Extreme Learning Machines Approach, *Electrical Power and Energy Systems*, 78: 429-435.
  13. Ólafsson, S., 2006. Metaheuristics, *Handbooks in Operations Research and Management Science*, 13: 633-654.
  14. Saka, M.P., 2009. Optimum Design of Steel Skeleton Structures, In *Music-Inspired Harmony Search Algorithm*, Springer Berlin Heidelberg, 87-112.
  15. Geem, Z.W., 2009. *Music-inspired Harmony Search Algorithm Theory and Applications*, (Zong Woo Geem ed.). Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
  16. Wang, Y., Cao, F., Yuan, Y., 2011. A Study on Effectiveness of Extreme Learning Machine, *Neurocomputing*, 74: 2483-2490.
  17. Huang, G.B, Zhu, Q.Y., Siew, C.K., 2006. *Extreme Learning Machine: Theory and Applications*, *Neurocomputing*, 70: 489-501.



## Yeraltı Krom İşletmesinde Acil Durum Planına Yönelik Bir Uygulama

Ahmet Mahmut KILIÇ<sup>1</sup>, Esmâ KAHRAMAN<sup>\*1</sup>, Mustafa TOSUN<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş Tarihi: 19.08.2016      Kabul Tarihi: 19.10.2016

### Öz

İş sağlığı ve iş güvenliği çalışmalarının amacı, iş kazalarından çalışanları korumak ve daha sağlıklı bir ortamda çalışmalarını sağlamaktır. Bunu sağlamak için riskler önceden öngörülmesi ve değerlendirilmelidir. Ayrıca iş güvenliği uzmanları tarafından acil durum eylem planı hazırlanmalıdır.

Bu çalışmada, Hatay'da bulunan bir yeraltı krom işletmesindeki iş sağlığı ve güvenliği uygulamalarına yer verilmiş olup acil durum planı değerlendirilmiştir. Böylelikle iş kazalarının sayısının düşürülmesi hedeflenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** İş sağlığı, Risk, Yeraltı, Krom, Acil eylem planı

### A Practice on the Emergency Action Plan in the Underground Chrome Operating

#### Abstract

The purpose of the occupational health and safety studies is to protect employees and provide in a healthy work environment. Therefore, risks in the workplace should be foreseen and previously evaluated. In addition to, emergency action plans must be prepared by occupational safety experts.

In this study, occupational health and safety applications have been presented and emergency action plan has been done in a Chrome Mine in Hatay. In this way, it is aimed to reduce the number of job accidents.

**Keywords:** Occupational health, Risk, Underground, Chrome, Emergency action plan

---

\* Sorumlu yazar (Corresponding author): Esmâ KAHRAMAN, [ekahraman@cu.edu.tr](mailto:ekahraman@cu.edu.tr)

## 1. GİRİŞ

İşçi sağlığı ve iş güvenliği günümüzde bir bilim dalı haline gelmiştir. Üretim sürecindeki ve toplum yaşamındaki değişimlere bağlı olarak gelişim göstermektedir. İnsanlığın doğa ile savaşı ile başlayan ve değişik aşamalardan geçen çalışma yaşamındaki gelişmeler, işçi sağlığı ve iş güvenliği sorunlarının da gündeme gelmesine yol açmıştır. Üretim araçlarında ve üretim yöntemlerindeki değişim ve dönüşümler sonucunda çalışanların sağlık ve güvenlik sorunları da çoğalmış ve giderek önem kazanmaya başlamıştır. Tarih boyunca çalışma yaşamındaki gelişmeler, işçi sağlığı ve iş güvenliği konusundaki gelişmelere de kaynaklık etmiştir [1].

Bir işletmede olabilecek iş kazalarının önceden tahmin edilebilmesi ve sonuçlarının oluşturacağı etkilerin büyüklüğü de dikkate alınarak yapılacak iyileştirme faaliyetlerinin öncelik sıralamalarının yapılması gerekir. Risklerin analizi ve değerlendirilmesi iş kazalarının önlenmesi çalışmaları gerçekçi yaklaşımlarla yapıldığında iş güvenliği çalışmaları için iyi bir yol haritası oluşturmaktadır. Oluşturulan risk değerlendirme tabloları bir el kitabı gibi iş güvenliği sorumlularının çalışmalarına ışık tutacaktır. Zira risklerin değerlendirilmesi ve önceliklerinin belirlenmesi sonucu iyileştirme faaliyetlerinde de öncelikli risklere yönelik çalışmalara ağırlık verilmesini sağlayacak belki de ölümlü kazaların önüne geçilebilecektir. Risklerin Değerlendirilmesi; işletme dahilinde tüm faaliyet alanlarını ve ekipman kullanımının sağlık ve güvenlik üzerindeki etkilerinin sistematik olarak incelenmesini içerir [2].

Maden işletmeleri sağlık ve güvenlik açısından çok çeşitli tehlikelerin bulunduğu ortamlardır. Bundan dolayı iş sağlığı ve güvenliği büyük önem teşkil etmektedir. Ayrıca ülkemizde iş kazaları ve meslek hastalıklarının en fazla görüldüğü sektörlerden biridir. İş sağlığı çalışmalarının amacı çalışanların sağlığını korumak güvence altına almaktır. İşçi sağlığı ve iş güvenliği, tehlikelerin önlenmesinin yanı sıra risklerin öngörülmesi, değerlendirilmesi ve bu risklerin tamamen ortadan kaldırılmasını ya da zararların en aza indirmek için yapılacak

çalışmaları kapsar. Madencilik Sektöründe meydana gelen iş kazaları incelendiğinde kazaların büyük çoğunluğunun yeraltı madenlerinde olduğu gözlenmiştir. Dolayısıyla can kayıpları da yeraltı işletmelerinde daha fazladır. İş kazalarını önlemek ve daha sağlıklı bir çalışma ortamı sunmak ancak iş sağlığı ve güvenliğine yeterince önem vermekle mümkündür. Olası riskleri önceden belirlemek ve tehlikeleri ortadan kaldırmak temel prensip haline gelmelidir. Risk analiz değerlendirmesi göz önüne alınarak acil durum eylem planlarının da hazırlanması gerekmektedir. Bu plan acil durumlarda çalışanların ve acil durum görevlilerinin neler yapması gerektiği konusunda yol gösterecektir.

Bu çalışmada; Hatay'da bulunan yeraltı krom işletmesindeki iş sağlığı ve güvenliği uygulamalarına yer verilmiş, olası tehlikeler belirlenmiş ve bu tehlikeler için acil durum eylem planı değerlendirmeleri yapılmıştır.

## 2. İŞLETME HAKKINDA GENEL BİLGİLER

İşletme, Hatay iline bağlı Gülderen Köyünün Kazıklı Yaylasında yer almaktadır. Şehir merkezine yaklaşık 29 km mesafededir. 2012 yılında işletme faaliyetine başlamış ve ortalama 500 ton/ay üretim kapasitesiyle çalışmalarına devam etmektedir. İşletmede kapalı ve açık işletme yöntemleri uygulanmakta fakat çoğunlukla kapalı işletme yöntemi tercih edilmektedir. İşletmede 17 personel üretimde görev almaktadır.

İşletmede katlar arası blok göçertme yöntemi ile cevher üretimi yapılmaktadır. Bu yöntem iki ana aşamayı içermektedir. Bunlardan ilki, hazırlık aşamasıdır. Hazırlık aşamasında cevher bloğuna spiral şeklinde inilen anayol ile taban tavan arasında nakliye hattı oluşturulur. Cevher bloğunda belirlenen ve ekonomik değeri yüksek olan cevher noktalarına bu spiral üzerinden galeriler (tüneller) sürülerek cevherin son noktasına kadar ilerleme yapılır. İlerleme bittikten sonra cevher içerisinde üretim panosu açılarak hazırlık aşaması sonuçlandırılmaktadır.

Hazırlık aşamasının bitmesi sonucunda ana üretim kat arası göçertmeye başlanılır. İkinci aşamada ise sürülen tünellerin belirlenen noktalarından, bir üst kata delinen dik deliklerin patlatılmasıyla üretim gerçekleştirilir. Kazanılan cevher üretim noktalarından belirlenen diğer noktalara yeraltı kamyonlarıyla taşınır. Üretim mekanizasyon gerektiren bir yöntemdir. Delici makine tünel kesitini istenen ölçülerde, istenen eğimle ve istenen açıyla dönüşleri verebilecek şekilde pozisyon alarak delme işlemine başlar ve delme işleminde sonra aynada kontroller yapılır. Bu kontroller ile aynanın patlatmaya elverişli olup olmadığını belirlenmektedir. Eğer ayna patlatmaya elverişliyse patlatma ekibi gelerek patlayıcıları deliklere şarj eder ve daha sonra patlatır. Yatay delik delme işlemi bu şekildedir. Hazırlık aşamasına ait olan yatay delme işlemi sonunda eğer cevher içerisinde ilerleme yapıyorsa cevher belirtilen yerlere taşınır. Pasa içerisinde ilerleme yapıyorsa malzeme döküm sahasına taşınarak alana dökülür. Cevher ya da pasanın nakliyesi tamamlandıktan sonra kazı yapılan alanın güvenliğinin sağlanması gerekmektedir. Bu amaçla bir sonraki aşamada tahkimat işleri yapılır.

### 3. İŞLETMEDE UYGULANACAK ACİL DURUM EYLEM PLANI

Piramit Madencilik Nakliyat Ltd. Şirketinde yürütülen faaliyetler esnasında ortaya çıkabilecek tehlikeler belirlenmiş ve bu tehlikelere göre işletmeye uygun risk değerlendirilmesi yapılmıştır. Yapılan risk değerlendirmenin ışığında işletme için acil durum eylem planları hazırlanmıştır. Hazırlanan acil durum eylem planları ile acil durumlara karşında işletmede bulunan tüm çalışanlar, iş veren ve misafirlerin nelere dikkat etmesi gerektiği belirlenmiştir. Böylelikle iş yerinde acil durum anında çalışanların güvenli bir şekilde hareket edilmesini sağlamak, iş güvenliği açısından çalışanların çalışma koşullarını güvenli hale getirmek, hayati önem arz eden tehlike ve riskleri bertaraf ederek ortadan kaldırmak ve gerekli tatbikatların yapılarak çalışanları acil durumlara hazır hale getirmek amaçlanmıştır. Hazırlanan acil durum eylem planı Piramit Madencilik Nakliyat Ltd. Şirketinde çalışan tüm

personeli, işyerine iş yapan alt işverenleri, geçici ve/veya daimi personelini, işyerine ait tesis, mal ve malzemeleri kapsamaktadır.

#### 3.1. Çalışma Sahası İçinde Olabilecek Tehlikeler

Şirkette mekanik, kimyasal, elektrik ve bütün bunların yanı sıra, hatalı veya eksik planlama ve projelendirmeden kaynaklanabilecek tehlikeler bulunmaktadır. İşletmede mevcut durumdaki tehlikeler aşağıda maddeler halinde açıklanmıştır.

Mekanik tehlikeler:

- Pürüzlü, engebeli veya kaygan zeminler
- Hareketli araç ve makineler
- Hareketli makine parçaları
- Keskin, yüzeyi çıkıntılı malzeme ve parçalar
- Sıcak ve soğuk yüzeyli malzeme ve parçalar
- Yüksekte çalışma ve tırmanma noktaları
- El aletleri
- Yüksek basınç (basıncı kap veya hatları)
- Sabit ve seyyar merdivenler
- Uygun olmayan korkuluklar
- Yük ve personel asansörleri

Kimyasal tehlikeler:

- Sıvılar
- Gazlar (yakıcı, yanıcı, boğucu)
- Katılar
- Tozlar
- Metaller (sis, duman, buhar)

Elektriksel tehlikeler:

- Elektrik tesisatı, (yangın)
- Elektrikli araç ve aletler (elektrik çarpması)
- Statik elektrik (parlama, patlama, çarpılma)

Hatalı veya eksik planlama ve projelendirmeden kaynaklanabilecek tehlikeler:

- Elle veya araçla taşımının artması
- Yıkıp yeniden yapmak zorunda kalınması

### 3.2. İş Yerinin Bulunduğu Bölgeden Kaynaklanabilecek Tehlikeler

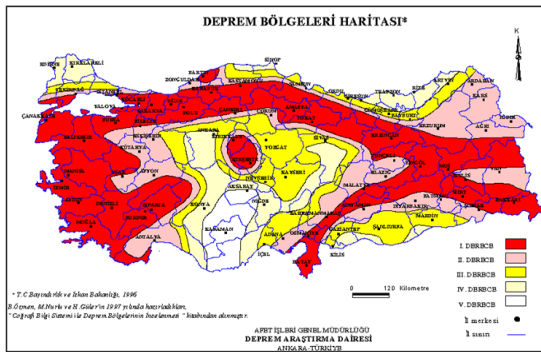
İşletmenin coğrafik konumundan kaynaklı birtakım tehlikeler söz konusudur. Bu tehlikelere ait bilgiler Çizelge 1’de verilmektedir.

**Çizelge 1.** Konumdan kaynaklanan tehlike türleri

Heyelan	Var
Sel Baskını	Va
Çığ Düşmesi	Var
Göçük	Var
Deprem	İhtimal var
Çevreden gelecek yangın	İhtimal var
Meteorolojik şartlar (fırtına v.b.)	Var
Yıldırım düşmesi	İhtimal var
Sabotaj	İhtimal var
Hava ulaşım koridoru altında mı?	İhtimal var

#### 3.2.1. Tesisin Bulunduğu Deprem Bölgesi

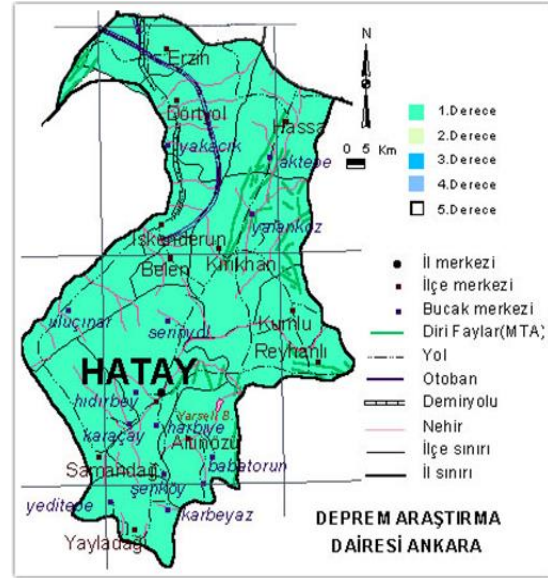
Türkiye deprem bölgeleri haritasına göre 5 farklı deprem bölgesi bulunmakta Türkiye deprem bölgeleri haritası ise Şekil 1’de verilmiştir. Madencilik Şirketinin bulunduğu bölge TC Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından hazırlanan Türkiye deprem bölgeleri haritasına göre proje alanı I. derece deprem bölgesi içerisinde kalmaktadır (Şekil 2).



**Şekil 1.** Derecelerine göre deprem bölgesi haritası

1. Dereceden Deprem Kuşağı: Tektonik çukurluklar ve aktif kırık hatları yakınındaki alanlardır.

2. Deprem Kuşağı: Depremler birinci derece deprem kuşağındakine oranla daha az zarar verdiği alanlardır.
3. Dereceden Deprem Kuşağı: Sarsıntılarının az zararlı geçtiği alanlardır.
4. Dereceden Deprem Kuşağı: Sarsıntılarının çok az zararlı ya da zararsız geçtiği alanlardır.
5. Dereceden Deprem Kuşağı: Sarsıntılarının çok az olduğu ya da hiç hissedilmediği alanlardır.



**Şekil 2.** Tesisin bulunduğu deprem bölgesi

#### 3.2.2. Sel, Sis, Kar

Herhangi bir taşkın ve sel durumunda işletmeyi de etkileyebilecek potansiyeli olan Türkiye sel ve taşkın yaşanabilecek bölgeler haritası Şekil 3’de verilmektedir. Hatay’da sel tehlikesi olabilecek bölgelerdendir.



**Şekil 3.** Sel-taşkın yaşanabilecek bölgeler haritası



### 3.3. Acil Eylem Gerektiren Haller ve Uygulanacak Acil Durum Planları

Yeraltı krom işletmesinde acil durum gerektiren haller belirlenmiş ve bu haller anında işverenin, işveren vekilinin, çalışanların, acil durum ekibinin ve misafirlerin yapması gerekli tüm önlemler

belirlenerek talimat haline getirilmiştir. İşletmede acil durum halleri olan deprem, gaz sızıntısı, yangın, sabotaj, sel ve patlama anında yapılması gerekenler acil durum eylem planları ile belirlenmiştir (Çizelge 2-7). Ayrıca acil durum ekiplerinin görev tanımları da belirlenmiştir.

**Çizelge 2.** Deprem anında yapılması gerekli acil durum eylem planı

DEPREM				
DEPREM	İşveren İşveren vekili	Acil durum sireni çaldırır. Bölgeye ait acil çıkıştan çıkarak acil toplanma alanına gider. Önceden belirlenmiş yaşam üçgenine sığınır.	Deprem bittikten sonra gerek varsa ve olanaklı ise itfaiye, polis, ilkyardım ve acil tıbbi yardım ekiplerine AKUT, Sivil Savunma'ya haber verir.	Deprem Sonrası: Yangın sızıntı vb kontrolleri yapar.
	Görevli Eğitilmiş çalışan	İşyerinin elektrik, doğal gaz ve suyunu kapsar.	Bölgeye ait acil çıkıştan çıkarak acil durum toplanma alanına gider. Önceden belirlenmiş yaşam üçgenine sığınır.	Deprem Sonrası: Elektrik, doğal gaz gibi hatları sağlamlık ve kaçak kontrolü yapar.
	Diğer çalışan ve misafirler	Deprem bitse de asansörü, deprem bitene kadar ise merdivenleri kullanmazlar.		
	Acil Durum Ekibi	Acil durum ekipleri ihtiyaç durumunda görev tanımlarına uygun hareket ederler.		

**Çizelge 3.** Gaz kaçağı sızıntısı anında yapılması gereken acil durum eylem planı

GAZ KAÇAĞI SIZINTISI				
GAZ KAÇAĞI SIZINTISI	Sızıntıyı farkeden ilk kişi	Paniğe kapılmaz. İşveren, çalışan ve hastalara yüksek sesle gaz kaçağı sızıntısını bildirir.		
	İşveren İşveren vekili	Doğalgazı ana vanadan ve ya gaz sızıntısının bulunduğu hattın vanasından kapatır	Güvenlik görevlisine haber verir. Bina dışından bir telefonla uzman firmaya ve doğalgaz arızaya haber verir. Doğal gaz arıza telefon: 187	
	Görevli Eğitilmiş çalışan	Sızıntı bölgesini inceler. Elektriği/doğalgazı, sızıntı yakınında bulunan kıvılcım çıkaracak araçları kapatır.	Eğitimi doğrultusunda talimatlara uygun müdahale eder	
	Diğer çalışanlar Misafirler	Hiç kimse elektrik düğmelerini, elektrikli cihaz ve ekipmanları asansör, kapı zili ve telefonları kullanmaz. Sigara içilmez	Bölgeye ait acil çıkıştan çıkarak acil durum toplanma alanına giderler.	Durumun devam etmesi halinde özel görevlendirilenler dışında çalışanlar işlerine devam etmez
	Acil Durum Ekibi	Acil durum ekipleri ihtiyaç durumunda görev tanımları doğrultusunda hareket eder.		

**Çizelge 4.** Yangın durumunda yapılması gerekli acil durum eylem planı

YANGIN				
YANGIN	Yangını gören ilk kişi	Paniğe kapılmaz. İşveren ve çalışanlara yüksek sesle yangını ve yerini bildirir.		Bulunduğu bölgeye ait acil çıkıştan çıkarak acil durum toplanma alanına gider.
	İşveren/İşveren vekili	Acil durum sirenini çaldırır. Güvenlik görevlisine ve. Yangınla mücadele kuruluşları ile irtibata geçer.	Gerekliyorsa itfaiyeye, ilkyardım, acil tıbbi yardım ekiplerine haber verir. İtfaiye No: 110	Bulunduğu bölgeye ait acil çıkıştan çıkarak acil durum toplanma alanına gider.
	Görevli/Eğitimli çalışan	Kendini tehlikeye atmadan en yakın yangın tüpünü alarak yangına müdahale eder. İşyerinin elektriğini/doğalgazını keser. İşyerindeki makine, ekipman, alet ve cihazları kapatır. Kimyasalların güvenliğini sağlar. Gerekirse itfaiyeye haber verir. İşverenle irtibatta olur.		Bulunduğu bölgeye ait acil çıkıştan çıkarak acil durum toplanma alanına gider.
	Güvenlik görevlisi	Yangını haber alınca talimatlar doğrultusunda kapıları ve acil çıkış yollarını açık tutar.		
	Diğer çalışanlar/ Misafirler	Asansörü acil çıkış olarak kullanmazlar.	Durumun devam etmesi halinde gerekli donanıma sahip ve özel olarak görevlendirilenler dışındaki çalışanlar işlerine devam etmezler. acil çıkıştan çıkarak acil durum toplanma alanına gider.	
	Acil Durum Ekibi	Acil durum ekipleri ihtiyaç durumunda görev tanımları doğrultusunda hareket ederler.		

**Çizelge 5.** Sabotaj anında yapılması gerekli acil durum eylem planı

SABOTAJ				
SABOTAJ	Sabotajı fark eden ilk kişi	Paniğe kapılmaz. İşveren, çalışan ve hastalara haber verir		Bulunduğu bölgeye ait acil çıkıştan çıkar, acil durum toplanma alanına gider
	İşveren/İşveren vekili	Acil durum sirenini çaldırır. Güvenlik görevlisi, itfaiye, polis, ilkyardım ve acil tıbbi yardım ekiplerine haber verir. Haber verir. Polis İmdat telefon: 155		Bulunduğu bölgeye ait acil çıkıştan çıkarak, acil durum toplanma alanına gider
	Görevli/Eğitimli Çalışan	Acil durum sirenini çaldırır. İşyerinin elektrik, su, doğalgazını keser.	Makine, ekipman, alet ve cihazları kapatır. Kimyasalların güvenliğini sağlar	Bulunduğu bölgeye ait acil çıkıştan çıkar acil durum toplanma alanına gider.
	İşyerinde bulunan diğer çalışan/Misafirler	Kişi ya da kişilere yaklaşmaz, müdahale etmezler. Emniyetli bir alana geçerler. Seyirci olmazlar		Gerekli donanıma sahip ve özel olarak görevlendirilenler dışındaki çalışanlar işlerine devam etmezler.
	Güvenlik görevlisi	Sabotajı haber alınca talimatlar doğrultusunda kapıları ve acil çıkış yollarını açık tutarlar		
	Acil Durum Ekibi	Acil durum ekipleri ihtiyaç durumunda görev tanımları doğrultusunda hareket ederler		

**Çizelge 6.** Sel anında yapılması gerekli acil durum eylem planı

SEL				
SEL	İşveren/İşveren vekili	Acil durum sireniyi çaldırır.	Belediye, itfaiye, ilkyardım ekiplerine haber verir. Gerekliyse polisi yada jandarmayı arar.	Bulunduğu bölgeye ait acil çıkıştan çıkar acil durum toplanma alanına gider.
	Görevli/Eğitilmiş Çalışan	Acil durum sireniyi çaldırır. İşyerinin doğalgaz ve elektriğini keser. Makine, ekipman ve cihazları kapar.	Bulunduğu bölgeye ait acil çıkıştan çıkarak, acil durum toplanma alanına gider	
	İşyerinde bulunan diğer çalışan/Misafir	Makine ve ekipmanları, alet ve cihazları kapatırlar Kimyasalların güvenliğini sağlarlar.	Bulunduğu bölgeye ait acil çıkıştan çıkarak, acil durum toplanma alanına gider	Gerekli donanıma sahip görevliler dışındaki çalışanlar işlerine devam etmezler.
	Acil Durum Ekibi	Acil durum ekipleri ihtiyaç durumunda görev tanımları doğrultusunda hareket eder.		

**Çizelge 7.** Patlama anında yapılacak acil durum eylem planı

PATLAMA				
PATLAMA	İşveren/İşveren vekili	Acil durum sireniyi çaldırır	Şantiye şefi/ Saha mühendisi/Güvenlik görevlisini uyarır.	Bulunduğu bölgeye ait acil çıkıştan çıkarak acil durum toplanma alanına gider.
	Görevli/Eğitilmiş Çalışan	İşyerinin elektrik, doğalgaz ve suyunu keser. Makine ve ekipmanları, alet ve cihazları kapatır. Kimyasalların güvenliğini sağlar	Gerekli önlemleri alarak patlama bölgesine gider. Gerekliyse itfaiye, polis ve ilkyardım ekibine haber verir.	Bulunduğu bölgeye ait acil çıkıştan çıkarak acil durum toplanma alanına gider.
	İşyerinde bulunan diğer çalışan/Misafir	Buldukları yerdeki makine, ekipman, alet ve cihazlarını kapatır. Gerekli donanıma sahip ve özel olarak görevlendirilenler dışındaki çalışanlar işlerine devam etmezler		Bulunduğu bölgeye ait acil çıkıştan çıkarak acil durum toplanma alanına gider
	Güvenlik görevlisi	Gerekli önlemleri alarak talimatlar doğrultusunda kapıların ve acil çıkış yollarının açık olmasını sağlarlar	Bulunduğu bölgeye ait acil çıkıştan çıkarak acil durum toplanma alanına gider.	
	Acil Durum Ekibi	Acil durum ekipleri ihtiyaç durumunda görev tanımları doğrultusunda hareket ederler.		

### 3.4. Acil Durum Ekiplerinin Görevleri

#### 3.4.1. Acil Durum Yönetim Ekibinin Görevleri

Acil durum eylem planları hazırlanırken acil durum yönetim ekibinin görevleri de açık bir şekilde belirtilmelidir.

Bu görevler aşağıda özetlenmiştir.

- Acil durumlarda personel ve malzeme yönetiminden sorumludur.
- Acil durum planlarını uygulamaya koyar. İç ve dış iletişimleri sağlar ve koordine eder
- Acil durumun sona erdirilmesi veya personelin tahliyesine kadar bütün kararları alır.
- İş yerinde acil durum gerektiren riskler, işletme içerisinde pano ve basınçlı kapların bulunduğu yerlerde olası yangın, patlama ve deprem ihtimaline karşı acil eylem ekiplerinin eğitilmesi ve ekiplere bilgilendirmeden daha çok davranış değişikliği kazandırmaya yönelik uygulamaların yaptırılmasını sağlar.
- İş yerinde yapılan acil durum tatbikat ve deneme sonuçları ile teknolojik gelişmeleri de dikkate alarak acil durum planlarının gözden geçirilmesini, güncellemesi ve iyileştirilmesi yönünde çalışmalar yapar.
- İş yerinde herhangi bir olayın olmasını beklemeksizin iş yerinin özelliğine ve olabilecek tehlikenin büyüklüğüne göre belirlenen sıklıkta acil durum tatbikat ve deneme çalışmalarını yaptırmalı, aksayan yönler belirlenerek yeni önlemler olarak iyileştirme çalışmaları yapmalıdır.

#### 3.4.2. Acil Eylem Ekiplerinin Görevleri

Acil durum eylem ekipleri; yangın söndürme ekibi, kurtarma ekibi, ilk yardım ekibi ve güvenlik ekibi olarak ayrılmaktadır ve tüm ekiplerin görevleri belirlenmiştir.

Yangın söndürme ekibinin yapacağı işler:

- Yangına bulunduğu yere en yakın ve yangının cinsine göre en uygun söndürme cihazıyla rüzgarı da arkaya alarak müdahale eder ve

hakim rüzgar yönüne göre yangının genişleme yönünü belirler

- Yangına neden olan kaynak (gaz, akaryakıt vb) saptanır ve buna göre de söndürme çalışması yapılır.
- Kapalı alan yangınlarında gazlar öldürücüdür, yetkisiz ve donanımsız personel yangın alanı dışına çıkartır.
- Yangının yayılmasını önlemek için havalandırmaları kapatır.
- Yangınla mücadeleyi canını tehlikeye atmadan yangın sönene kadar devam ettirir.

Kurtarma ekibinin yapacağı işler:

- Kurtarma ekibi yangın, patlama, gaz kaçağı gibi acil durumun meydana geldiği yerde öncelikle canlı varlıkları kurtaracaktır. Kurtarılan yaralıyı ilk yardım ekibine teslim edecektir.
- Yangının kontrol altına alınması ve söndürme bilinmesi için gerekli görülen bütün ünitelerdeki çalışmaların durdurulmasını ve elemanlarının tahliye edilmesini sağlar.
- Eşya kurtarmada önce yanıcı, parlayıcı, patlayıcı ve önemli evrakları yanan yerden uzaklaştırıp bu eşyaları koruma ekibine teslim edecektir.
- Acil durum toplanma noktasında tespit edilen kayıp personel var ise arama çalışmalarını yapar.

İlk yardım ekibinin yapacağı işler:

- Yangın, patlama, gaz kaçağı gibi acil durumun ortaya çıktığı bilgisini alan ilk yardım ekibi ilk yardım malzemelerini alarak acil durum toplanma noktasına giderek toplanma noktasında yardıma ihtiyacı olan kişilere ilk yardım müdahalesini yapar.
- Yaralıların durumu (yaralı sayısı, yaralanma sebebi, travma tanımı vb..) ve yaralıların isimlerini not ederek en yakın hastaneyi veya acil servisi arar ve yaralıların durumlarını bildirir.
- Ekip üyelerinden müsait olanı arama kurtarma ekibine katılır.
- Gıda zehirlenmelerinde hasta kusturulur. Ancak alınan madde asit, alkali veya gazyağı

içmiş olanlar ile bilinci kapalı olanlar kesinlikle kusturulmamalıdır. Zehirlenmeye yol açan madde giysiler üzerinde veya kişinin vücuduna bulaşmışsa elbiseler çıkarılmalı ve hastanın vücudu yıkanmalıdır. Ortamda zehirli gaz varsa hasta mutlaka açık havaya çıkarılmalıdır. Hasta sağlık kuruluşuna gönderilirken zehirlenmeye yol açtığından kuşkulanan maddeye ilişkin bilgiler varsa (ilaç kutusu, yiyecek artığı vs.) Bunlarda hasta ile birlikte gönderilmelidir.

## 5. KAYNAKLAR

1. Fişek, A.G., 1999. İşçi Sağlığı İş Güvenliğinde Güncel Değerlendirme, Çalışma Ortamı Dergisi, Sayı 44, Ankara.
2. Tosun, M., 2015. Piramit Maden Hatay Krom İşletmesindeki İş Güvenliği Uygulamaları, Risk Değerlendirmesi ve Acil Durum Planları, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, s.170, Adana.

Koruma (Güvenlik) ekibinin yapacağı işler:

- Özellikle kapalı alanlarda çıkacak yangınlar sonucunda ortaya çıkacak gazlar öldürücü olduğundan bu bölümlerde çalışan yetkisiz ve donanımsız personeli yangın alanından uzaklaştırır.
- Yangın, patlama, gaz kaçağı gibi acil durumun meydana geldiği alanlara görevlilerden başka birilerinin girmesine engel olur.
- Olay bölgesinin ve iş yerinin güvenliğini sağlar.
- Yangın yerinden kurtarılan malzeme ve eşyaları korur.
- Bütün bu işleri yaparken bir yandan da yangının etrafa yayılıp yayılmadığını kontrol eder. Şayet yayılma var ise itfaiyeye bildirir.

## 4. SONUÇLAR

İş kazalarında ve acil durumlarda meydana gelen can ve mal kayıplarının pek çoğu insanlardaki telaş ve ne yapacağını bilememeyle kaynaklanmaktadır. İşletme için yapılan acil durum eylem planında; çalışanların, iş verenin ve diğer görevlilerin görev dağılımları açıkça belirtildiği için herhangi bir kaza veya acil durum anında kargaşaya meydan vermeden gerekenlerin yapılmasını hedeflemiştir. Böylelikle olaylara müdahale kolaylaşacaktır. Hazırlanan acil durum eylem planında yapılacaklar konusunda tüm çalışmalar ve acil durum ekipleri gerekli eğitimler aldığı takdirde can ve mal kaybı olmadan acil durum ortadan kaldırılabilir.



## Experimental Investigation of Scour Hole Geometry around Circular Bridge Piers

Ayşegül ÖZGENÇ AKSOY\*<sup>1</sup>, Mustafa DOĞAN<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir

Geliş tarihi: 19.07.2016

Kabul tarihi: 17.09.2016

### Abstract

Failure of the bridges due to local scour around their piers can cause serious life losses and property damages and create significant environmental problems. In this experimental study, scour hole geometry around circular bridge piers were investigated. The experiments were carried out in a rectangular flume 80 cm wide, 18.6 m long and 75 cm high by using uniform sediment with a median diameter of 3.47 mm and geometric standard deviation of 1.39. The experiments were performed under steady state flow conditions, with four different constant discharges.

**Keywords:** Bridge pier, Clear-water scour

### Dairesel Köprü Ayakları Etrafındaki Oyulma Çukuru Geometrisinin Deneysel Araştırılması

### Öz

Köprü ayakları etrafındaki yerel oyulmalara bağlı oluşan sorunlar, köprülerin zarar görmesine ve buna bağlı ciddi çevresel etkilere sebep olmakta ve hatta can kayıpları yaşanabilmektedir. Sunulan bu deneysel çalışmada dairesel köprü ayakları etrafında oluşan oyulma çukuru geometrisi incelenmiştir. Deneysel çalışmalar 80 cm genişlikli, 18,6 m uzunluklu ve 75 cm yükseklikli dikdörtgen kesitli bir kanalda, dane medyan çapı 3,47 mm ve geometrik standart sapması 1,39 olan üniform taban malzemesi ile gerçekleştirilmiştir. Dört farklı debi değeri ile kararlı akım şartlarında deneyler tamamlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Köprü ayağı, Temiz-su oyulması

\* Sorumlu yazar (Corresponding author): Ayşegül ÖZGENÇ AKSOY, [aysegul.ozgenc@deu.edu.tr](mailto:aysegul.ozgenc@deu.edu.tr)

## 1. INTRODUCTION

Local scours around bridge piers influence their stabilities and can cause their failure. Therefore the estimation of the maximum possible scour depth around bridge piers is an important step in the design of the bridge pier foundations. It has been estimated that 60% of all bridge failures result from scour and other hydraulic related causes [1].

Flow parameters, bed material characteristics, pier geometry and time are affected the local scour process. Up to now various experimental researches have been carried out to understand the scour process [2-13].

In this study, the geometries of the scour holes obtained after each experiment were presented. The results can be helpful for future studies to estimate scour hole geometries.

## 2. EXPERIMENTAL SETUP AND EXPERIMENTAL RESULTS

The experiments were carried out in a rectangular flume 80 cm wide, 18.6 m long and 75 cm deep. Uniform granular sediment with median diameter  $d_{50}$  of 3.47 mm and geometric standard deviation of 1.39 was used in the flume. The experiments were performed under steady state flow conditions, with four different constant discharges by using 8 cm. The flow rates and approach flow depths were measured by using electromagnetic flow meter and ultrasonic level sensors, respectively. The slope of the flume was 0.6%. The experimental set-up is given in Figure 1.



Figure 1. Experimental set-up

The bridge piers were located at 11.5 m from the upstream end of the flume as shown in Figure 2.



Figure 2. The location of the bridge pier

The experiments were carried out using four different steady flow rates of 49 l/s, 55 l/s, 59 l/s, 65 l/s. The features of each experiment approach flow depth  $y$ , flow rate  $Q$  and flow intensity  $V/V_c$  is given in Table 1.

The critical velocity  $V_c$  was determined from the equation given below [14].

$$\frac{V}{u_{*c}} = 5.75 \log \left( 5.53 \frac{y}{d_{50}} \right) \quad (1)$$

where  $u_{*c}$  is the critical shear velocity which can be calculated using the following relationship [6]:

$$u_{*c} = 0.0115 + 0.0125 d_{50}^{1.4} \quad (2)$$

for  $0.1 \text{ mm} < d_{50} < 1 \text{ mm}$

$$u_{*c} = 0.0305 d_{50}^{0.5} - 0.0065 d_{50}^{-1} \quad (3)$$

for  $1 \text{ mm} < d_{50} < 100 \text{ mm}$

In these relationships  $u_{*c}$  is in m/s and sediment size  $d_{50}$  is in mm.

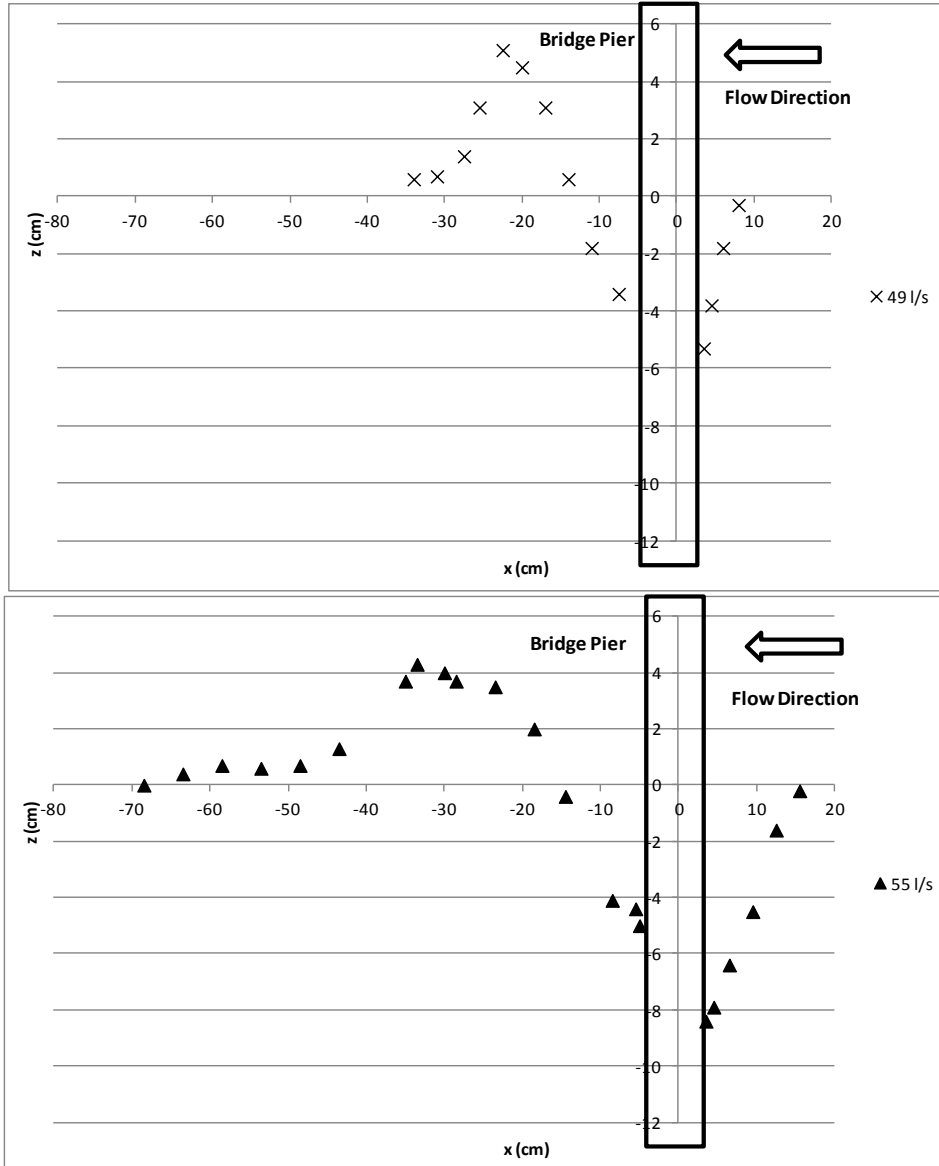


**Table 1.** The details of the experiments

Exp. Ref.	D (cm)	Q (l/s)	y (cm)	V/V <sub>c</sub>
1	8	49	21.0	0.37
2	8	55	21.9	0.39
3	8	59	22.8	0.40
4	8	65	23.3	0.43

The scour holes measured after each experiment along the centerline of the flume are shown in Figure 3.

The maximum scour depth  $d_s$  and the maximum length  $L_s$  measured after each experiment are given in Table 2.



**Figure 3.** Measured scour hole along the centre line of the flume length for Q=49 l/s, Q=55 l/s, Q=59 l/s, Q= 65 l/s

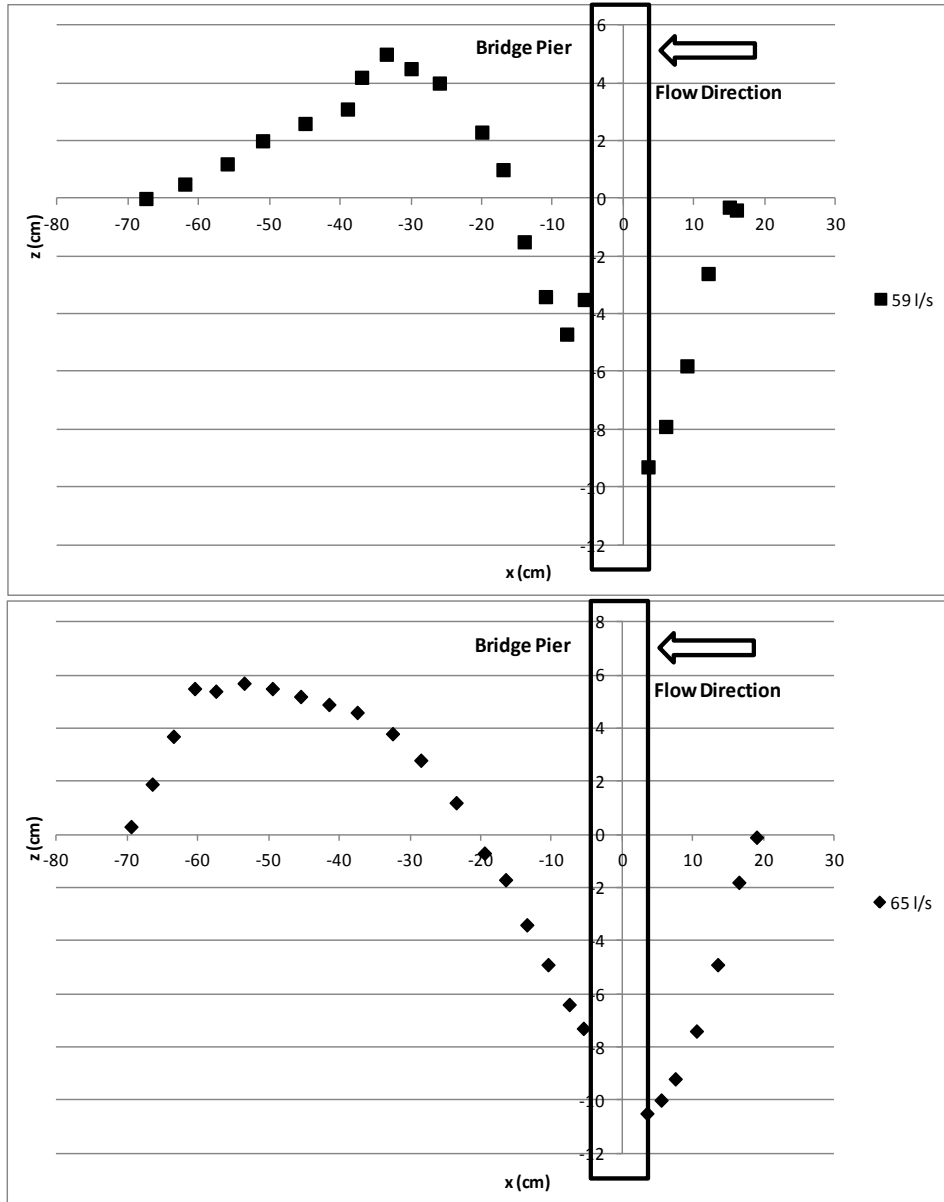


Figure 3. Continue

Table 2. The experimental results

Exp.Ref.	$D$ (cm)	$d_s$ (l/s)	$L_s$ (cm)
1	8	5.3	20.0
2	8	8.4	30.5
3	8	9.3	32.0
4	8	10.5	39.0

The experimental results showed the following:

- Scour depth increased with flow velocity.
- The length of the deposit downstream of the pier and the length of the scour hole increased with flow velocity.

### 3. CONCLUSION

In this study the local scour around circular bridge piers was investigated experimentally. According to the experimental results, the scour depth increases with increasing flow velocity. It was observed that the length of the deposition downstream of the pier and the length of the scour hole also increase with flow velocity.

### 4. REFERENCES

1. Landers, M.N., 1992. Bridge Scour Data Management, In: ASCE, Hydraulic Engineering: Saving a Threatened Resource-in Search of Solutions, Proceedings, Hydraulic Engineering Sessions at Water Forum '92, 2-6 August, Baltimore, Maryland.
2. Laursen, E.M., 1958. Scour at Bridge Crossings, Bull. No.8, Iowa Hwy. Res. Board, Ames, Iowa.
3. Breusers, H.N.C., Nicollet, G., Shen, H.W., 1977. Local Scour Around Cylindrical Piers, Journal of Hydraulic Resources, 15(3): 211-252.
4. Gunyaktı, A., 1988. Köprü Ayakları Etrafında Oyulma Derinliğinin Grafik Yöntemle Tayini, Mühendislik ve Çevre Bilimleri Dergisi, TÜBİTAK, 12(1): 96-108.
5. Yanmaz, A.M., 1989. Time Dependent Analysis of Clear Water Scour Around Bridge Piers, Thesis Presented to Middle East Technical Univ., Ankara, Turkey, in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Doctor of Philosophy.
6. Melville, B.W., 1997. Pier and Abutment Scour: Integrated Approach, Journal of Hydraulic Engineering, 123(2): 125-136.
7. Richardson, E.V., Davis, S.R., 2001. Evaluating Scour at Bridges-Fourth Edition, Hydraulic Engineering Circular No.18, Federal Highway Administration Publication No. FHWA-NHI 01-001, Washington, DC, p. 376.
8. Oliveto, G., Hager, W.H., 2002. Temporal Evolution of Clear-water Pier and Abutment Scour, Journal of Hydraulic Engineering, 128(9): 811-820.
9. Mia, F., Nago, H., 2003. Design Method of Time-Dependent Local Scour at Circular Bridge Pier, Journal of Hydraulic Engineering, 129 (6): 420-427.
10. Chang, W.Y., Lai J.S., Yen, C.L., 2004. Evolution of Scour Depth at Circular Bridge Piers, Journal of Hydraulic Engineering, 130(9): 905-913.
11. Sheppard, D.M., Odeh, M., Glasser, T., 2004. Large Scale Clearwater Local Pier Scour Experiments, Journal of Hydraulic Engineering, 130(10): 957-963.
12. Kothyari U.C., Hager, W.H., Oliveto, G., 2007. Generalized Approach for Clear-water Scour at Bridge Foundation Elements, Journal of Hydraulic Engineering, 133(11): 1229-1240.
13. Sheppard, D.M., Demir, H., Melville, B., 2011. Scour at Wide Piers and Long Skewed Piers, National Cooperative Highway Research Program Rep. 682, Transportation Research Board, Washington, DC.
14. Melville, B.W., Sutherland, A.J., 1988. Design Method for Local Scour at Bridge Piers, Journal of Hydraulic Engineering, 114(10): 1210-1226.



## Altıgen Delikli Silindirin Geçirgenlik Oranının Silindir Arkasındaki Akış Bölgesine Etkisi

Mustafa Atakan AKAR<sup>\*1</sup>, Oğuz BAŞ<sup>1</sup>, Mehmet KÜÇÜK<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü, Adana

<sup>2</sup>Mersin Üniversitesi, Tarsus Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü, Mersin,

Geliş tarihi: 29.08.2016

Kabul tarihi: 11.10.2016

### Öz

Daha önce yapılan çalışmalarda dairesel silindir arkasındaki daimi olmayan akış yapısı, silindirin etrafına farklı geometri, çap ve geçirgenlik oranlarına sahip delikli dış silindirler yerleştirilerek kontrol edilmeye çalışılmıştır. Bu çalışmada ise, dairesel silindirin kendisi üzerinde açılan,  $d=10$  mm çapında, altıgen deliklerin silindir arkasında meydana gelen akışın özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Deliksiz geçirgen olmayan bir silindir ve geçirgenlik oranları  $\beta=0,2, 0,3, 0,4, 0,5, 0,6, 0,7$  olmak üzere toplam 6 farklı delikli geçirgen silindirlerin arkasında oluşan akış yapısı Parçacık Görüntülü Hız Ölçümü (PIV) yöntemi ile incelenmiştir. Silindirlerin herbirinin çapı  $D=100$  mm ve bu çapa bağlı Reynolds sayısı  $Re_D=10000$ 'dir. Deneylerde su yüksekliği  $hw=400$  mm olarak sabit tutulmuş ve akış görüntüleri  $h_L=200$  mm yükseklikteki orta düzlemde alınmıştır.  $D=100$  mm çaplı deliksiz silindir ile kıyaslandığında delikli silindirlerdeki deliklerden çıkan jet akışının daimi olmayan akış yapısına olumlu etkisi açık şekilde görülmektedir. Reynolds gerilmelerinde geçirgenlik oranının artışıyla birlikte düşüş gözlemlenmiştir. Hız alanları içinde Ancak  $\beta \geq 0,6$  oranından itibaren deliklerden çıkan jet akışının etkisi azalmaktadır. Akış kontrolünde dairesel silindir üzerinde açılan altıgen delikler için  $\beta=0,6$  geçirgenlik oranının en etkili oran olduğu gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Akış kontrolü, Pasif kontrol, PIV, Girdap kontrolü, Silindir

### The Effect of Hexagonal Perforated Cylinder Porosity on Flow Region Formed Behind the Cylinder

#### Abstract

In previous studies, unsteady flow structure formed behind the circular cylinder was tried to control by outer perforated cylinder with various inner/outer cylinders diameter ratio ( $D_i/D_o$ ) and porosity ratios ( $\beta$ ). In this study, perforation was applied directly on the cylinder (without any outer cylinder) and effect of this process on flow downstream of the cylinder body was investigated. Flow structure formed downstream of a nonpermeable cylinder and six different permeable ( $\beta=0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7$ ) cylinders was studied via Particle Image Velocimetry (PIV) technique. Diameter of each cylinder was  $D=100$  mm and Reynolds Number was  $Re_D=10000$  based on these diameters. During all experiments,

\* Sorumlu yazar (Corresponding author): Mustafa Atakan AKAR, [aakar@cu.edu.tr](mailto:aakar@cu.edu.tr)

water height was kept constant at  $h_w=400$  depth and image capturing was conducted at  $h_L=200$  mm mid plane of water . Comparing to nonpermeable cylinder, positive impact of porous cylinders on flow control can be seen obviously as a result of jet flow passing through the holes. When porosity ratio of the cylinder increased, a significant reduction of Reynolds Stresses was observed. After porosity ratio  $\beta \geq 0.6$ , jet flow effect was diminished as can be seen in velocity graphics. As a result, the most effective flow control was obtained at  $\beta=0.6$  porosity ratio for hexagonal perforated circular cylinder.

**Keywords:** Flow control, Passive control, PIV, Vortex shedding suppression, Cylinder

## 1. GİRİŞ

Akış içerisinde bulunan küt cisimler ardında meydana gelen akış yapısının incelenmesi Akışkanlar Mekaniğinin önemli konularından birisidir. Akış yapısının anlaşılması, cisim üzerinde oluşan olumsuz etkilerin saptanmasına yardımcı olur. Bu amaçla, Özgören [1] yaptığı çalışma ile dairesel ve karesel silindir arkasındaki akış yapısını PIV yöntemi ile incelemiştir. Değişik geometrik şekillere sahip cisimler akış ortamında incelenilebilir. Ancak basit yapısı, uygulanabilirliği ve periyodik girdap oluşturması bakımından dairesel silindir yaygın olarak kullanılan geometrilerden birisidir. Dairesel silindir etrafında oluşan akış, makine, havacılık ve inşaat vb birçok alanda görülebilir. Bacalar, köprü taşıyıcı ayakları, gökdelenler boru hatları gibi pek çok mühendislik uygulaması buna örnek olarak gösterilebilir.

Yapılan çalışmalarda cisim arkasındaki periyodik girdapların ve daimi olmayan akışın oluşturduğu sürüklenme kuvveti, dinamik yüzey gerilimleri ve titreşimler sebebiyle yapısal hasarlara sebep olabileceği ortaya konulmuştur [2]. Malzeme iyileştirilmesi ile mukavemeti artırma pahalı olabileceği için, dinamik yüklerin ve titreşimlerin sebep olabileceği yorulma, kullanım ömrünün kısalması gibi problemlerin önlenmesi için akış yapısının kontrol altına alınması gerekmektedir. Bu sebeple aktif ve pasif yöntemler ile akış yapısı kontrol edilmeye çalışılır. Akış yapısının dışardan enerji verilerek kontrol edilmesi aktif kontrol yöntemidir. Fransson ve arkadaşları [3] delikli geçirgen dairesel silindir etrafındaki daimi emme ve üfleminin etkilerini,  $Re=10000$ 'de incelemiştir. Sonuç olarak, emme durumunda sürüklenme kuvvetinde %70, girdap oluşum

uzunluğunda ise %75 azalma gözlemlenmişler, ancak üfleme durumunda akış üzerinde tam tersi bir etki oluştuğunu belirtmişlerdir. Bir diğer aktif kontrol çalışmasında ise, Sudhakar ve Vengadesan [4] silindir arkasına periyodik salınım yapan bir ayırıcı plaka yerleştirmişler ve çeşitli uzunluk ve frekanslarda araştırmalar yapmışlardır. Özellikle düşük frekansa sahip hareketli ayırıcı plakalarda, 5 kat daha kısa plakalarla plakanın sabit olduğu duruma yakın bir kontrol sağlamışlar ve alanın kısıtlı olduğu uygulamalar için düşük salınım yapan ayırıcı plakaların uygun bir metot olacağını ifade etmişlerdir. Akışın pasif yöntemlerle kontrolünde ise, cisim üzerinde veya akış içerisinde yapısal değişiklikler yapmak suretiyle girdaplar kontrol edilmeye çalışılmaktadır. Dışardan enerji gerektirmemesi ve fizibilitesi açısından avantajlı olması sebebiyle mühendislik uygulamalarında ve literatürde pek çok pasif kontrol çalışması görülmektedir. Apelt ve arkadaşları [5] dairesel silindir arkasındaki daimi olmayan akışı, ayırıcı plakalar ile  $104 < Re < 5 \times 104$  aralığında kontrol etmeye çalışmışlardır. Igbalajobi ve arkadaşları [6], Gözmen ve arkadaşları [7], Akıllı ve arkadaşları [8] silindir uzunluk oranı, Reynolds sayısı, su derinliği, ayırıcı plakanın konumu, uzunluğu ve yüksekliği gibi parametreleri değiştirerek silindir arkasına yerleştirilen ayırıcı plakalar aracılığıyla akışın kontrolünü sağlamaya çalışan araştırmacılar. Gu ve arkadaşları [9] silindir arkasındaki ayırıcı plakanın serbest bir şekilde hareket edebildiği sistemde akış yapısını gözlemlenmişlerdir. Kunze ve Brücker [10] çalışmalarında, dairesel silindir arkasında esnek ve hareketli plakalar kullanarak akış dinamiklerini PIV yöntemiyle  $5000 < Re < 31000$  aralığında incelemiştir. Plakaların girdap kopmalarını değiştirmede etkili olduğunu ve plakasız duruma göre akış yapısının salınımın akış yönünde %42 ve akış eninde %35 oranlarında azaldığını

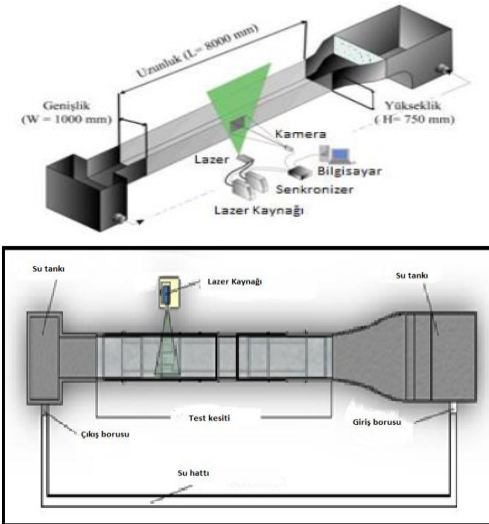
belirtmişlerdir. Zhou ve arkadaşları [11-12] silindir yüzeyinde oluk açma ve çukurcuklama uygulayarak farklı Reynolds sayılarında türbülans istatistiklerini PIV yöntemiyle incelemişlerdir. Bulgularında, sürüklenme ve kaldırma katsayılarında önemli miktarda azalma gözlemlenmiştir. Sonuç olarak oluk açmada %18 ile %29 arasında, çukurcuklamada ise %10 ile %30 arasında iyileştirme katetmişlerdir. Akış yapısının delikli geçirgen silindirlerle kontrolü ilk defa Price [13] tarafından 1956 yılında araştırılmıştır. Price farklı geçirgenliklerde delikler kullanarak gerçekleştirdiği çalışma sonucunda, Von Karman Caddesi salınımlarının geciktirilebilmesi sayesinde titreşim ve gürültüde azalma sağlanabileceğini ifade etmiştir. Bu çalışma sonrasında, geçirgen silindirler vasıtasıyla akışın pasif kontrolü pek çok araştırmacının konusu olmuştur. Son yıllarda bu amaçla yapılan çeşitli geçirgen akış kontrol elemanları uygulanan çok sayıda çalışma vardır. Özkan ve arkadaşları [14] çalışmalarında bir silindir etrafına yerleştirilen yüksek geçirgenlik oranındaki ( $\beta=0,7$ ) dairesel dış silindiri, iç silindire bağlı Reynolds sayısı  $Re_{Di}=9000$  olan akış ortamında incelemişler ve delikli dış silindirin türbülans istatistikleri, türbülans kinetik enerjisi ve Reynolds gerilmelerinin azaltılmasında önemli bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymuşlardır. Oruç [15], daha aerodinamik geometriye sahip elipse benzer bir delikli dış silindiri akış yapısının kontrolünde denemiştir. Durhasan ve arkadaşları [16] dairesel silindir arkasındaki akışı delikli yarım silindir yardımıyla kontrol etmeye çalışmıştır. Üç farklı yay açısına ( $\alpha=120^\circ$ ,  $150^\circ$  ve  $180^\circ$ ) sahip  $\beta=0,3$ ,  $0,4$ ,  $0,5$ ,  $0,6$ ,  $0,7$  ve  $0,8$  geçirgenlik oranlarındaki kontrol elemanları arasında  $\beta=0,6$  geçirgenlik oranındaki  $\alpha=180^\circ$  yay açısına sahip geçirgen yarım silindiri en etkili akış kontrol elemanı olarak ifade etmişlerdir.

Bu çalışmada ise geçirgenliğin akış yapısına etkisi, doğrudan cisim üzerinde açılan silindirler ile incelenmiştir. İçinde herhangi başka bir eleman olmayan yalın, delikli geçirgen silindirler üzerinde  $d=10$  mm çaplarında altıgen delikler açılmış ve  $\beta=0,2$ ,  $0,3$ ,  $0,4$ ,  $0,5$ ,  $0,6$ ,  $0,7$  olmak üzere toplam 6 farklı delikli geçirgenlik oranında silindirler PIV yöntemi ile incelenmiştir. Silindirler  $D=100$  mm çapında ve bu çapa bağlı Reynolds sayısı

$Re=10000$  değerindedir. Kıyaslama yapılması için  $D=100$  mm çapında geçirgen olmayan deliksiz bir silindir için aynı akış özellikler altında ölçümler yapılmıştır. Cisim arkasındaki hız vektörleri ve Reynolds gerilmeleri incelenmiş ve en etkin akış kontrolü için en iyi geçirgenlik oranı belirlenmeye çalışılmıştır.

## 2. MATERYAL VE METOT

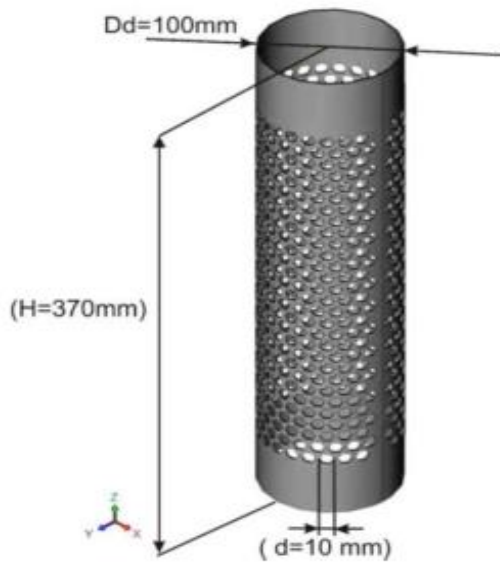
PIV deneyleri, Çukurova Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü, Akışkanlar Mekanik Laboratuvarında mevcut olan kapalı devre açık su kanalında yapılmıştır. Bu kanal, iki adet depo ve aralarında bulunan 750 mm (yükseklik) x 1000 mm (en) x 8000 mm (boy) ebatlarında saydam akrilik kısımdan oluşmaktadır. Değişik devirlerde çalışabilen santrifüj pompa ile hız kontrol ünitesi aracılığıyla kanal içindeki suyun akış hızı ayarlanabilmektedir. Deneyler süresince laboratuvar ortamının sıcaklığı  $22C^\circ$  olarak sabit tutulmuştur. Şekil 1'de su kanalının şematik görünüşleri mevcuttur.



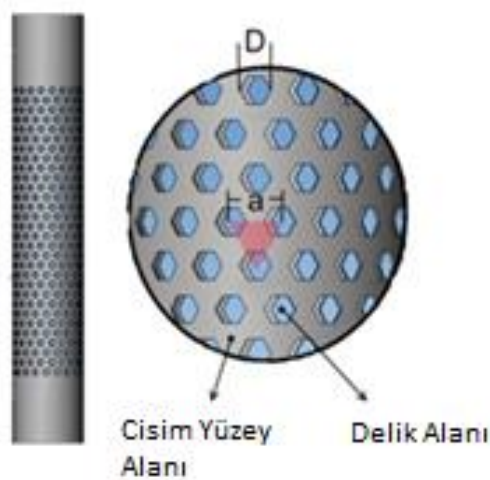
Şekil 1. Su kanalının şematik görünüşleri

Bu çalışmada dış silindirler üzerine açılan deliklerin konumları ve sayıları, geçirgenlik oranına bağlı olarak belirlenmiştir. Delikli levhalar, AutoCAD programında geçirgenlik oranı gözetilerek yapılan çizimlere göre lazer

makinesinde kesim işlemiyle üretilmiştir.  $t=1,5$  mm kalınlığındaki paslanmaz çelik malzemeden imal edilmiş levhalar üzerine çapları  $d=10$  mm olan altgen delikler açılmıştır. Bu işlemden sonra levhalar kıvrılarak  $D=100$  mm çapında  $\beta=0,2, 0,3, 0,4, 0,5, 0,6, 0,7$  geçirgenlik oranlarına sahip geçirgen silindirlere haline getirilmişlerdir. Ayrıca, üzerinde delik açma işlemi yapılmayan bir adet  $100$  mm çapında silindir imalatı da gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2. Deneysel olarak kullanılan delikli bir silindir



Şekil 3. Açılan deliklerin yakından görünüşü

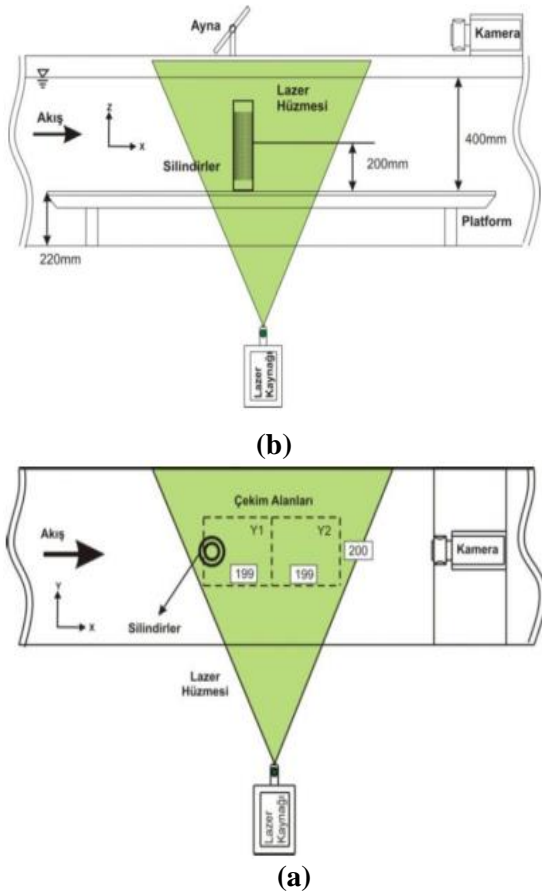
Deneysel, su kanalına yerleştirilen  $h_p=220$  mm yüksekliğinde bir platform üzerinde yapılmıştır. Bununla amaç, sınır tabaka akış bölgesinden uzaklaşıp, istenilen Reynolds sayısını sağlayacak uniform akış hızının elde edilmesidir.  $2300$  mm uzunluğundaki bu platformun  $980$  mm genişliğindeki platform yüzeyi ile su yüzeyi arasındaki mesafe  $h_w=400$  mm olarak belirlenmiştir. Lazer hüzmesi  $200$  mm yükseklikteki orta düzlemdaki akış alanına lazer kaynağı tarafından gönderilmiştir. Deneysel boyunca her silindir için  $350$  adet anlık görüntü kaydedilmiştir. Hız vektörleri, kaydedilen görüntülerin prosesleri yapılarak hesaplanmıştır. Bu verilerden yararlanılarak diğer akış karakteristikleri ve türbülans istatistikleri belirlenmiştir.

Parçacık görüntülemeli hız ölçme (PIV) tekniği sayesinde akış içerisinde akış ile yaklaşık olarak aynı hızda hareket eden gümüş kaplı partiküllerin hızları ölçülerek, akış yapısı hakkında anlık veya ortalama bilgi elde edilebilmektedir. PIV tekniğiyle, su içerisinde  $10-20$  mikrometre çapında ve özkütlesi suyun özkütlesine yakın gümüş kaplı partiküller eklenip bu partiküllerin hareketleri izlenerek iki boyutlu hız ölçümü yapılabilmektedir. Partiküllerin özkütlesi, suyun özkütlesine kıyasla nispeten büyük olmasına karşın (yaklaşık  $1100 \text{ kg/m}^3$ ) mikron mertebesindeki küçük boyutlarından dolayı su ile aynı hızda hareket ettikleri varsayılabilir. Optik araçlarla istenilen kalınlık ve genişlikte lazer hüzmesi olarak gönderilebilen lazer ışınları,  $120 \text{ mJ}$  gücündeki çift darbeli Nd: YAG lazer kaynağı tarafından üretilmektedir. Lazer kaynağı aracılığıyla saniyede  $15$  lazer çifti gönderilmiştir. Akış alanında hareket eden partiküllerin hareketleri, lazer kaynağı ile aydınlatılarak mili saniye boyutundaki ( $\Delta t$ ) zaman aralıklarında Sony DRC-TR355E dijital kamera aracılığıyla kaydedilmiştir.

İki farklı akış alanı için iki adet fotoğraf çekimi yapılmıştır. Çekilen bu fotoğraflar, piksel piksel küçük alt bölgelere ayrılarak, her bir alt bölgede bulunan iki fotoğraf arasındaki farklar yardımıyla partiküllerin yer değiştirmeleri belirlenmiştir. Fotoğraflar bilgisayara aktarıldıktan sonra anlık hız vektörleri yapılan prosesler sonucunda



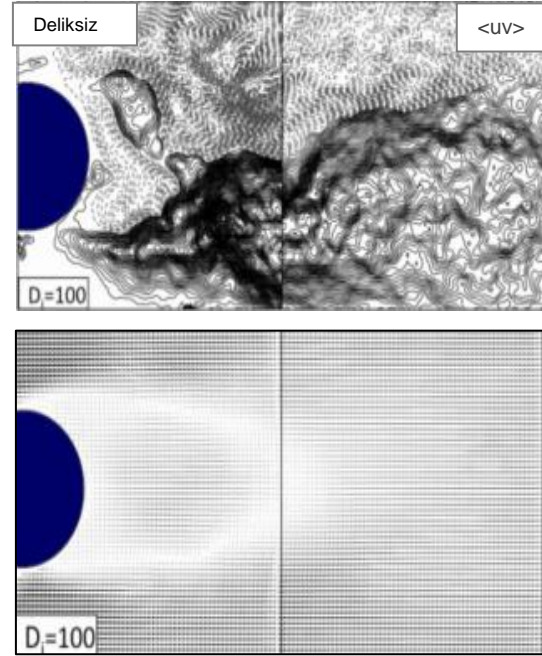
hesaplanmaktadır. Darbeli lazer kaynağı kullanıldığı için lazerle kameranın eş zamanlı olarak çalışmasını senkronizer (eş zamanlayıcı) sağlamakta ve bu senkron bilgisayar aracılığıyla kontrol edilmektedir. Bilgisayarda fotoğraflar, 32x32 piksel olarak küçük alt bölgelere bölündükten sonra ve Hızlı Fourier dönüşümüyle, her bir alt bölgedeki partiküllerin yer değiştirmeleri farklı zamanlarda çekilen görüntüler arasındaki farklar sayesinde belirlenmektedir. Nyquist kriterini sağlamak ve Vektör sayısını arttırmak için hız vektörü hesaplandıktan sonra ağ yapısı %50 oranında üst üste bindirilerek kaydırılır ve bu fotoğrafların bilgisayardaki prosesleri sonucunda anlık hız vektörleri belirlenmektedir. Şekil 4'te deneyin şematik olarak yan (a) ve üst (b) görünüşleri verilmiştir.



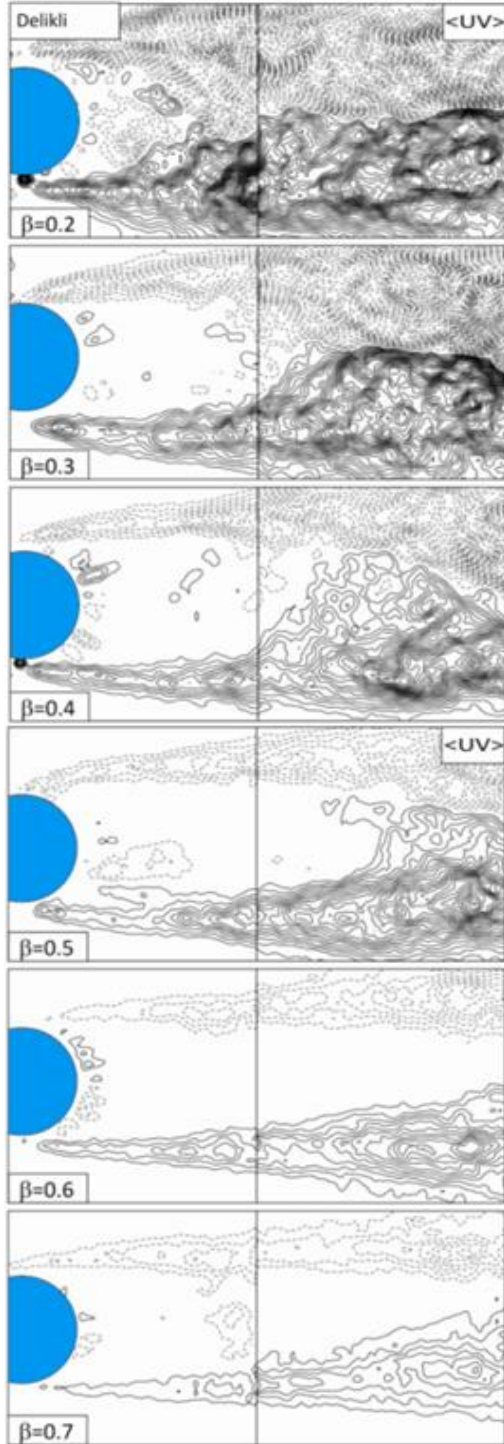
Şekil 4. Deney düzeneğinin şematik gösterimi (a: yan görünüşü, b: üst görünüşü)

### 3. SONUÇ

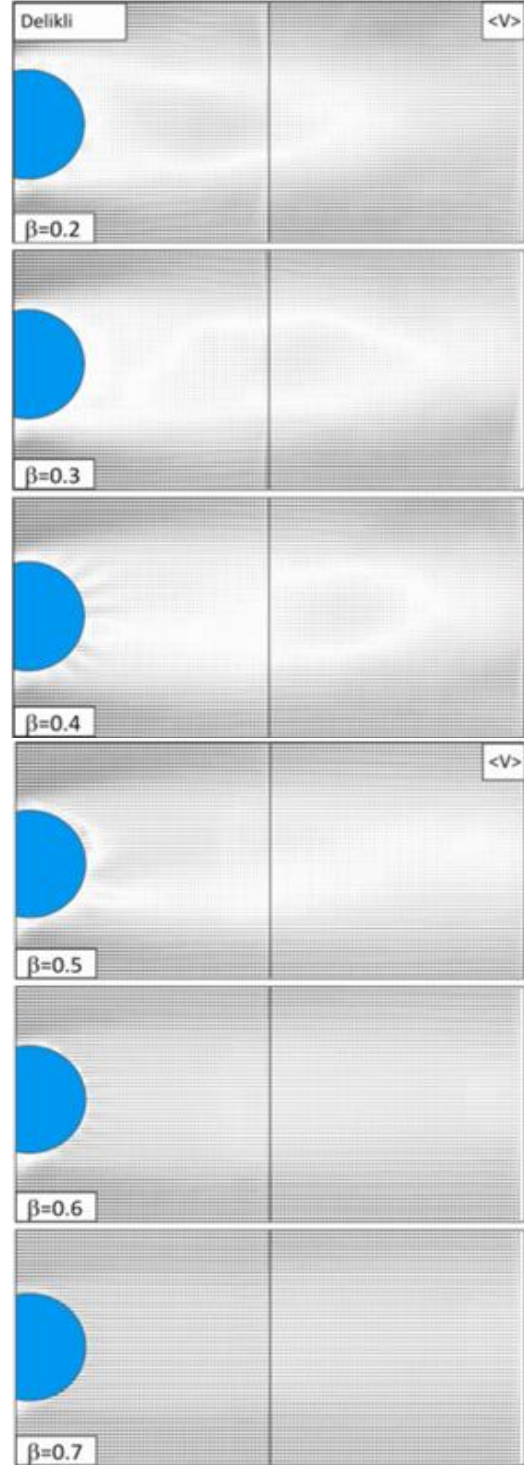
Bu çalışmada dairesel silindir etrafında herhangi bir akış kontrol elemanı kullanılmadan, doğrudan dairesel silindir üzerinde  $d=10$  mm çapında olan altıgen delikler açılarak akış kontrolü üzerine etkisi gözlemlenmiştir. Silindir arkasındaki akış yapısı deneysel olarak PIV tekniği ile incelenilmiştir. Çapları  $D=100$  mm olan bir adet deliksiz ve  $\beta=0,2-0,7$  aralığında  $0,1$  artımlarla geçirgenlik oranına sahip 6 adet delikli silindirin türbülans parametreleri belirlenmiştir. Y1 ve Y2 çekim alanları birleştirilerek tek bir çekim alanı olarak gösterilmiştir. Şekil 5'de  $D=100$  mm çapında deliksiz ve geçirgen olmayan silindir arkasında meydana gelen Reynolds gerilmeleri  $\langle uv \rangle$  (artım oranı  $0,001$  ve minimum değeri  $\pm 0,001$ ) ve hız alanları  $\langle v \rangle$  çizimleri vardır. Şekil 6'da delikli silindirlerin artım oranı  $0,001$  ve minimum değeri  $\pm 0,001$  olan Reynolds gerilme  $\langle uv \rangle$  konturlarının çizimleri gösterilmiştir. Şekil 7'de ise yine geçirgen silindirler arkasındaki ortalama hız alanları gösterilmiştir.



Şekil 5.  $D=100$  mm çapındaki deliksiz silindir arkasında oluşan Reynolds gerilme ve hız alanı çizimleri



Şekil 6. Deliksiz ve delikli silindirlerin arkasındaki Reynolds gerilmeleri



Şekil 7. Delikli silindir arkasındaki hız alanları

Şekil 6'da, Reynolds gerilme konturları artım oranları 0,001 ve minimum değerler 0,001 olacak şekilde çizilmiştir. Aynı çaptaki geçirgen olmayan silindire kıyaslandığında, deliklerden çıkan jet akışı ile silindir arkasındaki akış yapısının etkilendiği belirgin bir şekilde görülebilmektedir. Deliklerden çıkan jet akışı, Reynolds gerilmelerinin yoğunluğunu azaltmıştır. Ayrıca bu akış, momentum transferinin ölü akış bölgesine doğru olmasını engellemiştir. Silindire arkasında oluşan Reynolds gerilmelerin yoğunluğunun, geçirgenlik oranının artmasına bağlı olarak önemli derecede azaldığı görülmektedir. Özellikle  $\beta \leq 0,6$  geçirgenlik oranına kadar, geçirgenlik oranının artması Reynolds gerilme değerlerini hızlı bir şekilde azaltmıştır. Ancak silindir yüzeyindeki altıgen deliklerin sayısının artması sebebiyle,  $\beta \geq 0,6$  oranından itibaren deliklerden çıkan jet akışının etkisinin azalmakta olduğu gözlemlenmektedir.

Şekil 7'de geçirgen silindir arkasında meydana gelen akışın ortalama hız alanları gösterilmiştir. Şekil 5'de gösterilen  $D=100$  mm çapa sahip deliksiz silindir ile Şekil 7'de gösterilen delikli geçirgen silindire karşılaştırıldığı zaman, silindir arkasında meydana gelen iz bölgesinin eninin daraldığı ve boyunun akış doğrultusunda uzadığı görülmektedir. Ancak,  $\beta > 0,5$  oranından itibaren, geçirgenlik oranının artmasıyla beraber silindir yüzeyindeki delik sayısının artması nedeniyle deliklerden çıkan jet akışının etkisini azaldığı söylenebilir.

Sonuç olarak, bir adet deliksiz ve 6 adet farklı geçirgenlikte dairesel silindire akış ortamında deneysel olarak PIV tekniği kullanılarak incelenmiştir. Doğrudan cisim üzerinde açılan deliklerin cisim arkasında meydana gelen daimi olmayan akış yapısını kontrol etmede etkili bir yöntem olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca geçirgenlik oranının artması türbülans istatistiklerini azaltmıştır. Ancak  $\beta > 0,6$  oranından itibaren, geçirgenliğin artması daimi olmayan yapısının kontrolü için büyük bir farklılık yaratmamıştır. Silindir üzerinde açılan deliklerde  $\beta=0,6$  geçirgenlik oranının akış kontrolü için en etkili oran olduğu gözlemlenmiştir.

#### 4. TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Mersin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Birimi tarafından BAP-FBE MEEE (MK) 2012-3 YL'nolu proje tarafından desteklenmiştir. Bu çalışmadaki deneyler Çukurova Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü Akışkanlar Mekaniği Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

#### 5. KAYNAKLAR

1. Ozgoren, M., 2006. Flow Structure in the Downstream of Square and Circular Cylinders, Flow Meas., Instrum., vol. 17, no. 4, pp. 225–235.
2. Williamson, C.H.K., 1996. Vortex Dynamics in the Cylinder Wake, Annu. Rev. Fluid Mech., Jan. 1996, vol. 28, no. 1, pp. 477–539.
3. Fransson, J.H.M., Konieczny, P., Alfredsson, P.H., 2004. Flow Around a Porous Cylinder Subject to Continuous Suction or Blowing, J. Fluids Struct., vol. 19, no. 8, pp. 1031–1048.
4. Sudhakar, Y., Vengadesan, S., 2012. Vortex Shedding Characteristics of a Circular Cylinder with an Oscillating Wake Splitter Plate, Comput. Fluids, vol. 53, no.1, pp. 40–52.
5. Apelt, C.J., West, G.S., Szewczyk, A.A., 1973. The Effects of Wake Splitter Plates on the Flow Past a Circular Cylinder in the Range  $10 < R < 5 \times 10^4$ , J. Fluid Mech., Oct. 1973, vol. 61, no. 01, p. 187.
6. Igbalajobi, A., McClean, J.F., Sumner, D., Bergstrom, D.J., 2013. The Effect of a Wake-mounted Splitter Plate on the Flow around a Surface-mounted Finite-height Circular Cylinder, J. Fluids Struct., vol.37, pp. 185–200.
7. Gözmen, B., Akıllı, H., Şahin, B., 2013. Passive Control of Circular Cylinder Wake in Shallow Flow. Measurement, J. Int. Meas. Confed, 46: 1125-1136.
8. Akıllı, H., Şahin, B., Filiz Tumen, N., 2005. Suppression of Vortex Shedding of Circular Cylinder in Shallow Water by a Splitter Plate, Flow Meas. Instrum., vol. 16, no.4, pp. 211–219.
9. Gu, F., Wang, J.S., Qiao, X.Q., Huang, Z., 2012. Pressure Distribution, Fluctuating Forces

- and Vortex Shedding Behavior of Circular Cylinder With Rotatable Splitter Plates, *J. Fluids Struct.*, vol. 28, pp. 263–278.
10. Kunze, S., Brücker, C., 2012. Control of Vortex Shedding on a Circular Cylinder using Self-adaptive Hairy-flaps, *Comptes Rendus-Mec.*, vol. 340, no. 1–2, pp. 41–56.
  11. Zhou, B., Wang, X., Guo, W., Gho, W.M., Tan, S.K., 2015. Experimental Study on Flow Past a Circular Cylinder With Rough Surface, *Ocean Eng.*, vol. 109, pp. 7–13.
  12. Zhou, B., Wang, X., Guo, W., Gho, W.M., Tan, S.K., 2015. Control of Flow Past a Dimpled Circular Cylinder, *Exp. Therm. Fluid Sci.*, vol. 69, pp. 19–26.
  13. Price, P., 1956. Suppression of the Fluid-Induced Vibration of Circular Cylinders, *J. Eng. Mech. Div.*, vol. 82, no.3, pp. 1–22.
  14. Ozkan, G.M., Akilli, H., Sahin, B., 2013. Effect of High Porosity Screen on the Near Wake of a Circular Cylinder, *EPJ Web Conf.*, vol. 01071, pp.1–5.
  15. Oruç, V., 2012. Passive Control of Flow Structures Around a Circular Cylinder by using Screen, *J. Fluids Struct.*, vol. 33, pp. 229–242.
  16. Durhasan, T., Aksoy, M.M., Pinar, E., Ozkan, G.M., Akilli, H., Sahin, B., 2016. Vortex Street Suppression of a Circular Cylinder using Perforated Semi-circular Fairing in Shallow Water, *Exp. Therm. Fluid Sci.*, vol. 79, pp. 101–110.

## Experimental Investigation of Low-Velocity Impact Response of Plain-Weave Glass/Epoxy Composites Reinforced with Carbon Nanotubes

Gülşah ÖNER<sup>\*1</sup>, Hasan Yavuz ÜNAL<sup>2</sup>, Yeliz PEKBEY<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Atatürk University, Erzurum MYO, Erzurum

<sup>2</sup>Ege University, Department of Mechanical Engineering, İzmir

Geliş tarihi: 27.07.2016

Kabul tarihi: 26.09.2016

### Abstract

The low-velocity impact (LVI) response of the plain-weave glass/epoxy laminated composites, which were reinforced with various contents of carbon nanotubes (CNTs) was performed using a drop-weight Fractovis Plus impact machine. The nanocomposite plates were fabricated using hand lay-up (HLU) method. The effect of carbon nanotube addition into the epoxy resin is examined. The influence of the nanocarbon contents on the impact response was achieved by using 1 wt%, and 1.25 wt%. The low-velocity impact responses of the nanocomposite plates were compared, and the effect of CNT on the damaged area after impact was also discussed. The fillers adding changes the low-velocity impact (LVI) response of the plain-weave glass/epoxy laminated composites. Experimental results clearly demonstrated that the samples fabricated by various contents of carbon nanotube (CNTs), have a bigger damage area and more penetration threshold than the control samples (neat). Moreover, the plates with 1 wt % carbon nanotubes have the highest reaction force.

**Keywords:** Low-velocity impact, Carbon nanotubes (CNTs), Glass/epoxy laminated composites, Damaged mechanism modulus

### Karbon Nano-Tüp Katkılı Düz Örgü Cam-Epoksi Kompozitlerin Düşük Hızlı Darbe Deneylerinin Deneysel Olarak İncelenmesi

#### Öz

Bu çalışmada, Çeşitli oranlarda karbon nanotüp katkılı düz örgü cam epoksi tabakalı kompozitlerin Fractovis Plus darbe cihazı ile düşük hızlı darbeye gösterdikleri tepki araştırılmıştır. Nanokompozit plaklar el yatırma yöntemi ile üretilmiştir. Epoksi reçine içerisine katılan karbon nanotüp etkisi incelenmiştir. Ağırlıkça %1 ve %1,25 oranları kullanılarak nanokarbon içeriğinin etkisi darbe üzerindeki etkisi elde edilmiştir. Nanokompozit plakların düşük hızlı darbe tepkileri karşılaştırıldı ve darbe deneyi sonrası hasar alanı üzerine CNT etkisi incelenmiştir. Eklenen dolgu maddeleri düz örgü cam/epoksi kompozitlerin düşük hızlı darbe tepkilerini değiştirdi. Sonuçlar çeşitli oranlarda CNT katkılı olarak üretilen numunelerin katkısız numuneye göre hem daha büyük hasar alanına hem de daha büyük penetrasyon eşik enerjisine sahip olduğunu göstermiştir. Ayrıca, ağırlıkça %1 CNT oranlı plaklar en yüksek reaksiyon kuvvetine sahiptir.

**Anahtar Kelimeler:** Düşük hızlı darbe, Karbon nanotüpleri (CNT'ler), Cam/epoksi lamine kompozitler, Hasar gören mekanizma modülü

\* Sorumlu yazar (Corresponding author): Gülşah ÖNER, [galar@atauni.edu.tr](mailto:galar@atauni.edu.tr)

## 1. INTRODUCTION

In recent years, researchers have been used CNTs reinforced composite materials because of the extraordinary mechanical and physical properties of the CNTs. The CNTs reinforced composite materials have been used wide range of applications in aeronautic and astronautic technology, power plant, automobile and many other modern industries. During their service life, these composite structures have been subjected to variety of loading conditions. One of the crucial conditions that can affect their applications is the low velocity impact loading condition. For this reason, it is important accurate investigation of their mechanical behaviour under such a loading for the life assessment of composites in service conditions.

Among the most commonly used materials in industry are polymer-based composites due to high mechanical properties and significant weight reduction in structural design.

From the literature study, it is seen that extensive study has been carried out to response of fiber reinforced composite material under impact loading [1-14]. The impact resistance and damage tolerance of fiber-reinforced composites for various types of nanoparticles have been investigated a number of researches.

One of the major concerns of CFRP composite structure is the low impact resistance is because of its poor susceptibility to impact damage. In this study, the low-velocity impact response of the plain weave glass/epoxy laminated composites, which were reinforced with various contents of functionalized short length multi-walled carbon nanotubes- DWCNTs (i.e., 1wt% and 1.25wt%) was carried out by using a drop-weight impact machine. The nanocomposite beams were fabricated using by hand lay-up (HLU). The main objective of this work was to develop and study the behavior of nano modified GFRP composites under low velocity impact tests.

The impact tests were carried out varying impact energy levels to examine the damage tolerance of composite laminates.

## 2. EXPERIMENTAL PROCEDURE

### 2.1. Preparing Matrix

In this work, carbon nanotube fillers were dispersed in epoxy system by using ultrasonic mixer and hand lay-up techniques were used for manufacturing nano size reinforced and unreinforced composite plates. The biggest problem in nano particulate reinforced composite is agglomeration. Many methods are being used for dispersing nano particulates homogenously inside epoxy system without agglomeration. Most efficient way to overcome this problem is using ultrasonic mixer. In this method, ultrasonic sound waves distribute the agglomerated nano particle. Hielscher UP-400S brand name ultrasonic mixer was used in study. Short length multi-walled carbon nanotubes – DWCNTs was provided from Ege Nanotek Inc., İzmir, Turkey and added 0, 1 and 1.25% in weight with respect to resin. Epoxy resin and catalysts were provided from Fibermak Corporation. Before using ultrasonic mixer, CNT reinforced epoxy mixture is mixed by hand. After that the mixture was subjected to high frequency sound waves for one hour. To prevent heat rising and start self-curing in the epoxy solution, cooling cup is used. Approximately, 5°C water is recirculated between cup and unit. Ultrasonic mixer and cooling device is shown in Figure 1. Fluidity and translucent color of epoxy solution is evidence for homogenous mixture.



**Figure 1.** Ultrasonic mixer and cooling device



## 2.2. Producing Composite Plate

Nano reinforced composite plates were produced from plain weave glass fiber and epoxy resin which containing carbon nanotube. Used E-glass plain weave fabrics were manufactured by Cam Elyaf Sanayi Corporation and unit weight is 200 g/m<sup>2</sup>. Nano reinforced plates were produced using resin impregnated fabric (prepreg) and pressed under heat press machine.

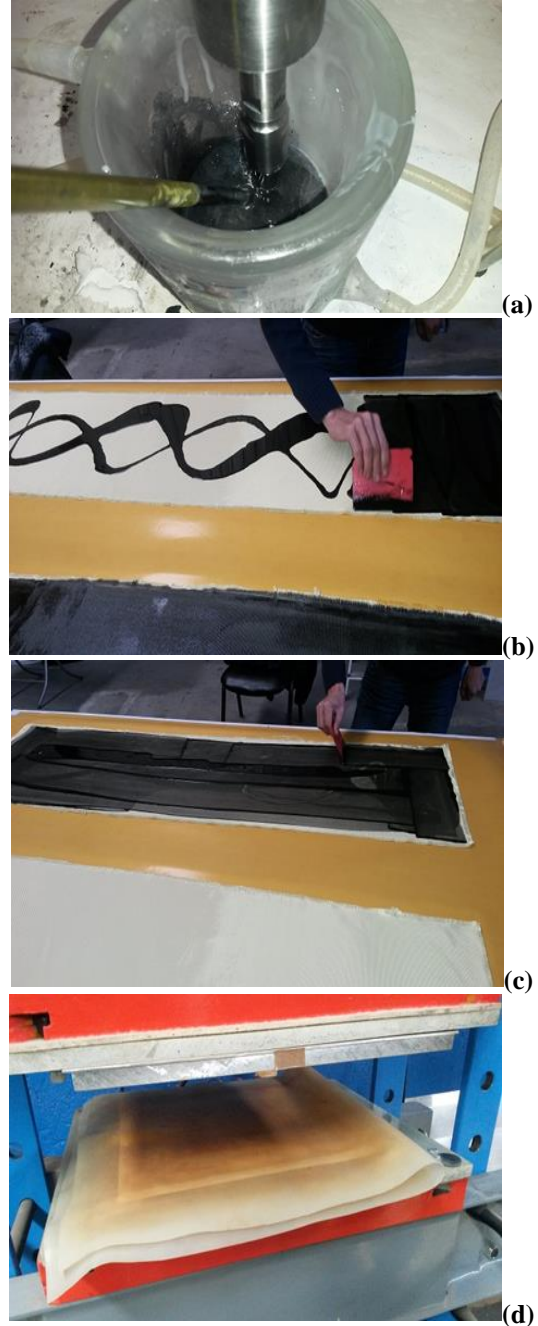
Desired concentration mixture are distributed on surface of 400x400 mm size [0/90] plain weave fabric by using hand lay-up technique. 15 ply fabrics were used to obtain 2 mm thickness. Resin impregnated fabrics are left to dry at room temperature for 10 days. In this way producing prepreg glass fabrics were finished. After 10 days semi-finished fabrics were added up and wrapped with noninflammable film after that they were placed inside hydraulic heat press machine. Firstly fabrics were exposed to 100 MPa pressure after that temperature was raised from room temperature to 125°C. Plate was waited for one hour with these circumstances. After one hour heater was terminated, but pressure was still applied.

Plate was slowly decreased to room temperature. To prevent thermal distortion, plate should stay in heat press until to room temperature. Approximate fiber volume fractions of plates were found 60%. Thus 2 mm in thickness and 400 mm in length square plates were manufactured. [15]. Manufacturing steps were illustrated in Figure 2. Composite plates were cut to 100 mm square specimen by using water jet cutter because composite plates were sensitive to machining

## 2.3. Low Velocity Impact Test

Low velocity impact test was conducted according to ASTM D5628-07. The samples were cut into 100×100mm by using a diamond cutter. Composite plates, which containing different concentration of nano fillers, were subjected to low velocity impact test at room temperature by releasing the weight. Tests were done at Dokuz Eylül University's laboratory by using Fractovis Plus test machine. Figure 3 shows the drop weight

impact test machine. In this test method, impactor geometry was hemispherical nose of 12.7 mm in diameter, weight is 4.926 kg.



**Figure 2.** Manufacturing steps of nano reinforced composite plate (a, b, c, d)



(a)



(b)

**Figure 3.** Drop weight impact test machine (a, b)

Specimens were placed at the bottom of the machine and impact was happened in the middle of the specimen. Specimen was clamped with inner diameter 76 mm hole fixture. Fixed boundary condition was implemented. Multiple strikes were precluded by pneumatic brake. To identify rebounding, penetration and perforation threshold for different nano fillers in impact test, impact energies were changed by shifting velocity. For this work, impact energies were taken as 20, 30, 35 and 40 J.

### **3. RESULTS AND DISCUSSION**

#### **3.1. Force–Displacement Curves**

Impact tests were done at different energy levels: 20, 30, 35 and 40 J. Figure 4(a) ve (b) and 5 show force versus displacement response of pure, 1wt% and 1.25wt% CNT laminates for 20, 30 and 40 J energy levels. Rebounding, penetration and perforation situations were identified by interpreting the curve. In these curves load was increased from beginning to a maximum value,  $P_{max}$ , after that load was significantly reduced. Maximum load represent threshold value before specimen undergoing major damages [16,17]. Slope of the curve up to maximum value is called bending stiffness.

According to 20 J impact energies, adding carbon nanotubes into an epoxy matrix has increased impact resistance. The highest reaction force was shown from 1wt% CNT containing specimen. This specimen's maximum reaction force is 5% higher than that of pure one. After maximum force point exceeded, specimen undergoes major damages, such as extensive matrix cracks, fibre breakage and delamination. First peak in force was seen around 2500 N for pure specimen. In this region, initial damages were started, such as matrix cracking and delamination. All curves are closed form. It means that impact nose was rebounded from specimens' surface and displacement value is come back to zero value. Comparing displacement values of specimens', the biggest value belongs to pure specimen and the lowest value belongs to 1wt% CNT containing specimen.



According to 30 J impact energies, all specimens showed similar bending stiffness. Same as 20 J impact test, 1wt% CNT containing specimen showed the highest reaction force. Peak reaction force was increased compared to previous test. Difference increased to 13% between pure specimen and 1wt% CNT containing specimen. For 1wt% CNT containing specimen's force-displacement curve ended up with certain displacement value in this energy level. This

means that impact nose got stuck in specimen's surface after impact (penetration). Pure and 1.25wt% CNT containing specimens peak reaction forces were decreased compared to previous test. For these specimens curves ended up with turned towards to right and specimens were perforated. The reason for decreasing reaction force and perforation for 1.25wt% CNT containing specimen is insufficient mixing time and agglomeration.

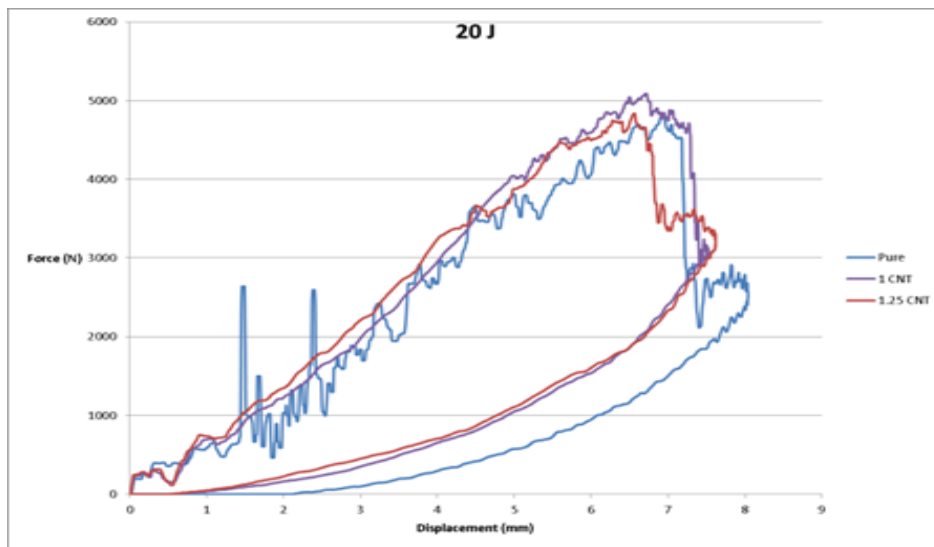


Figure 4(a). Force–displacement curves for 20 J impact level

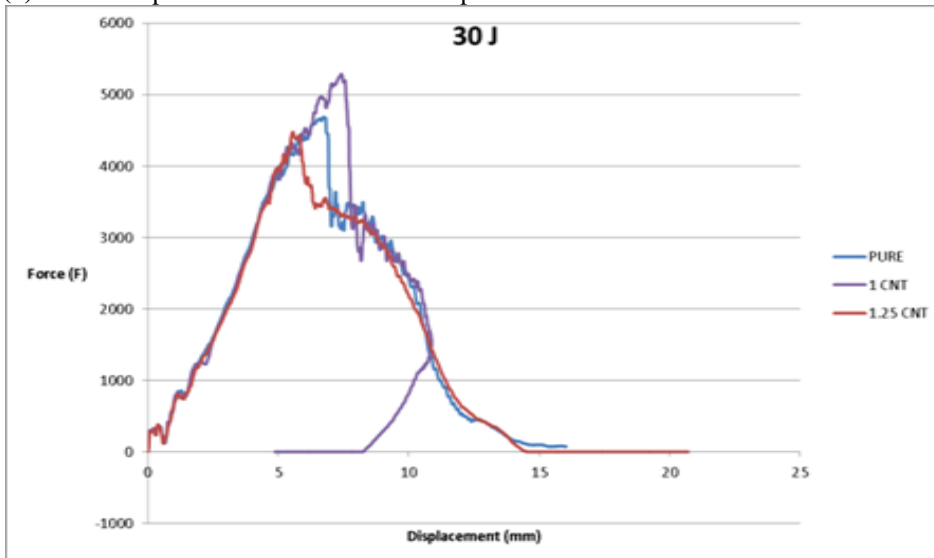


Figure 4(b). Force–displacement curves for 30 J impact level

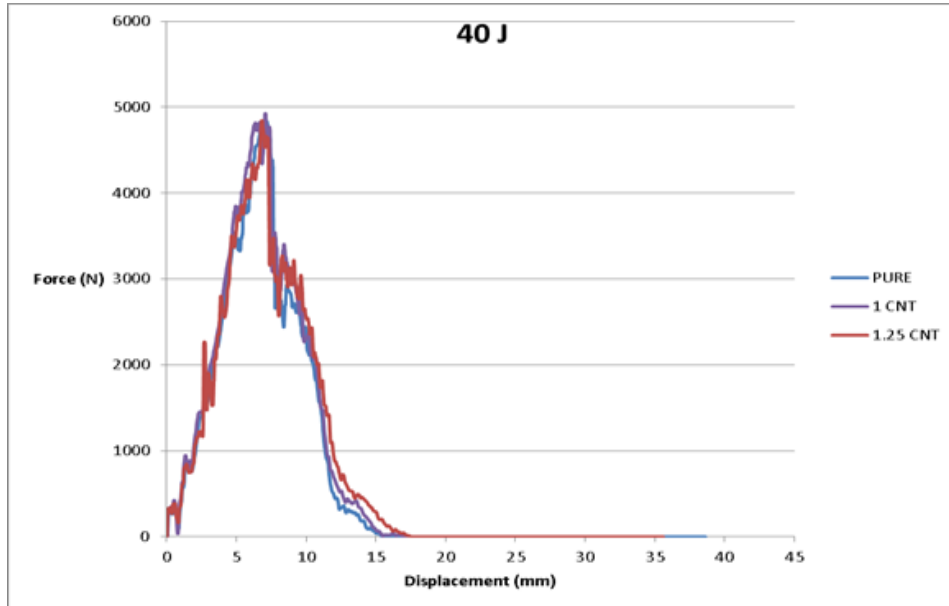


Figure 5. Force – displacement curves for 40 J impact level

All specimens were subjected to 40 J impact energy and all of them were perforated. After showing its top value in 30 J impact level, 1wt% CNT containing specimen's maximum reaction force was decreased. Other specimens' maximum reaction forces were increased as compared with previous test. Difference of reaction force between

pure and 1wt% CNT containing specimens was only 2%. Figure 6 shows effect of CNTs of glass fiber/epoxy composites for different energy levels. As shown in Figure 6, the highest reaction force was obtained from 1wt% CNT containing specimens.

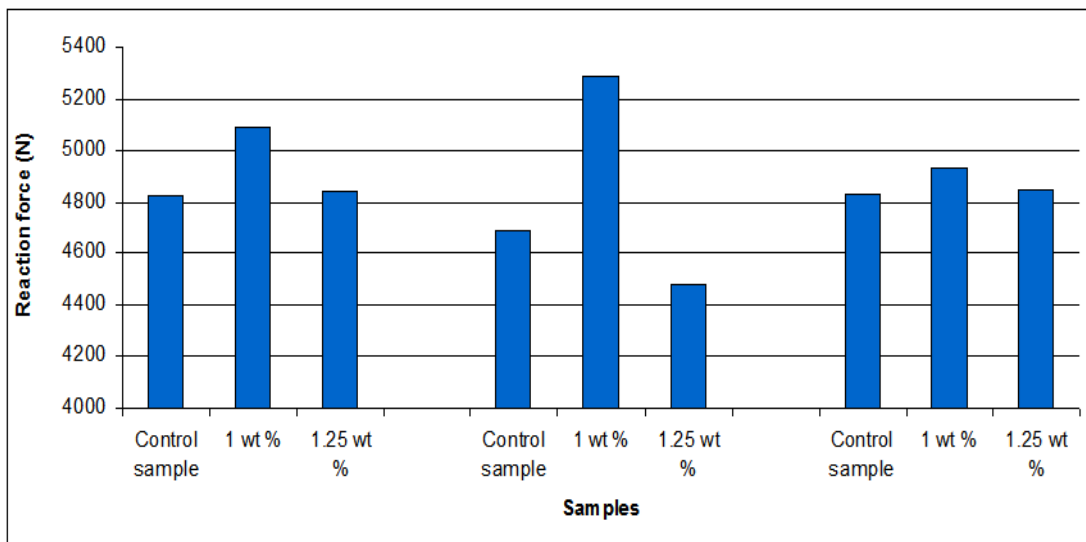
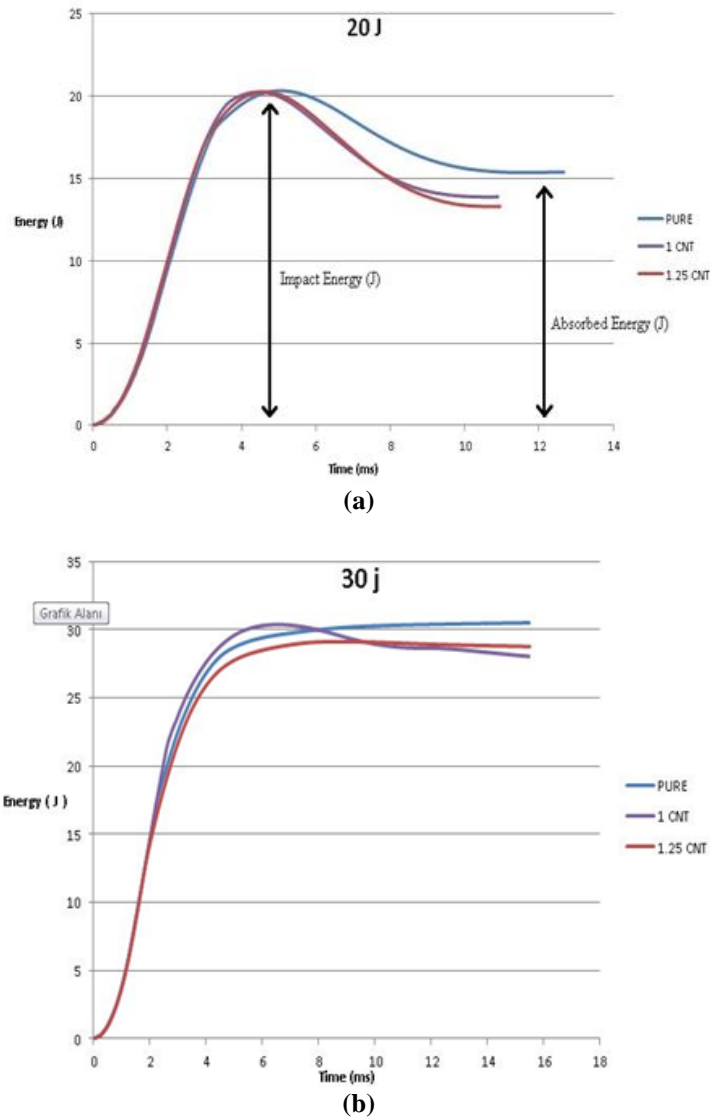


Figure 6. Effect of CNTs of glass fiber/epoxy composites for different energy levels

### 3.2. Energy–Time Curves

Energy–time curves could be used for identify how much energy is absorbed by specimen after impact. Absorbed energy could be found by substituting elastic energy, which was given back to the impact nose from specimen, from maximum impact

energy. Decrease in elastic energy means that specimen is getting close to penetration threshold energy and specimen takes more damages [16,17]. Various concentrations of CNT containing composite plates’ energy–time responses are shown in Figure 7 (a,b) and 8 for different impact energies.



**Figure 7.** Energy–time curve for 20 J and 30 J impact level (a, b)

In 20 J impact energy test, energy was increased to maximum value, which was impact energy, after

this point energy decreased to permanent certain value. The difference between these two levels was

given back to system. Impact noses for all tests were touched to surface and rebounded. The biggest absorbed energy was shown from pure specimen. The higher absorbed energy means that specimen took more damages. The lowest absorbed energy was obtained for 1.25wt% CNT containing specimen. This specimen absorbed 66% of subjected energy and rest of the energy was given back to system. This value was come to 70% for 1wt% CNT containing specimen.

Absorbed energies increased after impact energy was arranged 30 J so elastic energy value decreased. Damage area got bigger. 1.25wt% CNT containing specimen did not reach to impact energy. This specimen perforated before absorbed enough energy. Penetration threshold lay between 20 J and 30 J for this specimen. The reason for this situation is specimen's rigidity increased and also embrittlement increased with addition of CNT. Pure specimen did not decrease after maximum value and perforated. Only 1wt% CNT containing specimen showed small decrease after maximum point. In 40 J impact energies, none of the specimens reached impact energies.

They could not show elastic energies. The biggest energy absorption was shown from 1.25wt% CNT containing specimen and the lowest energy absorption was shown from pure specimen.

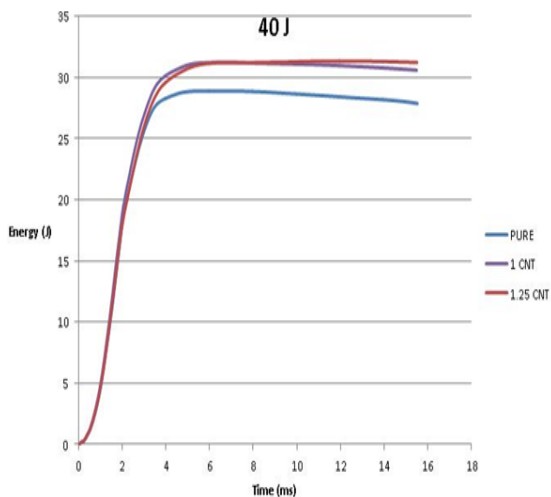


Figure 8. Energy-time curve for 40 J impact level

### 3.3. Energy Profile Diagram (EPD)

Energy profile diagram (EPD) is useful for identifying penetration and perforation threshold energies [3]. In this diagram, equal line is drawn for determine the penetration threshold. When absorbed energy is equal to impact energy and coincides with equal line this specimen's situation is called penetration. Higher impact energies than penetration energy causes perforation [16,17].

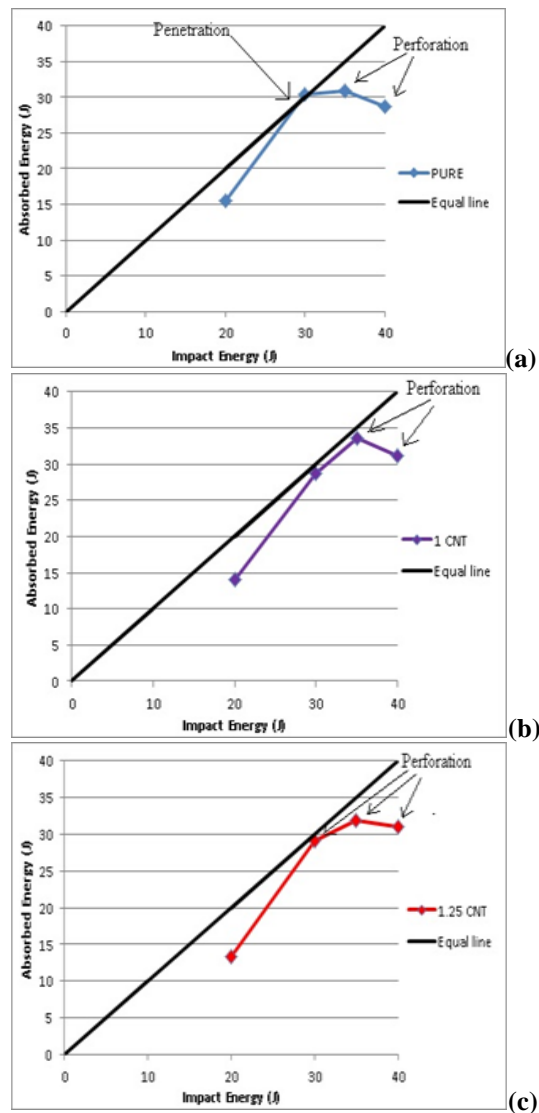
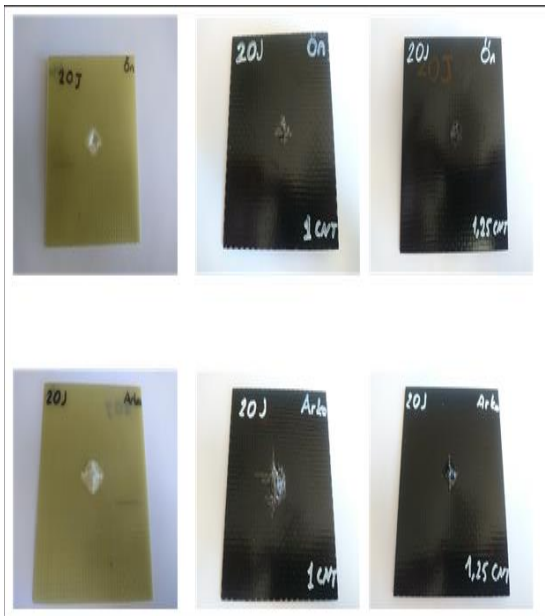


Figure 9. Energy profile diagrams for various concentration of CNT (a,b,c)

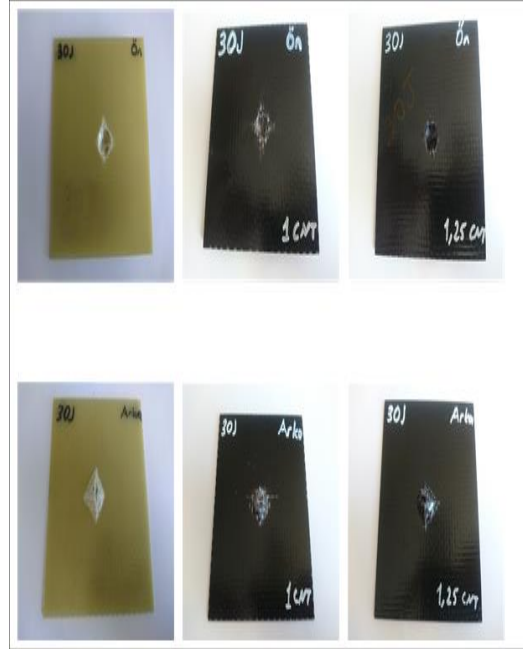
Figure 9 (a,b,c) show different concentrations of CNT's energy profile diagrams. According to diagram, pure and 1.25wt% CNT reinforced specimens got penetrate and perforate earlier than 1wt% CNT containing specimen. Control specimen's penetration threshold is around 28 J, interestingly 1.25wt% CNT containing specimen do not approach to equal line so it is hard to obtain penetration threshold value, but in the light of force-displacement and energy-time curves, it should be located between 20 and 30 J levels. Highest penetration value was shown from 1wt% CNT containing specimen, which was between 30 and 35 J levels.

### 3.4. Characterization of Impact Damage

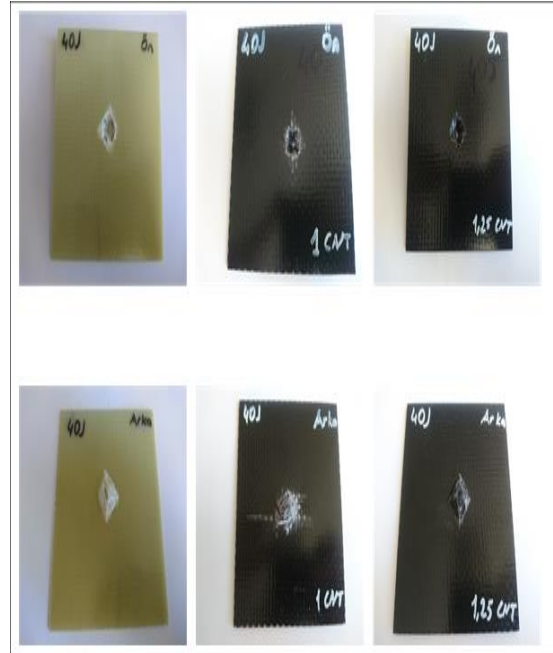
Short length multi-walled carbon nanotubes–DWCNTs containing plates' damage mechanisms were shown from Figure 10–12. As shown in Figure 10, it was investigated by visual inspection for 20 J impact energies response. Perforation situations were not seen for any of the specimens, but desired transverse crack could only be seen from 1wt% CNT containing specimen.



**Figure 10.** Damage areas for various concentration of CNT in 20 J impact energy



**Figure 11.** Damage areas for various concentration of CNT in 30 J impact energy



**Figure 12.** Damage areas for various concentration of CNT in 40 J impact energy

The smallest damage area was shown from 1.25wt% CNT containing specimen. The results are completely matched with force-displacement curve. When impact energy increased to 30 J, damage area also increased. The biggest damage area was seen from 1wt% CNT containing specimen. Impact energy was absorbed in longitudinal direction after that crack propagation occurred through thickness direction.

Perforation was occurred for pure and 1.25wt% CNT containing specimens. After impact energy increased to 40 J in drop weight impact test, all specimens could not absorb the load and specimens perforated. Fiber breakage and delamination was main failure mechanism. 1wt% CNT containing specimen showed deformation through fiber direction, it means transverse direction. Other specimens' showed circular impact damage.

#### **4. CONCLUSION**

The low-velocity impact (LVI) tests on composite plates that were reinforced with different loadings of short length multi-walled carbon nanotubes–DWCNTs were experimentally investigated. Two different content of short length multi-walled carbon nanotubes–DWCNTs (0, 1 and 1.25wt%) were used to evaluate their effects on the response of the low velocity impact loading.

In this experimental work, 1 and 1.25wt% short length multi-walled carbon nanotubes–DWCNTs added into epoxy matrix and compared with pure one. Plain weave E-glass fabrics were used for producing composite plates. Impact properties were investigated at room temperature. Tests have done at 20 J, 30 J, 35 J and 40 J impact energies. Penetration and perforation threshold was identified by using force–displacement, energy–time and energy profile diagram. According to tests results the lowest penetration threshold energy and the biggest penetration energy was seen from pure and 1wt% CNT containing specimens, respectively. 1wt% CNT containing specimen showed the highest reaction force and the lowest displacement

value. Impact nose was rebounded from specimen surface at 20 J impact energies and were perforated at 40 J impact energies for all specimens. Main failure mechanisms for specimens' were fiber breakage and delamination.

#### **5. ACKNOWLEDGEMENTS**

The authors gratefully acknowledge The Scientific Research Project of Turkey (BAP) for the financial support 2015 MÜH-074 (Ege University), 2015/334 (Atatürk University) for carrying out this work.

#### **6. REFERENCES**

1. Hosur, M.V., Adbullah, M., Jeelani, S., 2005. Studies on the Low-velocity Impact Response of Woven Hybrid Composites, *Composite Structures*, Vol. 67, pp. 253-262.
2. Liew, K.M., Lei, Z.X., Zhang, L.W., 2005. Mechanical Analysis of Functionally Graded Carbon Nanotube Reinforced Composites: A review, *Composite Structures*, vol. 120, pp. 90-97.
3. Aktas, M., Atas, C., Icten, B.M., Karakuzu, R., 2009. An Experimental Investigation of the Impact Response of Composite Laminates, *Composite Structures*, vol. 87, pp. 307–313.
4. Solimina, E.M., Sheykab, M.P., Taha, M.R., 2012. Low-velocity Impact of Thin Woven Carbon Fabric Composites Incorporating Multi-walled Carbon Nanotubes, *International Journal of Impact Engineering*, vol. 47, pp. 39-47.
5. Reis, P.N.B., Ferreira, J.A.M., Santos, P., Richardson, M.O.W., Santos, J.B., 2012. Impact Response of Kevlar Composites with Filled Epoxy Matrix, *Composite Structures*, vol. 94, pp. 3520–3528.
6. Akbarpour, M.R., Salahi, E., Alikhani Hesari, F., Simchi, A., Kim, H.S., .2013. Fabrication, Characterization and Mechanical Properties of Hybrid Composites of Copper using the Nanoparticulates of SiC and Carbon Nanotubes, *Materials Science and Engineering A*, vol. 572, pp.83–90.

7. Muthu, J., Dendere, C., 2014. Functionalized Multiwall Carbon Nanotubes Strengthened GRP Hybrid Composites: Improved Properties with Optimum Fiber Content, *Composites: Part B*, vol.67, pp. 84-94.
8. Taraghi, I., Fereidoon, A., Taheri-Behrooz, F., 2014. Low-velocity Impact Response of Woven Kevlar/epoxy Laminated Composites Reinforced with Multi-walled Carbon Nanotubes at Ambient and Low Temperatures, *Materials and Design*, vol. 53 , pp. 152–158.
9. Al-Saleh, M.H., 2015. Electrically Conductive Carbon Nanotube/polypropylene Nanocomposite with Improved Mechanical properties, *Materials and Design*, vol. 85, pp. 76-81.
10. Alam, A.K.M.M., Beg, M.D.H., Yunus, R.M., 2015. Influence of Carbon Nano Tubes on the Thermo-Mechanical Properties of Unsaturated Polyester Nanocomposite, *Materials Science and Engineering*, vol. 78, Conference 1, DOI:10.1088/1757-899X/78/1/012023.
11. Islam, M.E., Mahdi, T.H., Hosur, M.V., Jeelani, S., 2015. Characterization of Carbon Fiber Reinforced Epoxy Composites Modified with Nanoclay and Carbon Nanotubes, *Procedia Eng Engineering*, vol. 105, pp. 821- 828.
12. Rahmana, M.M., Hosur, M., Hsiaoc, K.T., Wallacec, L., Jeelani, S., 2015. Low Velocity Impact Properties of Carbon Nanofibers Integrated Carbon Fiber/epoxy Hybrid Composites Manufactured by OOA–VBO process, *Composite Structures*, vol. 120, pp. 32-40.
13. Masroor, M., Sheibani, S., Ataei, A., 2016. Effect of Milling Energy on Preparation of Cu–Cr/CNT Hybrid Nano-composite by Mechanical Alloying Trans, *Nonferrous Met. Soc. China*, vol. 26 pp. 1359–1366.
14. Heydari-Meybodi, M., Saber-Samandari, S., Sadighi, M., 2016. An Experimental Study on Low-velocity Impact Response of Nanocomposite Beams Reinforced with Nanoclay, *Composites Science and Technology*, vol. 133, pp. 70-78.
15. Ünal, H.Y., 2016. Nano Takviyeli Kompozit Malzemelerde Yorulma Karakteristiğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı.
16. Ünal, H.Y., Pekbey, Y., 2016. Effects of Nanoclay Concentration on Nanostructured Laminated Plates Behavior under Low-velocity Impact Loadings: Experimental Study, 2<sup>nd</sup> International Conference on Mechanics of Composites (Mech Comp 2016), Porto, July 2016, 11-14.
17. Ünal, H.Y., Pekbey, Y., 2016. Nanokalsit İçeren E-cam-Epoksi Tabakalı Kompozit Plakanın Düşük Hız Darbe Davranışının İncelenmesi, International Conference on Material Science and Technology, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, 6-8 April 2016.





## **Determining the Optimum Application Recipe for Microcapsules of Ozonated Vegetable Oils to Save Antibacterial Activity to Textiles**

**Burcu SANCAR BEŞEN<sup>\*1</sup>, Onur BALCI<sup>2</sup>, Cem GÜNEŞOĞLU<sup>3</sup>, İ. İrem TATLI<sup>4</sup>,  
Mehmet ORHAN<sup>5</sup>, A. Erdem BEYLİ<sup>6</sup>**

<sup>1</sup>*Balıkesir University, Balıkesir Vocational School, Balıkesir*

<sup>2</sup>*Kahramanmaraş Sütçü İmam University, Department of Textile Engineering, Kahramanmaraş*

<sup>3</sup>*Gaziantep University, Department of Textile Engineering, Gaziantep*

<sup>4</sup>*Hacettepe University, Faculty of Pharmacy, Ankara*

<sup>5</sup>*Uludağ University, Department of Textile Engineering, Bursa*

<sup>6</sup>*Teknozone Group, İzmir*

*Geliş tarihi: 21.07.2016*

*Kabul tarihi: 01.10.2016*

### **Abstract**

This paper proposed to determine optimum application recipe for the microcapsules of the ozonated vegetable oils, in order to save the antibacterial activity to the textiles. For this aim, the olive oil was ozonated during three hours and the ozonated oil was characterized via GC and FTIR analyses and antibacterial property of the oil was also researched. After characterizing of the ozonated oil, it was encapsulated into Arabicgum by basic coacervation method. The microcapsules were characterized through optical microscope and FTIR analyses. Finally, in order to determine optimum application recipe for saving the antibacterial activity to textile surfaces, different application solutions were prepared and the prepared solutions applied to the cotton fabrics by padding method. After applications, the SEM images of the fabrics were investigated and the antibacterial efficiencies of samples were also quantitatively evaluated by the ASTM 2149 01 against *Escherichia coli*. The results of the study showed that the ozone could easily react with the double bonds of the olive oils and the antibacterial properties of the olive oil improved. The ozonated olive oil was able to be microcapsulated with basic coacervation method, successfully. In addition, the optimum application recipe for the microcapsules of the ozonated vegetable oils could be determined.

**Keywords:** Ozonated vegetable oil, Microcapsule, Application, Antibacterial activity, Textile

---

\*Sorumlu yazar (Corresponding author): Burcu SANCAR BEŞEN, [burcusancar87@gmail.com](mailto:burcusancar87@gmail.com)

## **Tekstil Yüzeylerine Antibakteriyel Aktivite Kazandırmak için Ozonlanmış Bitkisel Yağ Mikrokapsüllerinin Aktarılacağı En Uygun Aplikasyon Reçetesinin Belirlenmesi**

### **Öz**

Bu makale, tekstil yüzeylerine antibakteriyel aktivite kazandırılmak için ozonlanmış bitkisel yağ mikrokapsüllerinin aktarılacağı en uygun aplikasyon reçetesini belirlemeyi amaçlamıştır. Bu amaçla zeytin yağı 3 saat ozonlanmış ve ozonlanmış yağ GC ve FTIR analizleri ile karakterize edilmiştir, aynı zamanda yağın antibakteriyel özelliği araştırılmıştır. Karakterizasyon sonrası ozonlanmış yağ, basit koaservasyon yöntemi ile Arap zıncı içine enkapsüle edilmiştir. Hazırlanan mikrokapsüller optik mikroskop ve FTIR analizleri ile karakterize edilmiştir. Son olarak, tekstil yüzeylerine antibakteriyel aktivite kazandıracak optimum aplikasyon reçetesinin belirlenebilmesi amacıyla, farklı aplikasyon çözeltileri hazırlanmış ve hazırlanan çözeltiler pamuklu kumaşlara emdirme yöntemi ile applike edilmiştir. Aplikasyon sonrası kumaşların SEM görüntüleri incelenmiş ve E.coli bakterisine karşı antibakteriyel etkinliği ASTM E 2149 01 standardına göre kantitatif olarak değerlendirilmiştir. Sonuçlar, ozonun zeytinyağındaki çift bağlarla kolaylıkla reaksiyona girebildiğini ve yağın antibakteriyel aktivitesini geliştirdiğini göstermiştir. Ozonlanmış yağ basit koaservasyon yöntemi ile başarılı bir şekilde kapsüllenebilmiştir. Ayrıca, ozonlanmış bitkisel yağ mikrokapsülleri için optimum aplikasyon reçetesi belirlenebilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Ozonlanmış bitkisel yağ, Mikrokapsül, Aplikasyon, Antibakteriyel aktivite, Tekstil

### **1. INTRODUCTION**

The ozone (O<sub>3</sub>) is known as one of the best bactericidal, antiviral, and antifungal agents, and it is used for chronic wounds. The beneficial effects of ozone on wound healing might be considered to be due to decreased bacterial infection or increased oxygen tension by ozone exposure in the wound area [1]. The ozone cannot be stored, but it can be carried by way of materials having double bonds [2]. When literature was analyzed, it was found out that ozone could be reacted with the unsaturated fatty acids of the oils, thus they could be stored and gained antibacterial and wound healing property [1,3-10]. It may be concluded that they are good candidates to produce medical textile surfaces by using them as core materials in microcapsules.

The microencapsulation is a process of covering the core material with wall material such as polymers. The term of microcapsules is used to describe particles with diameter between 1 and

1000 µm, whereas particles smaller than 1 µm are called nanocapsules. The microcapsules can be formed by various techniques such as in situ polymerization, interfacial polymerization, coacervation and spray drying [11,12]. Among these methods, coacervation is generally used for encapsulation of the oils. The coacervation, based on the phase separation of one or many hydrocolloids, is divided into as simple and complex coacervation. While the simple coacervation involves the use of a single polymer in organic or aqueous media, the complex coacervation involves the use of two oppositely charged polymeric materials [13].

The ozonide of the ozonated oils has limited stability to the temperature. It is stable for up to 1 year in the temperature between -10°C and +8°C, while up to 6 months at room temperature (25-30°C). Higher than this temperature, the stability of the ozonide along with antibacterial activity of the ozonated oils diminishes [6]. This property restricts the application conditions of the

ozonated oils to the textiles, and impose obligation for applying at room temperature. Therefore, in this experimental study, the optimum application recipe tried to be determined for the microcapsules of the ozonated oils. The study was divided to three parts. In the first part, the olive oil was ozonated during three hours at the laboratory condition. In the second part of the study, the microcapsules of the ozonated olive oil were prepared and the prepared microcapsules were characterized via optical microscope and FTIR. In the third part of the study, the optimum application recipe for padding method was tried to be determined in order to save antibacterial activity to textile surfaces.

## 2. MATERIAL VE METHOD

### 2.1. Material

In this study, in order to produce ozonated oil; the olive oil purchased from Zade Vital (Istanbul, Turkey), an ozone generator with the capacity of 25 g/h (Teknozone TKZ, İzmir, Turkey) and a glass bubbling colon (20 mm diameter, 900 mm height) with a glass diffuser placed at the bottom were used.

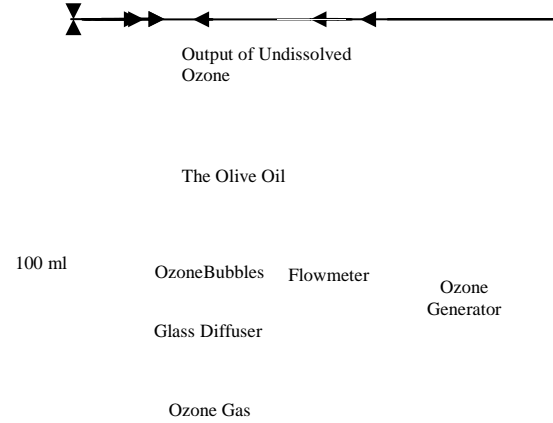
In the preparation of the microcapsules of the ozonated olive oil; Arabic gum as awall material, ethanol as a coacervation material supplied from Sigma Aldrich and low formaldehyde resin as a cross linker agent (Evopret RSF) supplied from Dystar were used. The microcapsules of ozonated oil were carried out by using a high shear mixer (L5M) purchased from Silverson.

In order to determine the optimum application recipe for the microcapsules, binder agent (Rucoat EC 4811) purchased from Rudolf Duraner and hydrophilic silicone emulsion (CML-N) supplied from CHT were used in the application solutions. The prepared application solutions were padded to the textile surfaces through laboratory scale fulard. The textile surface used in the study were 100% cotton woven fabrics (46 thread/cm warp, 22 thread/cm weft, 270 g/m<sup>2</sup>). The fabric was desized, scoured and bleached by the supplier

(Matesa, Kahramanmaraş, Turkey). The distilled water was used in the study.

### 2.2. Method

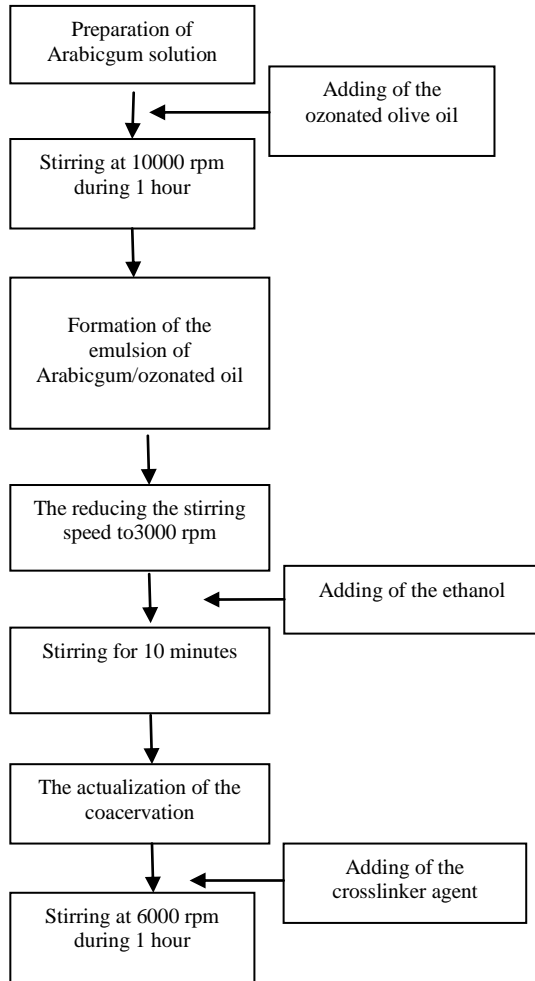
The produced ozone gas by the ozone generator was directed to the olive oil through the diffuser placed at the bottom of bubbling colon (Figure 2). The ozonation process was carried out with the 100 ml oil volume during 3 hours at the room temperature with the flow rate of 4 l/min. The experimental setup of ozonation process was given in Figure 2. After the ozonation, the ozonated oil was stored at the refrigerator for the further analysis and studies.



**Figure 1.** The experimental setup of the ozonation process [12]

The microcapsules of the ozonated oil were prepared according to diagram in Figure 2. The ratio of the ozonated olive oil: Arabic gum was determined as 1:5. The ozonated olive oil was drop wise added to 20% solution of the Arabic gum and they were stirred at 10.000 rpm during 1 hour for the formation of the emulsion. At the end of the stirring time, for actualization of the coacervation, the speed was reduced to the 3000 rpm, the ethanol (40% of the Arabic gum amount) was drop wise added to the emulsion and stirred for 10 minutes. Then, in order to stabilize the walls of the microcapsules, the cross linker agent (20% of the Arabic gum amount) was added to the solution and the mixture was stirred at 6000 rpm for 1 hour at

room temperature. At the end of the time, the solution was stored at the refrigerator for the further analysis and studies. The microcapsules in the solution were not filtered because of the necessity of the preparing solution of the microcapsules for the application [12].



**Figure 2.** The work flow diagram for the reparation of the microcapsule [12]

In order to determine the optimum application recipe for the microcapsules of the ozonated oil, different six application solutions of the microcapsules were prepared (Table 1). The prepared solutions were padded to the fabrics by squeezing up to 95% pick up and the fabrics were dried at the room temperature.

**Table 1.** The prepared application solutions of the microcapsules [12]

Experimental number	Concentration of the microcapsule (g/l)	Hydrophilic silicone (g/l)	Binder (g/l)
1	50	0	0
2	100	0	0
3	250	0	0
4	500	0	0
5	500	100	0
6	500	0	20

### 2.3. The Characterization Analyses

GC-MS (Gas Chromatography-Mass Spectroscopy) analysis was carried out with an Agilent 5975 GC-MS system for both ozonated and raw oils. The oil samples had methylation process before the analysis. FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) with ATR studies of the ozonated oil, raw oil, and the microcapsules were carried out by the transmission method using Perkin-Elmer spectrophotometer (Spectrum 400) between 400-4000  $\text{cm}^{-1}$  of wave numbers. Resolution for the infrared spectra was 4  $\text{cm}^{-1}$ , and there were four scans for each spectrum. The presence and the surface morphology of the microcapsules in the solution was researched via optical microscope (Nikon Eclipse 80i). The presence of the microcapsules on the fiber surface was evaluated through SEM (Zeiss Evo LS10). The antibacterial activities against *Escherichia coli* (ATCC 35218) of raw and ozonated olive oil samples were tested by AATCC 147 method and the antibacterial activities of the fabric samples against *Escherichia coli* (ATCC 35218) were tested by ASTM E2149-1 method.

## 3. RESULTS AND DISCUSSION

### 3.1. Characterization of the Ozonated Olive Oil

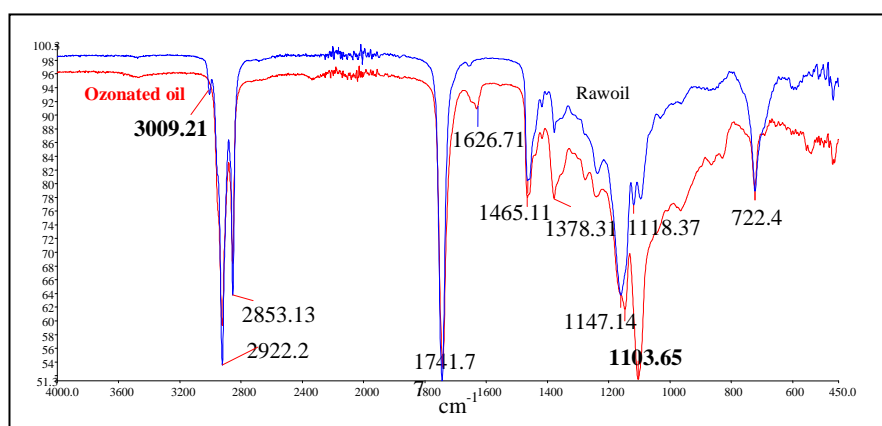
The contents of the important fatty acids determined by the GC-MS analysis of the ozonated and raw olive oils were given in Table 2.

**Table 2.** The important fatty acids of the ozonated and raw olive oils [12]

Name of Fatty Acid	Raw olive oil (%)	Ozonated olive oil (%)
Nonanoic acid (C9:0)	-	32.88
Nonanal dimethyl acetal	-	1.07
Nonanedioic acid (C9:2)	-	25.49
Palmitic acid (C16:0)	12.07	30.06
Stearic acid (C18:0)	2.90	7.24
Oleic acid (C18:1)	73.79	-
Linoleic acid (C18:2)	9.38	-
Linolenic acid (C18:3)	0.60	-

It is known that the reaction of the ozone occurs at the carbon-carbon double bonds in the unsaturated fatty acid. Therefore, the amount of unsaturated fatty acids of the oil decreases by the ozonation process. When Table 2 was investigated, it could be seen that the oleic and the linoleic acids which were the most important unsaturated fatty acids of the olive oil for ozonation process were completely run out after the ozonation time lasting 3 hours. In addition, the ozone gas broke up the long chains of the fatty acids to the smaller chains and the nonanoic acid (C9:0), the nonanal dimethyl acetal, the nonanedioic acid (C9:2) were determined after the ozonation process.

The FTIR analysis was also used to observe the change at chemical structure of the olive oil by the ozonation process. The FTIR spectra of the ozonated and the raw olive oil were given in Figure 3.

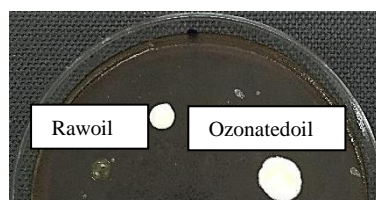


**Figure 3.** The FTIR spectra of the ozonated and raw olive oil [12]

For the FTIR assessment of the olive oil, =C–H stretching (ca. 3009 cm<sup>-1</sup>) and the C–O stretching (ozonide) (ca. 1105 cm<sup>-1</sup>) were crucial for ozonation process [12,14,15]. Figure 2 showed that C–O stretching (ca. 1105 cm<sup>-1</sup>) increased and C–H stretching (ca. 3009 cm<sup>-1</sup>) decreased, significantly after the ozonation process. Thus, it could be said that ozone bonded to the olive oil and the ozonide structure formed.

The result of the antibacterial activity of the ozonated and the raw olive oil investigated via

planting of the bacteria to the agar medium was given in Figure 4.



**Figure 4.** The antibacterial activity of the ozonated and raw olive oil [12]

In order to accept a sample as antibacterial, bacterial growth should not occur at the around, above or below of the sample. In addition, the size of the protection zone of the sample was the signal for the antibacterial activity. When the Figure 4 was investigated, it was seen that while the raw olive oil had low antibacterial activity, the ozonated olive oil showed high activity. As a conclusion, it can be said that ozone application to the olive oil improved the antibacterial activity of the oil.

### 3.2. Characterization of the Microcapsules of the Ozonated Olive Oil

The image of the optical microscope of the produced microcapsules of the ozonated oil was given in Figure 5.

When Figure 5 was investigated, it was clearly seen that the oil could successfully encapsulated and the capsules formed size of between 1 and 20  $\mu\text{m}$ .

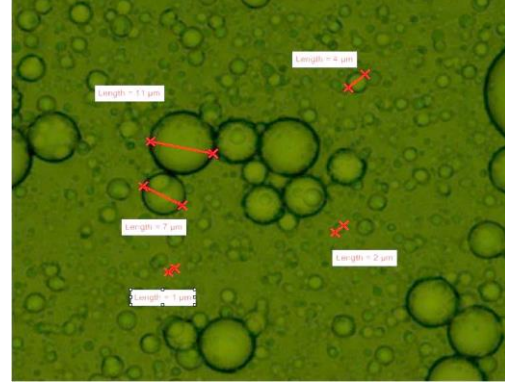


Figure 5. The image of the optical microscope of the microcapsules [12]

In order to be sure that the oil was encapsulated, the FTIR analyses were carried out to the core material, wall material and the prepared microcapsule. The IR spectra of the solution of the Arabic gum, the ozonated oil and prepared microcapsule as comparative were given in Figure 6.

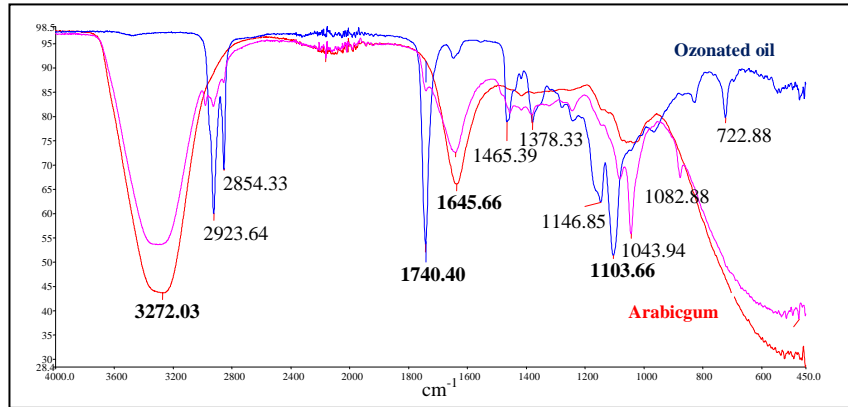


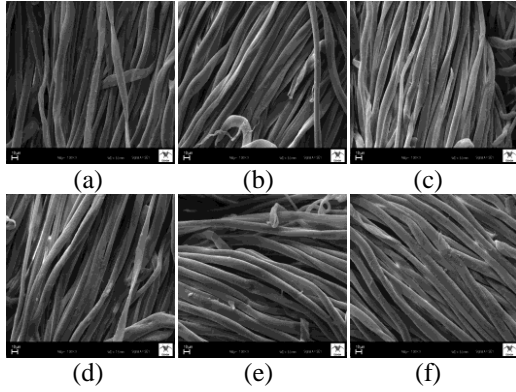
Figure 6. The IR spectra of the core material, wall material and the microcapsule [12]

When Figure 6 was investigated, it could be seen that the microcapsule had the important signal of the oil and the Arabic gum. In addition, while the peak intensity of the ozonated olive oil showed at the wave number of  $\sim 1105 \text{ cm}^{-1}$ ,  $\sim 1741 \text{ cm}^{-1}$  decreased, the peak intensities of the Arabic gum showed at the wave number at  $\sim 1636 \text{ cm}^{-1}$ ,  $\sim 3272 \text{ cm}^{-1}$  increased at the microcapsule solutions. Thus, we could understand that the

Arabic gum covered the ozonated oil and the oil was successfully encapsulated.

### 3.3. The Characterization of the Fabrics Applied Microcapsule Solutions

The SEM images of the fabrics applied microcapsule solutions prepared according to the Table 1 were given in Figure 7.



**Figure 7.** The SEM images of the fabrics (a.1, b.2, c.3, d.4, e.5, f.6) [12]

Figure 6 showed that the microcapsules on the fiber surfaces increased depending on the increment of the concentration of the microcapsule, usage of the hydrophilic silicone and binder in the application solution.

The antibacterial activities against *E.coli* of the fabrics treated with microcapsule solutions in Table 1 were given in Table 3.

**Table 3.** The antibacterial activity of the fabrics [12]

Experimental number (Table 1)	% Reduction of the bacteria
Raw fabric	+257.14
1	+118.18
2	+45.45
3	+81.82
4	-33.33
5	-98.18
6	-38.33

When Table 3 was researched, it could be seen that the antibacterial activity increased depending on the increment of the concentration of the microcapsule, usage of the hydrophilic silicone and binder in the application solution, similar with the results of the SEM images. The hydrophilic silicone increased holding the microcapsules onto the fiber surface due to the silicone oil. However, the binder also increased holding the

microcapsules onto the fiber surface; the increment was insufficient because of the amount of the binder used in the application solution. As a result, 500 g/l microcapsule solution including 100 g/l hydrophilic silicone and higher than 20 g/l binder was determined as the optimum application recipe, in order to provide antibacterial activity to textile surfaces.

#### 4. CONCLUSION

In the present study, it was aimed to determine the optimum padding recipe for the ozonated vegetable oils encapsulated by Arabic gum. The study was completed as three parts. Firstly, the olive oil was ozonated during 3 hours and characterized via GC and FTIR analyses along with antibacterial activity. Secondly, the ozonated olive oil was encapsulated into the Arabic gum and the prepared microcapsules were characterized via optical microscope and FTIR. Finally, the characterized microcapsules applied to the cotton fabrics with different padding recipes. The results showed that the ozone could easily react with the double bonds of the olive oils in the conditions of the experimental setup used in this paper and the antibacterial properties of the oil improved. The ozonated olive oil was able to be encapsulated into the Arabic gum with basic coacervation, successfully. In addition, the application solution including both the binder and silicone emulsion was determined as optimum application recipe, in order to save high antibacterial activity to textiles. As a conclusion, 500 g/l microcapsule solution including 100 g/l hydrophilic silicone and higher than 20 g/l binder was determined as the optimum application recipe, in order to provide high antibacterial activity to textile surfaces.

#### 5. ACKNOWLEDGEMENTS

This study was supported by the TUBITAK as a TEYDEB project (project number: 7140267) and the Scientific Research Project Department of Kahramanmaraş Sütçü İmam University (KSU-BAP) as a PhD project (project number: 2015/1-83D). The authors express thanks to the financial supporters.

## 6. REFERENCES

1. Valacchi, G., Lim Y., Belmonte G., Miracco C., Zanardi I., Bocci V., Travagli V., 2011. Ozonated Sesame Oil Enhances Cutaneous Wound Healing in SKH1 Mice, *Wound Repair and Regeneration*, vol. 19(1), pp. 107-115.
2. Babuccu, O., 2011. Ozone Therapy: Myth and Fact, *Original Research, Turk Plast Surg.*, vol. 19(3), pp. 105-112.
3. Sakazaki, F., Kataoka, H., Okuno, T., Ueno, H., Semma, M., Ichikawa, A., Nakamuro, K., 2007. Ozonated Olive Oil Enhances the Growth of Granulation Tissue in a Mouse Model of Pressure Ulcer, *Ozone: Science & Engineering*, vol. 29, pp. 503-507.
4. Zamora, Z., Gonzalez, R., Guanche, D., Merino, N., Menendez, S., Hernandez, F., Alonso, Y., Schulz, S., 2008. Ozonized Sunflower Oil Reduces Oxidative Damage Induced by Indomethacin in Rat Gastric Mucosa, *Inflammation Research*, vol. 57, pp. 39-43.
5. Lezcano, I., Nuflez, N., Espino, M., Gomez, M., 2000. Antibacterial Activity of Ozonized Sunflower Oil, *Oleozon, Against Staphylococcus Aureus and Staphylococcus Epidermidis*, *Ozone Science & Engineering*, vol. 22, pp. 207-214.
6. Sechi, L.A., Lezcano, I., Nunez, N., Espim, M., Dupre, I., Pinna, A., Molicotti, P., Fadda, G., Zanetti, S., 2001. Antibacterial Activity of Ozonized Sunflower Oil (Oleozon), *Journal of Applied Microbiology*, vol. 90, pp. 279-284.
7. Menendez, S., Falcon, L., Simon, D.R., Landa, N., 2002. Efficacy of Ozonized Sunflower Oil in the Treatment of Tinea Pedis, *Mycoses*, vol. 45, pp. 329-332.
8. Diaz, M.F., Gavin, J.A., Gomez, M., Curtielles, V., Hernandez, F., 2006. Study of Ozonated Sunflower Oil using H NMR and Microbiological Analysis, *Ozone: Science & Engineering*, vol. 28, pp. 59-63.
9. Torres, I.F., Pinol, V.C., Urritia, E.S., Regueiferos, M.G., 2006. In vitro Antimicrobial Activity of Ozonized Theobroma Oil Against Candida Albicans, *Ozone: Science & Engineering*, vol. 28, pp. 187-190.
10. Sancar Beşen, B., Balcı, O., Orhan, M., Güneşoğlu, C., Tatlı, İ.İ., 2015. An Investigation on Antibacterial Activities of Nonwovens Treated with Ozonated Oils, *The Journal of Textiles and Engineer*, vol. 22 (100), pp. 25-31.
11. Karthikeyan, M., Ramachandran, T., Shanmugasundaram, O.L., 2014. Synthesis, Characterization and Development of Thermally Enhanced Cotton Fabric Using Nanoencapsulated Phase Change Materials Containing Paraffin Wax, *The Journal of The Textile Institute*, DOI: 10.1080/00405000.2014.886368.
12. Sancar Beşen, B., 2016. Producing of Microcapsules Including Ozonated Vegetable Oils and Applying them to Textile Surfaces, PhD Thesis, Kahramanmaraş Sütçü İmam University, Kahramanmaraş, pp. 63-148.
13. Özyıldız, F., Karagönlü, S., Basal, G., Uzel, A., Bayraktar, O., 2012. Micro-encapsulation of Ozonated Red Pepper Seed Oil with Antimicrobial Activity and Application to Nonwoven Fabric, *The Society for Applied Microbiology, Letters in Applied Microbiology*, vol. 56, pp. 168-179.
14. Zanardi, I., Travagli, V., Gabbriellini, A., Chiasserini, L., Bocci, V., 2008. Physico-Chemical Characterization of Sesame Oil Derivatives, *Lipids*, vol. 43, pp. 877-886.
15. Almeida, N.R., Beatriz, A., Micheletti, A.C., Arruda, E.J., 2012. Ozonized Vegetable Oils and Therapeutic Properties: A Review, *Orbital Electronic Journal of Chemistry*, vol. 4 (4), pp. 313-326.



## Environmental Risk Analysis of Turkey under Climate Change Scenarios using Spatial Modelling: Application of Net Primary Productivity

Süha BERBEROĞLU\*<sup>1</sup> Cenk DÖNMEZ<sup>1</sup>, Ahmet ÇİLEK<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Landscape Architecture, Faculty of Agriculture, University of Cukurova, Adana

Geliş tarihi: 27.08.2016

Kabul tarihi: 30.09.2016

### Abstract

The aim of this study is to estimate the response of NPP to regional climate changes in Turkey using a biogeochemical modelling approach. The CASA model was utilized to predict annual regional fluxes in terrestrial net primary production for present (2000-2010) and future (2060-2080) climate conditions. A comprehensive data set including percentage of tree cover, land cover map, soil texture, NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) and climate variables were used to constitute the model. The multi-temporal metrics were produced using 16 days MODIS composites with 250 m spatial resolution. The future climate projections were based on a RCP (Representative Concentration Pathways) scenario that was defined in 5<sup>th</sup> Assessment Report of IPCC. In this context, the future NPP modelling was performed with prescribed CO<sub>2</sub> concentrations up to 421 ppm and temperature increasing 1.1°C to 2.0°C.

The model results indicated that the NPP in Turkey averages 1232 gCm<sup>2</sup>y<sup>-1</sup>. Terrestrial NPP ranges from 9.61 to 316.1 gCm<sup>2</sup>y<sup>-1</sup> for the baseline period (2000-2010). Modeled total NPP averages 1320.8 gCm<sup>2</sup>y<sup>-1</sup> per year in the period 2060-2080. Total carbon budget of NPP was estimated as 104.78 MT (million tons) per year. The model results showed that the terrestrial NPP was sensitive to changes in temperature and precipitation. Addressing the model results, the CASA provided a great potential to predict present and future productivity on regional basis. Thus, this study will provide a scientific foundation to understand and assess ecological and economic implications and consequences of climate change on the productivity in Turkey.

**Keywords:** NPP, Modelling, Climate change, Turkey, MODIS, IPCC, RCPs

### İklim Değişikliği Senaryoları Altında Konumsal Modelleme Kullanarak Türkiye'nin Çevresel Risk Analizi: Net Birincil Üretim Örneği

#### Öz

Çalışmanın amacı, Türkiye'de bölgesel iklim değişikliğinin Net Birincil Üretim (NPP)'e etkilerinin biyokimyasal modelleme yaklaşımı ile tahmin edilmesidir. Güncel (2000-2010) ve gelecek (2060-2080) iklim koşullarında karasal NPP'in yıllık bölgesel döngülerinin tahmininde CASA modeli kullanılmıştır.

\* Sorumlu yazar (Corresponding author): Süha BERBEROĞLU, [suha@cu.edu.tr](mailto:suha@cu.edu.tr)

Modelin oluşturulmasında ağaç kapallılık yüzdesi, arazi örtüsü, toprak tekstürü, Normalleştirilmiş Fark Vejetasyon İndeksi (NDVI) ve iklim değişkenlerinden oluşan geniş bir veri seti kullanılmıştır. Çoklu zamansal metrikler 250 m çözünürlü MODIS verileri kullanılarak üretilmiştir. Gelecek tahmini için IPCC'nin 5. Değerlendirme Raporunda tanımlanan RCP (Representative Concentration Pathways) senaryoları baz alınmıştır. Bu kapsamda, 1,1°C ile 2,0°C arasında sıcaklık ve 421 ppm'e kadar CO<sub>2</sub> artışı limit alınmıştır.

Model sonuçları, Türkiye için ortalama NPP değerinin 1232 gCm<sup>2</sup>y<sup>-1</sup> olduğunu göstermiştir. Karasal NPP güncel durum için 9,61 to 316,1 gCm<sup>2</sup>y<sup>-1</sup> değişmektedir. Modellenen yıllık toplam NPP ise 2060-2080 yılları için 1320,8 gCm<sup>2</sup>y<sup>-1</sup> dir. Toplam karbon bütçesi yıllık 104,78 milyon ton tahmin edilmiştir. Model sonuçları karasal NPP'nin sıcaklık ve yağış değişimlerine hassas olduğunu göstermiştir. CASA modeli, güncel ve gelecek NPP değerlerinin hesaplanmasında bölgesel temelde başarılı sonuçlar vermiştir. Bu çalışma, Türkiye'de iklim değişikliği altında ekolojik ve ekonomik sonuçların ortaya konması yardımcı veriler üretilmesi bakımından önem taşımaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** NPP, Modelleme, İklim değişimi, Türkiye, MODIS, IPCC, RCP

## 1. INTRODUCTION

Net primary productivity (NPP) is a key component of the global carbon cycle. Accurate estimation of terrestrial NPP and its sensitivity to regional temperature and precipitation changes are important for understanding the fluxes and amount of total carbon resulting from climate variations. Estimating temporal variations in NPP has significant importance that contributes to improve the understanding of terrestrial carbon cycle and to cope with potential future changes in climate. In this regard, policy makers need information to project the spatial and temporal responses of NPP to various future climate scenarios. Such predictions are necessary to not only measuring the regional carbon stocks but also to enlist the natural systems in mitigating greenhouse gas emissions particularly in heterogenous ecosystems [1]. This is especially true for Turkey where anthropogenically driven climate change can impact the ecosystem productivity within its rich vegetation biodiversity and diverse topography.

The aims of this study were to i) estimate the terrestrial NPP for Turkey using a biogeochemical model CASA (Carnegie Ames Stanford Approach), ii) modelling the future changes in the terrestrial NPP and its response to climate change based on the RCP 2.6 scenario of the IPCC. This study is important to strenghten the understanding

of the quantitative relationship between climate change and NPP on regional basis.

In respect to increases of greenhouse emissions due to anthropogenic effects, The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) has developed different climate scenarios within its 5th Assessment Report. These scenarios are called 'Representative Concentration Pathways' (RCPs) because they were developed to be 'representative' of possible future emissions and concentration scenarios published in the existing literature. The RCPs focus on the 'concentrations' of greenhouse gases that lead directly to a changed climate, and include a pathway the trajectory of greenhouse gas concentrations over time to reach a particular radiative forcing at 2100 [2].

RCPs 2.6 scenario was selected with prescribed CO<sub>2</sub> concentrations reaching 421 ppm by the year 2100 to utilize in the CASA model to estimate future NPP changes in response to climate change. A well-evaluated biogeochemical ecosystem model was used to simulate the spatial and temporal changes in NPP in response to the projected climate changes. The main objective was to quantify the ecosystem NPP in Turkey between present situation and 2100 within different IPCC scenarios. In this context, the interannual and seasonal characterization of NPP and climate variables were mapped using an ecosystem model

that globally optimized by the parameter of PAR (Photosynthetic Active Radiation), FPAR (Fraction of Photosynthetic Active Radiation) and LUE (Light Use Efficiency).

### 1.1. Study Area

Turkey is located in the northern hemisphere between the 36°-42° northern parallel and the 26°-45° eastern meridian (Figure 1). It covers approximately 788000 km<sup>2</sup>. The country is situated on a landscape where Europe meets Asia, creating a link between these two continents. Half the land is above 1000 m and 10% is over 2000 m. Turkey has a mountainous and hilly landscape. The average altitude is approximately 1250 m, and in 62.5% of the total land average slope is more than 15% [3]. The country has diversity and prosperity

of topography, climate and vegetation cover. Turkey, as a result of her geographical and topographical position, has many climate types ranging from arid to humid [4]. The land cover types of the region comprise evergreen needleleaf, broadleaf and mixed forests including needleleaf and broadleaf forests, grasslands and bare grounds.

Turkey is situated in the extensive Mediterranean region where climatic conditions are generally quite temperate, the diverse nature of the landscape and particularly the mountains that run parallel to the coastline, result in significant differences in climatic conditions from one geographical region to the other. While the coastal areas enjoy milder climates, the inland Anatolian plateau experiences extremes of hot summers and cold winters with limited rainfall [3].

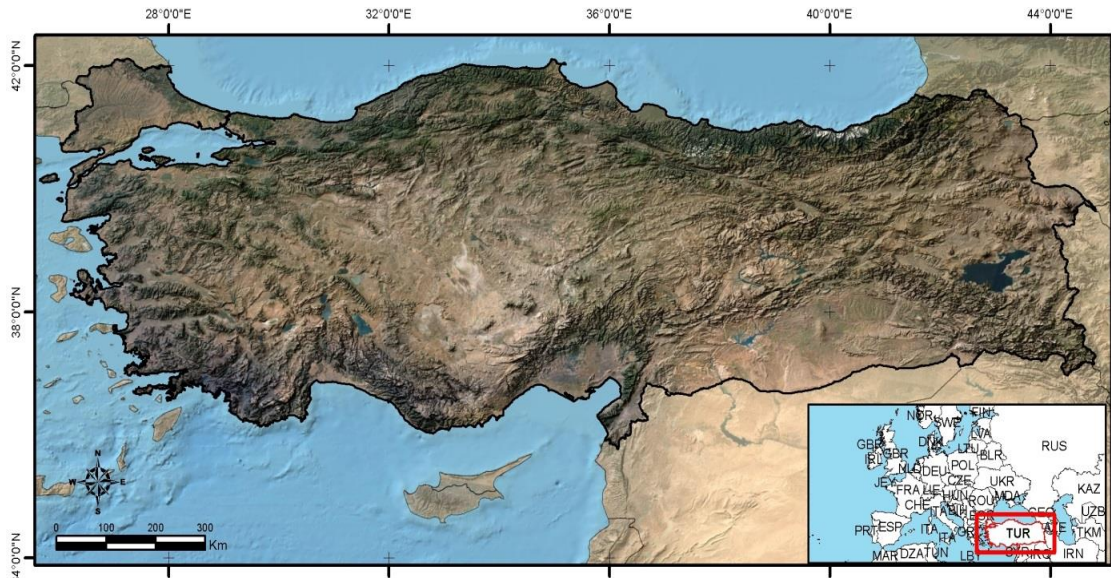


Figure 1. Location of the study region

### 1.1.2. Data Processing

The main meteorological data used in modelling process were obtained from State Meteorological Works in Turkey including precipitation, solar radiation and air temperature. Those datasets were collected from 300 meteorological stations on daily basis and generalized to monthly basis. Future climate maps were obtained from World

Clim research group with 1-km spatial resolution which were based on climate projections from global climate models (GCMs) for the RCP 2.6. which was one of the most recent GCM climate projections defined in the IPCC Fifth Assessment report. The GCM output was downscaled and calibrated (bias corrected) as baseline 'current' climate [5].

Remote sensing data used in this study were derived from The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS). The sensor has the Terra and Aqua satellites on board with 36 spectral bands; spectral bands are primarily designed for study of vegetation and land surface: blue (459–479 nm), green (545–565 nm), red (620–670 nm), near infrared (841–875 nm and 1230–1250 nm), and shortwave infrared (1628–1652 nm and 2105–2155 nm) [1,7]. MODIS 16-day composite data at 250-m spatial resolution were obtained from the National Aeronautics and Space Administration (NASA). These images were geometrically corrected according to WGS 84 Datum and ED 1950 coordinate system.

## 2. METHODOLOGY

The CASA model was used in this study to estimate present and future NPP in Turkey. The model computes the monthly NPP flux as net fixation of CO<sub>2</sub> by vegetation on the basis of light-use efficiency. Thus, calculates NPP is calculated as a function of the driving energy for photosynthesis, the absorbed photosynthetically active (400 to 700 nm) solar radiation (APAR), and an average light utilization efficiency ( $\epsilon$ ) [8]. The fundamental relation in the CASA model is

$$\text{NPP} = \text{APAR} \times \epsilon \quad (1)$$

$$\text{NPP} = f(\text{NDVI}) \times \text{PAR} \times \epsilon \times g(\text{T}) \times h(\text{W}) \quad (2)$$

where APAR (in megajoules per square meter per month) is a function of NDVI and downwelling photosynthetically active solar radiation (PAR) and  $\epsilon$  (in grams of C per megajoule) is a function of the maximum achievable light utilization efficiency  $\epsilon$  adjusted by functions that account for effects of temperature  $g(\text{T})$  and water  $h(\text{W})$  stress. Whereas previous versions of the CASA model [9,10] used a normalized difference vegetation index (NDVI) to estimate FPAR, the current model version instead relies upon canopy radiative transfer algorithms [11], which are designed to generate improved FPAR products as inputs to

carbon flux calculations. The model was utilized to predict annual regional fluxes in terrestrial net primary production at variable degrees of C, depending on the yearly conditions, with terrestrial net production. Several diverse datasets were used in this research.

Calculation of annual terrestrial NPP is based on the concept of light-use efficiency, modified by temperature, rainfall values and solar radiation scalars. In addition, percentage of tree cover, land cover map of the region, soil texture and NDVI (normalized difference vegetation index) will be used to constitute this model.

Climate Data: Monthly precipitation, air temperature and solar radiation were used as the climate data sets. These variables were based on 10 years (2000-2010) records from the meteorological stations in Turkey. Climate variables were spatially-interpolated together with Digital Elevation Model (DEM) using co-kriging method and mapped on monthly basis and included into modelling process.

Land Cover Map: The MODIS land cover product was used to classify the vegetation types with CORINE land cover scheme. The output comprised 82 land cover classes with 250 m spatial resolution initially. Accuracy analysis was carried out by comparing the classification map and ground truth data obtained from many field campaigns.

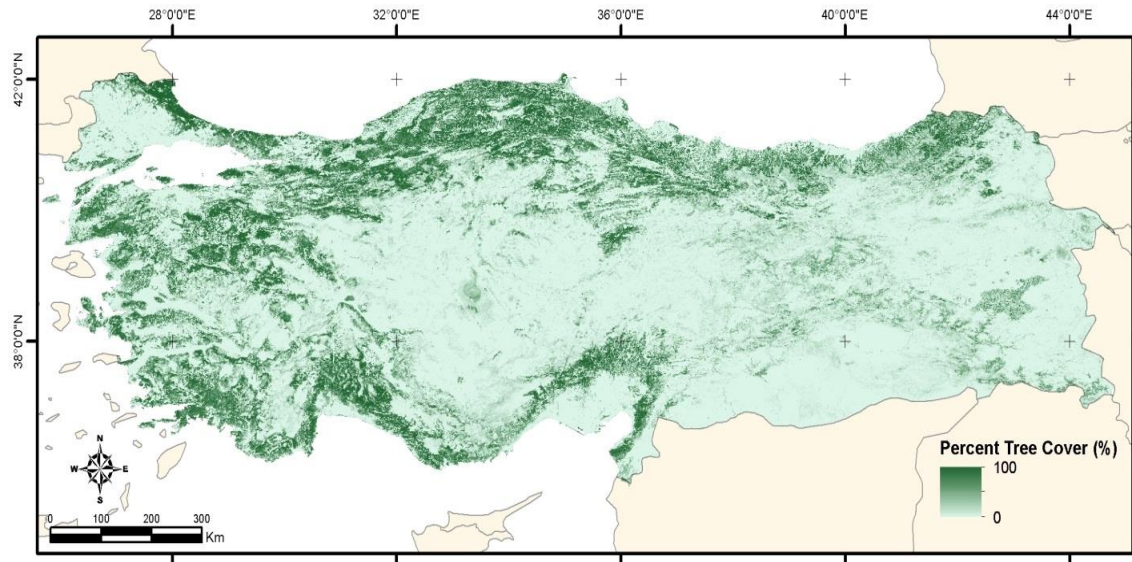
Soil Texture Map: The soil texture data file is based on FAO soil texture classification which has 5 classes. The dominant soil type in a soil unit, the designation "coarse", "medium", "fine", "very fine" or a combination of these based on the relative amounts of clay, silt, and sand present in the top 30 cm of soil. These classes were derived from the Pedotransfer rules and expert opinions. The regional soil maps in 25.000 scale was utilized for this study and soil texture classes were assigned on the basis of estimated clay content according to FAO [8].

NDVI: The MODIS/Terra NDVI images produced 16-day intervals, L3 Global and at 250 m spatial resolution were used in modelling process as one of the main inputs. These images comprised transformations of the red (620-670 nm), nearinfrared (841-876 nm), and blue (459-479nm) bands designed to enhance the vegetation signal and allow for precise inter-comparisons of spatial and temporal variations in terrestrial photosynthetic activity [12].

Percent Tree Cover Map: Regression Tree (RT) algorithm was used to predict Percent Tree Cover of Turkey as one of the main inputs in NPP modelling process. The regression tree algorithm

produces a rule-based model for predicting a single continuous response variable from one or more explanatory variables. RT is a piecewise constant or piecewise linear estimate of a regression function, constructed by recursively partitioning the data [13].

The methodology for deriving percent tree cover with RT consisted of five steps for this study Dönmez et al., [14]: i) generate reference percentage tree cover data, ii) derive metrics from MODIS data, iii) select predictor variables, iv) fit RT models, v) undertake accuracy assessment and produce final model and map (Figure 2).



**Figure 2.** Percent tree cover map of Turkey

Accuracy of the percent tree cover map was defined with correlation coefficient. The CC of the percent tree cover for Turkey is 0.83. It is showed that the percent tree cover map of Turkey was derived by means of RT technique with a reasonable accuracy.

### 3. RESULTS AND DISCUSSION

The aim of this study is to estimate the response of NPP to regional climate changes in Turkey using a biogeochemical modelling approach. Present and

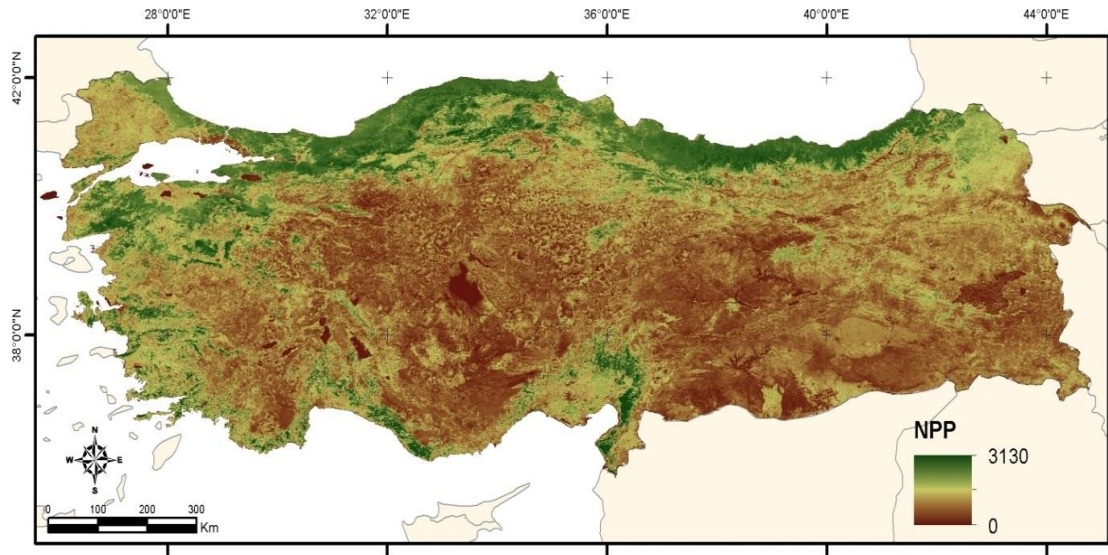
future projections of NPP were estimated in Turkey in respect the climate change effects. Total NPP carbon budget for the whole region and each land cover class were calculated and the changes were defined.

The 11-yr datasets of MODIS and climatic parameters were used to estimate the patterns of monthly variability of NPP in relation to climate change in Turkey. The NASA-CASA model was run over Turkey for 10-year simulation with respect to FPAR and LUE.



Modelling results showed that the forest NPP in the baseline (2000–2010) condition varied spatially and temporally across the study region. The mean NPP differed significantly among all

months ranged from 32.05 to 169.64  $\text{gC m}^{-2} \text{yr}^{-1}$ . Annual total NPP is shown in Figure 3 and total NPP were mapped at a 250 m grid cell size.

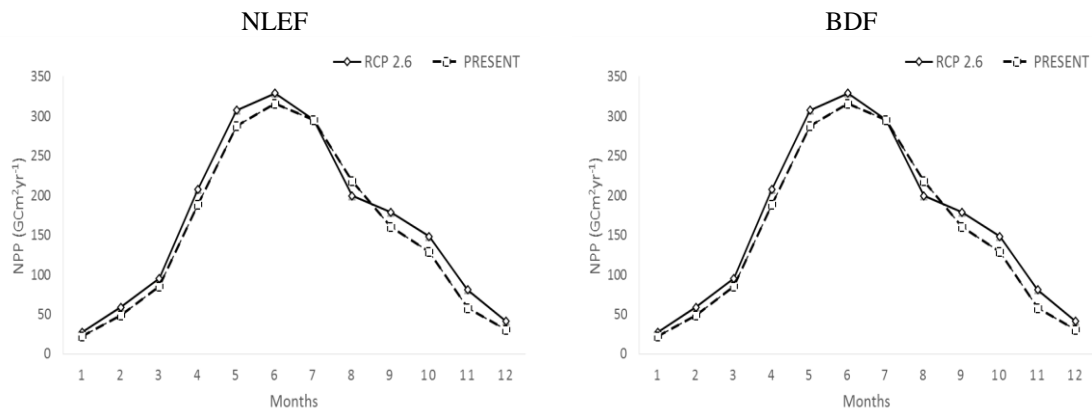


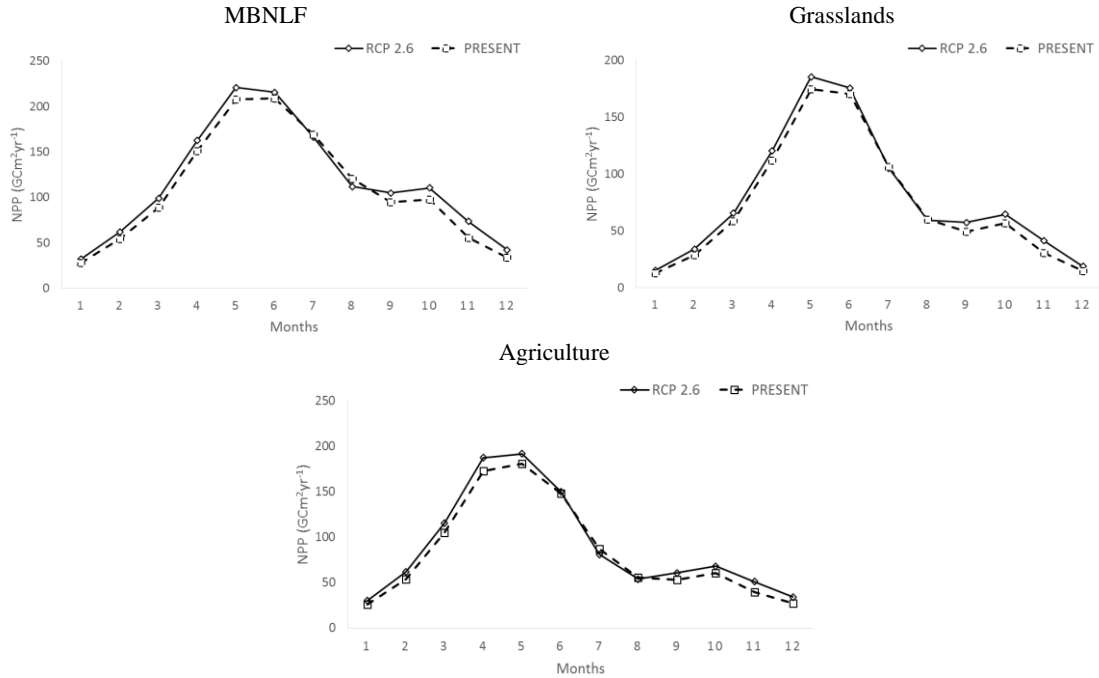
**Figure 3.** Total NPP map derived from CASA model (250 m)

The NASA-CASA model was run over Turkey for a 20 year (2060–2080) simulation with respect to projected climate time-series. Model simulations were intended to reflect the monthly and annual variability of NPP response in RCP 2.6 scenario defined by IPCC where rainfall and air temperature can vary substantially for long-term average amounts. The long-term mean annual temperature indicated an increase of 1.5–2°C for

scenario RCP 2.6 for 2060–2080 compared to present conditions.

The CASA Model simulations indicated a significant increase for spring season for 2060–2080 period. However, a dramatic decrease was simulated for scenario RCP 2.6 during summer. Monthly variations of NPP for the land cover classes in Figure 4.





**Figure 4.** Monthly differences of NPP fluxes for different land cover classes between present and future (NLEF: Needle Leaf Evergreen Forest, BDF: Broadleaf Evergreen Forests, MBNLF: Mixed Broadleaf and Needleleaf Forests)

An increase will occur in spring and winter seasons due to projected temperature increases for RCP 2.6. In summer, a decrease of NLEF NPP occurs due to higher temperature. The total NPP was estimated as 1969.54 gCm<sup>2</sup>y<sup>-1</sup> for 2060-2080.

MNBDF stands cover wide areas in the region and its productivity is an important indicator for the ecosystem performance and carbon fluxes. Total annual MNBDF NPP was estimated as 1400 gCm<sup>2</sup>y<sup>-1</sup> for RCP 2.6 scenarios. Monthly Grassland NPP are estimated approximately between 10 and 200 gCm<sup>2</sup>y<sup>-1</sup>.

Agricultural production provides a significant contribution to Turkey’s economy. NPP amounts indicate the performance of agricultural productivity. CASA model was simulated a minor increase in NPP of agriculture areas. An increase will occur with approximately +102 gCm<sup>2</sup>y<sup>-1</sup>.

The assessment of the climate change scenarios and their impact on the NPP and its variations

were constituted by analyzing the model predictions. Model results were interpreted and summed for each land cover class over Turkey. Model NPP estimations for the land cover classes and total NPP carbon amounts are shown in Table 1.

**Table 1.** Annual Total NPP Estimations and their responses to different climate scenarios for Turkey (MT: Million tons)

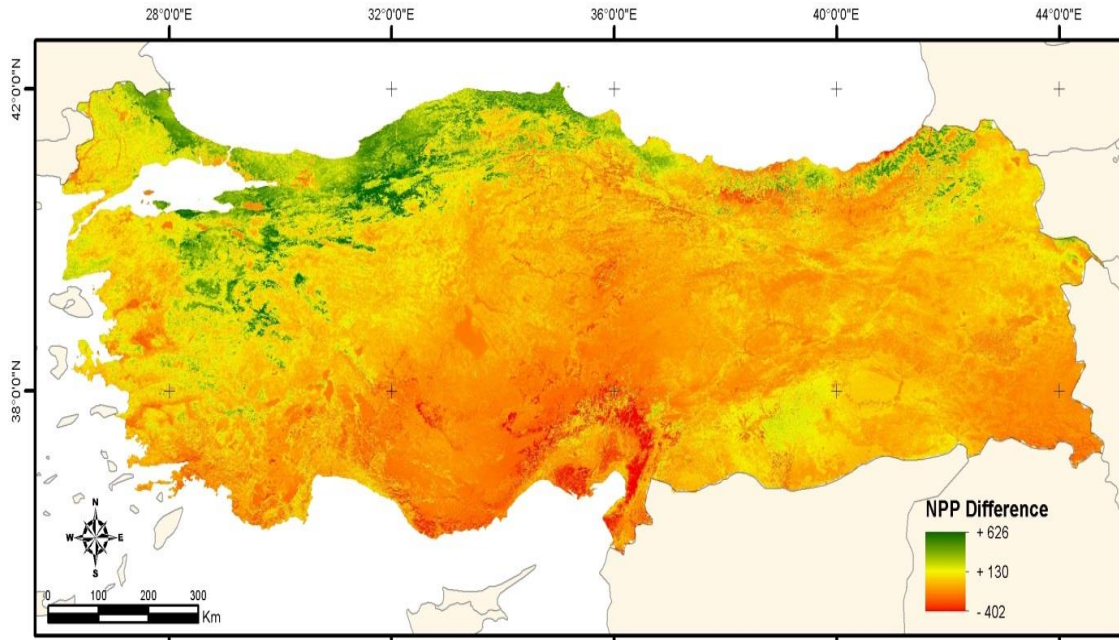
Land Cover Classes	2000-2010		2060-2080	
	Present NPP		RCP2.6	
	Annual (gCm <sup>2</sup> y <sup>-1</sup> )	Total (MT)	Annual (gCm <sup>2</sup> y <sup>-1</sup> )	Total (Pt)
BDF	1839.71	9.34	1969.54	10.00
MBNLF	1311.06	18.50	1400.43	19.76
NLEF	1665.93	9.96	1810.18	10.82
Grasslands	875.59	10.06	943.90	10.84
BSBS	1260.99	1.39	1329.12	1.47
Bare Soil	665.35	12.93	708.10	13.76
Agriculture	1008.15	42.60	1084.36	45.82
<b>Total</b>	3130	104.78	3056	112.47

The mean annual NPP simulations of BDF stands indicated an increase of +130 gCm<sup>2</sup>y<sup>-1</sup> for scenario

RCP 2.6. NLEF and MBNLF stands also indicated a reasonable increase of up to  $+140 \text{ gCm}^{-2}\text{y}^{-1}$  for future. MBNLF stands showed also significant differences in terms of their NPP amounts in future. The strongest impact of the projected climate change was estimated on NPP in BDF stands. Grasslands and agricultural fields also showed a critical response to the temperature and

precipitation changes that were included in modelling process.

The difference between present and future NPP fluxes were mapped with 250 m spatial resolution for the RCP 2.6 scenario. The difference NPP maps of present and future (RCP 2.6) are shown in Figure 5.



**Figure 5.** Difference NPP Map between 2000-2010 and 2060-2080 (RCP 2.6)

Spatial distribution of the NPP for present and future were also estimated using the CASA model. NPP showed significant differences in terms of its spatial distribution in the region. An increase of  $+626 \text{ gCm}^{-2}\text{y}^{-1}$  was estimated within RCP 2.6 scenario. The increase will occur mostly in northern part of Turkey where the BDF stands are located. Future simulation results indicated an increase in northern areas and a strong decrease in southern part. The spatial distribution in the difference NPP maps indicates that the higher elevation regions are experiencing the largest increase primarily because of a large increase in temperature and a decrease in precipitation. The decrease of annual NPP was estimated as  $-402 \text{ gCm}^{-2}\text{y}^{-1}$ .

#### **4. DISCUSSION**

The time frame 2060-2080 were modelled and the changes in monthly and annual NPP fluxes were estimated. The results indicated a slight increase of total NPP and carbon. The increase of NPP showed slight differences in terms of its spatial distribution. The distributed model results emphasised the importance of high resolution input data for regional impact analysis in respect to the climate changes. Higher spatial data contributed to increase the capability of the model to capture the local changes in vegetation NPP and its distribution. In particular, MODIS data hold great potential for predicting NPP with CASA model because of its appropriate spatial and



spectral resolutions. Its spatial capability can include the heterogeneity of the region to the NPP modelling. Moreover, CASA was the appropriate model for handling the vegetation heterogeneity in the region which has sparse coverage and high species diversity.

A distinct increase in forest NPP was simulated, resulting from the lower precipitation and higher temperature for the lowland regions. Particularly, Mediterranean part of Turkey is already a relative temperate and humid region that would even have worst conditions due to the projected future climate changes during summer. These conditions can have major influence on vegetation potential and its productivity. Such influences would have negative future effects on the ecosystem performance in the lower regions of Turkey.

Total carbon amounts in respect to terrestrial NPP was also calculated for present and future conditions. The present NPP carbon was simulated as 9.34 MT annually. The results indicated an increase of 0.66 MT for scenario RCP 2.6 by the period of 2060-2080. The results indicated an increase of NPP particularly in higher zones. Addressing the temperature increases, the central part of the region can have more dry conditions that will indicate a decrease for NPP and local carbon budgets.

## 5. REFERENCES

1. Wang, L., Gong, W., Ma, Y., Zhang, M., 2013. Modeling Regional Vegetation NPP Variations and Their Relationships with Climatic Parameters in Wuhan, China, Earth Interactions, Volume 17, Paper No. 4, p. 20.
2. Australian Government, 2014. Department of the Environment, Representative Concentration Pathways (RCPs) Fact Sheet.
3. Colak, A.H., Kirca, S., Rotherham, I.D., Ince, A., 2010. Restoration and Rehabilitation of Deforested and Degraded Forest Landscapes in Turkey, Ministry of Environment and Forestry-General Directorate of Afforestation and Erosion Control (AGM), Ankara, ISBN: 978-605-393-049-5, 566.
4. Anonymous, AGM Activities, 2008. Republic of Turkey, Ministry of Environment and Forestry General Directorate of Afforestation and Erosion Control, Ankara.
5. Hijmans, R.J., Cameron, S.E., Parra, J.L., Jones, P.G., Jarvis, A., 2005. Very High Resolution Interpolated Climate Surfaces for Global Land Areas, International Journal of Climatology 25: 1965-1978.
6. Worldclim Climate Layers Web Page, <http://www.worldclim.org/>, 2013.
7. Gobron, N., Pinty, B., Verstraete, M.M., Widlowski, J.L., 2000. Advanced Vegetation Indices Optimized for Up-coming Sensors: Design, Performance and Applications, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 38(6), 2489–2505.
8. Potter, C.S., Klooster, S., Steinbach, M., Tan, P., Kumar, V., Shekhar, S., Nemani, R., Myneni, R., 2003. Global Teleconnections of Climate to Terrestrial Carbon Flux, Journal of Geophysical Research, Vol. 108, NO. D17, 4556, 10 doi:10.1029/2002JD002979.
9. Potter, C.S., Randerson, J.T., Field, C.B., Matson, P.A., Vitousek, P.M., Mooney, H.A., Klooster, S.A., 1993. Terrestrial Ecosystem Production: A Process Model Based on Global Satellite and Surface Data, Global Biogeochem. Cycles, 7, 811-841.
10. Potter, C.S., Klooster, S., Steinbach, M., Tan, P., Sheikarand, S., Carvalho, C., 2004. Understanding Global Teleconnections of Climate to Regional Model 13 Estimates of Amazon Ecosystem Carbon Fluxes, Global Change Biology, 10, 693–703.
11. Knyazikhin, Y., Martonchik, J.V., Myneni, R.B., Diner, D.J., Running, S.W., 1998. Synergistic Algorithm for Estimating Vegetation Canopy Leaf area Index and Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation from MODIS and MISR data. Journal of Geophysical Research 103: 32257–32276.
12. NASA, Land Processes Distributed Archive Center Web Site, <https://lpdaac.usgs.gov>, 2013.
13. Loh, W.Y., 2002. Regression Trees with Unbiased Variable Selection and Interaction Detection, Statistica Sinica, 361-386.

- 14.** Donmez, C., Berberoglu, S., Curran, P.J., 2011. Modelling the Current and Future Spatial Distribution of Net Primary Production in a Mediterranean Watershed, *International Journal of Earth Observation and Geoinformation*, vol. 6, pp. 336-345.

## Refrakter Tuğlaların Teknolojik Özelliklerinin İncelenmesi

Özen KILIÇ\*<sup>1</sup>, Selin YARBİL<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 03.09.2016

Kabul tarihi: 03.10.2016

### Öz

Yapılan çalışmada bazı refrakter hammaddelerin farklı oranlarda karıştırılması ile elde edilen refrakter tuğlaların özellikleri incelenmiştir. İnceleme Remsan A.Ş.'nin kullandığı hammaddeler ve bu hammaddelerden üretilen refrakter tuğlalar üzerinde yoğunlaştırılmıştır. İlk aşamada, refrakter tuğla bünyesine giren bazı hammaddelerin kimyasal ve mineralojik özellikleri belirlenmiştir. Ardından değişik oranlarda refrakter hammaddeler ve katkıları kullanılarak Remsan A.Ş. tarafından üretilen refrakter tuğlaların kimyasal, mineralojik ve teknolojik özellikleri belirlenmiştir.

İncelemeler sonunda, refrakter tuğlaların bileşimlerine giren malzemelere bağlı olarak farklı sıcaklıklarda kullanılabilir olduğu ve dayanımlarının değişiklik gösterdiği anlaşılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Refrakter tuğla, Kimyasal özellik, Mineralojik özellik, Teknik özellikler

### Investigation of Technological Properties of Refractory Bricks

#### Abstract

In this study, the properties of refractory bricks obtained by mixing some refractory raw materials at different ratios were examined. The examination is focused on the raw materials used by REMSAN Inc. and the produced refractory bricks. Firstly, chemical and mineralogical properties of some raw materials kind of refractory bricks are determined. Then, chemical, mineralogical and technological properties of refractory bricks which using different proportions of refractory raw materials and additives produced by Remsan Inc. were determined.

At the end of the tests, it is shown that the refractory bricks can be used in different temperatures and have different durances according to materials contained.

**Keywords:** Refractory brick, Chemical property, Mineralogical property, Technological properties

---

\*Sorumlu yazar (Corresponding author): Özen KILIÇ, zenkilic@cu.edu.tr

## 1. GİRİŞ

Refrakterler, ateşe dayanıklı malzemeler olarak tanımlanır. Refrakter malzemeler 1000°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda uzun süre kullanılabilirler [1,2]. Refrakter malzemeler ısıya dayanıklı oldukları için ısı geçirmeyen malzemelerdir. Yakma ortamlarında refrakter malzeme kullanılması durumunda ısı geçişi/kaçışı en az olmakta; yakıt tasarrufu sağlanmakta ve buna bağlı olarak da karbondioksit oluşumu azalmaktadır.

Refrakter killer refrakter sanayiinin ana hammaddesini teşkil eder. Kullanımları günden güne artmakta ve özellik arzeden yeni kullanım alanları da gelişmektedir [3,4]. Çoğu zaman refrakter malzemenin görevi yüksek sıcaklıklı reaksiyon ortamını dıştan perdelemek ya da mufl fırınlarda aksine olarak sıcak ortamdaki ısıyı fırın içerisine taşımak olabilir. Yapısal düzenlerinden dolayı camların ısı iletme katsayıları özgül ısıya göre değişir ve ısı iletme kabiliyeti sıcaklık yükseldikçe artar. Bu karakteristik cam fazlı ateşe dayanıklı malzemelerde az ya da çok etkili olur. Hafif tuğlada olduğu gibi çok büyük gözeneklere sahip malzemelerde gözenek cidarları radyasyon alışverişine iştirak ettiklerinden dolayı ısı iletme kabiliyetlerinde yükselme gösterirler.

Sıcaklık değişimlerine dayanım ısıl şok dayanım olarak tanımlanır. İşletme esnasında ısıtma ve soğutma veya sıcaklık salınımları malzemenin yüzeyi ve merkezi arasında sıcaklık farkları ve bunun sonucu olarak da genişleme gerilmeleri meydana getirir. Bir cisim her tarafından soğutulduğunda yüzey boyunca çekme gerilmeleri ve merkezinde basma gerilmeleri meydana gelir. Oluşan ısıl gerilmeler, malzemenin dayanımını

aşarsa çatlaklar meydana getirerek malzemenin parçalanmasına neden olur. Sıcaklığın yükselmesi ile katı hacimde meydana gelen genişleme ile birlikte gözeneklilik azalır. Gözenekliliğin azalması ile refrakter malzeme yumuşar. Bu özellik malzemenin karakterini tayin eder. Gözenekliliğin azalmasıyla orantılı olarak yoğunlukta artış görülür. Refrakter malzemenin yoğunluğunun erime sırasında değişimi büyük önem taşır. Erime olayı ile birlikte hacim değişir ve malzemenin fiziksel özelliklerinde büyük sapmalar olur.

Refrakter malzemelerin en önemli özelliği yük altında şekil değiştirmeye karşı göstermiş oldukları dirençtir. Refrakter malzemelerin soğukta basınç dayanımına malzemenin yapısı ve özellikle gözenek miktarı etkir. Ateşe dayanıklı tuğlalar oda sıcaklığında pek az şekil değiştirme gösterirler. Yüksek sıcaklıkta farklı tane büyüklüğü ve gözenek dağılımı ile yapıdaki değişik fazların arasındaki gerilmeler nedeniyle çatlaklar oluşabilir. Kural olarak cam fazının miktarının yükselmesiyle dayanım artar. Fırın içerisinde kullanım için bu yeterli olmaktadır. Taşıma esnasında kayıpları önlemek için dayanım en az 3 MPa olmalıdır. Mekanik dayanım ve aşınma direnci yaklaşık 1000°C'ye kadar durumunu muhafaza eder. Daha yüksek sıcaklıklarda cam fazının artmasıyla birlikte aşınma dayanımı azalır [5,6] (Çizelge 1).

Çekme olayının meydana gelmesi genellikle malzemenin üretim sırasında yeterli derecede pişmemesinden veya refrakter özelliğinin olmayışından ileri gelir. Genişleme nedeni ise malzemenin yapıldığı hammaddenin parça büyüklüğünün yetersiz olmasındandır.

**Çizelge 1.** Bazı refrakter tuğlaların önemli özellikleri [5,6]

Malzeme türü	Soğukta basma dayanımı (MPa)	Elastiklik modülü (GPa)	Poisson sabiti	Yoğunluk
Silika tuğla	15-50	11-25	0,6-0,25	1,8-2,2
Şamot tuğla	13-60	24-30	0,20-0,40	1,8-2,2
Periklas tuğla	30-100	110-140	0,19-0,30	2,8-3,3
SiC tuğla	30-90	-	-	2,3-2,8
Karbon tuğla	20-60	12-13	0,21-0,23	1,3-1,6
Ateş tuğlası	3-10	2-8	0,12-0,17	0,4-1,2
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	196-300	240-400	0,2-0,3	3,3-3,6

Şamot ve magnezit tuğlalar üretimleri sırasında daralma, silika tipi tuğlalar genişleme gösterir. Fazla miktarda hacim değişimi çatlamalara neden olur.

Refrakter malzemeler elektriği iyi iletmezler, yük altında kırılındır, ergime noktaları yüksektir mikro ve makro yapıda heterojendir.

Fırın tipi, üretim teknolojisi ve üretim cinsine göre fırınlarda uygulanan prosesler değişmekte ve her değişen proses, değişik tür ve özelliklerde refrakter kullanmayı gerektirmektedir. Bu nedenle çok değişik refrakterler üretilmektedir.

Yapılan çalışma kapsamında, ilk aşamada refrakter tuğla üretiminde kullanılan malzemelerin kimyasal ve mineralojik özellikleri; ardından hammaddeler ve değişik katkı maddeleri kullanılarak üretilen tuğlaların kimyasal, mineralojik ve teknolojik özellikleri analizler ve deneyler ile belirlenmeye çalışılmıştır.

## 2. MATERYAL VE METOD

İncelenen refrakter numuneleri REMSAN A.Ş. (İstanbul)'nin kullandığı hammaddelerden ve bu hammaddelerle yapılan refrakter tuğlalardan seçilmiştir. Örnekler üzerine uygulanan deneyler REMSAN A.Ş. ve Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda, farklı hammaddelerin ve bu hammaddelerden farklı oranlarda karıştırılarak üretilen refrakter tuğlaların özellikleri incelenmiştir [7].

Tuğlalar, farklı bileşimlerdeki refrakter hammaddelerin değişik oranlarda karıştırıcıda ortalama %6 su ilavesi ile yaklaşık 2-3 dakika karıştırılması ile elde edilmiş harçtan üretilmiştir. Yeterince karıştırılan karışım vibrasyonlu masalarda yer alan 75x75x75 mm boyutlarındaki kalıplara dökülmüş etiketlenerek priz süresinin tamamlanması beklenmiştir. Tuğlalar donduktan sonra kalıplarından sökülerek farklı sıcaklıklardaki fırında pişirilmiştir. Fırından çıkan pişmiş tuğlalar soğuduktan sonra tuğla özelliklerini belirleme deneylerine tabi tutulmuştur.

Deneysel çalışmalarda kullanılan refrakter tuğlaların üretiminde kullanılan hammaddelerin isimleri, ticari olması nedeni ile açıkça verilmeyerek kodlarla gösterilmiştir. Refrakter tuğlalar ise Remsan A.Ş.'nin kullandığı isimleri ile belirtilmiştir. Şirket sırrı olması nedeni ile yapılan çalışma kapsamında refrakter tuğlaların üretiminde kullanılan hammadde karışım oranları da belirtilmemektedir. Refrakter tuğla bileşimine giren hammaddelerin neler olduğu yapılan kimyasal ve mineralojik analizler ile belirlenmeye çalışılmış; hammaddeler ve değişik katkı maddeleri kullanılarak üretilen tuğlaların kimyasal, mineralojik, mekanik ve teknolojik özellikleri yapılan analizler ve deneyler ile anlaşılma, belirlenmeye çalışılmıştır.

Refrakter örneklerinin kimyasal analizleri XRF (Siemens SRS 300 X-ray Fluoresans Spectrometer) kullanılarak, mineralojik tanımlama kalitatif ve yarı kalitatif analiz yöntemi (XRD) Rigaku Minflex 2 ile ve sonik hız ölçümü (P dalgası) pundit cihazı (CNS Farnel Pundit Plus C) ile yapılmıştır.

## 3. ARAŞTIRMA BULGULARI

### 3.1. Toz Haldeki Numuneler

#### 3.1.1. Kimyasal Analiz

Remsan A.Ş.'den getirilen refrakter tuğla yapımında kullanılan toz haldeki bazı hammaddelerin kimyasal analizleri XRF yöntemi ile yapılmış ve analiz sonuçları Çizelge 2'de verilmiştir. Kimyasal analizi yapılan örneklerin kimyasal bileşimleri göz önüne alındığında 1 nolu örneğin kil veya şamot tuğla (ateşe dayanıklı killerden elde edilir. Bu killeri alkali, toprak alkali, muskovit veya mika içerebilir), 2 nolu örneğin silika, 3 ve 4 nolu örneklerin yüksek  $Al_2O_3$  bileşimine sahip olması nedeniyle korundum veya korund tuğla ( $1700^\circ C$  ve üzeri sıcaklıklarda sıvı gaz miktarı düşerek kristal oluşumu sağlanır; yük altında refrakterlik artar) ve 5 nolu örneğin boksit veya disten (boksit ve disten bileşim olarak %40-55  $Al_2O_3$  ihtiva eden bir mineraldir) olduğu düşünülmektedir.

**Çizelge 2.** Toz halindeki örneklerin kimyasal analiz sonuçları (%)

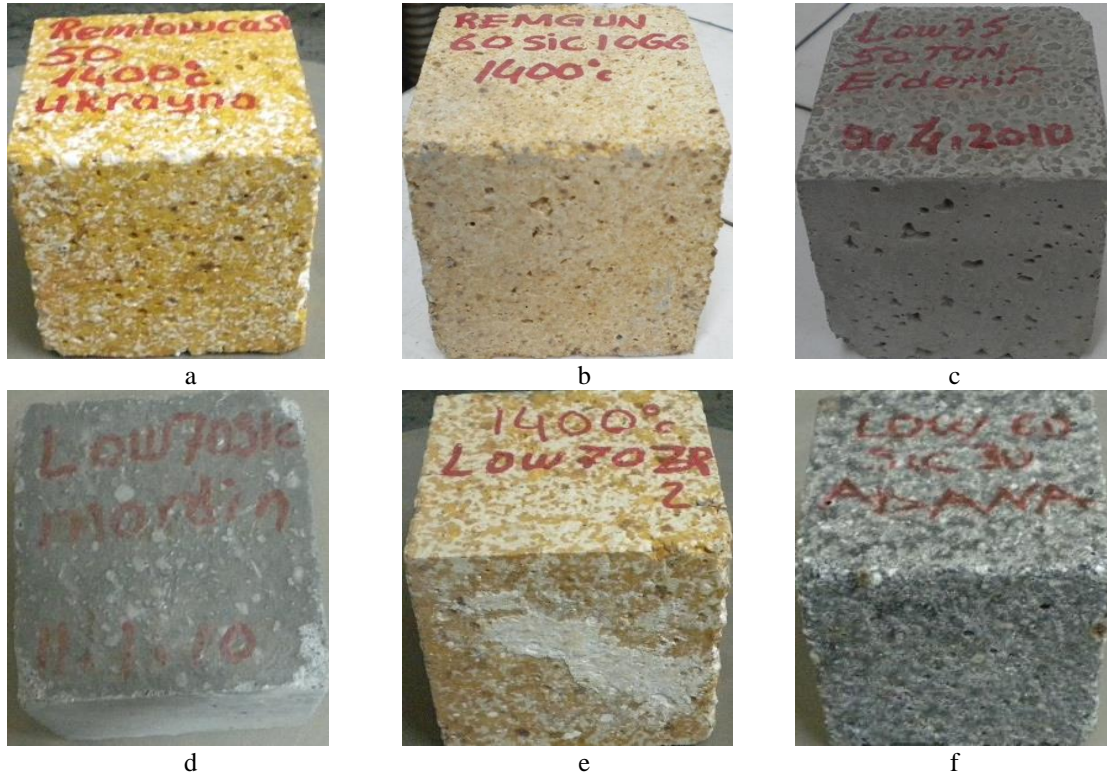
Örnek	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaO	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O
1	34,10	58,54	0,304	1,112	3,070	1,790
2	1,260	96,67	-	0,013	0,1054	-
3	98,76	0,18	0,108	0,013	0,020	-
4	96,47	-	0,066	0,380	0,0335	-
5	43,20	52,53	0,379	-	1,562	-

### 3.2. Mineralojik Analiz

Mineralojik analiz için XRD cihazı ile çekilen paternler incelendiğinde 1 nolu örneğin kil, 2 nolu örneğin silika, 3 nolu örneğin kil katkı korund, 4 nolu örneğin boksit katkı korund ve 5 nolu örneğin boksit olabileceği düşünülmektedir. İncelenen örnekler ve eklenecek katkıları değişik oranlarda karıştırılarak refrakter tuğla üretimi için uygun harçlar oluşturulmasına olanak sağlanabilecektir.

### 3.2. Refrakter Tuğla Deney Numuneleri

Refrakter tuğlalar üzerinde lup ile yapılan incelemelerde hamur maddesi içerisinde yer alan tanelerin yarı özşekilli-özşekilsiz ve belirgin porfirik yapılı (ince ve iri tanelerin birlikte bulunması) olduğu gözlenmiştir. Tuğlaların dış yüzeylerinde değişik oranlarda ve değişik geometrilere boşluklar görülmüştür (Şekil 1).



**Şekil 1.** İncelenen refrakter tuğlaların görüntüsü (a. Remlowcast 50 vibration castable, b. Remgun 60 SiC 10 GG gunning, c. Remlowcast 75 vibration castable, d. Remlowcast 70 SiC vibration castable, e. Remlowcast 70 Zr vibration castable, f. Remlowcast 60 SiC 30 vibration castable)

### 3.2.1. Kimyasal Analiz

Remsan A.Ş.'den getirilen altı farklı refrakter tuğlanın kimyasal analizleri XRF yöntemi ile yapılmış ve analiz sonuçları Çizelge 3'de verilmiştir. İncelenen refrakter tuğlaların >%50 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ihtiva etmesi nedeni ile sıcaklık şoklarına

dayanabilecek yüksek mukavemete sahip olacağı Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranının düşük olması ile de tuğlaların erozyon ve aşınmaya karşı yüksek mukavemet sergileyeceği düşünülmektedir. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranı fazla olan bileşenlerden üretilen tuğlaların dayanım değerinin ise yüksek olacağı düşünülmektedir.

**Çizelge 3.** Refrakter tuğlaların kimyasal analiz sonuçları (%)

Örnek	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	ZrO <sub>2</sub>	SİC	Alkali
Remlowcast 50 vibration castable	51	44,8	1,2	1,9	0,1	-	-	0,6
Remgun 60 SİC 10 GG gunning castable	59,6	20,2	0,8	4,9	-	-	14	0,2
Remlowcast 75 vibration castable	75,9	20	1,3	1,7	-	-	-	0,4
Remlowcast 70 SİC vibration	29	9,2	0,2	1,8	0,1	-	59,5	0,1
Remlowcast 70 Zr vibration castable	71	19,9	1,5	1,6	-	5,7	-	0,1
Remlowcast 60 SİC 30 vibration	39,7	26	0,62	1,8	-	-	31	-

### 3.2.2. Mineralojik Analiz

Refrakter tuğla örneklerinin mineralojik analizleri Ç.Ü. Maden Mühendisliği Bölümü laboratuvarında bulunan XRD cihazı ile gerçekleştirilmiş ve elde edilen XRD paterni sonuçlarının incelenmesinden; Remlowcast 50 vibration castable'ın mullit, anortit, Remgun 60 SİC 10 GG gunning'in anortit, korundum, mullit, andalusit, Remlowcast 75 vibration castable'ın sillimanit, ilvait, Remlowcast 70 SİC vibration castable'ın mullit, Remlowcast 70 Zr vibration castable'ın mullit ve Remlowcast 60 SİC 30 vibration castable'ın andalusit ve mullit minerallerinden oluştuğu belirlenmiştir.

Mineralojik inceleme sonuçlarına göre refrakter tuğlalarda kil grubu minerallerin hakim olduğu ve incelenen örneklerin yüksek sıcaklıklara kolayca dayanan iyi kalite refrakterler grubunda olacak şekilde üretildiği anlaşılmıştır.

### 3.2.3. İncelenen Refrakter Tuğlaların Özellikleri

#### 3.2.3.1. Remlowcast 50 Vibration Castable

75x75x75 mm'lik kalıplara döküldükten sonra pişirilen Remlowcast 50 vibration castable refrakter tuğla numunesinin fizikomekanik özellikleri Çizelge 4'de ve teknik özellikleri ise Çizelge 5'de verilmiştir.

**Çizelge 4.** Remlowcast 50 vibration castable numunesinin fizikomekanik özellikleri

Sıcaklık (°C)	Kırılma Modülü (kg/cm <sup>2</sup> )	Basma Mukavemeti (kg/cm <sup>2</sup> )	Kalıcı Boyutsal Değişme (%)	Termal Kondüktivite (kcal/°C.h.m)
110	105	660	-	-
820	110	700	+0,1	-
1100	138	720	+0,2	0,65
1250	160	800	+0,2	0,7
1400	190	1000	-0,2	0,8
1500	200	1100	-	-

Remlowcast 50 vibration castable numunesi içerisindeki Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarı %50 olan düşük çimentolu, vibrasyon uygulamalı beton

refrakterdir. Yüksek yoğunluklu, düşük poroziteli ve çok yüksek mukavemet değerlerine sahip bir malzeme olmasının nedeninin bünyesindeki su

miktarının az olması olduğu düşünülebilir.  $Fe_2O_3$  oranının düşük olması nedeni ile erozyon ve aşınmaya karşı yüksek mukavemete sahiptir. Yük altında sıcakta deformasyonun az olması istenen yerlerde kullanımı uygundur. Remlowcast 50 vibration castable 110-1550°C arası servis sıcaklığına sahiptir.

**Çizelge 5.** Remlowcast 50 vibration castable numunesinin teknik özellikleri

Servis sıcaklığı	1550°C
Yumuşama sıcaklığı	36°C
Kuru malzeme ihtiyacı	2,3 kg/dm <sup>3</sup>
Katılacak su miktarı	%6 en fazla
816°C'de Porozite	17,5
Çalışma süresi	90, 120 dakika en fazla

**Çizelge 6.** Remgun 60 SİC 10 GG gunning castable numunesinin fizikomekanik özellikleri

Sıcaklık (°C)	Kırılma Modülü (kg/cm <sup>2</sup> )	Basma Mukavemeti (kg/cm <sup>2</sup> )	Kalıcı Boyutsal Değişme (%)	Termal Kondüktivite (kcal/°C.h.m)
110	95	360	-	-
820	68	200	-0,1	1,2
1100	69	250	-0,2	1,05
1400	95	300	-0,5	-

**Çizelge 7.** Remgun 60 SİC 10 GG gunning castable numunesinin teknik özellikleri

Servis sıcaklığı	1450°C
Yumuşama sıcaklığı	35°C
Kuru malzeme ihtiyacı	2,4 kg/dm <sup>3</sup>
Katılacak su miktarı	en fazla %12

### 3.2.3.3. Remlowcast 75 Vibration Castable

75x75x75 mm'lik kalıplara döküldükten sonra 820°C'de pişirilen Remlowcast 75 vibration castable refrakter tuğla numunesinin fizikomekanik özellikleri Çizelge 8'de ve teknik özellikleri ise Çizelge 9'da verilmiştir.

**Çizelge 8.** Remlowcast 75 vibration castable numunesinin fizikomekanik özellikleri

Sıcaklık (°C)	Kırılma Modülü (kg/cm <sup>2</sup> )	Basma Mukavemeti (kg/cm <sup>2</sup> )	Kalıcı Boyutsal Değişme (%)	Termal Kondüktivite (kcal/°C.h.m)
110	120	650	-	-
820	160	750	-0,18	0,980
1100	170	1100	-0,21	0,95
1400	180	1200	0,4	1,05
1600	140	1250	0,15	1,15

### 3.2.3.2. Remgun 60 SİC 10 GG Gunning Castable

75x75x75 mm'lik kalıplara döküldükten sonra 1400°C'de pişirilen Remgun 60 SİC 10 GG gunning castable refrakter tuğla numunesinin fizikomekanik özellikleri Çizelge 6'da ve teknik özellikleri ise Çizelge 7'de verilmiştir.

İçeriğinde %58  $Al_2O_3$  ihtiva eden Remgun 60 SİC 10 GG gunning castable yapıda bir betondur. Fırında 1400°C'de pişirilerek refrakter tuğla haline getirilmiştir. İçerisine silicon carbide eklenerek çok yüksek yapışma ve yüksek mukavemetli olması sağlanmıştır. 110-1400°C arası servis sıcaklığına sahiptir.

Remlowcast 75 vibration castable numunesi bileşiminde en az %75  $Al_2O_3$  içeren düşük çimentolu, özellikle vibrasyonlu dökümlerde kullanılan bir malzemedir.

Bünyesindeki su miktarının çok düşük olması nedeni ile yüksek yoğunluğa, düşük poroziteye ve diğer numunelere göre yüksek mukavemete sahiptir.  $Fe_2O_3$  oranının düşük olması nedeni ile erozyon ve aşınmaya karşı yüksek mukavemete sahiptir ve yük altında sıcakta deformasyonun en az olması istenen yerlerde kullanımı uygundur. 110-1600°C arası servis sıcaklığına sahiptir.



**Çizelge 9.** Remlowcast 75 vibration castable numunesinin teknik özellikleri

Servis sıcaklığı	1760°C
Yumuşama sıcaklığı	39°C
Kuru malzeme ihtiyacı	2,5 kg/dm <sup>3</sup>
Katılacak su miktarı	%5 en fazla
816°C'de porozite	18,7
Çalışma süresi	en fazla 90, 120 dakika

**3.2.3.4. Remlowcast 70 SiC Vibration Castable**

75x75x75 mm'lik kalıplara döküldükten sonra 1100°C'de pişirilen Remlowcast 70 SiC vibration castable refrakter tuğla numunesinin fizikomekanik özellikleri Çizelge 10'da ve teknik özellikleri ise Çizelge 11'de verilmiştir.

**Çizelge 10.** Remlowcast 70 SiC vibration castable numunesinin fizikomekanik özellikleri

Sıcaklık (°C)	Kırılma Modülü (kg/cm <sup>2</sup> )	Basma Mukavemeti (kg/cm <sup>2</sup> )	Kalıcı Boyutsal Değişme (%)	Termal Kondüktivite (kcal/°C.h.m)
110	129,5	760	-	-
820	176,5	1500	-0,18	-
1100	230	1300	-0,21	6,98
1200	248	1200	0,15	6
1350	263	1300	0,45	-

**Çizelge 11.** Remlowcast 70 SiC vibration castable numunesinin teknik özellikleri

Servis sıcaklığı	1400°C
Yumuşama sıcaklığı	30°C
Kuru malzeme ihtiyacı	2,6 kg/dm <sup>3</sup>
Katılacak su miktarı	%4-4,5
816°C'de porozite	18,7
Çalışma süresi	en fazla 90, 120 dakika

**3.2.3.5. Remlowcast 70 Zr Vibration Castable**

75x75x75 mm'lik kalıplara döküldükten sonra 1400°C'de pişirilen Remlowcast 70 Zr vibration castable refrakter tuğla numunesinin fizikomekanik özellikleri Çizelge 12'de ve teknik özellikleri ise Çizelge 13'de verilmiştir.

Remlowcast 70 SiC vibration castable numunesi bileşimine %59,5 SiC eklenen düşük çimentolu bir malzemedir. Yüksek yoğunluklu, düşük poroziteli ve çok yüksek mukavemet değerlerine sahip bir malzemedir. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranı düşük olduğu için erozyon ve aşınmaya karşı yüksek mukavemet sahiptir. 110-1350°C arası servis sıcaklığına sahiptir.

Remlowcast 70 Zr vibration castable numunesi %70 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ihtiva ettiği için diğer numunelere göre yüksek mukavemete sahiptir. Yüksek yoğunluklu ve düşük porozitelidir. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranı düşük olduğu için erozyon ve aşınmaya karşı yüksek mukavemet gösterir ve yük altında sıcakta deformasyonun minimum olması istenen yerlerde kullanımı uygundur. 110-1350°C arası servis sıcaklığına sahiptir.

**Çizelge 12.** Remlowcast 70 Zr vibration castable numunesinin fizikomekanik özellikleri

Sıcaklık (°C)	Kırılma Modülü (kg/cm <sup>2</sup> )	Basma Mukavemeti (kg/cm <sup>2</sup> )	Kalıcı Boyutsal Değişme (%)	Termal Kondüktivite (kcal/°C.h.m)
110	129,5	750	-	-
820	176,5	850	-0,18	0,98
1100	180	860	0,2	1,05
1400	195	1010	0,3	1,1
1600	200	1040	-0,1	-

**Çizelge 13.** Remlowcast 70 Zr vibration castable numunesinin teknik özellikleri

Servis sıcaklığı	1760°C
Yumuşama sıcaklığı	39°C
Kuru malzeme ihtiyacı	2,8 kg/dm <sup>3</sup>
Katılacak su miktarı	%5-5,5
816°C'de porozite	18,7
Çalışma süresi	en fazla 90, 120 dakika

### 3.2.3.6. Remlowcast 60 SİC 30 Vibration Castable

75x75x75 mm'lik kalıplara döküldükten sonra 1100°C'de pişirilen Remlowcast 60 SİC 30 vibration castable refrakter tuğla numunesinin

fizikomekanik özellikleri Çizelge 14'de ve teknik özellikleri ise Çizelge 15'de verilmiştir.

Remlowcast 60 SİC 30 vibration castable numunesi 31 SİC ihtiva ettiği için yüksek mukavemete sahiptir. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranı düşük olduğu için erozyon ve aşınmaya karşı yüksek mukavemet gösterir ve yük altında sıcakta deformasyonun en az olması istenen yerlerde kullanımı uygundur. Yüksek yoğunluklu, düşük poroziteli ve çok yüksek mukavemet değerlerine sahip bir malzeme olmasının nedeni bünyesindeki su miktarının azlığıdır. 110-1350°C arası servis sıcaklığına sahiptir.

**Çizelge 14.** Remlowcast 60 SİC 30 vibration castable numunesinin fizikomekanik özellikleri

Sıcaklık (°C)	Kırılma Modülü (kg/cm <sup>2</sup> )	Basma Mukavemeti (kg/cm <sup>2</sup> )	Kalıcı Boyutsal Değişme (%)	Termal Kondüktivite (kcal/°C.h.m)
110	110	700	-	-
820	120	850	-	-
1100	130	1100	-0,15	2,8
1250	140	1300	-0,2	2,95
1350	105	800	-0,3	-

**Çizelge 15.** Remlowcast 60 SİC 30 vibration castable numunesinin teknik özellikleri

Servis sıcaklığı	1370°C
Yumuşama sıcaklığı	25°C
Kuru malzeme ihtiyacı	2,5 kg/dm <sup>3</sup>
Katılacak su miktarı	en fazla %5
816°C'de porozite	15
Çalışma süresi	en fazla 90, 120 dakika

### 3.2.4. Ultrasonik Test

Refrakter tuğlalara yapısal özelliklerinin belirlenmesi ve pişme sırasında bünyesinde oluşan boşlukların tespiti amacıyla P-dalgası uygulanmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 16'da verilmiştir.

**Çizelge 16.** Ultrasonik testi deney sonuçları (km/sn)

Remlowcast 50 vibration castable	3,857
Remgun 60 SİC 10 GG gunning castable	3,003
Remlowcast 75 vibration castable	4,066
Remlowcast 70 SİC vibration castable	4,720
Remlowcast 70 Zr vibration castable	4,411
Remlowcast 60 SİC 30 vibration castable	3,468

Çizelge 16'da yer alan ultrasonik test deney sonuçları incelendiğinde Remgun 60 SİC 10 GG gunning castable, Remlowcast 60 SİC 30 vibration castable ve Remlowcast 50 vibration castable refrakter tuğlalarının P-dalgası değerlerinin diğer tuğlalara göre daha düşük olduğu görülmüştür. Gözlenen düşük P-dalgası değerlerinin tuğlaların pişmesi esnasında oluşan gözeneklerden kaynaklandığı düşünülmektedir.

## 4. SONUÇLAR

Yapılan çalışma kapsamında, refrakter tuğla üretiminde kullanılan malzemelerin kimyasal ve mineralojik özellikleri belirlenmiş; ardından hammaddeler ve değişik katkı maddeleri kullanılarak üretilen tuğlaların kimyasal, mineralojik, mekanik ve teknolojik özellikleri yapılan analizler ve deneyler ile incelenmiştir.

Toz refrakter hammaddelerin kimyasal analiz sonuçları örneklerin yüksek saflıkta olduğunu ve refrakterlik derecesini düşürecek alkali ve toprak alkali oksitlerin minimum seviyede bulunduğunu

göstermiştir. Örneklerin kil veya şamot tuğla, silika, korundum veya korund tuğla, disten veya boksit olabileceği; mineralojik inceleme sonucuna göre örneklerin kil, silika, kil katkılı korund, boksit katkılı korund ve boksit olabileceği sonucuna varılmıştır. İncelenen örnekler ve eklenen katkıları değişik oranlarda karıştırılarak refrakter tuğla üretimi için uygun harçlar oluşturulmasına olanak sağlandığı anlaşılmıştır.

İncelenen refrakter tuğlaların  $>50\%$   $Al_2O_3$  ihtiva etmesi nedeni ile sıcaklık şoklarına dayanabilecek yüksek mukavemete sahip olacağı düşünülmektedir.  $Fe_2O_3$  oranının düşük olması tuğlaların erozyon ve aşınmaya karşı yüksek mukavemet sergileyeceğini göstermiş; yük altında sıcakta deformasyonunun en az olması istenen fırın bölgelerinde kullanımının uygun olacağı sonucuna varılmasını sağlamıştır.

110°C, 820°C ve 1100°C sıcaklıklarda pişirilmiş refrakter tuğlalar üzerinde yapılan tek eksenli basma dayanım belirleme deneylerinde, incelenen numunelerden Remlowcast 75 vibration castable ve Remlowcast 70 SİC vibration castable adlı numunelerin tek eksenli basma mukavemetlerinin diğer numunelere oranla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen değerlerden korund tuğlanın yüksek sıcaklıklarda sıvı gaz miktarı düşerek kristal oluşumu sağlanması ile yük altında refrakterliğinin arttığı, ergimiş silika tuğlanın hiç devitrifikasyona uğramadan kuvarsın modifikasyonları sırasında yoğunluklarının değişmesi nedeni ile yavaş soğutulması gerektiği anlaşılmıştır.

Ultrasonik test deney sonuçları incelendiğinde Remgun 60 SİC 10 GG gunning castable, Remlowcast 60 SİC 30 vibration castable ve remlowcast 50 vibration castable refrakter tuğlalarının P-dalgası değerlerinin diğer tuğlalara göre daha düşük olduğu görülmüştür. Gözlenen düşük p-dalgası değerlerinin tuğlaların pişmesi esnasında oluşan gözeneklerden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Deneyler sonucunda incelenen örneklerin iyi kalite refrakter olduğu sonucuna varılmıştır.

## 5. KAYNAKLAR

1. Geçkinli, A.E., 1992. İleri Teknoloji Malzemeleri, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası Gümüşsuyu.
2. Kuşoğlu, İ.M., 2004. İleri Teknik Seramik Üretimi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, İzmir, s. 111.
3. Tümer, M., 2004. Silisyum Nitrür Tozu Üretimi ve Sinterlenmesi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Konya, s. 110.
4. Karabaş, K., 2006. Bor Karbür Üretimi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, İzmir, s. 82.
5. DPT, 2001. Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Toprak Sanayi Hammaddeleri III (Kuvars kumu-Kuvarsit-Kuvars) Çalışma Grubu Raporu, Ankara.
6. DPT, 2006. Dokuzuncu Kalkınma Planı (2007–2013), Taş ve Toprağa Dayalı Sanayiler Özel İhtisas Komisyonu Refrakter Sanayii Ön Raporu, Ankara.
7. Yarbıl, S., 2012. Refrakter Tuğla Üretiminde Kullanılan Hammaddelerin ve Refrakter Tuğlaların Bazı Teknolojik Özelliklerinin İncelenmesi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enst., Maden Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Adana, s. 87.



## Experimental Investigation of Surface Roughness Effect over Wind Turbine Airfoil

Kemal KOCA<sup>\*1</sup>, M. Serdar GENÇ<sup>1</sup>, H. Hakan AÇIKEL<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Rüzgar Enerjisi ve Aerodinamik Araştırma Laboratuvarı, Kayseri

Geliş tarihi: 21.07.2016

Kabul tarihi: 22.09.2016

### Abstract

The present study ensures an experimental investigation of NACA4412 wind turbine blade airfoil prepared with the sandpaper as a roughness device in order to control its flow. The smoke-wire and hot-wire experiments were carried out at low Reynolds number ranging from 25000 to 75000 and angle of attack of 8°. As geometrical parameters, height of sandpaper and its location over the airfoil were conducted. It was positioned 15%-25% chord length. Height of sandpaper was selected 0.5 mm. The experimental results revealed that the flow over NACA4412 was affected when sandpaper was utilized because either amount of lift apparently increased or the location and size of laminar separation bubble (LSB) were changed. As a result, it was shown that the use of sandpaper provided passive flow control and it was an effective way in terms of delay or suppress separation over NACA4412 airfoil.

**Keywords:** Low Reynolds number, Laminar separation bubble, Surface roughness, Passive flow control

### Rüzgar Türbini Kanadı Üzerindeki Yüzey Pürüzlülüğü Etkisinin Deneysel İncelenmesi

### Öz

Mevcut çalışma, akış kontrolü sağlamak için pürüzlülük elemanı olan zımpara kağıdı ile hazırlanmış NACA4412 rüzgar türbini kanadının deneysel çalışmasını sağlamaktadır. Duman teli ve sıcak-tel anemometresi deneyleri 8° hücum açısında ve 25000 ile 75000 arasında değişen hücum açılarında gerçekleştirilmiştir. Geometrik parametre olarak, kanat üzerindeki pürüzlülüğün yeri ve yüksekliği ele alınmıştır. Pürüzlülük %15-25 kord boyuna yerleştirilmiştir. Zımpara kağıdı yüksekliği 0,5 mm olarak seçilmiştir. Önceden deneysel çalışmalar NACA4412 kanat profilinin aerodinamik performansı açısından iyi sonuçlar gösterecek mi şeklinde düşünülmüştü. Gerçekten, deneysel sonuçlar zımpara kağıdı kullanıldığı zaman NACA4412 kanat profili üzerindeki akışın etkilendiğini ortaya çıkardı, çünkü ya

---

\* Sorumlu yazar (Corresponding author): Kemal KOCA, kemalkoca@erciyes.edu.tr

kanadın kaldırma miktarında belli bir artış vardı ya da laminer ayrılma kabarcığının konumu değiştirilmişti. Sonuç olarak, zımparanın kullanılması pasif akış kontrolü sağladığını ve NACA4412 kanat profili üzerindeki akış ayrılmasını ertelediği ya da yok ettiğini göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Düşük reynolds sayısı, Laminer ayrılma kabarcığı, Yüzey pürüzlülüğü, Pasif akış kontrolü

## 1. INTRODUCTION

The global growth in wind energy procurement has made aerodynamic researchers do investigations on performance of blade aerodynamic since the end of last decade. Thus, new opportunities for innovation have been occurred to obtain the value of wind energy such as clean resource and low cost. Either different airfoil models [1] were searched or flow phenomenon over the airfoil operating at low Reynolds number such as laminar separation bubble (LSB), flow separation, transition [2-7] were studied. It was concluded that the LSB negatively exhibited major role on aerodynamic performance. It was seen that LSB effected the performance by not only increasing drag and reducing lift [8,9] but also producing noise and vibration [10,11]. In order to diminish the negative effects of LSB, some researchers used membrane to observe the impact of flexibility [12,13]. Some of them preferred to utilize the acoustic control methods [14,15]. Furthermore, the passive control devices such as vortex generators (VGs) or surface roughness elements were studied numerically and experimentally. Xue et al. [16] studied to VGs by using computational fluid dynamics (CFD) and they concluded that both aerodynamic performance was increased and lower acoustic noise was obtained by VGs. Öye [17] indicated as a result of tests that wind turbine power increased almost 24% as VGs was used. Lin [18] investigated various type of VGs. Aside from the type, it could be said that location, shape, size with the inclusion of length, height and spacing among adjacent VGs play key role on aerodynamic performance. These variables quite important so that it affects the flow characteristics over the airfoil because VGs properly impresses the separated boundary layer and change LSB formation, delay the stall phenomena and increase

maximum lift coefficient by giving high momentum flow to blade surface.

The content of this study was to investigate a sandpaper associated with surface roughness device to reduce flow separation or LSB because it was previously suspicious whether the sandpaper would be useful as well as VGs in terms of aerodynamic performance. The detailed experimental investigations including force measurement, smoke-wire and hot-wire experiments were carried out at low Reynolds number and different angle of attacks. The location of sandpaper was chosen 15%-25% chord length and its height was 0.5 mm and 1 mm. Additionally, this study made previous study presented by Koca et al. [19] detailed and validated. As a result of the experiments, passive flow control could be obtained by using sandpaper and it could be said that it influenced the aerodynamic performance of airfoil by ensuring the effects on LSB.

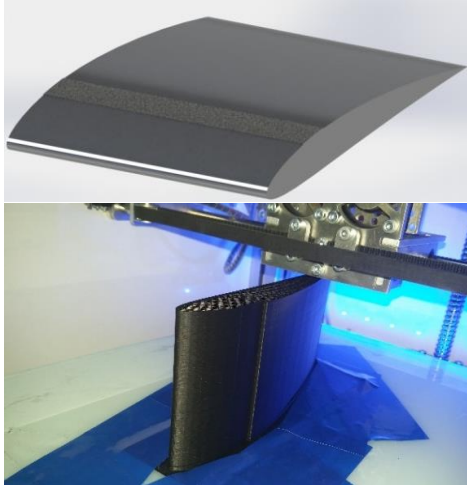
## 2. EXPERIMENTAL RIG AND MEASUREMENT PROCEDURES

### 2.1. Wind Tunnel and Flow Conditions

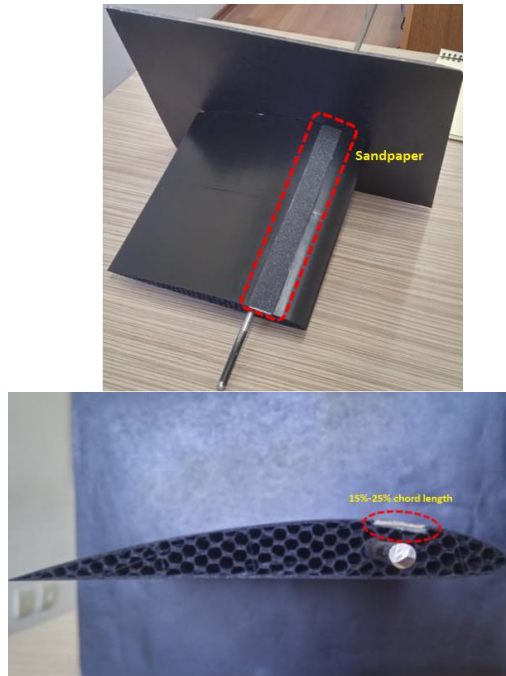
The experiments were performed in wind tunnel installed in the Wind Engineering and Aerodynamic Research (WEAR) Laboratory at the Department of Energy System Engineering in Erciyes University. The wind tunnel is a low-speed suction type and it has 50 cm x 50 cm test section with a transparent plexiglass wall for visualization processes. It has a low free stream turbulence intensity in which it is demonstrated 0.3% at maximum speed (40 m/s) and 0.7% at minimum speed (5 m/s) [5].

## 2.2. Roughened NACA4412 Airfoil

The roughened NACA4412 airfoil was modelled and fabricated using 3D printer as depicted in Figure 1.



**Figure 1.** Fabricated process of roughened NACA4412 airfoil



**Figure 2.** The location of sandpaper over NACA4412 airfoil

It was thought that the location of sandpaper would be suitable at 15-25% chord length as a result of numerical studies carried out in advance [19]. As seen in Figure 2, the sandpaper was mounted at 15-25% chord length. Furthermore, the end plates were used and fixed at each end of airfoil to prevent tip-vortices effects.

## 2.3. Hot-wire Experiment

To measure the velocity over the airfoil, turbulence intensity and Reynolds stress, hot-wire experiment was carried out at different Reynolds number and angle of attacks. It was measured using two dimensional hot-wire probe as shown in Figure 3. The probe was run from  $0.1c$  to  $1.1c$  thanks to traverse system. For more data about velocity, 10 cm top of airfoil was chosen and the probe was approached as possible as close to surface as seen in Figure 3.



**Figure 3.** The hot-wire experiment

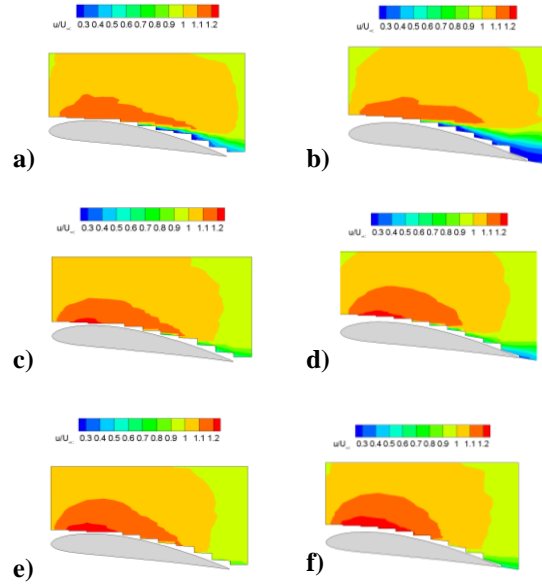
## 2.4. Flow Visualization with Smoke-wire Experiment

For more detailed information about flow over the airfoil, it was visualized as flow sheets at low Reynolds number. The technique was formed with one slim wire, electrical resistive heating, the oil, a camera and spot lamps. The wire was located in front of 50 cm of airfoil. The electrical resistive heating was performed when small drops of oil were drained. After sheets of smoke were occurred and they were visualized with camera.

## 3. RESULTS AND DISCUSSIONS

### 3.1. Velocity Measurement Results over NACA4412 Airfoil

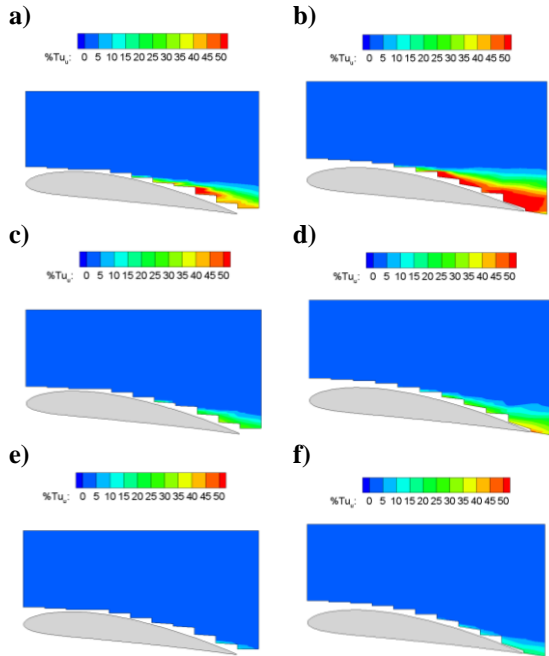
Velocity over the airfoil was experimentally measured by means of hot-wire experiment at low Reynolds number ranging from 25000 and 75000. The results of clean airfoil which means there was no roughness device over surface was showed at Figure 4 (a), (c) and (e), respectively. On the other hand, at Figure 4 (b), (d) and (f), the results of roughened airfoil were depicted at same Reynolds number. The roughness device was located at 15%-25% chord length and its height was 0.5 mm. Meanwhile, angle of attack was  $8^\circ$  at both experiments. As demonstrated in Figure 4 (a), the flow separated over the airfoil but the separated flow vanished when the Reynolds number was increased at Figure 4 (c) and (e) because inertial forces exhibited dominant role more than the viscous forces. As depicted in Figure 4 (b), the separated flow was also observed over roughened airfoil but both amount of separation was less than clean airfoil and separation point went to the trailing edge. Furthermore, the velocity apparently increased at roughened airfoil. Thus, it could be concluded that the amount of lift coefficient increased more than clean airfoil because the pressure over surface was less. At Reynolds number 50000 and 75000, the same cases were observed like Reynolds number of 25000. Either the laminar separation bubble size decreased or its location was changed when the roughness device was used on airfoil.



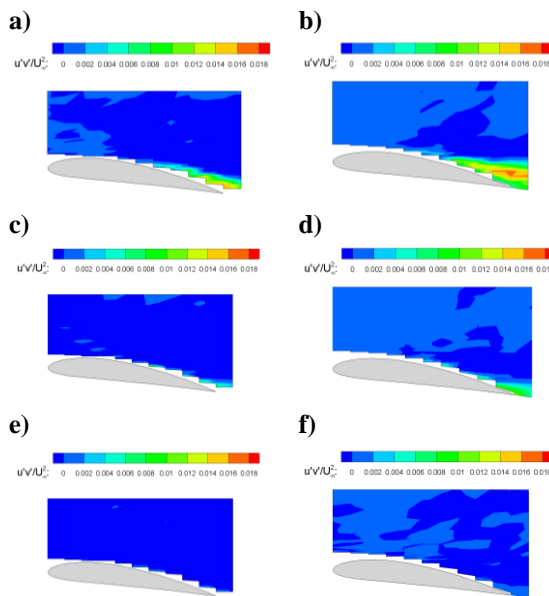
**Figure 4.** The hot-wire experiment results,  $\alpha=8^\circ$ , a) 25000, clean. c) 50000, clean. e) 75000, clean. b) 25000, roughened. d) 50000, roughened. f) 75000, roughened

Turbulence intensity and Reynolds stress over surface of roughened airfoil were also evaluated with operating hot-wire experiment at low Reynolds number and angle attack of  $8^\circ$  as indicated in Figure 5 and Figure 6. In Figure 5(a), (c), (e), it was observed that turbulence intensity was progressively decreased because of the fact that raising of inertial forces and decreasing of vortices effects on airfoil were occurred by increasing Reynolds number ranged from 25000 to 75000, respectively. As the similar result, the values of Reynolds stress derogated when Reynolds number was enhanced. On the other hand, the amount of turbulence intensity at roughened airfoil was more than clean airfoil. The flow gained energy and high momentum thanks to using roughness device and it easily passed the turbulence region on surface of airfoil. Thus, unsteady cases observed at transition region could be minimized by passing through turbulence region. As shown in Figure 6, same cases were occurred when the roughness device was utilized at different Reynolds number.





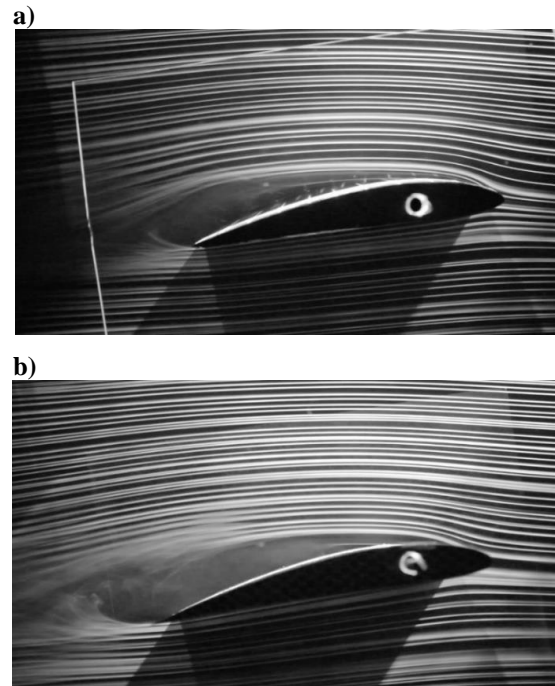
**Figure 5.** Turbulence Intensity results,  $\alpha=8^\circ$ , a-c-e) Clean, b-d-f) Roughened, a-b) 25000, c-d) 50000, e-f) 75000



**Figure 6.** Reynolds Stress results,  $\alpha=8^\circ$ , a-c-e) Clean, b-d-f) Roughened, a-b) 25000, c-d) 50000, e-f) 75000

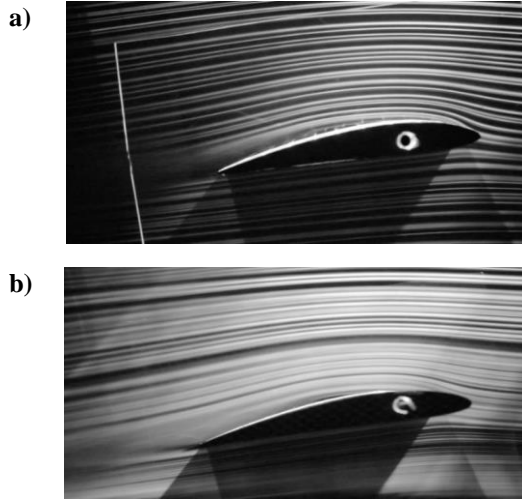
### 3.2. The Results of Smoke-Wire Experiment

Flow visualization with smoke-wire experiment was performed at Reynolds number of 25000 and angle of attack of  $8^\circ$  as depicted in Figure 7. Figure 7(a) referred to clean airfoil whereas Figure 7(b) mean to roughened airfoil. As seen at smoke sheets, the flow started to separate 0.3 chord length and reattached almost 0.7 chord length at Figure 7(a). Thus, long bubble occurred over the surface. Nevertheless, the flow separation was also observed at Figure 7(b) despite the roughness device was utilized but bubble size was apparently minimized with using of it.



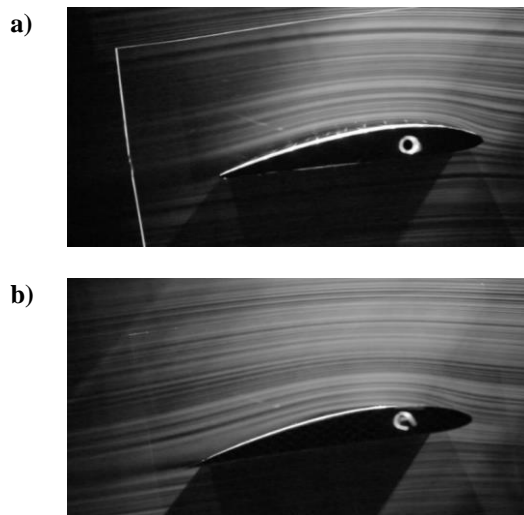
**Figure 7.** The flow visualization with smoke-wire experiment at Reynolds number of 25000,  $\alpha=8^\circ$ , a) clean, b) roughened

The laminar separation bubble size at Figure 8(a) was smaller than Figure 7(a) because of raising the inertial forces. Also, the flow almost separated at 0.4 chord length. As indicated in Figure 8(b), the laminar separation bubble continued to getting smaller when roughness device was used on surface.



**Figure 8.** The flow visualization with smoke-wire experiment at Reynolds number of 50000,  $\alpha=8^\circ$ , a) clean, b) roughened

At Figure 9, same cases were happened despite of the fact that smoke sheets were weak owing to inertial force. Both the flow separation and the laminar separation bubble were observed at Reynolds number of 75000 as seen in Figure 9(a). At Figure 9(b), both the flow was more steady and the size of laminar separation bubble decreased by utilizing the roughness device.



**Figure 9.** The flow visualization with smoke-wire experiment at Reynolds number of 75000,  $\alpha=8^\circ$ , a) clean, b) roughened

## 4. CONCLUSIONS

In order to flow control over NACA4412 wind turbine blade, experimental investigations including hot-wire and smoke-wire in conjunction with a roughness device mounted at surface of airfoil were carried out at Reynolds number ranging from 25000 to 75000 and angle of attack of  $8^\circ$ . According to the numerical studies in advance, the roughness device was located 15%-25% chord length and its height was selected 0.5 mm. As observed at both hot-wire and smoke-wire experiments, the flow phenomenon caused negative effect in terms of aerodynamic performance of airfoil like the laminar separation bubble or flow separation were affected when the roughness device was utilized because either the size of LSB was minimized or its location was changed by using of roughness device. As a result, it was shown that the use of sandpaper provided passive flow control and it was an effective way in terms of delay or suppress separation over NACA4412 airfoil.

## 5. ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to acknowledge the Scientific and Technological Research Council of Turkey (TÜBİTAK) under the project no: 213M329.

## 6. REFERENCES

1. Hossain, M.S., Raiyan, M.F., Akanda, M.N.U., Jony, N.H.A., A Comparative flow analysis of NACA 6409 and NACA 4412 aerofoil, International Journal of Research in Engineering and Technology 3.
2. Amanullah, C., Arjomandi, M., Kelso, R., 2015. A Study of Long Separation Bubble on Thick Airfoils and its Consequent Effects, International Journal of Heat and Fluid Flow 52: 84-96.
3. Genç, M.S., Karasu, İ., Açikel, H.H., Akpolat, M.T., 2012. Low Reynolds Number flows and Transition, Low Reynolds Number Aerodynamics and Transition, Editor: M.

- Serdar GENÇ. ISBN 979-953-307-627-9, Intech-Sciyo.
4. Singh, R.K., Ahmed, M.R., Zullah, M.A., Lee, Y.H., 2012. Design of a Low Reynolds Number Airfoil for Small Horizontal Axis Wind Turbines, *Renewable energy* 42: 66-76.
  5. Genç, M.S., İlyas, K., H. Hakan, A., 2012. An Experimental Study on Aerodynamics of NACA2415 Aerofoil at Low Reynolds Numbers, *Experimental Thermal and Fluid Science* 39: 252-264.
  6. Karasu, İ., Genç, M.S., Açıkel, H.H., 2013. Numerical Study on Low Reynolds Number Flows Over an Aerofoil, *J. Appl. Mech. Eng* 2.5: 131.
  7. Shah, H., Kitaba, J., Mathew, S., Lim, C.M., 2014. Experimental Flow Visualization Over a Two-dimensional Airfoil at Low Reynolds Number, *Engineering and Technology (BICET 2014)*, 5<sup>th</sup> Brunei International Conference on IET.
  8. Roberts, W.B., 1980. Calculation of Laminar Separation Bubbles and Their Effect on Airfoil Performance, *AIAA Journal* 18.1: 25-31.
  9. Mueller, Thomas, J., 1985. The Influence of Laminar Separation and Transition on Low Reynolds Number Airfoil Hysteresis, *Journal of Aircraft* 22.9: 763-770.
  10. Cesini, G., Ricci, R., Montelpare, S., Silvi, E., 2002. A Thermographic Method to Evaluate Laminar Bubble Phenomena on Airfoil Operating at Low Reynolds Number, *Quantitative Infra Red Thermography* 6. 101-107.
  11. Genç, M.S., Akpolat, M.T., Açıkel, H.H., Karasu, İ., 2012. An Experimental Study of Perpendicular Acoustic Disturbances Effect on Flow Over an Aerofoil at Low Reynolds Numbers, *ASME 2012 International Mechanical Engineering Congress and Exposition, American Society of Mechanical Engineers*.
  12. Gordnier, Raymond E., Peter, E., Attar, J., 2014. Impact of Flexibility on the Aerodynamics of an Aspect Ratio Two Membrane Wing, *Journal of Fluids and Structures* 45: 138-152.
  13. Rojratsirikul, P., Genc, M.S., Wang, Z., Gursul, I., 2011. Flow-induced Vibrations of Low Aspect Ratio Rectangular Membrane Wings, *Journal of Fluids and Structures* 27.8: 1296-1309.
  14. Genç, M.S., Karasu, İ., Açıkel, H.H., Akpolat, M.T., Özkan, G., 2016. Acoustic Control of Flow Over NACA 2415 Aerofoil at Low Reynolds Numbers." *Sustainable Aviation*. Springer International Publishing, p. 375-420.
  15. Açıkel, H.H., Genç, M.S., 2016. Flow Control With Perpendicular Acoustic Forcing on NACA 2415 Aerofoil at Low Reynolds Numbers, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part G: Journal of Aerospace Engineering*, 0954410015625672.
  16. Xue, S., Johnson, B., Chao, D., Sareen, A., Westergaard, C., 2010. Advanced Aerodynamic Modeling of Vortex Generators for Wind Turbine Applications, *European Wind Energy Conference (EWEC)*, Warsaw Poland.
  17. Öye, S., 1995. The Effect of Vortex Generators on the Performance of the ELKRAFT 1000 kw Turbine, 9<sup>th</sup> IEA Symposium on Aerodynamics of Wind Turbines, Stockholm, ISSN.
  18. Lin, John C., 2002. Review of Research on Low-profile Vortex Generators to Control Boundary-layer Separation, *Progress in Aerospace Sciences* 38.4: 389-420.
  19. Koca, K., Genç, M.S., Açıkel, H.H., 2016. Roughness Effect on Flow over Wind Turbine Airfoil, *The International Symposium on Sustainable Aviation (ISSA-2016)*, 29 May-1 June 2016, Istanbul, Turkey.



## Fotovoltaik Güneş Panellerinin Sıvıya Daldırma Yöntemi ile Soğutulmasında Kanal Geometrisi ve Panel Konumunun Etkisi

Burak KURŞUN<sup>1</sup>, Korhan ÖKTEN<sup>\*1</sup>, Gonca DEDE<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Amasya Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği, Amasya

<sup>2</sup>Amasya Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği, Amasya

Geliş tarihi: 18.08.2016

Kabul tarihi: 10.10.2016

### Öz

Güneş enerjisinden elektrik enerjisi üreten sistemlerde fotovoltaik hücrelerin soğutulması sistem verimini artırmaktadır. Bu hücrelerin soğutulması için birçok yöntem ve parametre mevcuttur. Bu çalışmada alt yüzeyinde kanatçıklar bulunan fotovoltaik güneş panelinin dielektrik sıvıya daldırma yöntemi ile soğutulmasında soğutma kanalı geometrisi ve panel konumunun fotovoltaik hücre sıcaklıklarına etkisi sayısal olarak incelenmiştir. Sayısal analizler kanal çıkış genişliği, panelin aksel ve radyal yöndeki konumu parametreleri için gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, parametre değerlerinin değişimi ile oluşan ek basınç kayıpları hesaplanarak soğutma için gerekli enerji gereksinimi ortaya konulmuştur. Analizler sonucunda kanal çıkışının daraltılması ve panelin aksel konumunun kanal çıkışına yakın olması durumunda fotovoltaik hücreler için daha etkin soğutma sağlandığı gözlemlenmiştir. Sayısal çalışma sırasında elde edilen bulgular sıcaklık, basınç değişimi, hız ve sıcaklık kontörlerini içeren grafikler halinde ayrıntılı olarak sunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Fotovoltaik hücre, Güneş paneli, Sıvıya daldırma

### Effect of Channel Geometry and Panel Position at Cooling of Photovoltaic Solar Panels with Liquid Immersion Method

#### Abstract

Today, energy consumption have increased significantly because of developed technology. Therefore, using of fossil fuels have increased step by step. All of these have caused increasing of renewable energy sources and sustainable energy researches. In this study, the effect of cooling channel geometry and panel position on the temperature of photovoltaic cells are investigated at cooling of the photovoltaic solar panel that has fins on its bottom surface, with liquid immersion cooling method, numerically. Numerical analyses are carried out for parameters of channel outlet width, axial and radial position of the panel. Also, additional pressure losses that occurred with variation of parameter values are calculated and energy requirement is introduced for cooling. In consequence of analyses, it is observed that more effective cooling is provided in the case of narrowing of the channel outlet and panel position is close to channel outlet. Findings obtained during the numerical study are presented as graphics that include temperature, variation of pressure, and velocity contours in detail.

**Keywords:** Photovoltaic cell; Solar panel; Liquid immersion

\*Sorumlu yazar (Corresponding author): Korhan ÖKTEN, [korhan.okten@amasya.edu.tr](mailto:korhan.okten@amasya.edu.tr)

## 1. GİRİŞ

Son yıllarda, artan enerji ihtiyacını karşılamak amacı ile yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi artmıştır. Bu enerji kaynaklarının en önemlilerinden biri de güneş enerjisidir. Güneş enerjisinden elektrik üreten fotovoltaik sistemler giderek artmakta ve bu sistemlerin iyileştirilmesine ilişkin çalışmalar önem arz etmektedir.

Fotovoltaik sistem tasarımında en önemli parametreler; düşük ve düzgün dağılımlı hücre sıcaklığı, sistem güvenilirliği ve kapasite yeterliliğidir. Ancak, fotovoltaik hücrelerin soğutulması bu tür sistemlerde en büyük sorun olarak görülmektedir. Bu durum fotovoltaik hücrelerin %25 verimle çalışmasından dolayı kayıp enerjinin bir kısmının ısı enerjisine dönüşmesiyle meydana gelmektedir. Bu hücrelerdeki aşırı sıcaklık artışı kısa vadede verim düşüşüne sebep olurken uzun vadede geri dönüşü olmayan arızalara neden olabilmektedir [1].

Fotovoltaik sistemlerin soğutulması aktif ve pasif olmak üzere iki şekilde yapılabilir. Pasif soğutma genellikle ısınan yüzeye kanatçıklar yerleştirilmesiyle gerçekleşmektedir. Aktif soğutma ise fotovoltaik hücrelerin ısınan yüzeylerinin akışkan vasıtasıyla soğutulmasına dayanmaktadır [2]. Yüksek yoğunluklu güneş ışınlarının etki ettiği sistemlerde aktif soğutmanın daha etkin olduğu görülmüştür [3].

Fotovoltaik hücrelerinin sıcaklık değerinin düşürülmesi ve yüzeye üniform dağılması sistem verimini artırmaktadır [4]. Literatürde bu saptamadan hareket ile yapılan birçok çalışma bulunmaktadır. Flourscheutz, pasif soğutma sistemlerini düz ve kanatlı düzlemler için karşılaştırmıştır. Kanatlı yüzeylerin düz yüzeylere göre daha iyi performans gösterdiği belirlenmiştir. Ancak kanatlı yüzey imalatı maliyetli olduğundan iyi bir seçenek olarak görülmemiştir. Bu çalışmanın sonucunda düşük yoğunluklu güneş ışınları için düz yüzeyler yeterliken yüksek yoğunluklu güneş ışınları için kanatlı yüzeyler kullanmanın daha uygun olduğu görülmüştür [5]. Cui ve arkadaşları, 400 suns değerinde herhangi bir soğutma olmadan fotovoltaik hücre sıcaklığının

1200°C olacağını ön görmüştür. Ancak soğutucu bir panel kullanıldığında bu değer önemli ölçüde azalacağı ve hücre sıcaklığının 37°C'ye düşeceği belirlenmiştir [6]. Natarajan ve arkadaşları, fotovoltaik güneş hücrelerinin soğutulması ile ilgili pasif soğutmalı ve soğutma sistemi olmayan iki modeli kıyaslamışlardır. Bu çalışmanın sonucunda 5 mm boyunda ve 1 mm kalınlığında kanatlı modelin en verimli model olduğu görülmüştür [7]. Coventry [8], fotovoltaik hücreleri soğutmak için aktif soğutma yöntemi ve soğutucu akışkan olarak su kullanmıştır. Bunun yanında korozyona ve donmaya karşı, suya katkı maddeleri eklenmiştir. Bu karışım bir pompa yardımı ile basınçlandırılarak hücrelerin soğutulması ve ısının geri kazanılması için kullanmıştır. Ek olarak soğutma yüzeyine kanatçıklar yerleştirerek ısı transferi yüzey alanını artırmış ve sonuçları incelemiştir. Yang Sun ve arkadaşları doğrudan daldırılmalı soğutma için dikdörtgen kanal kullanarak farklı sıvılar için verimlilik analizi yapmıştır. Yapılan çalışmada daldırma sıvısı kalınlığının ve kanal geometrisinin verimliliğe etkisini incelemiştir [9].

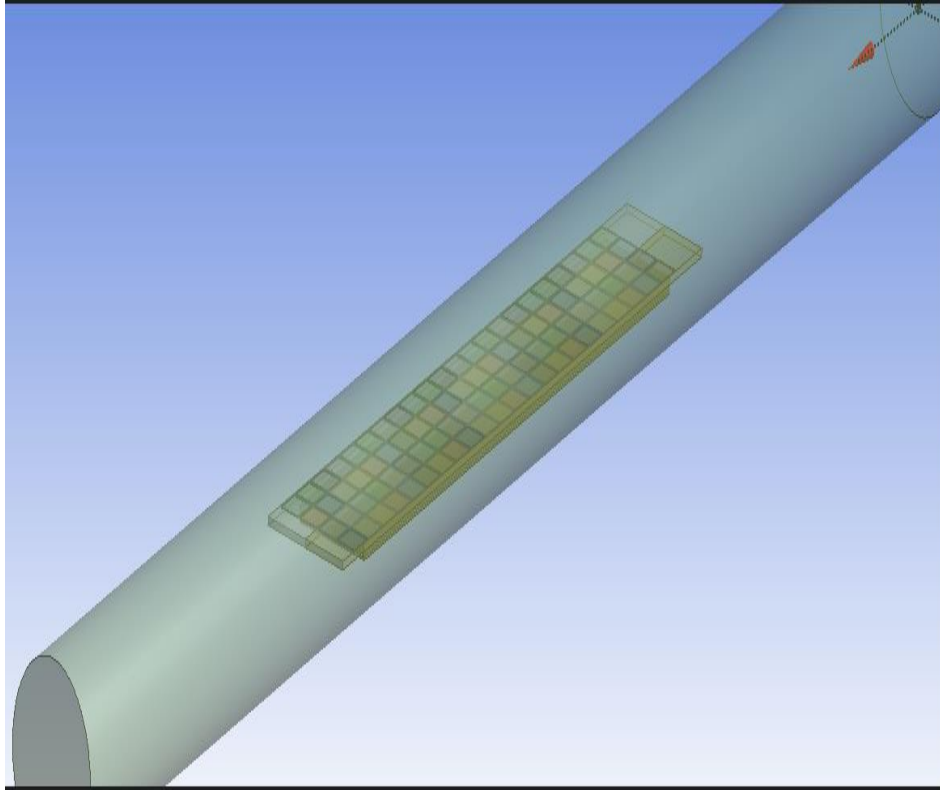
Bu çalışmada, fotovoltaik hücrelerin soğutulması sırasında, kanal çıkış boyutlarına, panelin eksenel ve radyal konumunun fotovoltaik hücre sıcaklığına olan etkisi incelenmiştir. Bunun yanında geometri ve konum değişimlerinin oluşturacağı basınç kayıpları belirlenmiş ve sonuçlar sıcaklık, basınç değişimi ve hız kontörlerini içeren grafikler halinde ayrıntılı olarak sunulmuştur.

## 2. FİZİKSEL MODEL

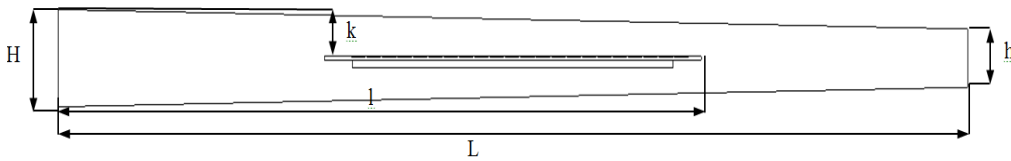
Şekil 1'de çalışmada ele alınan silindirik soğutucu kanal ve alt yüzeyinde kanatçıklar bulunan fotovoltaik güneş paneli geometrisi görülmektedir. Kanal, fotovoltaik hücre ve panel ölçüleri deneysel sonuçlarla karşılaştırılması amacı ile Xiang ve arkadaşları [10] tarafından yapılan çalışmadaki ölçülerle aynı alınmış ve soğutucu akışkan olarak deiyonize (saf) su kullanılmıştır. Şekil 2'de ise ısı transferini artırılması amacı ile değiştirilmiş kanal geometrisi verilmiştir. Analizlerde kanal çıkışı farklı oranlarda daraltılmış ve panel eksenel ve radyal yönde farklı konumlara yerleştirilmiştir.

Güneş paneli 88 adet silisyum fotovoltaik hücreden ve bakır kanatçıklı panelden oluşmaktadır. Soğutucu kanal ise cam malzemedir. Xiang ve arkadaşları [10] tarafından

gerçekleştirilen çalışmada enine yönde sıcaklık değişiminin ihmal edilebilir seviyede olması nedeni ile bu çalışmada geometri iki boyutlu olarak ele alınmıştır (Şekil 2).



Şekil 1. 3 boyutlu model



Şekil 2. İki boyutlu model

### 3. SAYISAL MODEL

Çalışmada akışkanın sıkıştırılmaz, Newtonian ve taşınım özelliklerinin sabit olduğu kabul edilerek analizler kararlı ve türbülans akış koşulları için gerçekleştirilmiştir. Eksenel yöndeki sıcaklık dağılımının elde edilmesi için kullanılan temel korunum denklemleri kartezyen tensör formunda

eşitlik 1’de verilmiştir. Temel korunum denklemleri, süreklilik (1), momentumun korunumu (2 ve 3) ve enerji denkleminde (4) oluşmaktadır.

$$\text{Süreklilik denklemi: } \frac{\partial(\overline{\rho u})}{\partial x} + \frac{\partial(\overline{\rho y})}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

$$x\text{- Momentum: } \left( \frac{\partial(\overline{\rho uu})}{\partial x} + \frac{\partial(\overline{\rho vu})}{\partial y} \right) = -\frac{\partial \overline{P}}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left( (\mu + \mu_t) \frac{\partial \overline{u}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( (\mu + \mu_t) \frac{\partial \overline{u}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left( \mu \frac{\partial \overline{u}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \mu \frac{\partial \overline{v}}{\partial y} \right) \quad (2)$$

$$y\text{- Momentum: } \left( \frac{\partial(\overline{\rho uv})}{\partial x} + \frac{\partial(\overline{\rho vv})}{\partial y} \right) = \rho g - \frac{\partial \overline{P}}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left( (\mu + \mu_t) \frac{\partial \overline{v}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( (\mu + \mu_t) \frac{\partial \overline{v}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left( \mu \frac{\partial \overline{u}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \mu \frac{\partial \overline{v}}{\partial y} \right) \quad (3)$$

$$\text{Enerji: } \frac{\partial}{\partial x} (\overline{\rho u c_p T}) + \frac{\partial}{\partial y} (\overline{\rho v c_p T}) = \frac{\partial}{\partial x} \left( (k_i + k_t) \frac{\partial \overline{T}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( (k_i + k_t) \frac{\partial \overline{T}}{\partial y} \right) \quad (4)$$

Belirtilen denklemlerde  $k_t$ , türbülanslı eddy iletkenliği  $\mu$ , eddy viskozitesi,  $\mu_t$  türbülanslı eddy viskozitesi,  $\rho$ , yoğunluk,  $T$ , sıcaklık,  $u$ ,  $x$  yönündeki hız vektörü,  $v$ ,  $y$  yönündeki hız vektörü,  $c_p$  özgül ısı,  $P$ , basıncı temsil etmektedir.

Burada  $k_s$  hesaplama bölgesine bağlı olarak silisyum hücrelerin ya da bakır panelin ısı iletim katsayısını ifade etmektedir.

### 3.1. Standart k-ε Modeli

Güneş paneli ve silisyum hücreler içerisindeki sıcaklık dağılımlarının hesaplanması için ise kararlı koşullarda iletimle ısı transferi gerçekleştiği kabul edilerek Denklem 5 ile verilen ısı iletim denklemleri kullanılmıştır.

Yukarıdaki diferansiyel denklemlerinin çözülmesi için standart k-ε modeli tercih edilmiştir. Türbülans kinetik enerjisi ( $k$ ) ve kinetik enerjiye bağlı olarak oluşan enerji kayıp oranı ( $\varepsilon$ ) değerlerinin bulunması için aşağıdaki denklemler kullanılmıştır.

$$k_s \nabla^2 T = 0 \quad (5)$$

$$\mu_t = c_\mu \rho \frac{k^2}{\varepsilon} \quad \text{ve} \quad k_t = \frac{\mu_t C_p}{\sigma_t} \quad (6)$$

$$\frac{\partial \overline{\rho u k}}{\partial x} + \frac{\partial \overline{\rho v k}}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\mu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{\mu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial y} \right) + \mu_t \Phi - \rho \varepsilon + \frac{C_4 \beta \mu_t}{\sigma_t} \left( g \frac{\partial T}{\partial y} \right) \quad (7)$$

$$\frac{\partial \overline{\rho u \varepsilon}}{\partial x} + \frac{\partial \overline{\rho v \varepsilon}}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} \right) + C_{1\varepsilon} \mu_t \frac{\varepsilon}{k} \phi - C_{2\rho} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} + \frac{C_\mu (1 - C_3) \beta \rho k}{\sigma_t} \left( g \frac{\partial T}{\partial y} \right) \quad (8)$$

Burada türbülans kinetik enerji üretimi aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.

### 3.2. Sınır Koşulları

$$\Phi = 2 \left[ \left( \frac{\partial \overline{u}}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial \overline{v}}{\partial y} \right)^2 \right] + \left( \frac{\partial \overline{u}}{\partial y} + \frac{\partial \overline{v}}{\partial x} \right) \quad (9)$$

Diferansiyel denklemlerin çözümünde kullanılan sınır şartlarında kanal giriş bölgesinde hız, sıcaklık ve basınç değişkenleri başlangıç değerinde ( $u=u_{\text{giriş}}$ ,  $v=0$ ,  $T=T_{\text{giriş}}$ ,  $P=P_{\text{giriş}}$ ) kanal çıkışında ise basınç haricinde tüm değişkenlerin  $x$  eksenine doğrultusundaki değişimleri sıfır alınmıştır. Katı çeperler üzerinde kaymama koşulu tanımlanmıştır ( $u=0$ ,  $v=0$ ). Silisyum hücrelerin üst yüzeylerine elektrik üretimi sonrasında oluşan ısınma miktarını

Diğer türbülans model sabitleri ise  $C_\mu=0,09$ ,  $C_1=1,44$ ,  $C_2=1,92$ ,  $C_3=1,0$ ,  $C_4=0,0$ ,  $\sigma_k=1,0$ ,  $\sigma_\varepsilon=1,30$ ,  $\sigma_t=0,9$  şeklindedir.



modellemek amacı ile sabit ısı akısı değerleri verilmiştir ( $\dot{q} = \dot{q}_{\text{sınır}}$ ). Silindirik cam kanalın dış yüzeylerinde ise ısı akısı değeri sıfır alınarak ( $\dot{q} = 0$ ) yalıtılmış olması sağlanmıştır. Sınır koşulları için verilen değerler Çizelge 1'de görülmektedir.

**Çizelge 1.** Sınır şartlarının değerleri

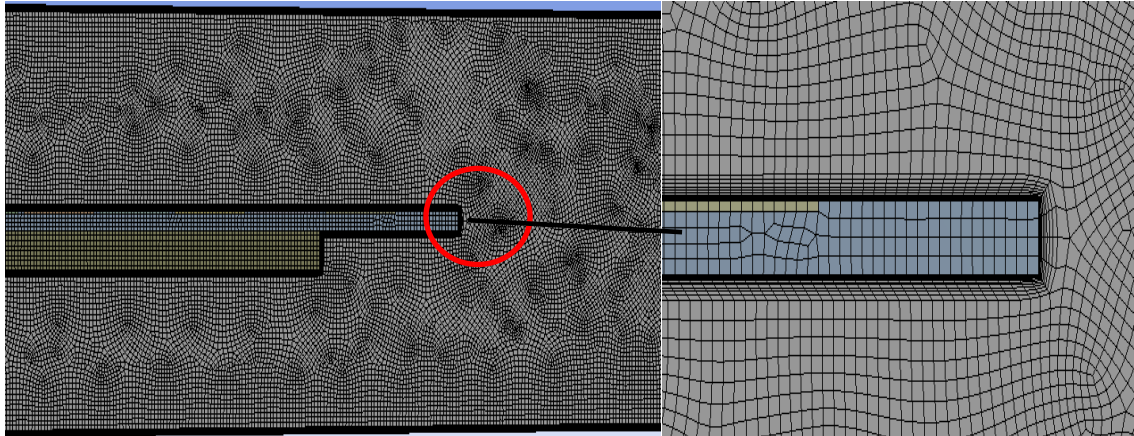
$u_{\text{giriş}}(\text{m/s})$	$T_{\text{giriş}}(^{\circ}\text{C})$	$P_{\text{giriş}}(\text{bar})$	$\dot{q}_{\text{sınır}}(\text{W/m}^2)$
0,32	25,1	1	148000

#### 4. SAYISAL ÇÖZÜMLEME

Korunum denklemlerinin ayrıklaştırılması ve çözülmesinde sonlu hacimler yöntemi

kullanılmıştır. Öncelikle deneysel sonuçlarla uyum sağlayacak şekilde hücre yapısı oluşturulmuştur. Tüm geometri için 0,5 mm boyutunda dörtgen hücre yapısı kullanılmış ve katı çeperlerde yığılma faktörü 10 alınarak hücre yapısı sıklaştırılmıştır (Şekil 3).

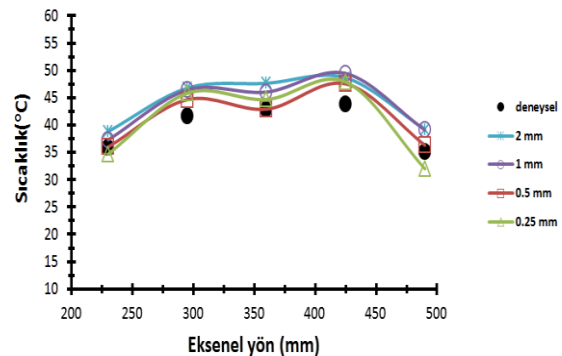
Korunum denklemlerinin ayrıklaştırılmasında birinci dereceden up wind metodu uygulanmış ve hız, basınç ve sıcaklık değerlerinin bulunmasında SIMPLE metodu kullanılmıştır. Sayısal çözümler kalıntı değerlerinin süreklilik, momentum, k ve  $\epsilon$  denklemleri için  $1 \times 10^{-3}$ 'den, enerji denklemi için ise  $1 \times 10^{-6}$ 'dan az olduğu koşula kadar devam etmiştir.



**Şekil 3.** Hücre dağılımı ve yapısı

##### 4.1. Sayısal Sonuçların Doğruluğu

Fotovoltaik panel üzerinde elde edilen sıcaklık değerlerinin doğruluğunun ve sayısal çözümün hücre yapısından bağımsızlığının kontrolü amacı ile sayısal sonuçlar farklı hücre boyutları için elde edilmiş ve deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. 0,25 ve 0,5 mm hücre boyutları için sıcaklık değerlerinin deneysel sonuçlarla uyum sağladığı ve birbirine çok yakın olduğu görülmektedir (Şekil 4). Bu nedenle problemin çözümü için hesaplama zamanını kısaltması ve en yüksek hata oranının yaklaşık %4 olması sebebi ile 0,5 mm büyüklüğündeki hücre yapısı tercih edilmiştir.



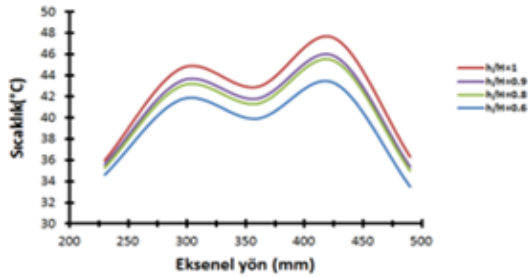
**Şekil 4.** Sayısal sonuçların deneysel sonuçlarla karşılaştırılması

## 5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Sayısal analizler kanal çıkış genişliği, panelin eksenel ve radyal yöndeki konumu parametrelerinin farklı değerleri için gerçekleştirilmiştir. Parametre değerlerine bağlı olarak oluşan sıcaklık değerleri, basınç kayıpları aşağıda verilen kısımlarda sunulmuştur.

### 5.1. Kanal Çıkış Boyutunun Etkisi

Şekil 5a'da görüldüğü gibi dört farklı h/H oranı için çözümlenmiş ve kanal çıkışının daraltılması sonucunda panel üzerindeki sıcaklıkların düştüğü anlaşılmıştır. Bu durum daralma ile birlikte akışkan hızının kanal çıkışına doğru artmasının taşınım ile ısı transferini de artırması sonucu oluşmaktadır (Şekil 6 ve 7).



Şekil 5. Kanal çıkış boyutunun etkisi a) hücre sıcaklıkları



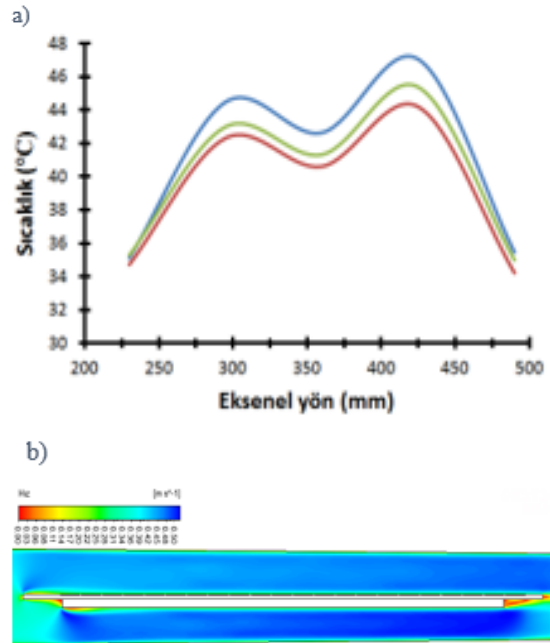
Şekil 6. Kanal çıkış boyutunun etkisi b) hız kontörleri (h/H=0,6, l/L=0,71, k/H=0,5)



Şekil 7. Kanal çıkış boyutunun etkisi c) hız kontörleri (h/H=1, l/L=0,71, k/H=0,5)

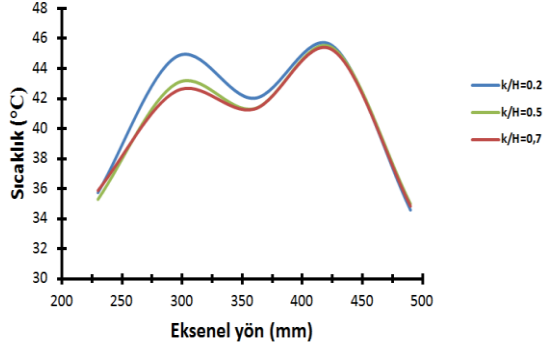
### 5.2. Panel Konumunun Etkisi

Güneş panelinin eksenel yöndeki farklı konumlarının sıcaklık üzerindeki etkisi incelendiğinde (Şekil 8a) panelin çıkışa yakın bölgeye yerleştirilmesinin hücrelerin sıcaklıklarını düşürdüğü görülmektedir. Bu durum kanal çıkış boyutunun etkisinde bahsedildiği gibi panel alt yüzeyi ile kanal yüzeyi arası mesafenin azalması sonucu akış hızının artmasından kaynaklanmaktadır (Şekil 8b). Kanal girişinde bu mesafenin artması sonucu akışkan hızının düşmesi ile birlikte hücre sıcaklıkları da artmıştır.



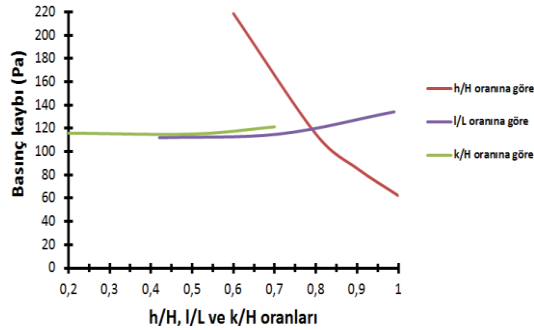
Şekil 8. Eksenel konumun etkisi a) hücre sıcaklıkları, b) hız kontörleri (h/H=0,8, l/L=0,99, k/H=0,5)

Panelin radyal yönde farklı konumlara yerleştirilmesi Şekil 9'dan da anlaşıldığı gibi panelin üst yüzeye yakın olması durumunda ilk sıralardaki hücre sıcaklıklarının artmasına sebep olmuştur. Panel üzerinde son sıralara yaklaşıldığında ise hücre sıcaklıkları tüm parametre değerleri için yaklaşık olarak aynı kalmıştır.



Şekil 9. Radyal konumun etkisi

Şekil 10'da kanal çıkışındaki daralma miktarının ve panel konumunun değişimi sonucunda oluşan basınç kayıpları görülmektedir. En yüksek basınç kaybının kanal çıkışının daralması sonucu ( $h/H=0,6$ ) daralmanın olmadığı duruma göre oluştuğu anlaşılmaktadır. Eksenel yönde kanal çıkışına yakın bölgeye panelin yerleştirilmesi sonucunda ise basınç kaybı bir miktar artmış fakat radyal yöndeki farklı konumlar küçük değişimler göz ardı edildiğinde basınç kaybını etkilememiştir.



Şekil 10. Farklı parametre değerlerindeki basınç kayıpları

## 6. SONUÇLAR

Sayısal çalışma sonucunda elde edilen bulgular kanal çıkışının daraltılması ve panelin eksenel konumunun kanal çıkışına yakın olması durumunda fotovoltaik hücreler için daha etkin soğutma koşullarının sağlandığını göstermektedir. En yüksek ısı transferi  $h/H$  oranının  $h/H=0,6$  olduğu durumda elde edilmiştir. Kanal çıkışının daraltılması panelin kanal çıkışına yakın bölgeye

yerleştirilmesi durumuna göre fotovoltaik hücre sıcaklıklarının dağılımına daha fazla etki etmektedir. Raydal yöndeki panel konumu ise panelin üst yüzeye yakın olması durumunda ilk sıralardaki hücre sıcaklıklarının artmasına sebep olmuştur. Panel üzerinde son sıralara yaklaşıldığında ise hücre sıcaklıkları tüm parametre değerleri için yaklaşık olarak aynı kalmıştır. Diğer yandan  $h/H$  oranının düşürülmesi ısı transferi ile birlikte basınç kaybını da en fazla oranda artırmaktadır. Bu nedenle çalışmada ele alınan parametre değerlerinin sistemin soğutma ihtiyacına göre en uygun şekilde belirlenmesi gerekmektedir.

## 7. KAYNAKLAR

1. Royne, A., Dey, C.J., Mills, D.R., 2005. Cooling of Photovoltaic Cells under Concentrated Illumination: A Critical Review, Sol. Energy Mater. Sol. Cells, vol. 86, no. 4, pp. 451–483.
2. Liu, L., Zhu, L., Wang, Y., Huang, Q., Sun, Y., Yin, Z., 2011. Heat Dissipation Performance of Silicon Solar Cells by Direct Dielectric Liquid Immersion under Intensified Illuminations, Sol. Energy, vol. 85, no. 5, pp. 922–930.
3. Zhu, L., Boehm, R.F., Wang, Y., Halford, C., Sun, Y., 2011. Water Immersion Cooling of PV Cells in a High Concentration System, Sol. Energy Mater. Sol. Cells, vol. 95, no. 2, pp. 538–545.
4. Sheeba, K.N., Rao, R.M., Jaisankar, S., 2015. A Study on the Underwater Performance of a Solar Photovoltaic Panel, Energy Sources, Part A Recover. Util. Environ. Eff., vol. 37, no. 14, pp. 1505–1512.
5. Florschuetz, L.W., Truman, C.R., Metzger, D.E., 1981. Streamwise Flow and Heat Transfer Distributions for Jet Array Impingement with Crossflow, J. Heat Transfer, vol. 103, no. 2, p. 337.
6. Min, C., Nuofu, C., Xiaoli, Y., Yu, W., Yiming, B., Xingwang, Z., 2009. Thermal Analysis and Test for Single Concentrator Solar Cells, J. Semicond., Chinese Institute of Electronics, vol. 30, no. 4.
7. Natarajan, S.K., Mallick, T.K., Katz, M., Weingaertner, S., 2011. Numerical

- Investigations of Solar Cell Temperature for Photovoltaic Concentrator System with and Without Passive Cooling Arrangements, *Int. J. Therm. Sci.*, vol. 50, no. 12, pp. 2514–2521.
8. Coventry, J.S., 2005. Performance of a Concentrating Photovoltaic/thermal Solar Collector, *Sol. Energy*, vol. 78, no. 2, pp. 211–222.
  9. Sun, Y., Wang, Y., Zhu, L., Huang, Q., Xiang, H., 2016. Simulation Study of a Linear Concentrating Photovoltaic Receiver with Direct Liquid-Immersed Solar Cells, *Sol. Energy*, vol. 124, pp. 1–14.
  10. Xiang, H., Wang, Y., Zhu, L., Han, X., Sun, Y., Zhao, Z., 2012. 3D Numerical Simulation on Heat Transfer Performance of a Cylindrical Liquid Immersion Solar Receiver, *Energy Convers. Manag.*, vol. 64, pp. 97–105.

## Nanoparticle Shape Effect on Natural Convection in a Corner Partitioned Square Cavity

Fatih SELİMEFENDİGİL<sup>\*1</sup>, Aşlı AKYOL İNADA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Celal Bayar University, Manisa

Geliş tarihi: 20.07.2016

Kabul tarihi: 15.10.2016

### Abstract

In this study, numerical investigation of natural convection in a corner partitioned square cavity filled with nanoparticles of different shapes was performed by using finite element method. The left and right vertical walls of the cavity are kept at constant temperatures while the horizontal walls are adiabatic and the corner partition is conductive. The numerical study was performed for various values of Rayleigh numbers, solid nanoparticle volume fractions, radii of the corner partition and different nanoparticle shapes. It was observed that average heat transfer enhances as the value of the Rayleigh number, nanoparticle volume fraction and size of the conductive partition increases. Cylindrical shape nanoparticles show the best performance and spherical ones show the worst performance in terms of heat transfer enhancement.

**Keywords:** Conjugate natural convection, Nanofluids, Corner partition, Finite element method

### Köşe Bölmeli Kare Muhafazada Nanopartikül Şekil Etkisinin Doğal Konveksiyon Üzerine Etkileri

#### Öz

Bu çalışmada, farklı şekillerde nanopartiküller ile doldurulmuş köşe bölmeli kare boşlukta doğal konveksiyonun sayısal incelenmesi sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Boşluğun sol ve sağ dikey duvarları sabit sıcaklıkta tutulurken, yatay duvarlar adyabatik ve köşe bölmesi iletken. Sayısal çalışma farklı nanopartikül şekilleri ve köşe bölmesinin yarıçapı, katı nanopartikül hacim kesirleri, Rayleigh sayılarının çeşitli değerleri için uygulanmıştır. Rayleigh sayısının, nanopartikül hacim kesirinin ve iletken bölmenin boyutunun artması, ortalama ısı transferini arttırdığı gözlemlenmiştir. Silindirik şeklindeki nanopartiküller en iyi performansı gösterirken, küresel olanlar da ısı transferinin iyileştirilmesi açısından en kötü performansı göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Konjuge doğal konveksiyon, Nanoakışkanlar, Köşe bölme, Sonlu elemanlar yöntemi

\*Sorumlu yazar (Corresponding author): Fatih SELİMEFENDİGİL, [ffhsel@yahoo.com](mailto:ffhsel@yahoo.com)

## 1. INTRODUCTION

Natural convection in cavities is encountered in many engineering applications ranging from electronic cooling to solar power. This mode of heat transfer is cheap but it should be enhanced to have comparable performance to forced convection.

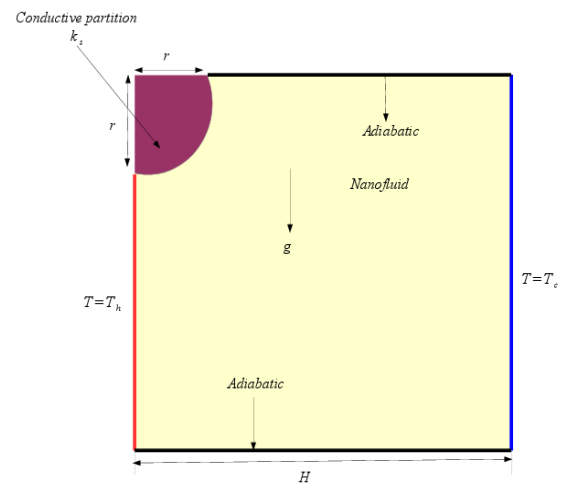
Active and passive methods can be used to control the convection inside the cavities. In one of these methods, partitions are used within the cavity or on the walls of the cavity to affect the fluid motion and heat transfer characteristics [1-5]. In heat transfer applications, nano-size metallic/non-metallic particles are added to the base fluids such as water or ethylene glycol to enhance the heat transfer. The thermal conductivity of the nanoparticles such as  $Al_2O_3$ ,  $CuO$ ,  $Cu$ ,  $TiO_2$ ,  $Ag$  have higher thermal conductivity compared to the heat transfer fluid and inclusion of these particles enhances the thermal transport for heat transfer applications as it is shown in many numerical and experimental studies [6-9]. The size, type effects on the heat transfer enhancements were used in many studies, but there are a few studies related to the shape effect on the heat transfer performance [10-11].

In this numerical study, natural convection in a square cavity having a conductive partition filled with nanoparticle of different shapes (spherical, blade and cylindrical) were investigated. The aim was to identify the effects of parameters on the local and average heat transfer characteristics. The results of this study can be used by researchers in different fields that have to develop a thermal design with natural convection for specific applications such as electronic cooling, thermal storage and many others.

## 2. PHYSICAL MODEL AND MATHEMATICAL FORMULATION

A schematic description of the problem is shown in Figure 1. The square cavity is filled  $SiO_2$ -water

nanofluid of different particle shapes (spherical, blade and cylindrical). A quarter circular conductive partition was added in the left upper corner of the cavity with radius  $r$  and thermal conductivity of  $k_s$ . The left and right vertical cavity walls are maintained at constant temperatures of  $T_h$  and  $T_c$  while the top and bottom horizontal walls are assumed to be adiabatic. The flow is assumed to be 2D, laminar and the density in the buoyancy force was modelled according to Boussinesq approximation.



**Figure 1.** Schematic description of the physical model

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

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho_{nf}} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu_{nf} \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \quad (2)$$

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{\rho_{nf}} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu_{nf} \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + \beta_{nf} g (T - T_c) \quad (3)$$

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha_{nf} \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \quad (4)$$

For the conductive solid medium:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = 0 \quad (5)$$

**2.1. Thermo-physical Properties of Nanofluids**

The effective thermo-physical properties of nanofluids are defined by using the following formulas:

$$\rho_{nf} = (1 - \phi)\rho_{bf} + \phi\rho_p \tag{6}$$

$$(\rho c_p)_{nf} = (1 - \phi)(\rho c_p)_{bf} + \phi(\rho c_p)_p \tag{7}$$

$$(\rho\beta)_{nf} = (1 - \phi)(\rho\beta)_{bf} + \phi(\rho\beta)_p \tag{8}$$

where the subscripts bf, nf and p denote the base fluid, nanofluid and solid particle, respectively. The effective thermal conductivity of the nanofluid is given as:

$$k_{nf} = k_f \left[ \frac{(k_p + 2k_f) - 2\phi(k_f - k_p)}{(k_p + 2k_f) + \phi(k_f - k_p)} \right] \tag{9}$$

Viscosity of the nanofluid given according to Brinkman model as:

$$\mu_{nf} = \frac{\mu_f}{(1 - \phi)^{0.25}}$$

**2.2. Different Nanoparticle Shapes**

For nanoparticle shapes other than spherical, thermal conductivity and viscosity are given by using the following formulas [11]:

$$k_{nf} = k_f (1 + C_k \phi) \tag{11}$$

$$\mu_{nf} = \mu_f (1 + A_1 \phi + A_2 \phi^2) \tag{12}$$

Constants in the above formulations are given in Table 1 and Table 2.

**Table 1.** Constants for thermal conductivity of nanofluids for different nanoparticle shapes

Nanoparticle type	C <sub>k</sub>
Cylindrical	3.95
Bricks	3.37
Blades	2.74

**Table 2.** Constants for viscosity of nanofluids for different nanoparticle shapes

Nanoparticle type	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>
Cylindrical	13.5	904.4
Bricks	1.9	471.4
Blades	14.6	123.3

**2.3. Boundary Conditions**

The relevant dimensionless physical and geometrical parameters are:

$$\begin{aligned} Gr &= \frac{g\beta_f(T_h - T_c)H^3}{\nu_f^2}, \\ Pr &= \frac{\nu_f}{\alpha_f}, \quad Ra = GrPr, \\ Kr &= \frac{k_s}{k_f}, \quad R = \frac{r}{H} \end{aligned} \tag{13}$$

The appropriate forms of the dimensional boundary conditions are:

For the hot vertical wall:  $u = v = 0, T = T_h$   
 For the cold wall:  $u = v = 0, T = T_c$  (10)

Along the interface of fluid domain with the solid domains:

$$k_f \left( \frac{\partial \theta}{\partial n} \right)_f = k_s \left( \frac{\partial \theta}{\partial n} \right)_s$$

For the adiabatic walls:

$$u = v = 0, \quad \left( \frac{\partial \theta}{\partial n} \right)_w = 0$$

Local Nusselt number along the hot wall of the enclosure is calculated as:

$$Nu_y = -\frac{k_{nf}}{k_f} \left( \frac{\partial \theta}{\partial n} \right)_{n=0} \tag{14}$$

where  $\theta$  represents the non-dimensional temperature and  $S$  denotes the non-dimensional coordinate along the wall. Averaged Nusselt number is obtained after integrating the local Nusselt number along the hot wall as:

$$Nu_m = \frac{1}{H-r} \int_0^{H-r} Nu_y dy \quad (15)$$

### 2.4. Solution Methodology

In order to solve the resulting governing equations as described above, Galerkin weighted residual finite element method was used. Weak form the governing equations with Galerkin procedure is established. Each of the flow variables within the discretized finite elements are approximated by using interpolation functions and then the approximations are substituted into the governing equations. Residuals for each of the conservation equation are then obtained. The convergence of the solution is assumed and the solution is terminated when the relative error for each of the variables denoted by  $\Phi$  satisfy the following convergence criteria:

$$\left| \frac{\Phi^{n+1} - \Phi^n}{\Phi^{n+1}} \right| \leq 10^{-5} \quad (16)$$

## 3. RESULTS AND DISCUSSIONS

Figure 2 and Figure 3 demonstrate the effects of varying Rayleigh number and corner partition on the flow and thermal fields within the cavity ( $\phi=0.02$ , spherical nanoparticles). For low Rayleigh number and in the absence of the partition, a singular recirculating vortex is formed. As the value of the Rayleigh number increases, the shape of the vortex is distorted and multi-cellular flow structure is seen within the cavity due to the increased fluid kinetic energy.

The presence conductive partition on the corner affects the flow field and isotherm distribution with the cavity. At  $R=0.1$ , the discrepancy between the isotherms is higher at the highest value of

Rayleigh number and the diagonal oriented streamline in the absence of partition at  $R=0$ , becomes flattened. Further increment of the size of the partition to  $R=0.4$ , multi-cellular structure in the flow field disappears at the highest value of the Rayleigh number. Isotherms are more clustered in the lower part of the hot wall and temperature gradients become steeper as the value of Rayleigh number increases. Isotherms within the cavity become parallel to the horizontal walls which indicate the increased effect of convection. The presence of the partition affects the isotherms within the cavity especially at higher values of Rayleigh numbers.

Local Nusselt number distributions along the hot wall in the absence of corner partition and for spherical nanoparticle at  $\phi=0.02$  are shown in Figure 4 for different values of Rayleigh numbers. Local heat transfer enhancement is seen with increasing  $R$  values and this is more effective in the lower part of the hot wall. The average Nusselt number enhances with Rayleigh number and nanoparticle volume fraction as it is seen in Table 3.

Figure 5 demonstrates the effects of nanoparticle shape on the local Nusselt number distributions along the hot wall for two values of corner partition radius at the highest solid nanoparticle volume fraction ( $Ra=10^5$ ). For both  $R$  values, the cylindrical nanoparticle shapes gives the best performance and spherical ones give the worst performance in terms of local heat transfer enhancement. The local enhancement is higher in the location where heat transfer is higher which is the lower part of the hot vertical wall. Table 4-6 show the influence of varying solid nanoparticle volume fraction and shape on the average Nusselt number for different radii of the corner partition at  $Ra=10^5$ . Average heat transfer enhances as the solid volume fraction of the nanoparticle increases which is due to the increasing conductivity and better thermal transport with the inclusion of nanoparticles.

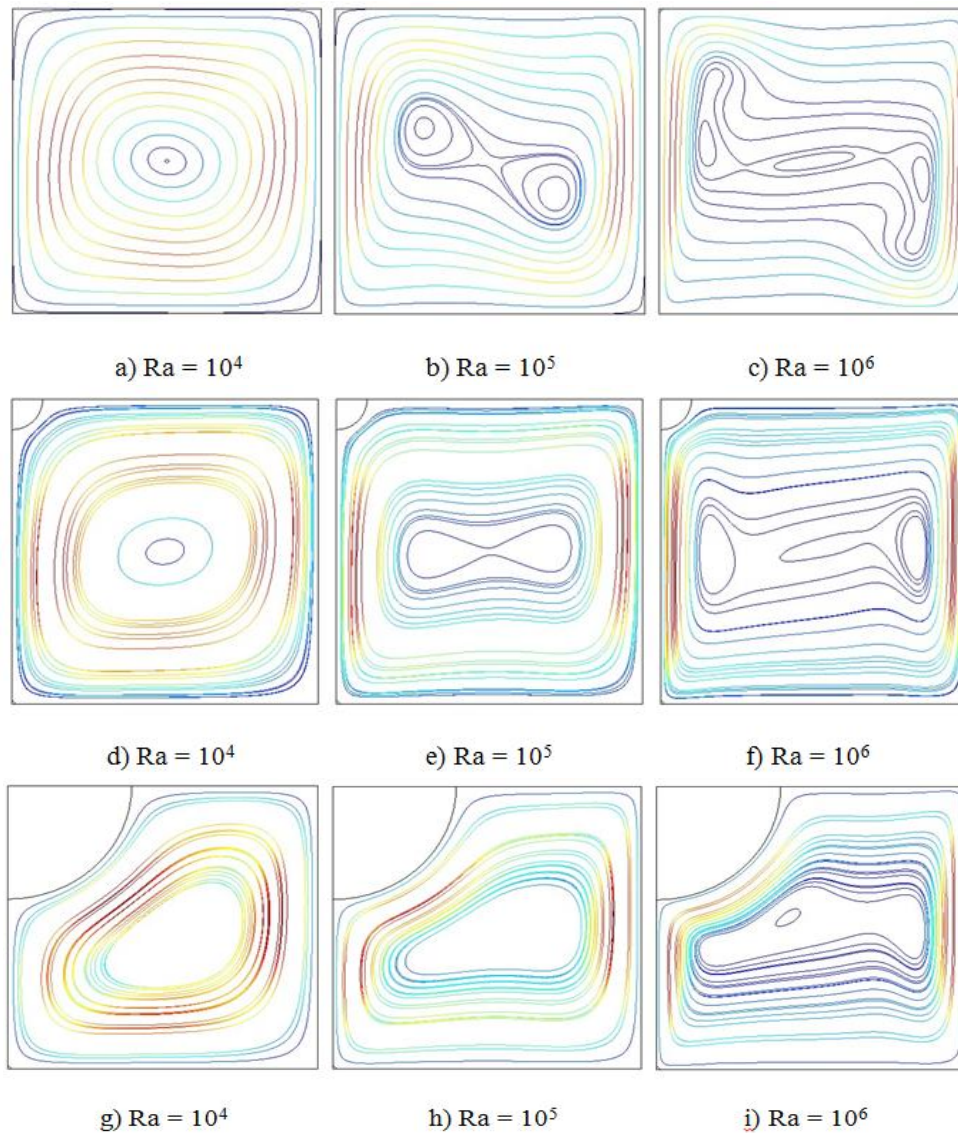
Average heat transfer is highest for the cylindrical and lowest for the spherical nanoparticle shapes



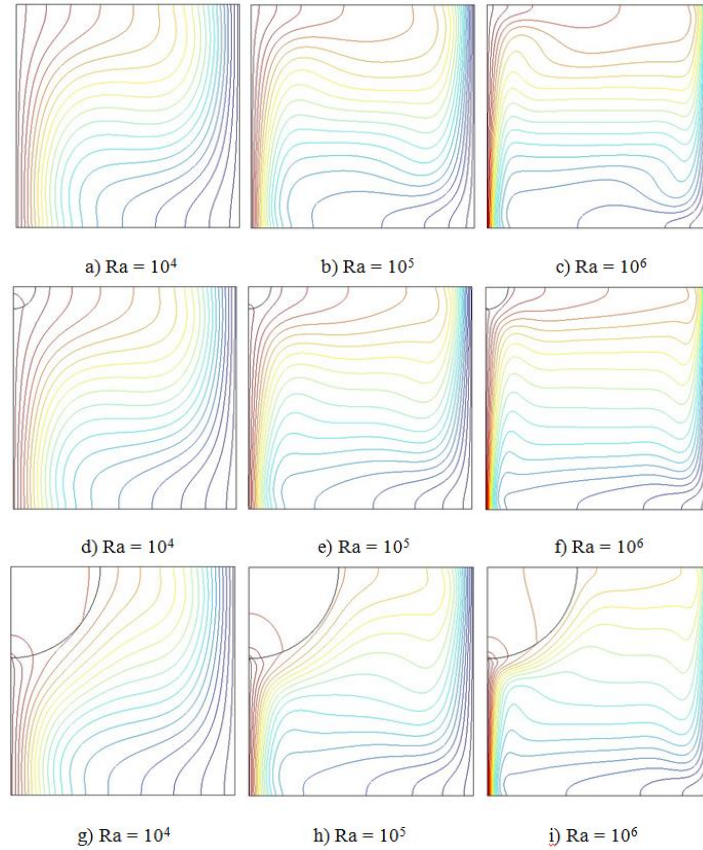
( $Nu_{cylindrical} > Nu_{brick} > Nu_{blade} > Nu_{spherical}$ ) for the same volume fraction. Average heat transfer enhances by about 11.22% for the spherical nanoparticle shapes and 19.85% for the cylinder nanoparticle shapes at the highest volume fraction ( $\phi = 0.04$ ) compared to base fluid ( $\phi = 0$ ) in the absence of the corner partition. As the size of the partition is increased to  $R = 0.4$ , 12.78% and 16.41% average heat transfer enhancements are

obtained for the highest nanoparticle volume fractions.

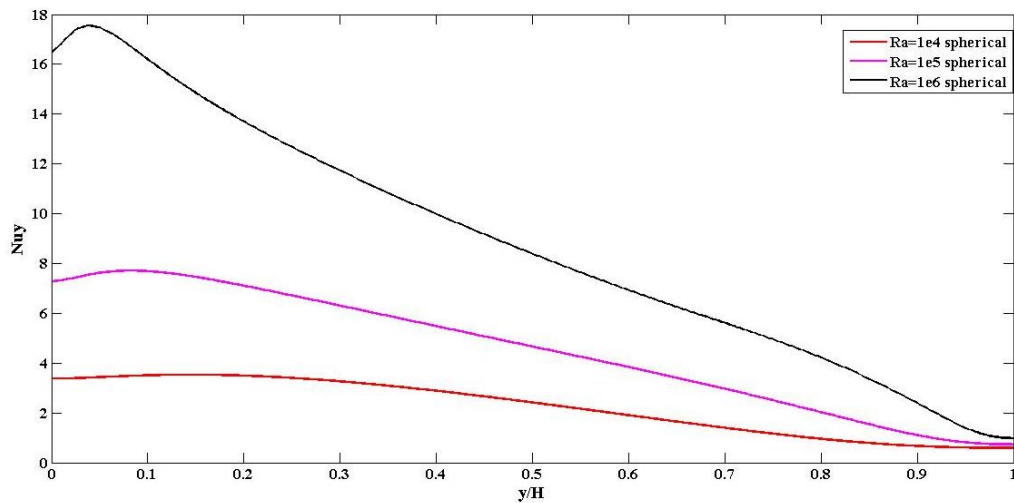
Increasing the size of the conductive partition increases the average Nusselt number. Average heat transfer enhancement is 28.78% and 28.76% when  $R = 0$  is increased to  $R = 0.4$  for spherical and cylindrical type nanoparticles at the highest volume fraction at  $\phi = 0.04$ .



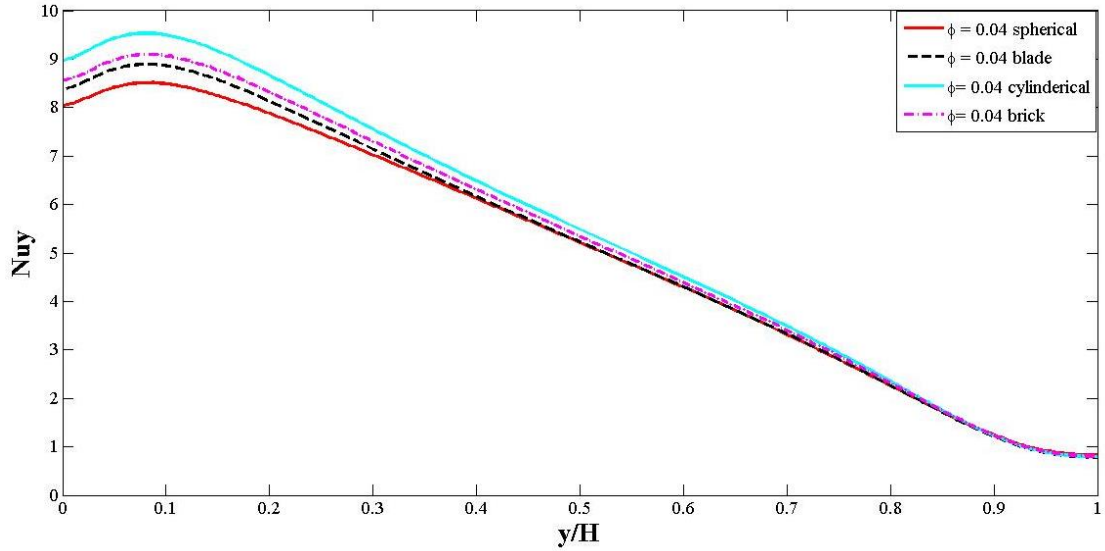
**Figure 2.** Effects of Rayleigh number on the streamline distributions for various radius of the corner partition ( $Kr=10$ ,  $\phi=0.02$ , spherical nanoparticles)



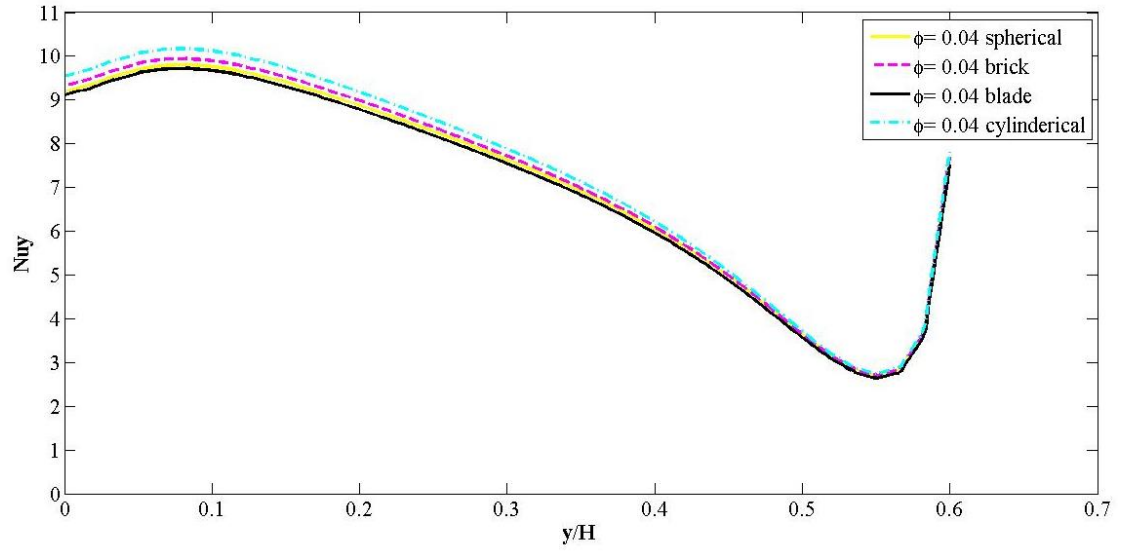
**Figure 3.** Effects of Rayleigh number on the isotherm distributions for various radius of the corner partition ( $Kr=10$ ,  $\phi=0.02$ , spherical nanoparticles)



**Figure 4.** Local Nusselt number distributions along the hot wall for various values of Rayleigh numbers ( $R=0$ ,  $Kr=10$ ,  $\phi=0.02$ , spherical nanoparticles)



a)  $R=0, \phi=0.04$



b)  $R=0.4, \phi=0.04$

**Figure 5.** Local Nusselt number distributions along the hot wall for various nanoparticle shapes and two values of corner partition radius ( $Ra=10^5, Kr=10$ )

**Table 3.** Effects of Rayleigh number on the average Nusselt number for corner partition radius of  $R=0$  (spherical,  $Kr=10$ )

Ra	$\phi=0$	$\phi=0.04$
$10^4$	2.2422	2.5105
$10^5$	4.5185	5.0255
$10^6$	8.8294	9.8166

**Table 4.** Effects of nanoparticle solid volume fraction and nanoparticle shapes on the average Nusselt number for corner partition radius of R=0 (Ra=10<sup>5</sup>, Kr=10)

$\phi$	Spherical	Blade	Brick	Cylindrical
0	4.5185	4.5185	4.5185	4.5185
0.01	4.6423	4.6715	4.6769	4.7376
0.02	4.7681	4.8236	4.8562	4.9721
0.03	4.8958	4.9737	5.0466	5.2001
0.04	5.0255	5.1215	5.2388	5.4158

**Table 5.** Effects of nanoparticle solid volume fraction and nanoparticle shapes on the average Nusselt number for corner partition radius of R=0.1 (Ra=10<sup>5</sup>, Kr=10)

$\phi$	Spherical	Blade	Brick	Cylindrical
0	4.8908	4.8908	4.8908	4.8908
0.01	5.0398	5.0268	5.0574	5.0869
0.02	5.1919	5.1628	5.2246	5.2831
0.03	5.3471	5.2987	5.3919	5.4792
0.04	5.5055	5.4346	5.5592	5.6749

**Table 6.** Effects of nanoparticle solid volume fraction and nanoparticle shapes on the average Nusselt number for corner partition radius of R=0.4 (Ra=10<sup>5</sup>, Kr=10)

$\phi$	Spherical	Blade	Brick	Cylindrical
0	6.2841	6.2841	6.2841	6.2841
0.01	6.4778	6.4623	6.5014	6.5409
0.02	6.6755	6.6403	6.7200	6.7980
0.03	6.8772	6.8180	6.9390	7.0540
0.04	7.0830	6.9954	7.1578	7.3088

#### 4. CONCLUSION

Numerical simulation results are presented for the natural convection in a nanofluid filled corner partitioned square cavity. Different nanoparticle shapes and conductive partition was considered. Following conclusions can be drawn as:

\* The flow and thermal fields are affected by the presence of the conductive partition and different nanoparticle shapes.

\* As the value of Rayleigh number and size of the corner partition increase, average heat transfer enhances. Average Nusselt number increases by about 28.78% when R=0 is increased to R=0.4 for spherical type nanoparticles at the highest volume fraction.

\* Due to the increased thermal conductivity and better thermal transport properties, local and

average heat transfer enhance with the inclusion of nanoparticles and its value gets higher as the solid volume fraction of the nanoparticles increase.

\* Cylindrical shape nanoparticles show better heat transfer performance compared to spherical ones.

\* Average Nusselt number increases by about 11.22% for the spherical nanoparticle shapes and 19.85% for the cylinder nanoparticle shapes at the highest volume fraction compared to base fluid when there is no partition.

#### 5. REFERENCES

- Selimefendigil, F., Oztop, H.F., 2016. Conjugate Natural Convection in a Cavity with a Conductive Partition and Filled with Different Nanofluids on Different Sides of the Partition, Journal of Molecular Liquids, vol. 216, pp. 67-77.

2. Oztop, H.F., Varol, Y., Koca A., 2009. Natural Convection in a Vertically Divided Square Enclosure by a Solid Partition into air and Water Regions, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 52, pp. 5909-5921.
3. Varol, Y., Oztop, H.F., Pop, I., 2008. Natural Convection Flow in Porous Enclosures with Heating and Cooling on Adjacent Walls and Divided by a Triangular Massive Partition, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol. 35, pp. 476-491.
4. Ahmed, E.S., Oztop, H.F., Al-Salem, K., 2014. Natural Convection Coupled with Radiation Heat Transfer in an Inclined Porous Cavity with Corner Heater, *Computers & Fluids*, vol. 102, pp. 74-84.
5. Selimefendigil, F., Oztop, H.F., 2015. Natural Convection and Entropy Generation of Nanofluid Filled Cavity Having Different Shaped Obstacles under the Influence of Magnetic Field and Internal Heat Generation, *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, vol. 56, pp. 42-56.
6. Selimefendigil, F., Oztop, H.F., 2014. Pulsating Nanofluids Jet Impingement Cooling of a Heated Horizontal Surface, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 69, pp. 54-65.
7. Bouhaleb, F., Abbasi, H., 2015. Natural Convection in an Inclined Rectangular Enclosure Filled by CuO–H<sub>2</sub>O Nanofluid, with Sinusoidal Temperature Distribution, *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 40, pp. 13676-13684.
8. Zakaria, I., Azmi, W.H., Mamat, A.M.I., Mamat Rizalman Saidur, R., Abu Talib, S.F., 2016. Thermal Analysis of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–Water Ethylene Glycol Mixture Nanofluid for Single PEM Fuel Cell Cooling Plate: An Experimental Study, *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 41, pp. 5096-5112.
9. Shahnazar, S., Bagheri, S., Abd Hamid, S.B., 2016. Enhancing Lubricant Properties by Nanoparticle Additives, *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 41, pp. 3153-3170.
10. Selimefendigil, F., Oztop, H.F., Abu-Hamdeh, N., 2015. Mixed Convection Due to Rotating Cylinder in an Internally Heated and Flexible Walled Cavity Filled with SiO<sub>2</sub>–Water Nanofluids: Effect of Nanoparticle Shape, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol. 71, pp. 9-19.
11. Selimefendigil, F., Oztop, H.F., 2015. Mixed Convection in a Two-sided Elastic Walled and SiO<sub>2</sub> Nanofluid Filled Cavity with Internal Heat Generation: Effects of Inner Rotating Cylinder and Nanoparticle's Shape, *Journal of Molecular Liquids*, vol. 212, pp. 509-516.



## New Regression Models for Predicting the Hamstring Muscle Strength using Support Vector Machines

Boubacar SOW<sup>1</sup>, Mehmet Fatih AKAY<sup>\*1</sup>, Fatih ABUT<sup>1</sup>, Ebru ÇETİN<sup>2</sup>, İmdat YARIM<sup>2</sup>, Hacer ALAK<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Adana

<sup>2</sup>Gazi Üniversitesi, Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu, Ankara

Geliş tarihi: 22.08.2016

Kabul tarihi: 24.09.2016

### Abstract

The purpose of this study is to build new prediction models for estimating the hamstring muscle strength of college-aged athletes using Support Vector Machine (SVM). The dataset is made up of 70 athletes ranging in age from 19 to 38 years who were selected from the College of Physical Education and Sport at Gazi University. The results show that the prediction model including the predictor variables gender, age, height and weight provides a valid and convenient method for estimating hamstring muscle strength within limits of acceptable accuracy. For comparison purposes, prediction models based on Multilayer Perceptron (MLP) and Single Decision Tree (SDT) have also been created, and it is seen that SVM-based models outperforms the MLP-based and SDT-based models for prediction of hamstring muscle strength.

**Keywords:** SVM, MLP, SDT, Hamstring muscle strength, Prediction

### Destek Vektör Makinelerini Kullanarak Hamstring Kas Kuvveti Tahmini için Yeni Regresyon Modelleri

#### Öz

Bu çalışmanın amacı, Destek Vektör Makinesi (DVM) kullanarak üniversite çağındaki sporcuların hamstring kas kuvvetini tahmin etmek için yeni tahmin modelleri oluşturmaktır. Veri seti, yaşları 19 ve 38 arasında değişen, Gazi Üniversitesi Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu'ndan seçilen 70 sporcudan oluşmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre; cinsiyet, yaş, boy ve kilo değişkenlerini içeren tahmin modelinin, kabul edilebilir doğruluk ile hamstring kas kuvvetini tahmin etmek için geçerli ve kullanışlı bir yöntem sağladığını göstermektedir. Karşılaştırma amacıyla, Çok Katmanlı Algılayıcı (ÇKA) ve Tekli Karar Ağacı (TKA) yöntemlerine dayalı tahmin modelleri de oluşturulmuştur ve DVM tabanlı modellerin, hamstring kas gücünün tahmininde ÇKA ve TKA tabanlı modellerden daha iyi performans sergilediği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** DVM, ÇKA, TKA, Hamstring kas kuvveti, Tahmin

---

\* Sorumlu yazar (Corresponding author): Mehmet Fatih AKAY, [mfakay@cu.edu.tr](mailto:mfakay@cu.edu.tr)

## 1. INTRODUCTION

Muscular strength is the maximum amount of force that a muscle can exert against some form of resistance in a single effort. Muscles support the skeleton and enable movement. Strong muscles in the legs such as hamstrings, but also muscles of buttocks, abdomen, chest and shoulder provide a person with the strength to stand up straight and maintain good posture. Taking place on the back of the upper leg, the hamstring muscles play a crucial role in many daily activities, such as walking, running and jumping. The hamstring muscles are responsible for the flexion of the knee as well as assisting the extension of the thigh. The hamstring muscle strength is measured in Nm [1].

In the courses of the past decades, various techniques have been proposed to quantitatively and accurately measure the hamstring muscle strength including dynamometer tests [2], tensiometer tests [3] or isokinetic tests [4]. However, among the various types, isokinetic testing has become the most popular and common technique for directly measuring the hamstring muscle strength of the upper leg. Isokinetic exercise is usually conducted by using the so-called dynamometers which sustain a constant velocity of movement. Prior to performing the isokinetic exercise, the participant is stationed in such a way that the body movement to be measured is isolated. Afterwards, the dynamometer is adjusted at different velocities and the force exerted by the participant can be measured over the entire range of movement [5].

Despite a high level of accuracy, the direct measurement of hamstring muscle strength is associated with a number of practical difficulties and limitations. The equipment required for conducting the measurements is bulky, expensive and not readily available. In particular, such measurement activities are frequently conducted within the scope of research projects at educational institutions or provided as services in rehabilitation or health-care facilities. Also, it is only possible to test one participant at a time so that the practical

application of direct measurement is not feasible for large populations. Regarding these difficulties, rather than directly measuring the hamstring muscle strength, it may be beneficial to predict it using machine learning methods.

In literature, to the best of our knowledge, there is only one preliminary study [6] that compares the performance of different machine learning methods for prediction of hamstring muscle strength. Particularly, in [6]; SVM, Radial Basis Function Neural Network and Decision Tree Forest have been applied to develop a model for hamstring muscle strength prediction. It has been concluded that SVM-based model yields lower *RMSE*'s than the ones obtained by using other methods. However, this study has the significant limitation that it only considers a single prediction model for performance evaluation. Additional studies focusing on developing further new models are definitely required in order to identify the best set of predictor variables for hamstring muscle strength prediction.

The aim of this study is to extend the work of [6] by building new and more comprehensive prediction models for estimating the hamstring muscle strength of college-aged athletes using SVM. The dataset included 70 volunteers who were students at the Department of Physical Education and Sport in Gazi University. The predictor variables gender, age, height, weight and sport branch were utilized to build thirty different hamstring muscle strength prediction models. The generalization error of the prediction models has been calculated by carrying out 10-fold cross-validation, and the prediction errors have been computed using root mean square error (*RMSE*) and correlation coefficient (*R*). The results of SVM-based prediction models have also been compared with the ones obtained by MLP-based and SDT-based prediction models. The results show that the SVM-based model containing the predictor variables gender, age, height and weight yields the lowest *RMSE* and highest *R* with 15.19



Nm and 0.82, respectively. Moreover, this *RMSE* value has been found to be 2.25% lower than that of the SVM-based prediction model presented in [6], which used the same dataset as in this study. Also, it is observed that all SVM-based models perform better than the MLP-based and SDT-based prediction models, whereas MLP-based prediction models outperform SDT-based prediction models.

The rest of this paper is divided into five sections. Section 2 gives brief information about dataset generation. Section 3 summarizes the methodology used to build the prediction models. The results are discussed in Section 4. Finally, Section 5 concludes the paper.

## 2. DATASET GENERATION

70 students from the College of Physical Education and Sport at Gazi University were involved in the experiments. Isokinetic strength of all subjects' right upper leg hamstring muscle was measured by the isokinetic dynamometer (Isomed 2000, Germany) at 60° per second angular velocity. The hamstring muscle strength has been measured by performing the classic training which involved light run for 5 minutes. The dataset included the predictor variables gender, age, height, weight and sport branch as well as the target variable hamstring muscle strength. Table 1 gives the minimum, maximum, mean and standard deviation values for each predictor and target variable.

**Table 1.** Statistics of the dataset

Variables	Minimum	Maximum	Mean	Standard Deviation
Gender	0	1.00	0.36	0.48
Age (Year)	19.00	38.00	21.79	3.06
Height (m)	1.57	2.02	1.71	0.08
Weight (kg)	45.00	93.00	62.04	11.27
Sport Branch	1.00	17.00	9.31	5.03
Hamstring Muscle Strength (Nm)	50.10	195.90	111.84	36.10

## 3. METHODOLOGY

Four different categories of prediction models have been developed, whereby each category contains a different set and number of predictor variables. Particularly; the first, second, third and fourth categories of prediction models include the single, double, triple and quadruple combinations of predictor variables gender, age, height, weight and sport branch, respectively, which in total yield thirty different hamstring muscle strength prediction models. The performance of all models has been evaluated by using 10-fold cross validation and computing the values of *RMSE* and *R*, whose equations are given as follows:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y - Y')^2} \tag{1}$$

$$R = \sqrt{1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y - Y')^2}{\sum_{i=1}^n (Y - \bar{Y})^2}} \tag{2}$$

In Eqs. (1) and (2), *Y* is the measured hamstring muscle strength value, *Y'* is the predicted hamstring muscle strength value,  $\bar{Y}$  is the mean of

the measured hamstring muscle strength values and  $n$  is the number of samples in a test subset.

Three machine learning methods including SVM, MLP and SDT have been utilized to build the hamstring muscle strength prediction models. In the field of sport physiology, SVM has been reported to be a promising method that has shown satisfactory performance for a variety of problems [7–9]. The accuracy of an SVM model is largely dependent on the selection of the model parameters such as  $C, \epsilon$  and the type and parameters of kernel function. As the kernel function, the radial basis function kernel has been chosen which requires the optimization of  $\gamma$ . Hence, one needs an effective search algorithm to find the best values of the triple  $(C, \epsilon, \gamma)$ . In this study, grid search and cross validation have been used in order to determine the best values of the mentioned parameters and to overcome the problem of generalization [10].

MLP is a feed forward artificial neural network model that maps sets of input data onto a set of appropriate output. An MLP consists of multiple layers of nodes in a directed graph, with each layer fully connected to the next one. In contrast to single-layer perceptrons which can only represent linear decision surfaces, MLP's can represent non-linear decision surfaces. The performance of the MLP network has been improved by varying the number of hidden layers, convergence tries and maximum iterations. The logistic sigmoid activation function has been used for the hidden layers for prediction of the hamstring muscle strength [11].

Decision trees predict the value of the target variable by using the values of predictor variables and building regression models in form of a tree structure. It divides a dataset into smaller and smaller parts while at the same time an associated decision tree is progressively built. In order to get more accurate value of the predicted variable, three important parameters including minimum rows in a node, minimum size node to split and maximum tree levels of SDT-based prediction models have been optimized [12].

Table 2 shows the list of intervals for values of the utilized parameters for SVM-based, MLP-based and SDT-based prediction models.

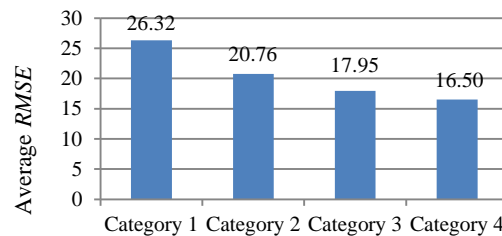
**Table 2.** List of intervals for values of the utilized parameters for SVM-based, MLP-based and SDT-based prediction models

Method	Parameter	Range
SVM	Cost ( $C$ )	$[2^{-3}-2^{12}]$
	Epsilon ( $\epsilon$ )	[0.0001-150]
	Gamma ( $\gamma$ )	$[2^{-9}-2^7]$
MLP	Number of hidden layers	[2-20]
	Number of convergence tries	[1-25]
	Maximum iterations	[5000-10000]
SDT	Minimum rows in a node	[3-22]
	Minimum size node to split	[5-20]
	Maximum tree levels	[10- 20]

#### 4. RESULTS AND DISCUSSION

Table 3 through Table 5 show the validation results (i.e. the values of  $RMSE$  and  $R$ ) for all hamstring muscle strength prediction models.

The results reveal that, in general, among the thirty prediction models developed, prediction models including predictor variables gender and weight lead to relatively lower  $RMSE$ 's and higher  $R$ 's whereas prediction models including age and sport branch lead to relatively higher  $RMSE$ 's and lower  $R$ 's for prediction of hamstring muscle strength. On the other hand, the results suggest that the category of prediction models with four predictor variables on the average shows the best prediction performance, whilst the category of prediction models with one predictor variable exhibits the worst prediction performance. The average  $RMSE$ 's of SVM-based prediction models for each category are illustrated in Figure 1.



**Figure 1.** The average  $RMSE$ 's of SVM-based prediction models for each category

**Table 3.** Validation results for prediction models with two predictor variables

Predictor Variables	SVM		MLP		SDT	
	RMSE	R	RMSE	R	RMSE	R
Gender, Weight	15.31	0.82	16.29	0.79	18.88	0.72
Gender, Height	17.26	0.77	18.49	0.73	23.89	0.56
Gender, Sport Branch	19.05	0.72	20.81	0.66	24.75	0.52
Gender, Age	18.69	0.73	19.79	0.70	24.95	0.52
Sport Branch, Weight	18.70	0.73	19.78	0.70	22.42	0.61
Height, Weight	19.32	0.71	20.94	0.66	25.40	0.50
Weight, Age	20.05	0.69	21.34	0.65	23.70	0.56
Sport Branch, Height	22.93	0.59	24.84	0.52	28.53	0.37
Height, Age	25.68	0.49	27.44	0.41	30.95	0.25
Sport Branch, Age	30.62	0.27	32.64	0.17	37.14	0

**Table 4.** Validation results for prediction models with three predictor variables

Predictor Variables	SVM		MLP		SDT	
	RMSE	R	RMSE	R	RMSE	R
Gender, Weight, Age	15.48	0.81	16.81	0.78	20.15	0.68
Gender, Height, Weight	15.36	0.82	16.53	0.79	18.93	0.72
Gender, Sport Branch, Weight	15.68	0.81	17.39	0.76	22.41	0.61
Gender, Sport Branch, Height	17.33	0.77	19.03	0.72	25.70	0.49
Gender, Height, Age	16.78	0.78	17.97	0.75	20.03	0.69
Gender, Sport Branch, Age	18.99	0.72	20.47	0.67	23.93	0.55
Sport Branch, Height, Weight	17.89	0.75	19.50	0.70	24.07	0.55
Sport Branch, Weight, Age	19.39	0.71	21.52	0.64	25.44	0.50
Height, Weight, Age	19.78	0.70	20.90	0.66	25.57	0.49
Sport Branch, Height, Age	22.88	0.59	24.26	0.54	27.22	0.42

**Table 5.** Validation results for prediction models with four predictor variables

Predictor Variables	SVM		MLP		SDT	
	RMSE	R	RMSE	R	RMSE	R
Gender, Height, Weight, Age	15.19	0.82	16.29	0.79	18.93	0.72
Gender, Sport Branch, Height, Weight	15.84	0.80	17.09	0.77	19.59	0.70
Gender, Sport Branch, Weight, Age	15.89	0.80	17.66	0.76	20.62	0.67
Gender, Sport Branch, Height, Age	17.62	0.76	18.52	0.73	23.93	0.55
Sport Branch, Height, Weight, Age	17.97	0.75	19.83	0.69	24.96	0.52

In more detail, independent of which regression method is utilized for model development, the results reveal that:

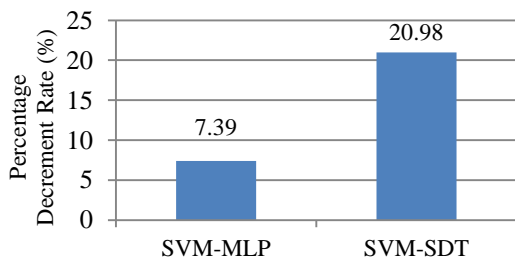
- Firstly, within the category including a single predictor variable, prediction model with variable gender yields the lowest *RMSE* and the highest *R*, whilst the one with variable age shows the worst performance in terms of *RMSE* and *R*.
- Secondly, the prediction model with variables gender and weight, and the prediction model with variables age and sport branch occupy the first and last place, respectively, in terms of the performance regarding the *RMSE* and *R* for the category with two predictor variables.
- Thirdly, within the category with three predictor variables, prediction model with variables gender, weight and height

outperforms the others whereas the prediction model including sport branch, height and age yields the worst performance.

- Finally, among the category with four predictor variables, the prediction model with variables gender, weight, height and age yields the lowest *RMSE* and highest *R* whilst that one with variables sport branch, height, weight and age yields the highest *RMSE* and the lowest *R*.

Regarding the performance of prediction methods, it is seen that SVM-based prediction models give the lowest *RMSE*'s and the highest *R*'s for prediction of hamstring muscle strength for all thirty prediction models developed. SDT-based prediction models, in contrast, yield the highest *RMSE*'s and the lowest *R*'s, independent of which category of prediction models has been evaluated.

Compared with the *RMSE*'s obtained by MLP-based and SDT-based prediction models, the percentage decrement rates in *RMSE*'s obtained by SVM-based prediction models are in average 7.39% and 20.98%, respectively, as illustrated in Figure 2. The ranking of regression methods in terms of leading from lowest *RMSE*'s to highest ones can be listed as SVM, MLP and SDT; independent of which category of prediction models is considered. The execution times of SVM-based prediction models vary between 1 and 5 seconds. The MLP-based prediction models have execution times ranging from 1 to 2 seconds. Finally, the SDT-based prediction models have execution times less than one second.



**Figure 2.** Percentage decrease rates in *RMSE*'s of hamstring muscle strength prediction with SVM compared to *RMSE*'s obtained by MLP and SDT

## 5. CONCLUSION AND FUTURE WORK

In this study, thirty new prediction models have been developed by using the single, double, triple and quadruple combinations of predictor variables gender, age, height, weight and sport branch for prediction of hamstring muscle strength of the upper leg. Using 10-fold cross validation, the performance of the prediction models are assessed by calculating performance metrics such as *RMSE* and *R*. The results reveal that among the prediction models, the SVM-based prediction model containing the variables gender, age, height and weight gives the lowest *RMSE* and the highest *R*, and can be used as an alternative way to direct measurement. Also, it is observed that all SVM-based prediction models yield lower *RMSE*'s and higher *R*'s than MLP-based and SDT-based models for prediction of hamstring muscle strength. MLP-based and SDT-based prediction models, in turn, occupy the second and the third place in terms of performance regarding the *RMSE* and *R*, respectively. Hence, SVM-based prediction models can be considered as a feasible alternative way to the direct hamstring muscle strength measurement.

For future work, other candidate potential predictors of hamstring muscle strength such as the length and width of the bone and leg fat-free mass can be included in prediction models to test whether a further improvement in prediction accuracies can be achieved. Also, new unapplied machine learning algorithms combined with various feature selection algorithms can be utilized to determine the relevant and irrelevant predictors of hamstring muscle strength.

## 6. REFERENCES

1. Dervišević, E., Hadžić, V., 2012. Quadriceps and Hamstrings Strength in Team Sports: Basketball, Football and Volleyball, *Isokinetics and Exercise Science*, vol. 20, no. 4, pp. 293–300.
2. Ford-Smith, C.D., Wyman, J.F., Elswick, R.K., Fernandez, T., 2001. Reliability of Stationary

- Dynamometer Muscle Strength Testing in Community-dwelling Older Adults, *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, vol. 82, no. 8, pp. 1128–1132.
3. Clarke, H.H., 2013. Comparison of Instruments for Recording Muscle Strength, *Research Quarterly, American Association for Health, Physical Education and Recreation*, vol. 25, no. 4, pp. 398–411.
  4. Montgomery, L.C., Douglass, L.W., Deuster, P.A., 1989. Reliability of an Isokinetic Test of Muscle Strength and Endurance, *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, vol. 10, no. 8, pp. 315–322.
  5. Kılınç, B.E., Kara, A., Camur, S., Oc, Y., Celik, H., 2015. Isokinetic Dynamometer Evaluation of the Effects of Early Thigh Diameter Difference on Thigh Muscle Strength in Patients Undergoing Anterior Cruciate Ligament Reconstruction with Hamstring Tendon Graft, *Journal of Exercise Rehabilitation*, vol. 11, no. 2, pp. 95–100.
  6. Akay, M.F., Abut, F., Çetin, E., Yarım, İ., Sow, B., 2015. Data-Driven Modeling of Quadriceps and Hamstring Muscle Strength Using Support Vector Machines, in *Third International Symposium on Engineering, Artificial Intelligence & Applications*, pp. 2–4.
  7. Abut, F., Akay, M.F., 2015. Machine Learning and Statistical Methods for the Prediction of Maximal Oxygen Uptake: Recent Advances, *Medical devices*, vol. 8, pp. 369–379.
  8. Akay, M.F., Abut, F., Özçiloğlu, M., Heil, D., 2016. Identifying the Discriminative Predictors of Upper Body Power of Cross-country Skiers using Support Vector Machines Combined with Feature Selection, *Neural Computing and Applications*, vol. 27, no. 6, pp. 1785–1796.
  9. Acikkar, M., Akay, M.F., Ozgunen, K.T., Aydin, K., Kurdak, S.S., 2009. Support Vector Machines for Aerobic Fitness Prediction of Athletes, *Expert Systems with Applications*, vol. 36, no. 2, pp. 3596–3602.
  10. Hsu, C.W., Chang, C.C., Lin, C.J., 2003. *A Practical Guide to Support Vector Classification*, Dept. of Computer Science, National Taiwan University, Taipei, 2003.
  11. Hiregoudar, S.B., Manjunath, K., Patil, K.S., 2014. A Survey: Research Summary on Neural Networks, *International Journal of Research in Engineering and Technology*, vol. 3, no. 15, pp. 385–389.
  12. Banfield, R.E., Hall, L.O., Bowyer, K.W., Kegelmeyer, W.P., 2007. A Comparison of Decision Tree Ensemble Creation Techniques, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 29, no. 1, pp. 173–180.



## Tamamlayıcı Fonksiyonlar Yöntemi ile Heterojen Bir Çubuğun Zorlanmış Titreşim Analizi

Kerimcan ÇELEBİ<sup>\*1</sup>, Durmuş YARIMPABUÇ<sup>2</sup>, Mehmet EKER<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Adana Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Adana

<sup>2</sup>Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Matematik Bölümü, Osmaniye

<sup>3</sup>Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Osmaniye

Geliş tarihi: 01.09.2016

Kabul tarihi: 02.10.2016

### Öz

Sürekli sistem olarak modellenen eksenel yüklenmiş heterojen bir çubuğun elastik davranış problemi analiz edilmiştir. Bu problemi modelleyen diferansiyel denklemlere Laplace dönüşümü uygulanarak zamandan bağımsız sınır değer problemi eksenel koordinatlarda elde edilmiş daha sonra bu problem tamamlayıcı fonksiyonlar metodu (TFM) tarafından çözülmüştür. Sayısal olarak çözülen denklemler Durbin'in sayısal ters dönüşümünü yardımıyla zaman uzayına dönüştürülmüştür. Her bir yükleme tipi ve inhomojenlik parametresi için elde edilen sayısal sonuçlar, analitik sonuçlar ve ANSYS sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Bu birleşik yöntem, iyi yapılandırılmış, basit ve etkili bir yöntemdir.

**Anahtar Kelimeler:** Heterojen çubuk, Zorlanmış titreşim, Laplace, Tamamlayıcı fonksiyonlar yöntemi

### Forced Vibration Analysis of A Heterogeneous Rod by Complementary Functions Method

### Abstract

The axial vibration problem formulation and solution of a heterogeneous rod modelled as a continuous system were analyzed. By applying Laplace transformation to the differential equations that model to this problem, time independent boundary value problems were obtained in the axial coordinates, then this problem is solved by the complementary functions method. The equations solved numerically is converted into time space with the help of Durbin's numerical inverse transformation. The numerical results that obtained for each load type and inhomogeneity parameter were compared with analytical and ANSYS results in the literature. This unified method is well-structured, simple and efficient.

**Keywords:** Heterogeneous rod, Forced vibration, Laplace, Complementary functions method

\* Sorumlu yazar (Corresponding author): Kerimcan ÇELEBİ, [kcancelebi@adanabtu.edu.tr](mailto:kcancelebi@adanabtu.edu.tr)

## 1. GİRİŞ

Malzeme mühendisliği alanındaki gelişmeler, bazı tür ihtiyaçların karşılanabilmesi için malzemelerde homojen olmayan kademeli veya devamlı değişen yapı elemanlarının imalatını mümkün kılmıştır. Tasarımcı tarafından heterojen yapıya sahip elemanların kullanılması ağırlığın azaltılmasında yardımcı olduğu gibi yapıların dayanımını, tokluğunu ve kararlılığını da arttırmaktadır. Heterojen yapıya sahip çubukların dinamik yük altındaki davranışlarının analizi, kompozit malzeme araştırmalarında önemli bir yer tutmaktadır. Dinamik eksenel yük altındaki heterojen yapıya sahip çubukların analizi tek boyutlu titreşim problemleri başlığı altında incelenebilir [1-3]. Bu konularda yapılan çok sayıda çalışma, serbest titreşim analizi ve zorlanmış titreşimin analizlerinde, ağırlıklı olarak, sonlu elemanlar yöntemi ve benzeri nümerik yöntemleri ihtiva etmektedir [4-11].

Bu çalışmada, heterojen yapıya sahip bir çubuğun uç noktasına dinamik yükler uygulanarak analiz yapılmıştır. Problemi ifade eden diferansiyel denklem, değişken katsayılarla sahip olacağından her heterojen yapıyı ifade eden form tipi için mevcut yöntemlerle analitik çözüm pratik olmayacaktır. Bundan dolayı, analizde Laplace transformasyon yöntemi ile birlikte Tamamlayıcı fonksiyonlar metodu (TFM) kullanılmıştır. Laplace transformasyon yöntemi zamandan bağımsız sınır değer problemini eksenel koordinatlarda verirken daha sonra bu problem TFM tarafından çözülmektedir. TFM benzer problemleri başlangıç-değer sistemine çevirerek literatürdeki herhangi bir sayısal yöntem ile çözümlenmesine izin vermektedir. Bu çalışmada beşinci dereceden Runge-Kutta metodu kullanılarak sayısal olarak çözülen denklem sistemi Durbin'in sayısal ters dönüşümünü kullanarak zaman uzayına dönüştürülmüştür. Metodun teorisi literatürde [12-14] mevcuttur. Bu yöntem ayrıca çubuk harici elemanların kullanıldığı diğer bazı yapısal mekanik problemlerinde de başarılı bir şekilde uygulanmıştır [15-17]. Çubuğun serbest ucuna ait deplasman değerleri Çizelgeler halinde verilmiş, elde edilen zorlanmış analiz sonuçları literatürdeki

analitik sonuçlar Çelebi [10] ve sonlu elemanlar yöntemi kullanarak sayısal çözüm yapan ANSYS paket program sonuçları ile karşılaştırılmıştır. TFM sonuçlarının diğer bir sayısal çözüm yapan ANSYS sonuçlarına göre analitik sonuçlara çok daha yaklaştığı gözlemlenmiştir. Tamamlayıcı fonksiyonlar metodunun çubuğun dinamik analizinde sağladığı diğer avantajlar ise (1) zorlanmış titreşim etkisi doğrudan elde edilir, (2) zorlanmış titreşim analizi için serbest titreşim frekanslarına ve mod şekillerine ihtiyaç yoktur, (3) çözüm yöntemi heterojen yapıyı ifade eden belirli bazı fonksiyonlara bağımlı değildir, heterojen yapıyı ifade eden tüm keyfi fonksiyonlar için son derece uygundur.

## 2. TEORİ

Eksenel yük altında koordinatına göre yoğunluğu  $\rho(x)$  ve elastisite modülü  $E(x)$  değişen sabit kesit alanına sahip bir çubuğun davranışı aşağıdaki diferansiyel denklem ile verilir [10].

$$\frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial x^2} + \frac{1}{E(x)} \frac{\partial E(x)}{\partial x} \frac{\partial u(x,t)}{\partial x} = \frac{\rho(x)}{E(x)} \frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial t^2} \quad (1)$$

Denklem (1)'i boyutsuz olarak ifade etmek istersek

$$\frac{\partial^2 v(\eta,\tau)}{\partial \eta^2} + \frac{1}{E(\eta)} \frac{\partial E(\eta)}{\partial \eta} \frac{\partial v(\eta,\tau)}{\partial \eta} = c^2 \frac{\rho(\eta)}{E(\rho)} \frac{\partial^2 v(\eta,\tau)}{\partial \tau^2} \quad (2)$$

şeklinde olur. Burada  $c^2 = E / \rho$  olup, "c" deplasman yayılma hızıdır. Bu işlem için aşağıdaki boyutsuz değişkenler kullanılmıştır.

$$v(\eta,\tau) = \frac{u(x,t)}{L}, \quad \eta = \frac{x}{L}, \quad \tau = \frac{ct}{L} \quad (3)$$

Çubuğun uçları sabit-serbest şeklindedir.  $\eta=0$  ucunda ankastre olan çubuk başlangıçta hareketsizdir.  $P(\tau)$  kuvveti  $\eta=1,0$ 'deki serbest uca eksenel yönde uygulanmaktadır.

Sınır şartları,

$$v(\eta,0)=0, \quad \frac{\partial v(\eta,0)}{\partial \tau} =0 \quad (4)$$



$$v(0,\tau)=0, \frac{\partial v(1,\tau)}{\partial \eta} = \frac{P(\tau)}{A(1)E(1)} \quad (5) \quad y=b_i y_i, i=1,2 \quad (8)$$

şeklinde elde edilir. Denklem (2), yoğunluk  $\rho(\eta)$  ve elastisite modülü  $E(\eta)$ 'nin formuna bağlı olarak, değişken katsayılı bir denklem olduğundan genel çözümü yoktur. Analitik olarak özel bazı  $\rho(\eta)$ - $E(\eta)$  formları için çözülebilirken sayısal olarak ise tamamlayıcı fonksiyonlar metodu kullanılarak yoğunluk ve elastisite modülünü ifade eden tüm keyfi fonksiyonlar için çözüm elde edilebilir. Çalışmamızda analitik çözüm ile sayısal çözümleri karşılaştıramamıza adına bu formlar  $\sin^2[a\eta+b]$ ,  $(1+a\eta)^2$  ve  $e^{-a\eta}$  olarak tespit edilmiştir. Çubuğun serbest ucuna uygulanacak kuvvetler ise  $P_1(\tau)=P_0(1-\cos[\gamma\tau])$ ,  $P_2(\tau)=P_0$  ve  $P_3(\tau)=P_0(1-e^{-\gamma\tau})$  olarak düşünülmüştür.

**2.1.  $E(\eta) = E_0(1+a\eta)^2$  ve  $\rho(\eta) = \rho_0(1+a\eta)^2$  İfadeleri İçin Çözüm**

Yoğunluk ve elastisite ifadelerinin boyutsuz büyüklük olan  $\eta$  ile  $E(\eta) = E_0(1+a\eta)^2$  ve  $\rho(\eta) = \rho_0(1+a\eta)^2$  şeklinde değiştiğini, kesit alanının  $A(\eta) = A_0$  ise üniform olduğunu kabul edersek diferansiyel denklem ve sınır şartları Laplace uzayında

$$y''(\eta,s) + \frac{2a}{(1+a\eta)} y'(\eta,s) - s^2 y(\eta,s) = 0 \quad (6)$$

$$y(0,s) = 0, \frac{\partial y(1,s)}{\partial \eta} = \frac{L\{P(\tau)\}}{E_0(1+a)^2 A_0} \quad (7)$$

formunu alır. Burada  $y(\eta, p) = L\{v(\eta, \tau)\}$  ve  $s$  ise kompleks Laplace parametresini ifade eder. Bu safhada, denklem (6)'nın kapalı form çözümü bu ifadeler için değişken dönüşümü yapılarak mümkündür fakat pratik değildir. Dolayısıyla Laplace uzayındaki sonuçların eldesi için TFM kullanılabilir. TFM, ikinci mertebeden sınır-değer problemlerini başlangıç değer-problemine dönüştürme esasına dayanmaktadır. TFM ile denklem (6)'nın genel çözümü

şeklindedir, burada  $y_i$  lineer bağımsız homojen çözüm iken  $b_i$  sınır şartlarından elde edilecek sabitlerdir.

TFM ile çözüme  $y_i = Z_1^{(i)}$  ve  $y_i = Z_2^{(i)}$  kabulleri yapılarak başlanır ve

$$(Z_1^{(i)})^1 = Z_2^{(i)} \quad (9)$$

$$(Z_2^{(i)})^1 = \left(-\frac{2a}{(1+a\eta)}\right) Z_2^{(i)} + s^2 Z_1^{(i)} \quad (10)$$

eşitlikleri elde edilir. Yukardaki homojen denklem sisteminin çözümü keyfi başlangıç koşulları için sayısal olarak yapılır. Bu keyfi başlangıç koşulları  $C_{ij}$ ,

$$Z_j^{(i)} = C_{ij}, i=1,2 \quad (11)$$

çözümün lineer bağımsızlığını sağlamak için lineer bağımsız olarak seçilmelidir. Bu başlangıç değer problemi beşinci dereceden Runge-Kutta metodu (RK5) ile çözülmüştür. Çözümde  $0 \leq \eta \leq 1$  aralığı boyunca 21 düğüm noktası (20 aralık) alınmıştır.

Bu çözüm sonucunda elde edilen  $y_i$  ve türevi  $y_i'$ 'nin değerleri denklem (7)'de yerine yazılarak bilinmeyen  $b_i$  katsayılarını içeren iki denklem elde edilir. Bu denklemler matrix formunda

$$\begin{bmatrix} C_{11} & C_{21} \\ y_1^1(1,s) & y_2^1(1,s) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{L\{P(\tau)\}}{E_0(1+a)^2 A_0} \end{bmatrix} \quad (12)$$

şeklinde yazılır. Burada,  $C_{11}$  ve  $C_{21}$  değerleri sırasıyla  $y_1(0,s)$  ve  $y_2(0,s)$ 'e karşılık gelir. Bu sistem çözülerek  $b_i$  katsayıları bulunur.

Bu katsayılar bulunduktan sonra boyutsuz deplasman  $v(\eta, \tau)$  değerlerinin zaman uzayına dönüşümü ters Laplace dönüşümü ile yapılır. Bu amaçla Fast Fourier dönüşümüne (FFT) dayalı modifiye Durbin ters Laplace sayısal dönüşümü kullanılmıştır [18].

### 3. SAYISAL SONUÇLAR

Bu çalışmada sürekli sistem olarak modellenen aksel yüklenmiş heterojen yapıya sahip bir çubuğun elastik davranış problemi analiz edilmiştir. Bu problemi modelleyen diferansiyel denklemlere Laplace dönüşümü uygulanarak zamandan bağımsız sınır değer problemi aksel koordinatlarda elde edilmiş daha sonra bu problem TFM tarafından çözülmüştür. Sayısal olarak çözülen denklemler Durbin'in sayısal ters dönüşümü yardımıyla zaman uzayına dönüştürülmüştür. Çubuğun serbest ucuna etki eden üç tip aksel dinamik yükleme analizlerde kullanılmıştır:  $P_1(\tau)=P_0(1-\cos[\gamma\tau])$ ,  $P_2(\tau) = P_0$  ve  $P_3(\tau)=P_0(1-e^{-\gamma\tau})$ . Hesaplamalarda  $\gamma$  değeri 0,6 olarak kabul edilmiştir. Yoğunluk ve elastisite ifadelerinde yer alan  $a$  inhomojenlik parametresidir ve hesaplamalarda sırasıyla 0, 1, 2 değerlerini almakta iken  $b$  ise 1 değerini

almaktadır. TFM kullanılarak bulunan, çubuğun serbest ucuna ait deplasman sonuçları, literatürdeki analitik sonuçlar [10] ve sonlu elemanlar yöntemini kullanarak sayısal çözüm yapan ANSYS paket programı sonuçları ile karşılaştırılmıştır. ANSYS paket programı ile çözümde yükleme şekline dolayı Newmark metodu tercih edilmiştir. Eleman tipi olarak BEAM188 kullanılmış, aksel yönde değişen kesit ifadesi ANSYS parametrik tasarım dili (APDL) kullanılarak verilmiştir. Sonuçlar belirlenen inhomojenlik parametreleri ve yükleme tipleri için Çizelge 1-9'da sunulmuştur. Çözümlerde, ANSYS'te çubuk aksel yönde eşit uzunlukta 1000 parçaya bölünerek çözüm yapılırken TFM'de çubuk 20 parçaya bölünerek çözüm elde edilmiştir. TFM sonuçları ile analitik sonuçların, ANSYS sonuçlarına göre birbirine daha yakın çıktığı gözlemlenmiştir.

**Çizelge 1.** Yoğunluğu ve elastisite modülü üstel formda değişen çubuk için  $P_1(\tau)$  yükü altında TFM ile bulunan serbest uçtaki deplasman değerlerinin analitik ve ANSYS sonuçları ile karşılaştırılması

$v(1, \tau)$									
	a=0			a=1			a=2		
$\tau$	TFM	Ref. [10]	ANSYS	TFM	Ref. [10]	ANSYS	TFM	Ref. [10]	ANSYS
5	2,13294	2,133376	2,12915	3,43205	3,432317	3,42647	6,57568	6,577714	6,57017
10	-0,23283	-0,23388	-0,23456	0,067883	0,06748	0,065364	-0,12812	-0,13023	-0,13670
20	0,179831	0,179786	0,176996	0,276992	0,276589	0,275055	0,425383	0,424095	0,422169
30	0,1105	0,109508	0,108413	0,613708	0,613464	0,610443	1,04217	1,04133	1,02593
40	0,659759	0,659849	0,654500	1,03681	1,036546	1,03251	1,67432	1,672538	1,66657
50	0,688788	0,688	0,686527	1,51709	1,516876	1,51444	2,84346	2,843814	2,82331

**Çizelge 2.** Yoğunluğu ve elastisite modülü üstel formda değişen çubuk için  $P_2(\tau)$  yükü altında TFM ile bulunan serbest uçtaki deplasman değerlerinin analitik ve ANSYS sonuçları ile karşılaştırılması

$v(1, \tau)$									
	a=0			a=1			a=2		
$\tau$	TFM	Ref. [10]	ANSYS	TFM	Ref. [10]	ANSYS	TFM	Ref. [10]	ANSYS
5	1,00014	1,000407	0,982324	2,82698	2,829704	2,85501	2,20688	2,193008	2,30300
10	1,95421	1,978580	1,90338	0,706242	0,750206	0,682098	4,27086	4,344166	4,46342
20	0,0508049	0,0264	0,115879	0,726567	0,691595	0,608808	2,37251	2,357593	2,07136
30	1,95421	1,97858	1,87385	0,485277	0,496762	0,481202	2,14177	2,093442	2,31998
40	0,050796	0,026401	0,150149	0,824117	0,810774	0,733318	4,24035	4,276586	4,52993
50	1,95623	1,978836	1,82829	1,1062	1,102023	1,14669	0,75352	0,660371	1,42154

**Çizelge 3.** Yoğunluğu ve elastisite modülü üstel formda değişen çubuk için  $P_3(\tau)$  yükü altında TFM ile bulunan serbest uçtaki deplasman değerlerinin analitik ve ANSYS sonuçları ile karşılaştırılması

$\tau$	$v(1, \tau)$								
	a=0			a=1			a=2		
	TFM	Ref, [10]	ANSYS	TFM	Ref, [10]	ANSYS	TFM	Ref, [10]	ANSYS
5	0,697456	0,696882	0,694604	1,79934	1,800494	1,79658	3,45606	3,458083	3,45855
10	1,10394	1,104459	1,09737	1,57887	1,57961	1,57023	3,5996	3,606126	3,59279
20	0,89885	0,898296	0,903889	1,47445	1,471508	1,47719	2,72247	2,717392	2,72499
30	1,10616	1,106679	1,09402	1,43238	1,431784	1,44200	3,62238	3,62549	3,65290
40	0,898855	0,898302	0,909387	1,42607	1,424038	1,43205	3,03772	3,036661	3,05766
50	1,10617	1,106679	1,10700	1,38319	1,3824	1,37667	3,10921	3,108574	3,16154

**Çizelge 4.** Yoğunluğu ve elastisite modülü sinüzoidal formda değişen çubuk için  $P_1(\tau)$  yükü altında TFM ile bulunan serbest uçtaki deplasman değerlerinin analitik ve ANSYS sonuçları ile karşılaştırılması

$\tau$	$v(1, \tau)$								
	a=0			a=1			a=2		
	TFM	Ref, [10]	ANSYS	TFM	Ref, [10]	ANSYS	TFM	Ref, [10]	ANSYS
5	3,01293	3,00649	3,00696	2,39753	2,39325	2,39293	7,69337	7,67786	7,72680
10	-0,33030	-0,33194	-0,33121	-0,25380	-0,25524	-0,25434	0,01716	0,01721	0,01210
20	0,25390	0,25144	0,24996	0,11608	0,11409	0,11281	0,56929	0,56217	0,56643
30	0,15465	0,15091	0,15310	0,26976	0,26717	0,26870	1,24836	1,23844	1,24860
40	0,93189	0,92725	0,92433	0,48438	0,48027	0,47920	2,15271	2,15268	2,15737
50	0,97164	0,96584	0,96957	1,05025	1,04627	1,04647	3,3042	3,30424	3,30736

**Çizelge 5.** Yoğunluğu ve elastisite modülü sinüzoidal formda değişen çubuk için  $P_2(\tau)$  yükü altında TFM ile bulunan serbest uçtaki deplasman değerlerinin analitik ve ANSYS sonuçları ile karşılaştırılması

$\tau$	$v(1, \tau)$								
	a=0			a=1			a=2		
	TFM	Ref, [10]	ANSYS	TFM	Ref, [10]	ANSYS	TFM	Ref, [10]	ANSYS
5	1,41374	0,01998	1,38732	0,87905	0,87485	0,86046	4,2167	4,21988	4,51497
10	2,78979	2,79598	2,68811	2,04846	2,05379	1,94477	4,92822	4,88116	4,92970
20	0,04213	0,03728	0,16365	0,48546	0,47609	0,62242	3,98989	4,01468	4,05914
30	2,79512	2,79598	2,64641	1,2719	1,27452	1,11143	4,28231	4,26753	4,04947
40	0,03814	0,03728	0,21205	1,37882	1,36930	1,55770	4,45084	4,05653	3,97037
50	2,8469	2,79598	2,58207	0,50381	0,51185	0,31635	3,05324	2,73448	2,73945

**Çizelge 6.** Yoğunluğu ve elastisite modülü sinüzoidal formda değişen çubuk için  $P_3(\tau)$  yükü altında TFM ile bulunan serbest uçtaki deplasman değerlerinin analitik ve ANSYS sonuçları ile karşılaştırılması

$\tau$	$v(1, \tau)$								
	a=0			a=1			a=2		
	TFM	Ref, [10]	ANSYS	TFM	Ref, [10]	ANSYS	TFM	Ref, [10]	ANSYS
5	0,98418	0,98111	0,980977	0,74643	0,74293	0,743068	3,86414	3,86569	3,88552
10	1,55978	1,55729	1,54980	1,0515	1,04811	1,04349	3,8405	3,84217	3,84505
20	1,26861	1,26415	1,27655	1,30635	1,30461	1,31007	4,01908	4,01898	4,01433
30	1,56299	1,56038	1,54507	0,79908	0,79544	0,791522	3,58918	3,59032	3,63378
40	1,26892	1,26420	1,28431	1,42204	1,42025	1,42323	4,01313	4,01696	4,02497
50	1,56353	1,56033	1,53819	0,85374	0,85033	0,850061	3,68764	3,65701	3,68520

**Çizelge 7.** Yoğunluğu ve elastisite modülü polinom formda değişen çubuk için  $P_1(\tau)$  yükü altında TFM ile bulunan serbest uçtaki deplasman değerlerinin analitik ve ANSYS sonuçları ile karşılaştırılması

$v(1, \tau)$									
	a=0			a=1			a=2		
$\tau$	TFM	Ref, [10]	ANSYS	TFM	Ref, [10]	ANSYS	TFM	Ref, [10]	ANSYS
5	2,13338	2,133376	2,12915	1,30411	1,304106	1,30111	0,881667	0,881667	0,879087
10	-0,23388	-0,23388	-0,23452	-0,0371	-0,0371	-0,0373	-0,36271	-0,36271	-0,36140
20	0,179785	0,179786	0,176996	-0,09914	-0,09914	-0,1002	0,059314	0,059314	0,057668
30	0,109509	0,109508	0,108413	-0,08487	-0,08487	-0,08609	-0,15767	-0,15767	-0,15662
40	0,659848	0,659849	0,654500	0,07812	0,07812	0,077231	0,216753	0,216752	0,213320
50	0,688	0,688	0,686527	0,374068	0,374067	0,372233	0,190823	0,190822	0,191549

**Çizelge 8.** Yoğunluğu ve elastisite modülü polinom formda değişen çubuk için  $P_2(\tau)$  yükü altında TFM ile bulunan serbest uçtaki deplasman değerlerinin analitik ve ANSYS sonuçları ile karşılaştırılması

$v(1, \tau)$									
	a=0			a=1			a=2		
$\tau$	TFM	Ref, [10]	ANSYS	TFM	Ref, [10]	ANSYS	TFM	Ref, [10]	ANSYS
5	0,999845	1,000407	0,982324	0,107887	0,107655	0,112122	0,301791	0,301887	0,306523
10	1,97439	1,97858	1,90338	0,252835	0,253724	0,236228	0,64419	0,644694	0,632406
20	0,030772	0,0264007	0,115879	0,616221	0,615039	0,647566	0,068131	0,067815	0,071693
30	1,97673	1,97858	1,87385	0,892067	0,893377	0,896216	0,557082	0,557428	0,565088
40	0,032116	0,026401	0,150149	0,910138	0,908685	0,882136	0,159587	0,159312	0,150591
50	1,99163	1,978836	1,82829	0,578499	0,578521	0,585328	0,437142	0,43645	0,434744

**Çizelge 9.** Yoğunluğu ve elastisite modülü polinom formda değişen çubuk için  $P_3(\tau)$  yükü altında TFM ile bulunan serbest uçtaki deplasman değerlerinin analitik ve ANSYS sonuçları ile karşılaştırılması

$v(1, \tau)$									
	a=0			a=1			a=2		
$\tau$	TFM	Ref, [10]	ANSYS	TFM	Ref, [10]	ANSYS	TFM	Ref, [10]	ANSYS
5	0,696886	0,696882	0,694604	0,479316	0,479316	0,477698	0,450853	0,450851	0,448833
10	1,10445	1,104459	1,09737	0,584101	0,584096	0,582325	0,450136	0,450135	0,448745
20	0,898295	0,898296	0,903889	0,705466	0,705475	0,702761	0,192374	0,192377	0,190641
30	1,1067	1,106679	1,09402	0,659433	0,659431	0,659555	0,493461	0,493458	0,492180
40	0,898239	0,898302	0,909387	0,494009	0,494003	0,490425	0,169128	0,169133	0,169414
50	1,10715	1,106679	1,08915	0,337535	0,337593	0,335158	0,493381	0,493355	0,489925

#### 4. SONUÇLAR

Heterojen yapıya sahip bir çubuğun zorlanmış titreşim analizi Laplace dönüşüm yöntemi ile birlikte Tamamlayıcı fonksiyonlar metodu (TFM) kullanılarak yapılmıştır. Laplace dönüşüm yöntemi zamandan bağımsız sınır değer problemini eksenel koordinatlarda verirken daha sonra bu problem TFM tarafından çözülmüştür. TFM benzer problemleri başlangıç-değer sistemine çevirerek literatürdeki herhangi bir sayısal yöntem ile çözümlenmesine izin vermektedir. Bu çalışmada

beşinci dereceden Runge-Kutta metodu kullanılarak sayısal olarak çözülen denklem sistemi Durbin'in sayısal ters dönüşümünü kullanarak zaman uzayına dönüştürülmüştür. TFM kullanılarak bulunan sayısal sonuçlar, literatürdeki analitik sonuçlar ve ANSYS sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Burada açıkça görülen odur ki, bazı durumlarda TFM ile çözümde, çubuğun 20 parçaya bölünerek çözüm elde edilmesi sonuçlarda virgülden sonra beş haneli hassasiyet sağlarken, aynı sonuç için ANSYS'te ihtiyaç duyulan bölme sayısı binli rakamlara çıkmaktadır. Bu yöntemle çözüm zamanı büyük oranda azalmaktadır.

Tamamlayıcı fonksiyonlar metodunun çubuğun dinamik analizinde sağladığı avantajlar sırasıyla:

- (1) Zorlanmış titreşim etkisi doğrudan elde edilir.
- (2) Zorlanmış titreşim analizi için serbest titreşim frekanslarına ve mod şekillerine ihtiyaç yoktur.
- (3) Çözüm yöntemi yoğunluk ve elastisite modülünü ifade eden belirli bazı özel fonksiyonlara bağımlı değildir, yoğunluk ve elastisite modülünü ifade eden tüm keyfi fonksiyonlar için son derece uygundur.
- (4) Sonlu elemanlar yöntemi gibi diğer sayısal yöntemlerle karşılaştırıldığında, daha az sürede ve daha az maliyetle daha hassas sonuçlar bulunabilmektedir.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, analitik olarak eldesi mümkün olmayan, elastisite modülü, yoğunluk ve kesit alanının birlikte bir eksen boyunca değişken olduğu çubukların gelecekteki titreşim analizi araştırmalarında bir referans olacaktır.

## 5. KAYNAKLAR

1. Raj, A., Sujith, R.I., 2005. Closed-form Solutions for the Free Longitudinal Vibration of Inhomogeneous Rods, *J. Sound. Vib.* 283, 1015-1030.
2. Nachum, S., Altus, E., 2007. Natural Frequencies and Mode Shapes of Deterministic and Tochastic Non-homogeneous Rods and Beams, *J. Sound. Vib.*, 302, 903-924.
3. Horgan, C.O., Chan, A.M., 1999. Vibration of Inhomogeneous Strings, Rods and Membranes, *J. Sound. Vib.* 225, 503-513.
4. Abrate, S., 1995. Vibration of Non-uniform Rods and Beams, *Journal of Sound and Vibration.* 185, 703-716.
5. Kumar, B.M., Sujith, R.I., 1997. Exact Solutions for the Longitudinal Vibration of Non-uniform Rods, *Journal of Sound and Vibration*, 207,5, 721-729.
6. Li, Q.S., 2000. Exact Solutions for Free Longitudinal Vibration of Non-uniform Rods, *Journal of Sound and Vibration*, 234, 1, 1-19.
7. Li, Q.S., 2000. Exact Solutions for free Longitudinal Vibration of Bars with Non-uniform Cross-section, *Journal of Applied Mechanics and Engineering*, 5, 3, 521-541.
8. Li, Q.S., 2000. Exact Solutions for Longitudinal Vibration of Multi-step Bars with Varying Cross-section, *Journal of Vibration and Acoustics*, 122, 183-187.
9. Celebi, K., Keles, I., Tutuncu, N., 2011. Exact Solutions for Forced Vibration of Non-uniform Rods by Laplace Transformation, *Gazi University Journal of Science*, 24,2, 347-353.
10. Celebi, K., Keles, I., Tutuncu, N., 2012. Closed-form Solutions for Forced Vibration Analysis of Inhomogeneous Rod, *J. Fac. Eng. Archit. Gaz.*, 27, 4, 753-763.
11. Shokrollahi, M., Nejad, A.Z.B., 2014. Numerical Analysis of Free Longitudinal Vibration of Nonuniform Rods: Discrete Singular Convolution Approach, *Journal of Engineering Mechanics*, 140, 8.
12. Aktas, Z., 1972. Numerical Solutions of Two-point Boundary Value Problems, METU, Department of Computer Eng., Ankara, Turkey.
13. Roberts, S.M., Shipman, J.S., 1979. Fundamental Matrix and Two-point Boundary-Value Problems, *Journal of Optimization Theory and Application*, 28, 1, 77-78.
14. Agarwal, R.P., 1982. On the Method of Complementary Functions for Nonlinear Boundary-value Problems, *Journal of Optimization Theory and Applications*, 36, 1, 139-144.
15. Yıldırım, V., 1997. Free Vibration Analysis of Non-cylindrical Coil Springs by Combined use of the Transfer Matrix and the Complementary Functions Methods, *Communications in Numerical Methods in Engineering*, 13, 487-494.
16. Calim, F.F., 2009. Free and Forced Vibration of Non-uniform Composite Beams, *Composite Structures*, 88, 413-423.
17. Tütüncü, N., Temel B., 2009. A Novel Approach to Stress Analysis of Pressurized FGM Cylinders, Disks and Spheres, *Composite Structure*, 91, 385-390.
18. Durbin, F., 1974. Numerical Inversion of Laplace Transforms: an Efficient Improvement to Dubner and Abate's Method, *The Computer Journal*, 17, 371-376.



## The Usability of 3D Flattening in Design and Pattern Preparation of Tight-Fit Garments

Derya TAMA\*<sup>1</sup>, Arzu ŞEN KILIÇ<sup>2</sup>, Ziynet ÖNDOĞAN<sup>1</sup>, Selçuk NİZAMOĞLU<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ege University, Department of Textile Engineering, İzmir

<sup>2</sup>Ege University, Bayındır Vocational Training School, İzmir

<sup>3</sup>Konsan KMS, İzmir

Geliş tarihi: 30.07.2016

Kabul tarihi: 27.09.2016

### Abstract

Nowadays aesthetics, comfort and functionality are the most important characteristics of sports garments. To achieve comfort, sports garments are manufactured as combined fractions made of different fabrics providing different characteristics and designs. Preparing patterns which provide the best fit for the tight-fit garments is much harder than the loose fit ones. To find the best fit, many prototypes have to be made, but the manufacturers do not have the necessary time. Thus, 3D Flattening systems provide a way out for the industry, but especially for the sportswear manufacturers.

In this study, firstly, a virtual male model was formed. Afterwards, a fractioned tight-fit male sweatshirt model was designed on this virtual model via Opititex 3D Flattener. As the model was created, the pattern was obtained simultaneously. When the design was completed, 2D patterns were obtained automatically. After virtual stitches and other details were applied, the sweatshirt was dressed on the created male model in order to determine the fit. Eventually, fit of the created design was evaluated.

**Keywords:** Apparel design, Tight-fit garments, 3D flattening, Computer-aided pattern preparation, Computer-aided design

### Vücutu Saran Giysilerin Tasarımında ve Giysi Kalıbı Hazırlığında 3 Boyutlu Açınım Sistemlerinin Kullanılabilirliği

### Öz

Günümüzde; estetik görünüm, konfor ve fonksiyonellik spor giyiminin önemli özelliklerini oluşturmaktadır. Giyim konforunun sağlanması için spor giysiler, farklı özellik ve tasarımlarda çeşitli kumaşlar kullanılarak üretilmektedir. Vücutta oturan giysilerin giysi kalıbının doğru ölçülerde hazırlanması, bol giysilere göre daha zordur. Giysinin vücutta uyumunun en iyi olduğu giysi kalıbını belirleyebilmek için birçok prototipin hazırlanması gerekebilmekte ve süreler uzamaktadır. Bu nedenle, 3 boyutlu açınım sistemleri, özellikle spor giyim üreticileri için bir çıkış yolu sağlamaktadır.

---

\*Sorumlu yazar (Corresponding author): Derya TAMA, [derya.tama@ege.edu.tr](mailto:derya.tama@ege.edu.tr)

Bu çalışmada öncelikle, bir sanal erkek manken oluşturulmuştur. Ardından, bu sanal model üzerinde Optitex 3 Boyutlu Açım Sistemi kullanılarak bölüntülü bir sweatshirt modeli tasarlanmıştır. Bu sistem ile sanal manken üzerinde model tasarlandığında, aynı anda giysi kalıpları da hazırlanmaktadır. Tasarım tamamlandığında, 2 boyutlu giysi kalıpları açım işlemi ile otomatik olarak elde edilmiştir. Daha sonra elde edilen bu 2 boyutlu kalıplar sanal dikiş ile bir araya getirilerek manken üzerinde sanal giydirmeye işlemi gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında tasarlanan modelin vücuda uyumu değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Giysi Tasarımı, Vücuda oturan giysiler, 3 boyutlu açım, Bilgisayar destekli kalıp tasarımı, Bilgisayar destekli tasarım

## 1. INTRODUCTION

Traditional fashion product development is an iterative process, which starts with designers preparing patterns and prototypes based on experiences of similar styles before, trying on the prototype on a dress form for fit evaluation, from which necessary alterations are made and another prototype is prepared. The cycle repeats with a number of trials until a satisfactory fit is achieved [1]. However, results of market research can lead to discarding the design or changing it (in the latter case, another prototype needs to be produced and evaluated). This is a very expensive iterative process for the industry: for any accepted design, many more are discarded and will not go into production [2].

In recent years, the clothing industry has changed due to the industry's increased awareness of fashion and design. As the industry has changed from mass production to mass customization, it has needed to develop new production techniques that provide to individual preferences, particularly apparel fitting that must be incorporated into pattern-making systems. However, while technology may enable mass customization efforts, the processes involved are far from automatic. A significant amount of "behind the scenes" effort is still required in order to provide fit of each garment that might be requested by individual customers [3].

The clothing industry has been using 2D pattern design systems (PDS) to help designers simplify their work for many years, and the industry has recently started to look into 3D features [1]. To improve the efficiency of the garment conception

and design phase, a proposed solution is to adopt virtual prototyping techniques. Exploiting 3D virtual garment models would allow the industry to dramatically reduce both the time before going to market and the work costs [2]. Physical simulation would allow designers to visualize the design and drape effect without having to prepare prototype garments [1].

The final shape taken by a garment is often achieved through the incorporation of darts, seams, edges, stiffening pads and local stretch of the fabric. In order to gain credibility, CAD systems should have to functionally handle the level of complexity normally found in garment assemblies combined with a simple interface to specify the constructional detail [4].

Nowadays aesthetics, comfort and functionality are the most important characteristics of sports garments. To achieve comfort, sports garments are manufactured as combined fractions made of different fabrics providing different characteristics and designs. It is an area of expertise to decide where these fractions will be located in order not to disturb the wearer. Preparing patterns which provide the best fit for the tight-fit garments is much harder than the loose fit ones. Therefore, they generally require more prototypes. To be able to see the fit of the garment before preparing a prototype is an important advantage especially for the companies that manufacturing tight-fit garments. Thus, 3D Flattening Systems, which provide i) visualizing designs created as a 2D pattern on a 3D virtual model, ii) showing how changes on the 3D design affect the 2D pattern, iii) "peeling off" parts of a product modeled in 3D and create them as a 2D pattern, have gained more importance [5].



## 2. METHODS

The uniform appearance will assist the reader to read paper of the proceedings book. It is therefore suggested to authors to use the example of this file to construct their papers. This particular example uses this paper format with 25 mm margins left, right, top and bottom.

In draping technique, pattern is obtained through directly contact of the body and the fabric used is the exact fabric of the garment. Therefore, patterns obtained by draping provide best fit [6]. However, draping is not usable in mass production. Therefore, CAD systems providing virtual fit similar to draping are used.

In this study, firstly, a virtual male model (Figure 1) was formed according to the measurements in Table 1.

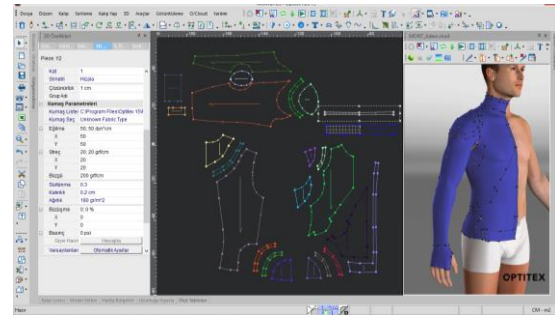
**Table 1.** Naked male model body sizes

Measurements	Values (cm)
Height	180
Chest circumference	105
Under chest circumference	96
Waist circumference	83
Hip circumference	98
Hip depth	17
Knee height	45
Knee circumference	38
Ankle perimeter	22
Inner height	76
Waist height	103
Arm length	61
Elbow circumference	30
Wrist circumference	18
Front height	43
Thigh circumference	57
Calf circumference	39
Biceps circumference	33
Shoulders	44.5
Neck circumference	48



**Figure 1.** Virtual male model

Afterwards, a fractioned tight-fit male sweatshirt model was designed on this virtual model via Optitex 3D Flattener. As the model was created, the pattern was obtained simultaneously (Figure 2).



**Figure 2.** Designing the sweatshirt on the model.

When the design was completed, 2D patterns were obtained automatically by introducing straight line to the system. After virtual stitches and other details were applied, the sweatshirt was dressed on the created male model in order to determine the fit (Figure 3). Details can be seen in Figure 4. Eventually, fit of the created design was evaluated (Figure 5).

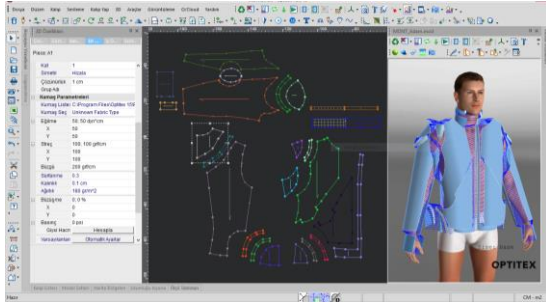


Figure 3. Dressing the created sweatshirt on the model



Figure 4. Details of the created sweatshirt



Figure 5. Front and back views of the dressed sweatshirt

### 3. CONCLUSION

Fast fashion is a viable trend in fashion industry. Marketing garments fast in an effective and timely way while the fashion trend is still “in” is a must for all the garment manufacturers, as well as for the sportswear manufacturers. However, today’s consumers expect many characteristics from sportswear such as trendy look, functionality and clothing comfort. Therefore, sportswear requires fractioned patterns in order to meet the mentioned expectations. To find the best fit, many prototypes have to be made, but the manufacturers do not have the necessary time. It is important to market the garments in the right time in the right way.

Thus, 3D Flattening systems provide a way out for the industry, but especially for the sportswear manufacturers. 3D flattening systems enable to prepare the patterns and at the same time see how the actual garment will behave on the body as in draping technique. In this study, a tight-fit fractioned male sweatshirt was designed on a virtual male model. The patterns were obtained after completing the design. Later, in order to determine the fit, created sweatshirt was dressed on the virtual model and the fit was evaluated. As can be seen in Figure 5, fit of the created design was quite good.

It is possible to reduce the number of prototypes, the time used and the cost by using the flattening systems. Designers see the fit and general look of the garments in the systems and make the necessary changes needed in the design, size or fit in a short time without preparing a prototype. Moreover, time to obtain the patterns is much shorter as the patterns are prepared while the design is formed. On the other hand, downsides of these systems are high cost of investment and the need for an operator with deep pattern knowledge in order to benefit from the advantages of the systems efficiently. Design offices may exploit these systems besides manufacturers. Although 2D pattern design systems have been used in the industry for a long time, 3D flattening systems are relatively new and unknown. Awareness of these systems should be raised.

### 4. REFERENCES

1. Meng, Y., Mok, P.Y., Jin, X., 2010. Interactive Virtual Try-on Clothing Design Systems, Computer-Aided Design, vol. 42, pp. 310-321.
2. Chittaro, L., Corvaglia, D., 2003. 3D Virtual Clothing: Garment Design to Web 3D Visualization and Simulation, in Proceedings of the Eighth International Conference on 3D Web Technology (Web3D '03): <http://hclab.uniud.it/publications/468.html> [4. December 2015].
3. Yunchu, Y., Weiyuan, Z., 2007. Prototype Garment Pattern Flattening Based on Individual 3D Virtual Dummy, International

- Journal of Clothing Science and Technology,  
vol. 19, no. 5, pp. 334-348.
4. McCartney, J., Hinds, B.K., Seow, B.L., Gong, D., 2000. Dedicated 3D CAD for Garment Modeling, Journal of Materials Processing Technology, vol. 107, pp. 31-36.
  5. Optitex Website, Available from: <http://marketing.optitex.com/acton/attachment/6952/f-0003/1/-/-/-/Optitex-3D-Suite-brochure.pdf>, consulted 28 December 2015.
  6. Kiliők, A., 2011. Development of a New Pattern Preparation Method for Skirt and Ladies Trousers by Utilizing Anthropometric Measurement System, PhD. Thesis, Ege University Graduate School of Natural and Applied Sciences, İzmir, p. 202.



## Production, Characterization and Effect of Te Doping on FeSe-11 Compounds

Derya FARİSOĞULLARI\*<sup>1</sup>, Nilay KANTARCI GÜLER<sup>1</sup>, Faruk KARADAĞ<sup>1</sup>,  
Ahmet EKİCİBİL<sup>1</sup>, Bekir ÖZÇELİK<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Çukurova University, Department of Physics, Faculty of Sciences and Letters, Adana, Turkey

Geliş tarihi: 01.08.2016

Kabul tarihi: 17.10.2016

### Abstract

In this work, FeTe<sub>0.7</sub>Se<sub>0.3</sub> single crystals have been synthesized by using the self-flux method, in order to understand effect of Te doping in the Fe-chalcogenides. For this purpose, the physical properties of sample have been investigated by Scanning Electron Microscopy (SEM), Energy dispersive x-ray (EDX) spectroscopy, X-ray diffraction (XRD) and magnetic techniques. The XRD results show that the sample has tetragonal structure, with some impurity peaks. SEM results demonstrate that the sample is distributed in a terrace-like formation. EDX results indicate that the distribution of Fe, Te and Se on the surface of the sample is homogenous. According to  $\chi^{-1}$ -T measurement, antiferromagnetic interaction is observed. In addition, M-H curves show nearly paramagnetic behavior for the sample measured.

**Keywords:** Fe-based superconductivity, Self-flux method, XRD, SEM, Magnetism

### Te Katkısının FeSe-11 Bileşiklerine Etkisi, Üretimi ve Karakterizasyonu

#### Öz

Bu çalışma kapsamında, Fe-kalkojenlerin fiziksel mekanizmasını daha iyi irdelemek için FeTe<sub>0.7</sub>Se<sub>0.3</sub> tek kristalli self-flux metodu kullanılarak sentezlendi. Bu bağlamda, hazırlanan numunenin fiziksel özellikleri, Taramalı Elektron Mikroskopi (SEM), Enerji Saçılımlı X-ışını Spektroskopisi (EDX), X-ışını Kırınımı (XRD) ve manyetik teknikleri kullanılarak incelendi. Numune, XRD sonucunda tetragonal kristal yapı ile birlikte bazı safsızlık piklerinin de varlığını sergilemektedir. SEM sonucu, numunenin terasa benzer bir oluşum olduğunu göstermektedir. EDS sonucu, Fe, Te ve Se elementlerinin numune yüzeyinde homojen olarak dağıldığını göstermektedir.  $\chi^{-1}$ -T ölçümlerine göre, numunede antiferromanyetik etkileşimler gözlemlenmektedir. Buna ek olarak, M-H grafiklerinde ise neredeyse paramanyetik davranışın olduğunu göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Fe-tabanlı süperiletkenler, Self-flux metodu, XRD, SEM, Manyetizma

\* Sorumlu yazar (Corresponding author): Derya FARİSOĞULLARI, [deryafarisogullari@gmail.com](mailto:deryafarisogullari@gmail.com)

## 1. INTRODUCTION

Superconductivity in mercury was discovered in 1911 by Kamerling Onnes [1], since then it has attracted worldwide attention because superconductors have unique properties such as zero resistance state a desire to lower energy losses. Over the last one-hundred years several researchers have studied this field and they have found that many elements, alloys and ceramics show superconducting properties below defined critical temperatures ( $T_c$ ) [2]. The greatest leap in 1986 came with, the discovery of a new class of superconducting copper oxides, so-called as high temperature superconductors (HTS), by Bednorz and Muller [3], which now have critical temperatures  $T_c$ , of 138 K after doping and up to 164K under pressure [4,5]. In 2008 the scientific world was astonished by the discovery of a thoroughly new class of iron based superconductors. The discovery  $LaO_{1-x}F_xFeAs$  superconductors with superconducting transition temperature 26K was reported by Hosono's group [6]. Since then, numerous researchers have provided this new materials a second family of high- $T_c$  superconductors. To date, the parent materials are classified into five types namely:  $REOFeAs$  ('1111', RE=rare earth) [6],  $AeFe_2As_2$  ('122', Ae=alkaline earth) [7],  $LiFeAs$  ('111') [8],  $Fe(Se,Ch)$  ('11' Ch=S, Te) [9] and '32225' family of  $Sr_2MO_3FePn$  (M=Sc, V, Cr and Pn=pnictogen) [10]. Among the Fe-based superconductors, FeSe-11 so-called chalcogenides have drawn much attention because of their simplest structure and less toxicity compared to the As-based compounds. Moreover, tetragonal FeSe which was reported with critical temperature  $T_c$  of 8K at ambient pressure, with the substitution of Te with Se, up to 14K in  $FeTe_{1-x}Se_x$  compound [11] and up to 37K at hydrostatic pressure [12].

In this work, high-quality  $FeTe_{0.7}Se_{0.3}$  single crystal have been produced and their physical properties investigated by Scanning Electron Microscopy (SEM) together with energy dispersive x-ray (EDX) spectroscopy, X-ray diffraction (XRD), magnetization and magnetic hysteresis techniques.

## 2. MATERIALS AND METHODS

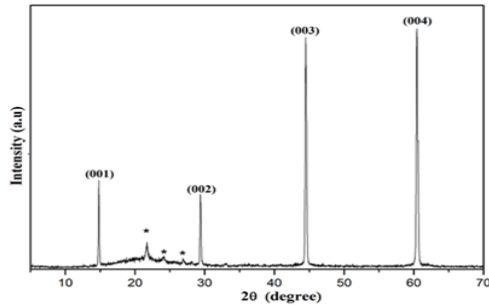
Single crystals with nominal composition  $FeTe_{0.7}Se_{0.3}$  were prepared by self-flux method. The granular of Fe (99.99%) and the shot of Se (99.999%) and Te (99.999%) were put into a quartz tube with molar ratio of  $FeTe_{0.7}Se_{0.3}$  and sealed under high vacuum. The quartz tube was placed in a second quartz tube for the purpose of cracking the tube during the sintering process. The double quartz tube was heated to 1050°C and maintained at that temperature for 24 hours then slowly cooled down to 700°C at rate of 1.45°C/h. The structure of the sample was characterized by X-ray diffraction (XRD) at room temperature with Cu-K $\alpha$  radiation (Rigaku D/max-B) and a constant scan rate between  $2\theta = 2 - 80^\circ$ . Scanning Electron Microscopy (SEM) were taken using a LEO Evo-40 VPX SEM fitted with energy dispersive X-ray (EDX) analyzer. The magnetic properties were measured by using a physical property measurement system (PPMS, Quantum Design) magnetometer.

## 3. RESULTS AND DISCUSSION

### 3.1. X-Ray Characterization

The crystal was found to be very shiny, grown along the ab-plane, and was easy to cleave along this plane. The x-ray diffraction (XRD) pattern of  $FeTe_{0.7}Se_{0.3}$  single crystal is shown in figure 1. The high intensity of the (00 $l$ ) indices from the XRD pattern shows the c-axis orientation of the single crystal. The powder XRD pattern of single crystal, four narrow and sharp peaks appear at about  $2\theta \approx 14.83^\circ, 29.41^\circ, 44.47^\circ, 60.50^\circ$ , which correspond to the reflected intensity from the (001), (002), (003), (004) planes of the tetragonal crystal structure with space group of P4/nmm. This result is in good agreement with earlier reports [11]. In addition to this, there exists some impurities at about  $2\theta \approx 21.66^\circ, 24.02^\circ, 26.92^\circ$ , whose peaks are very weak. A possible explanation that the disappearance of Se or some of the Te is not integrated into the sample attributed to the formation of FeTe/FeSe binary phases. The lattice parameters were calculated and found to be  $a=3.86559\text{\AA}$ ,  $c= 6.02458\text{\AA}$  and

$V=89.53 \text{ \AA}^3$  by standard Rietveld refinement method using FullProf software.



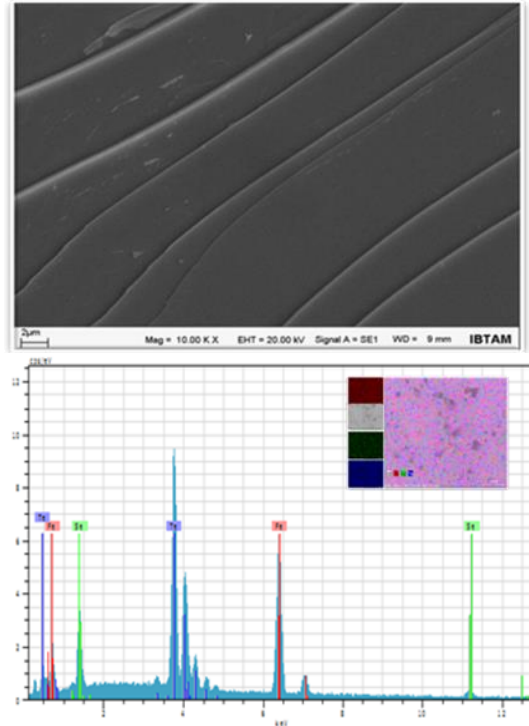
**Figure 1.** X-ray diffraction pattern of  $\text{FeTe}_{0.7}\text{Se}_{0.3}$  single crystal

### 3.2. SEM Analysis

The morphology of the surface and the ratio of Fe:Te:Se was investigated by SEM with energy dispersive X-ray spectrum (EDX). The SEM images 10.000X magnification are given in Figure 2a. As seen the figure, the sample is distributed in a terrace-like formation. Energy dispersive X-ray (EDX) spectra of the sample is given in Figure 2b. It demonstrated that all of the points in the single crystal include the expected elements (Fe, Se, Te) without any trace of impurities. According to the mapping image, for the sample, all of the elemental distribution is almost uniform on the whole area scanned. In addition, the EDX analysis reveals the ratio of the elements in as  $\text{Fe}_{0.91}\text{Te}_{0.39}\text{Se}_{0.56}$ . These differences between actual chemical composition and nominal chemical composition can be explained that Te is not integrated into the crystal structure of FeSe as confirmed by the x-ray diffraction result.

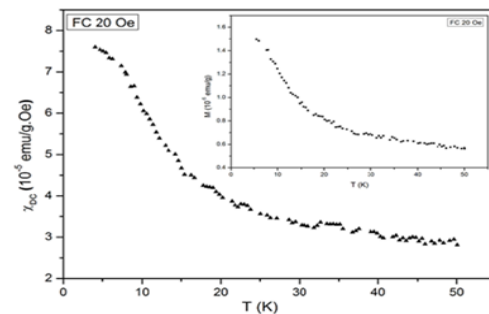
### 3.3. Magnetic Properties

DC magnetic properties of Te doped FeSe have been investigated by measuring the magnetization of the sample with a PPMS magnetometer. Firstly, the temperature dependence of field-cooled (FC) magnetization at 20 Oe was measured (see Figure 3), and secondly, magnetization against magnetic fields (M-H) at 8 K, 10 K and 12 K temperatures were measured in an applied magnetic field range of -9 T to +9 T (see Figure 4).



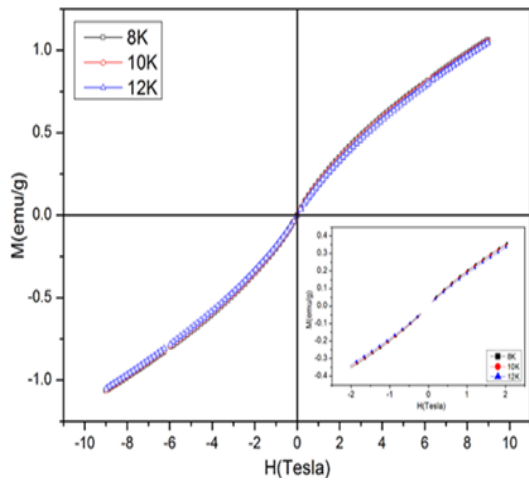
**Figure 2.** SEM images and EDS spectrums of the  $\text{FeTe}_{0.7}\text{Se}_{0.3}$  single crystal. Inset shows EDS dot maps

According to Figure 3, the DC susceptibility ( $\chi$ ) obtained at 5 K, is the highest and then the DC susceptibility values decreases with an increasing temperature up to 50 K. This reveals that magnetic moments are very sensitive to the temperature.



**Figure 3.** DC-susceptibility curves obtained from the FC magnetizations at 20 Oe for the  $\text{FeTe}_{0.7}\text{Se}_{0.3}$ . Inset shows FC magnetizations versus temperature at 20 Oe external field

From Figure 4, it can be seen that, above  $\pm 2$  T, the curves of M-H are linearly varying with magnetic fields, which signifies that the sample shows paramagnetic behaviour at all temperatures. However, there is a slight hysteresis between  $\pm 2$  T (given the inset figure 4) for all the temperature. The small amount of impurities may be the reason for the ferromagnetic component in M-H curves.

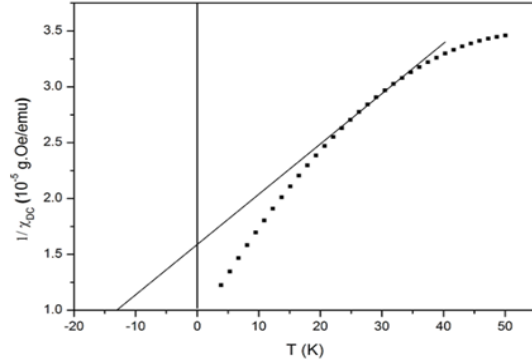


**Figure 4.** Magnetization against magnetic field curves for  $\text{FeTe}_{0.7}\text{Se}_{0.3}$  at 8 K, 10 K and 12 K

The inverse susceptibility ( $1/\chi_{D.C}$ ) versus temperature curves plotted for the  $\text{FeTe}_{0.7}\text{Se}_{0.3}$  single crystal are given in figure 5. According to the figure, the curves display Curie-Weiss behavior, where it can be expressed using Curie-Weiss law as follows:

$$1/\chi_{D.C} = H/M = (T-\theta)/C \quad (1)$$

where  $C$  and  $\theta$  are Curie-Weiss temperature, respectively. The extrapolation of the straight lines, obtained from the data at higher temperatures cut the temperature axis on the negative side which marks the Curie-Weiss temperature,  $\theta$ . The value of the  $\theta$  is negative and magnitude of it is not high. This means that their is the substitution of Te with Se, and in addition to the paramagnetic contribution there is also a antiferromagnetic interaction in the sample.



**Figure 5.** Inverse DC-susceptibility curves for  $\text{FeTe}_{0.7}\text{Se}_{0.3}$

## 4. CONCLUSION

In conclusion,  $\text{FeTe}_{0.7}\text{Se}_{0.3}$  single crystal were successfully synthesized by using the self-flux technique. The XRD results showed that the sample has a tetragonal structure. SEM results demonstrated that the sample is distributed in a terrace-like formation. EDX results showed that Fe, Te, and Se were evenly distributed throughout the sample. According to  $M(T)$  curves obtained in the DC magnetic fields of 20 Oe ( $\chi^{-1}$ -T) measurements both paramagnetic interaction and antiferromagnetic interaction were observed. In addition, M-H curves were measured at various temperatures with a magnetic field applied parallel to the c-axis. The sample showed nearly paramagnetic behavior at all temperature intervals.

## 5. ACKNOWLEDGEMENT

This work is supported by Research Fund of Cukurova University, Adana, Turkey, under grant contracts no: FDK-2015-4036 and FBA-2015-4464

## 6. REFERENCES

1. Onnes, H.K., 1911. The superconductivity of mercury, *Commun. Phys. Lab. Univ. Leiden*, p. 122–124.
2. Marouchkine, A., 2004. *Room-Temperature Superconductivity*, Cambridge International Science Publishing, Cambridge, UK, p. 82-93.



3. Bednorz, J.G., Muller, K.A., 1986. Possible High Tc Superconductivity in the Ba-La-Cu-O System, *Z. Phys. B* vol. 64, p. 189-193.
4. Dai, P., Chakoumakos, B.C., Sun, G.F., Wong, K.W., Xin, Y., Lu, D.F., 1995. Synthesis and Neutron Powder Diffraction Study of the Superconductor  $\text{HgBa}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{8+\delta}$  by Tl Substitution, *Physica C: Superconductivity*. 243, p. 201–206.
5. Monteverdea, M., Núñez-Regueiroa, M., Achab, C., Lokshinc, K.A., Pavlovic, D.A., Putilinc, S.N., Antipovc, E.V., 2004. Fluorinated Hg-1223 under Pressure: the Ultimate Tc of the Cuprates?, *Physica C: Superconductivity*. 408-410, p. 23-24.
6. Kamihara, Y., Watanabe, T., Hirano, M., Hosono, H., 2008. Iron-based Layered Superconductor  $\text{La}[\text{O}_{1-x}\text{F}_x]\text{FeAs}$  ( $x=0.05-0.12$ ) with  $T_c=26$  K, *J. Am. Chem. Soc.* 130, p. 3296-3297.
7. Rotter, M., Tegel, M., Johrendt, D., 2008. Superconductivity at 38 K in the Iron Arsenide  $(\text{Ba}_{1-x}\text{K}_x)\text{Fe}_2\text{As}_2$  *Phys. Rev. Lett.*, 101, p. 1–4.
8. Chu, C.W., Chen, F., Gooch, M., Guloy, A.M., Lorenz, B., Lv, B., Sasmal, K., Tang, Z.J., Tapp, J.H., Xue, Y.Y., 2009. The Synthesis and Characterization of  $\text{LiFeAs}$  and  $\text{NaFeAs}$ , *Physica C: Superconductivity*, 469, p. 326-331.
9. Hsu, F.C., Luo, J.Y., Yeh, K.W., Chen, T.K., Huang, T.W., Wu, P.M., Lee, Y.C., Huang, Y.L., Chu, Y.Y., Yan, D.C., Wu, M.K., 2008. Superconductivity in the PbO-type Structure  $\alpha\text{-FeSe}$ , *Proc. Natl Acad. Sci.*, 105, p. 14262–14264.
10. Zhu, X., Han, F., Mu, G., Zeng, B., Cheng, P., Shen, B., Wen, H., 2009.  $\text{Sr}_3\text{Sc}_2\text{Fe}_2\text{As}_2\text{O}_5$  as a Possible Parent Compound for FeAs-based Superconductors, *Phys. Rev. B* 79, 024516.
11. Wu, Z.F., Wang, Z.H., Tao, J., Qiu, L., Yang, S.G., Wen, H.H., 2016. Flux Pinning and Relaxation in  $\text{FeSe}_{0.5}\text{Te}_{0.5}$  Single Crystals, *Supercond. Sci. Technol.*, 29, 035006 (6pp).
12. Medvedev, S., McQueen, T.M., Troyan, I.A., Palasyuk, T., Erements, M.I., Cava, R.J., Naghavi, S., Casper, F., Ksenofontov, V., Wortmann, G., Felser, C., 2009. Electronic and Magnetic Phase Diagram of Bold Italic  $\beta\text{-Fe}_{1.01}\text{Se}$  with Superconductivity at 36.7 K under Pressure, *Nat. Mater.*, 8, p. 630–633.



## TiO<sub>2</sub> ve AgS Katkılı TiO<sub>2</sub> Nanotüp Fotokatalizörlerinin Sentezlenmesi ve Karakterizasyonu

Taner TEKİN<sup>\*1</sup>, Derya TEKİN<sup>2</sup>, Hakan KIZILTAŞ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Erzurum

<sup>2</sup>Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Erzurum

<sup>3</sup>Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, Erzurum

Geliş tarihi: 11.09.2016

Kabul tarihi: 14.10.2016

### Öz

Bu çalışmada, anodik oksidasyon yöntemi kullanılarak yüksek etkinliğe, kimyasal stabilizeye, düşük maliyete ve yüksek yüzey alanına sahip nanotüp TiO<sub>2</sub> fotokatalizörleri üretilmiş ve ışık absorpsiyonunu artırmak amacıyla SILAR (Sıralı İyonik Tabaka Adsorpsiyonu ve Reaksiyonu) yöntemi kullanılarak AgS katkılanması yapılarak modifiye edilmiştir. Fotokatalizörlerin yapısal özellikleri SEM ve XRD analizleri kullanılarak karakterizasyonları yapılmıştır. Fotokatalizörlerin kesikli reaktörde fotokatalitik aktivitelerini ölçmek amacıyla Methylene Blue boya çözeltisindeki bozunma incelenmiştir. Elde edilen veriler, nanotüp TiO<sub>2</sub>'lerinin fotokatalitik aktivitesinin AgS katkısı ile arttığını göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** TiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub> nanotüp, AgS-TiO<sub>2</sub> nanotüp, Fotokatalizör

## Synthesis and Characterization of TiO<sub>2</sub> and AgS Doped TiO<sub>2</sub> Nanotube Photocatalysts

### Abstract

In this study, nanotube TiO<sub>2</sub> photocatalysts, have high activity, chemical stabilization, low cost and high surface area, were produced using anodic oxidation method, and modified by doping AgS using SILAR (Sequential Ionic Layer Adsorption and Reaction) method to increase light absorption. The structural properties of the photocatalysts were characterized by SEM and XRD analyzes. In order to measure the photocatalytic activity of the photocatalysts in the batch reactor, the decomposition of Methylene Blue dye solution was investigated. The obtained data showed that the photocatalytic activity of the nanotube TiO<sub>2</sub> increased with the doping AgS.

**Keywords:** TiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub> nanotube, AgS-TiO<sub>2</sub> nanotube, Photocatalyst

\*Sorumlu yazar (Corresponding author): Taner TEKİN, [ttekin@atauni.edu.tr](mailto:ttekin@atauni.edu.tr)

## 1. GİRİŞ

Son yıllarda teknolojik gelişmelerin artmasıyla birçok endüstri dalında gelişmeler olmuş ve bu gelişmeler farklı kirliliklerin meydana gelmesine neden olmuştur. Farklı endüstri kuruluşlarının (kâğıt, boya, kozmetik, tekstil vs.) sebep olduğu endüstriyel kirlilikler ve atmosferin her geçen gün biraz daha fazla kirlenmesi, ekosistemin sürekli temiz tutulmasını zorunlu hale getirmektedir [1].

Endüstriyel atıklarda bulunan organik maddeler ve ağır metal iyonların hemen hepsi kanserojen özellikte olmalarının yanı sıra, son derece kararlı yapıda olmaları nedeniyle çok büyük bir tehlike oluşturmaktadırlar [2]. Bu kirliliklerin büyük bir bölümü, özellikle boyarmaddeler, genel manada biyolojik parçalanmaya karşı da son derece dirençlidirler. Bundan dolayı boyarmaddelerin, bilinen biyolojik prosesler ile uzaklaştırılmaları da son derece zor olmaktadır [3].

Son yıllarda en etkin alternatif yöntemin “fotokatalizleme” olduğu belirlenmiştir. Bu yöntem, UV ışığıyla aktif hale getirilmiş bir yarı iletken ile atık sulardaki zararlı maddelerin buldukları ortamda “parçalanarak” zararsız ürünlere (su, karbon dioksit, mineral tuzlar vb.) dönüşmesini içermektedir. En uygun yarı iletkenin ticari olarak satılan TiO<sub>2</sub> (titanyum dioksit)’in olduğu belirlenmiştir. Fotokatalizör olarak etkin bir şekilde kullanılıyor olmasına rağmen, ticari anlamda TiO<sub>2</sub> olan ilgi yavaş yavaş azalmaktadır. Çünkü çözelti ortamındaki ayrıştırma işleminin ardından çözüldüğü ortamdan ayrıştırılması oldukça güçtür [4].

Son dönemlerdeki hemen hemen tüm çalışmalar “fotokatalitik nanotüpler” üzerine yoğunlaşmıştır. Anodik oksidasyonla oluşturulan levha TiO<sub>2</sub> nanotüp katalizörünün aktif hale getirilmesi gerekmektedir. Bu işlem, genellikle ışın etkisiyle olmaktadır. Bu şekilde hazırlanan nanotüpler fotokatalitik aktivite sonunda isteğe bağlı olarak buldukları ortamdan kolayca uzaklaştırılabildikleri ve kazandırılmış olan

fotokatalitik aktivite kaybolmadığı için en fazla tercih edilen kullanım şeklidir.

Ancak titanyumların levha şeklinde kullanılması yarı iletkenlerde mevcut olan valans-iletkenlik bandı (3,2 eV) problemini çözmemektedir. Bir yarı iletkenin, görünür bölge ışınları ile katalitik aktivite gösterebilmesi için sahip olduğu bant enerji aralığının değiştirilmesi gerekmektedir. Bunun için, genellikle yarı iletkenin sentez aşamasında farklı geçiş metal iyonları veya ametaller, değişik oranlarda ilave edilmektedir. Böylece kristal yapıda oluşturulan ikinci bir madde, yarı iletkenin katalitik aktivitesini, olumlu ya da olumsuz yönde önemli ölçüde etkilemektedir. TiO<sub>2</sub> foto katalitik aktiviteyi geliştirmek işlemleri sırasında, element katkılama [5-10], soy metal kaplama [11,12], yüzey modifikasyonu [13], yarı iletken bileşimi [14] gibi çeşitli metotlar yapılmış bunların arasında TiO<sub>2</sub> örgüsü içine element katkılamanın en etkili yol olduğu bulunmuştur. Zn, Cr ve Fe geçiş metalleri gibi bazı metallerin katkılanması elektron-boşluk ayrışma oranını ve TiO<sub>2</sub>’nin fotokatalitik aktivitesini artırmaktadır. Si, F, C, N gibi metal olmayan elementlerin katkılanması yine fotokatalitik etkinliği artırabilir veya görünür ışık bölgesinde absorpsiyon bandı genişleyebilir.

Bu çalışmada anodizasyon yöntemiyle elde edilen nanotüp TiO<sub>2</sub> ve fotokatalitik aktivitesinin ve ışık absorpsiyonunun artırılması amacıyla SILAR yöntemi kullanılarak AgS katkılanması yapılan fotokatalizörlerin fotokatalitik denemeleri gerçekleştirilmiş ve karakterizasyonu yapılmıştır.

## 2. MATERYAL VE METOT

### 2.1. Kimyasallar

2 mm kalınlığında, 2x3 cm ebatlarında, %99,7 saflıkta Aldrich titanyum levha kullanılmıştır. Levhaların yıkama işlemi için SONICS marka VCX750 model ultrasonik cihaz kullanılmıştır. Titanyum levhaların yıkanması sırasında aseton (Sigma Aldrich %99), etanol (Sigma Aldrich %99), metanol (Sigma Aldrich %99) ve destile su kullanılmıştır.

Anodizasyon işlemi için Sodyum florür (BDH Lab.), fosforik asit (Merck, %85) ve destile su kullanılmıştır. Katkılama için gümüş nitrat (Carlo Erba, >%99), sodyum sülfür (Sigma Aldrich, >%98) ve destile su kullanılmıştır.

## 2.2. TiO<sub>2</sub> Nanotüp Hazırlanması

TiO<sub>2</sub> nanotüp hazırlanmasında anodik oksidasyon yöntemi kullanılmıştır. Titanyum levha kirliliklerden temizlemek amacıyla sırasıyla saf su, aseton, etanol ve metanol ile 10 dakika süreyle muamele edilmiştir. Anodizasyon çözeltisi 0,5 M H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> ve 0,14 M NaF kullanılarak literatüre uygun olarak hazırlanmıştır. Titanyum levha anot, platin ise katot olarak bağlanıp çözelti içerisinde 3 cm aralık bırakılarak 1 saat süreyle 20V doğru akım uygulanmıştır. Anodizasyon işleminin ardından flor iyonları saf suyla temizlenerek hava ortamında kurumaya bırakılır.

## 2.3. AgS/TiO<sub>2</sub> Nanotüplerinin Hazırlanması

Katkılı nanotüp hazırlanmasında SILAR (Successive Ionic Layer Adsorption and Reaction) metodu kullanılmıştır. Yapılan katkılama işlemi için dört farklı beher kullanılmış ve beherlerin içerikleri şu şekildedir; I. Beher 0,0025M AgNO<sub>3</sub>, II. Beher deiyonize su, III. Beher 0,0025M Na<sub>2</sub>S ve IV. Beher deiyonize su'dur. Hazırlanmış olan TiO<sub>2</sub> nanotüp ultrases altında beherlerde sırasıyla daldırarak elde edilmiştir.

## 2.4. Fotokatalizörlerin Karakterizasyonu

Fotokatalizörlerin yüzey yapısı ve morfolojisi taramalı elektron mikroskopu (SEM, FEI, Inspect S50) ile gözlemlenmiştir. XRD sonuçları ise Rigaku marka D/Max-2200 cihazı ile 10°/dk tarama oranı ve 20°'den 80°'ye 2θ oranı ile gerçekleştirilmiştir.

## 2.5. Methylene Blue Boyar Maddesinin Fotokatalitik Bozunması

Fotokatalitik bozunma deneyleri 500 ml'lik bir kesikli reaktörde oda sıcaklığında

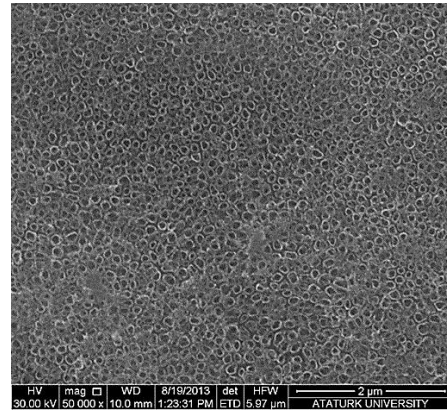
gerçekleştirilmiştir. 400 ml, 20 mg/L'lik Methylene Blue çözeltisi hazırlanarak magmatik karıştırıcı (500 rpm) altında reaktöre konulmuştur.

44 W/m<sup>2</sup> ışık şiddetinde ve O<sub>2</sub> konsantrasyonunu yüksek oranda tutabilmek için sürekli olarak hava reaktör içerisine pompa vasıtasıyla beslenmiştir.

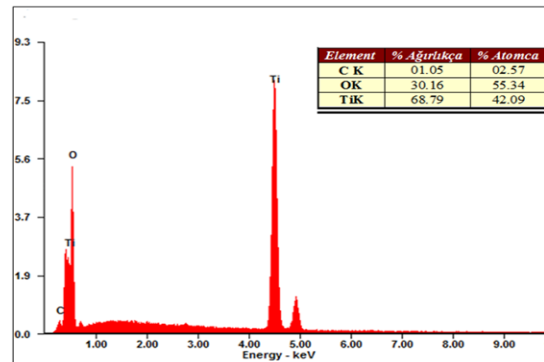
## 3. ARAŞTIRMA BULGULARI

### 3.1. TiO<sub>2</sub> Nanotüp, AgS/TiO<sub>2</sub> Fotokatalizörlerin Karakterizasyonu

Titanyum levha kullanılarak üretilen nanotüp TiO<sub>2</sub> fotokatalizörünün karakterizasyon analizi için yapılan SEM ve EDS analiz sonuçları Şekil 1 ve 2'de verilmiştir.



Şekil 1. Anodizasyon sonrası 500°C sıcaklıkta kalsine edilen nanotüp TiO<sub>2</sub> fotokatalizörüne ait SEM analizi

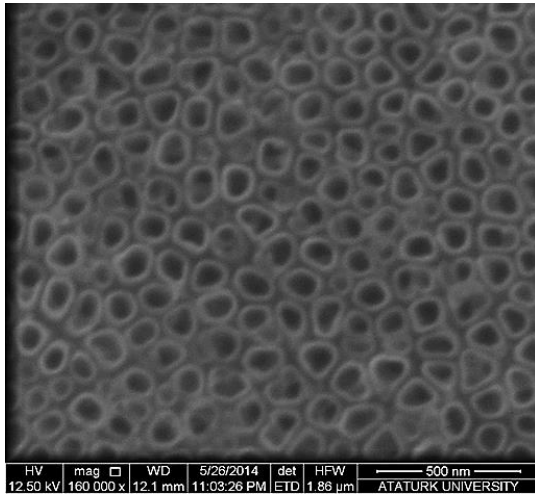


Şekil 2. 100000 büyütmede nanotüp TiO<sub>2</sub> fotokatalizörüne ait EDS analizi

Şekil 1’de 500°C’de kalsinasyon işlemine tabi tutulmuş nanotüp TiO<sub>2</sub> fotokatalizörüne ait SEM görüntüsünden de görüleceği gibi nanotüpler homojen bir biçimde yüzeye dağılmıştır ve ortalama çap mesafesi 90-116 nm arasında değişmektedir. Görüntüden de görüleceği gibi nanotüpler oldukça düzenli bir şekilde dizilmiş ve tüpler oluşumlarını tamamlamıştır. Nanotüplerin çevresinde ve içerisinde herhangi bir kirlilik görülmemektedir. Tüplerin çapları belirgin ve duvar kalınlıkları muntazamdır.

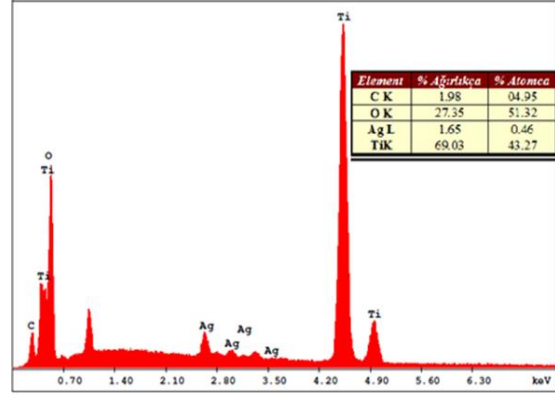
Aynı fotokatalizöre ait EDS analizi ise Şekil 2’de verilmiş ve numunedeki titanyum ve oksijen varlığı kanıtlanmıştır.

0,025M madde konsantrasyonu ile yapılan SILAR yöntemi ile sentezlenmiş AgS/TiO<sub>2</sub> nanotüp fotokatalizörüne ait SEM analizi ve EDS analizi yapılmıştır ve analiz sonuçları Şekil 3-4’de verilmiştir.

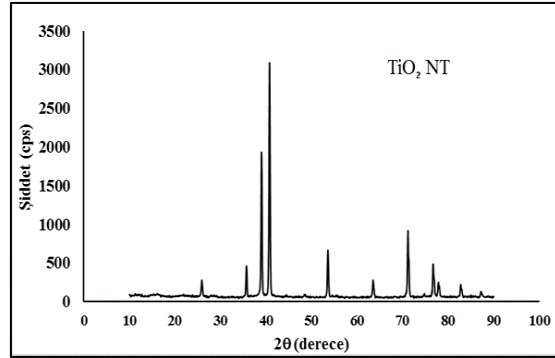


Şekil 3. 160000 büyütmede AgS/TiO<sub>2</sub> nanotüp fotokatalizörüne ait SEM analizi

Şekil 3’de 500°C’de kalsinasyon işlemine tabi tutulmuş AgS katkılı nanotüp fotokatalizöre ait SEM görüntüsünden de görüleceği gibi AgS nanotüplerin çevresine tutunmuştur. Çevresi kaplanan nanotüpler diğerlerine göre daha parlak görülmektedir. Aynı fotokatalizöre ait EDS analizi Şekil 4’de verilmiş ve numunemizdeki titanyum, oksijen ve gümüş varlığı belirlenmiştir.

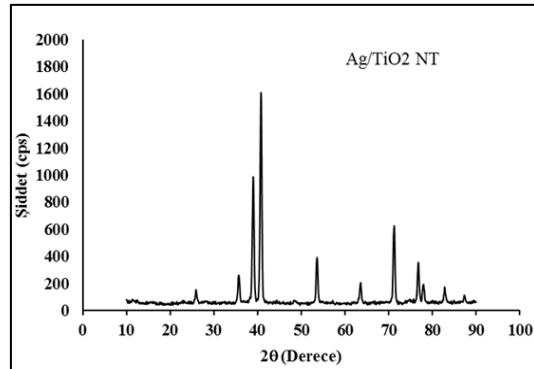


Şekil 4. 160000 büyütmede AgS/TiO<sub>2</sub> nanotüp fotokatalizörüne ait SEM analizi



Şekil 5. 500°C kalsine edilmiş nanotüp TiO<sub>2</sub>’ye ait XRD diyagramı

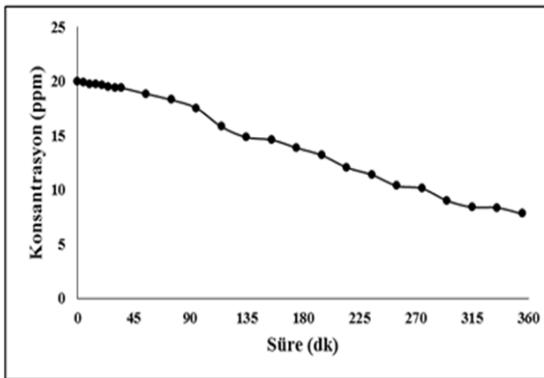
Şekil 5’te görüldüğü gibi 500°C’de kalsinasyon işlemine tabi tutulan nanotüp TiO<sub>2</sub>’nin anataz fazında keskin bir şekilde pik verdiği görülmüştür.



Şekil 6. 0,025 M AgS/TiO<sub>2</sub> nanotüp fotokatalizörüne ait XRD diyagramı

Şekil 5 ile Şekil 6 karşılaştırıldığında AgS katkılanması yapılan fotokatalizörün anataz piklerinin daha da belirgin halde olduğu ve daha keskin hale geldiği görülmektedir. Ancak TiO<sub>2</sub> nanotüp fotokatalizör ile karşılaştırıldığında AgS'ye ait XRD grafiğindeki pik boylarının daha da kısaldığı gözlemlenmiştir.

500°C'de kalsinasyon işlemi yapılarak sentezlenen nanotüp TiO<sub>2</sub> fotokatalizörü üzerinde, kesikli reaktörde Methylene Blue boyarmaddesinin fotokatalitik bozunma değerleri Şekil 7'de gösterilmiştir.



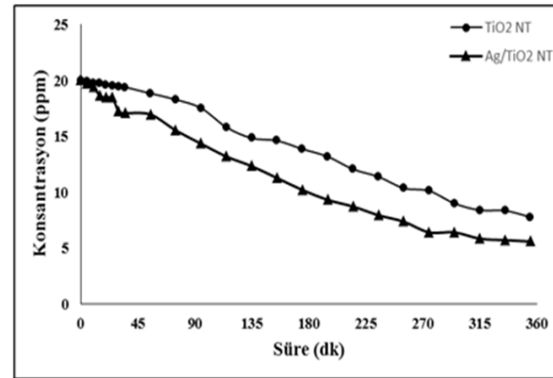
Şekil 7. Nanotüp TiO<sub>2</sub> fotokatalizörü üzerinde Methylene Blue boyar maddesinin bozunması

Anadizasyon sonrasında elde edilen katkısız nanotüp TiO<sub>2</sub> fotokatalizörün fotokatalitik aktivitesi kesikli bir reaktörde Methylene Blue boyası üzerinde yapılmıştır. Şekil 7'de 500°C'de kalsinasyon işlemi yapılarak sentezlenen nanotüp TiO<sub>2</sub> fotokatalizörü kesikli reaktörde boya giderimi grafiği görülmektedir, 6 saatte boyanın %61,08'i giderilmiştir.

500°C'de kalsinasyon işlemi yapılarak sentezlenen AgS/TiO<sub>2</sub> nanotüp fotokatalizörü üzerinde, kesikli reaktörde Methylene Blue boyarmaddesinin fotokatalitik bozunma değerleri Şekil 8'de gösterilmiştir.

Şekil 8'de nanotüp TiO<sub>2</sub> fotokatalizörü ile AgS katkılı nanotüp TiO<sub>2</sub> fotokatalizörüne ait fotokatalitik Methylene Blue çözeltisi

konsantrasyonuna karşılık zaman grafiği görülmektedir. Grafik incelendiğinde iki fotokatalizörün giderimleri arasındaki fark gözle görülür seviyededir. AgS katkılı nanotüp TiO<sub>2</sub> fotokatalizörü 6 saat süresince boyanın gideriminin %72,01'i tamamlamıştır ve nanotüp TiO<sub>2</sub> fotokatalizörüne göre boya giderimi daha iyi seviyededir.



Şekil 8. Nanotüp TiO<sub>2</sub> fotokatalizörü ile AgS katkılı nanotüp TiO<sub>2</sub> fotokatalizörüne ait fotokatalitik Methylene Blue çözeltisi konsantrasyonuna karşılık zaman grafiği

#### 4. SONUÇ

Fotokatalizörlerin SEM analizi yardımıyla nanotüplerinin homojen bir şekilde oluşmuş olduğu görülmüş ve nanotüp çaplarının 90-120 nm arasında değiştiği belirlenmiştir. Ultrasonik prob yardımıyla gerçekleştirilen SILAR yöntemi sonucunda tüm katkılanan partiküllerinin tüplerin girişinde topaklanmış şekilde üretilmesi engellenmiştir. EDS analizleri sonucunda katkılanan maddenin fotokatalizördeki varlığı ispatlanmış ve katkılanmış maddenin kütlece ve atomca yüzdesi belirlenmiştir. 500°C'de gerçekleştirilen kalsinasyon işleminin XRD grafiği incelenmiş, 25° ve 48°deki karakteristik TiO<sub>2</sub> anataz fazı görülmektedir. AgS katkılı nanotüp TiO<sub>2</sub>'ye ait piklerde katkı maddesine ait herhangi bir pik görülmemektedir. Bunun sebebi sentez sırasında çok yüksek sıcaklıklara çıkılmaması, oldukça seyreltik çözeltilerle çalışılması ve katkı maddelerinin eser miktarda yüzeye tutunması olduğu belirlenmiştir. Anodizasyon sonrasında

elde edilen katkısız nanotüp TiO<sub>2</sub>'nin fotokatalitik aktivitesi kesikli bir reaktörde Methylene Blue boyası üzerinde yapılmıştır. Katkısız nanotüp TiO<sub>2</sub>'nin boya giderimi 6 saatte %61,08 olarak gerçekleşmiştir. AgS katkılı nanotüp TiO<sub>2</sub> fotokatalizörünün 6 saatte gerçekleşen boya giderimi %72,01 olarak gerçekleşmiştir. Buda göstermiştir ki, AgS katkılı nanotüp TiO<sub>2</sub> fotokatalizör olarak boya gideriminde etkin olarak kullanılabilir.

## 5. TEŞEKKÜR

Bu çalışmada SEM görüntülerinin alan Arş. Gör. M. Selim ÇÖGENLİ'ye, ve katkılarından dolayı Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) ve Atatürk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Fonu'na (BAP) teşekkür ederiz.

## 6. KAYNAKLAR

1. Allam, N., El-Sayed, M., 2010. Photoelectrochemical Water Oxidation Characteristics of Anodically Fabricated TiO<sub>2</sub> Nanotube Arrays: Structural and Optical Properties, *The Journal of Physical Chemistry*, 114 (27) 12024-12029.
2. Almquist, C.B., Biswas, P., 2002. Role of Synthesis Method and Particle Size of Nanostructured TiO<sub>2</sub> on its Photoactivity, *Journal of Catalysis*, 212, 145-156.
3. Arai, H., Yamada, T., Eguchi, K., Seiyama, T., 1986. Catalytic Combustion of Methane Over Various Perovskite-type Oxides, *Applied Catalysis*, 26, 265.
4. Asiltürk, M., Sayılkan, F., Erdemoğlu, S., Akarsu, M., Sayılkan, H., Erdemoğlu, M., 2007. Hydrothermal Synthesis, Characterization and Photocatalytic Activity of Nano-sized TiO<sub>2</sub> Based Catalyst for Rhodamine B Degradation, *Turkish Journal of Chemistry*, 31, 211-221.
5. Cai, O., Paulose, M., Varghese, O.K., Grimes, C.A., 2005. The Effect of Electrolyte Composition on The Fabrication of Self-Organized Titanium Oxide Nanotube Arrays by Anodic Oxidation, *Journal of Materials Research*, 20 (1), 230-236.
6. Cao, L., Huang, A., Spiess, F.J., Suib, S.L., 1999. Gas-Phase Oxidation of 1-Butene using Nanoscale TiO<sub>2</sub> Photocatalysts, *Journal of Catalysis*, 188, 48.
7. Carrera, R., Vazquez, A.L., Arce, E., Moran-Pineda, M., Castillo, S., 2007. Photodecomposition of NO by Sol-Gel TiO<sub>2</sub> Catalysts under Atmospheric Conditions: Effect of the Method on the Textural and Morphologic Properties, *Journal of Alloys and Compounds*, 434-435, 788-791.
8. Cazla, P., Pelizzetti, E., Mogyorosi, K., Kun, R., Dekany, I., 2007. Size Dependent Photocatalytic Activity of Hydrothermally Crystallized Titania Nanoparticles on Poorly Adsorbing Phenol In Absence and Presence of Fluoride Ion, *Applied Catalysis B: Environmental*, 72, 314-321.
9. Chang, Y., 2004. Supported TiO<sub>2</sub> Photocatalysts Synthesis and Some Applications to Water Purification, Master of Science, University of Calgary, Department of Chemistry.
10. Choi, W., Termin, A., Hoffman, M. R., 1994. The Role of Metal Ion Dopants in Quantum-Sized TiO<sub>2</sub>: Correlation of Between Photoreactivity and Charge Carrier Recombination Dynamics, *Journal of Physical Chemistry*, 98, 13669-13679.
11. Çolak, Z., 2008. Anodik Oksidasyon Yöntemi İle Üretilen Titanyum Oksit Nanotüplerin Hidrojen Algılama Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans, Gebze İleri Teknoloji Enstitüsü.
12. Diebold, U., 2003. Surface Science of Titanium Dioxide, *Surface Science Report*, 48, 53-229.
13. Fox, M.A., Dulay, M.T., 1993. Heterogeneous Photocatalysis, *Chemical Reviews*, 93, 341-357.
14. Fujishima, A., Honda, K., 1972. Electrochemical Photolysis of Water at a Semiconductor Electrode, *Nature*, 238, p. 37-38.



## Çelik Lif ile Güçlendirilmiş Betonlarda Lif Yönünü ve Dağılımını Belirlemede Yeni Bir Yaklaşım

Murat ÖZTÜRK<sup>1</sup>, Umur Korkut SEVİM<sup>\*1</sup> Oğuzhan AKGÖL<sup>2</sup>,  
Muharrem KARAASLAN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İskenderun

<sup>2</sup>İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, İskenderun

Geliş tarihi: 03.08.2016

Kabul tarihi: 30.09.2016

### Öz

Beton, basınç dayanımı yüksek, çekme dayanımı düşük, gevrek bir malzemedir. Beton içerisinde lifli malzemelerin kullanılması betonun eğilme dayanımını, çekme dayanımını, darbe dayanımını, yorulma direncini, yangın ve aşınmaya karşı direncini artırır. Bunun yanında çatlak oluşumunu geciktirir, çatlak ilerlemesini önler ve betonun enerji yutma kapasitesini artırır. Beton içerisine ilave edilen az miktarda lifli malzeme dahi betonun mühendislik karakteristiğini önemli ölçüde değiştirir. Lifli betonun performansında, beton içerisindeki liflerin dağılımı ve liflerin yönü önemli ölçüde etkilidir. Lifler beton içerisine beton yaş iken ilave edilir ve mikser tarafından rastgele dağıtılır. Bu dağılımın homojen olup olmadığı ve ne şekilde dağıldığı beton prizini aldıktan sonra göz ile tespit edilmesi olanaksızdır. Bu nedenle, betonun istenilen performansı verebileceğinden emin olunamamaktadır. Bu çalışma kapsamında mikrodalga tekniklerine dayanılarak hasarsız bir şekilde lifli beton içerisindeki liflerin dağılımı ve yönelimi hakkında bilgi sahibi olmak amaçlanmıştır. Bu şekilde üretilen lifli betonların tasarlanan amaca hizmet edip etmeyeceği hakkında yapılara zarar vermeden yorum yapılabilecektir.

**Anahtar Kelimeler:** Çelik lif, Lif yönelimi, Lif dağılımı, Elektromanyetik beton sensörler, Fiber takviyeli betonlar

## A Novel Approach to Determine Dispersion and Orientation of Steel Fiber Reinforced Concretes

### Abstract

Concrete is a brittle material with high compressive strength and low tensile strength. The usage of fiber materials in concretes increases flexural strength, tensile strength, impact strength, fatigue resistance and the resistance against fire and abrasion. In addition to this, it delays the crack formation, prevents crack propagation and increases the energy absorption capacity of the concrete. Even a small amount of fibrous material added into the concrete changes engineering characteristics of the concrete significantly. In the performance of the fibrous concrete, distribution and orientation of fibers inside the concrete is significantly effective. Fibers are added into the concrete when they are still wet and distributed randomly with the help of a mixer. It is impossible to determine if this distribution is homogeneous or not and how the fibers are distributed via eyes after the concrete is hardened. Therefore, it cannot be sure if the concrete can give the desired performance. In this study, it is aimed to have information about the

\*Sorumlu yazar (Corresponding author): Umur Korkut SEVİM, [ukorkut.sevim@iste.edu.tr](mailto:ukorkut.sevim@iste.edu.tr)

distribution and orientation of fibers placed in fiber reinforced concretes without damaging the structure based on microwave techniques. In this way, evaluation about whether the produced fiber reinforced concretes will serve the designed purpose without damaging the structures.

**Keywords:** Steel fiber, Fiber orientation, Fiber dispersion, Electromagnetic concrete sensors, Fiber reinforced concretes

## 1. GİRİŞ

Beton temel olarak çimento, agrega ve suyun karışımı ile elde edilen kompozit bir malzemedir. Beton yapımı için gerekli malzemelerin çok olması ve ucuz olması betonu yapı sektöründe en önemli malzeme konumuna getiren faktörlerdendir. Betonun basınç altındaki dayanımının yüksek olmasının yanı sıra çekme dayanımı da düşüktür. En yaygın yöntem olarak betonun çekme dayanımını artırmak için çelik donatılar ile güçlendirme yapılır ve ayrıca lifli malzemeler kullanılarak da betonun çekme direnci artırılabilir [1]. Yapı malzemelerinin mühendislik karakteristiklerinin değiştirilmesi yeni bir yöntem değildir. Yüzyıllar önce Mezopotamya ve antik Mısır'da kil ile samanın karıştırılarak çekme dayanımı nispeten artırılan toprak yapıların kullanımı bilinen en eski lif kullanım tekniğidir. Günümüz modern teknolojisi ile birlikte daha dayanıklı lifler üretilmiş ve beton teknolojisinde yerini almıştır. Betonun lifli malzeme ile güçlendirilmesinde temel olarak dört çeşit lif kullanılır: çelik lif, cam lif, doğal lif ve sentetik lif.

Lif kullanılmamış bir betonda oluşan bir çatlakın ilerlemesi için gerekli enerji, çatlakın başlaması için gerekli enerjinin yaklaşık yarısı kadardır. Lif kullanılması durumunda ise lifler gerilmeleri aktararak çatlakın yayılması için daha çok enerji gerektirirler [2]. Lif ile güçlendirilmiş betonların tasarlanan amaca yönelik en iyi performansı vermesi lif dağılımının homojen olmasına ve mümkün mertebe istenilen oryantasyona sahip olması ile ilişkilidir. Örneğin, basınç yüklemesinde yük eksenine dik olarak konumlanan lifler, yanıl deformasyonları azaltarak basınç yüklemesinde de betonun tokluğunu artırır [3].

Sivil yapıların bakımının ve onarımının güvenilir bir şekilde yapılması insan sağlığı açısından

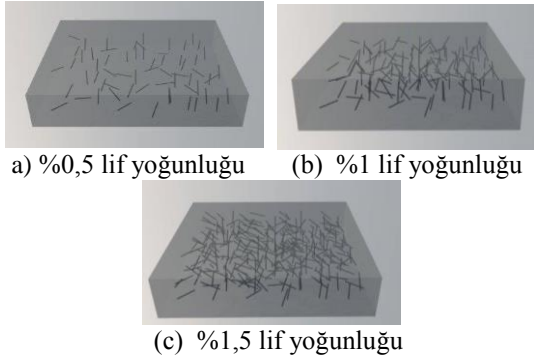
önemlidir. Yapı miktarının artmasıyla yapı kalite kontrolü giderek karmaşık bir hal almıştır. Bir yapıda hasar doğasının değerlendirilmesi ve yapısal bütünlüğünün izlenmesi süreci yapının kalıcılığı için çok önemli bir yer teşkil etmektedir.

Betonarme yapılarda lifli betonun içerisindeki lif dağılımının homojen olup olmaması ve lif oryantasyonu, lifli betonların performansını önemli derecede etkilemektedir. Beton içerisinde lif dağılımının iyi olması durumunda lifler çimento matrisinde oluşan çatlakın yol açtığı gerilmeleri üzerlerine alarak matrisin çatlamamış bölgelerine aktarırlar. Lifsiz durumda ya da lif dağılımının düzenli olmaması sebebi ile beton içerisinde lif olmayan bölgeler olması durumunda, herhangi bir sebeple oluşan mikro çatlaklar gerilmelerin artması ile birlikte her yöne yayılarak betonun parçalanmasına sebep olurlar [4]. Bu nedenle lifli betonun kalitesine gerekli özen gösterilmezse, yapının bütünlüğü ve hizmet kabiliyeti zamanla bozulacaktır. Bu nedenle, durum tespitinin yapılması gerekir. Yapıda, liflerin kullanıldığı yapı elemanlarında genel ve bölgesel incelemeler yapılır. Bölgesel incelemelerde liflerin bir yere toplanıp toplanmadığına, genel incelemede ise lif oryantasyonuna bakılır. Bu tespit teknikleri yapıların güvenliği için gerekli ve önemlidir.

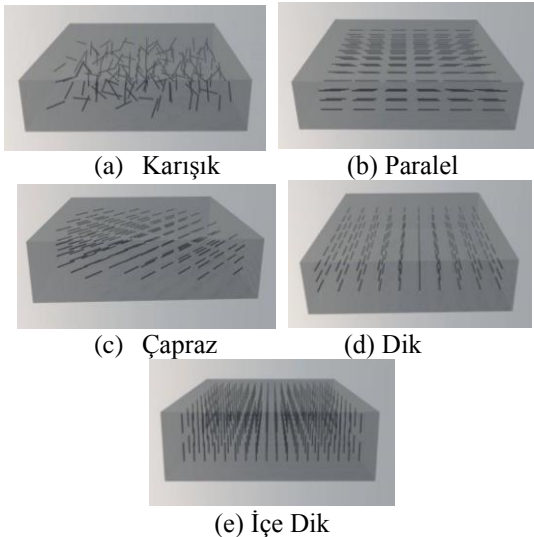
Beton içerisine ilave edilen ve rastgele dağılmış olan lifli malzemenin beton prizini aldıktan sonra nasıl dağıldığı hakkında profesyonel müdahaleler olmadıkça ya da hasarlı deneyler yapılmadıkça yorum yapmak olanaksızdır. Bu sorunun giderilmesi için lineer olarak kutuplandırılmış elektromanyetik dalgalar kullanılarak hem yoğunluk sensörü hem de sinyal emilim özelliklerine bakılarak literatürden farklı olarak mikrodalga teknikleri ve ölçüm yöntemleri kullanılarak özgün bir yöntem ile beton içerisindeki lif dağılımı ve oryantasyonu belirlenecektir.

## 2. MATERYAL METOD

Bu çalışmada beton karışımları hesaplanırken çimento olarak Portland çimentosu kullanılmış, su-çimento oranı 0,5 olup kullanılan ince ve iri agreganın en büyük çapı sırasıyla 4 ve 16 mm'dir. Çalışmada çelik lifli betonlarda, liflerin betonun içerisindeki dağılımını ve oryantasyonunu elektromanyetik teknikler ile belirlemek amacı ile çeşitli beton karışımları üretilecektir. Karışımlarda karbon çelik lif mutlak hacmin %0,5, %1 ve %1,5'i oranlarında kullanılacaktır (Şekil 1). Beton içerisinde Şekil 2'de gösterilen beş farklı lif oryantasyonuna sahip (paralel, dik, çapraz, içe dik, karışık) numuneler üretilecektir.



Şekil 1. Lif yoğunlukları

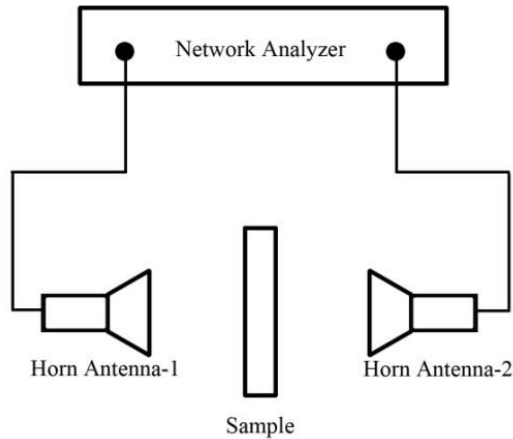


Şekil 2. Lif oryantasyonları

Hazırlanacak numuneler kademeli olarak hızlanan hız kontrollü mikser kullanılarak üretilmiştir. Beton içerisine kontrollü bir şekilde istenilen oryantasyonda lifler, beton kalıplara döküldüğü esnada yerleştirilmiştir (lif oryantasyonun ve dağılımının sisteme tanıtılması için elle lif yerleşimi yapılacaktır). Lifli beton numuneleri 20x20x5 cm<sup>3</sup> boyutlarında üretilerek, 24 saat sonra kalıptan çıkarılarak 28 gün su içerisinde kür edilmiştir.

Doğadaki her malzemede kendine özgü birçok parametre mevcuttur. Bunların en önemlilerinden biri ve bu çalışmamızın temelini oluşturan parametre dielektrik katsayısıdır. Bir malzemenin dielektrik özelliği kompleks bağlı elektriksel ve manyetik geçirgenliklerini bize sunar. Kompleks olan bu parametrelerin hem gerçel hem de sanal kısımları ayrı bir özelliği ifade etmektedir. Bu parametreler kullanılarak beton içerisindeki lif dağılımını ve oryantasyonunu belirlemek için laboratuvarımızda bulunan 10 MHz ile 43,5 GHz bant aralığına sahip Agilent marka 2-Port PNA-L Network Analyzer kullanılmıştır. Bu gelişmiş ölçü aleti iki port arasında aktarılan ve geri yansıyan gücü frekansa veya zamana bağlı olarak bize sunmaktadır. Bu parametreler saçılım parametreleri olarak adlandırılıp elektromanyetik ve özellikle anten ve mikrodalga çalışmalarında hayati öneme sahiptirler. Beton içerisindeki liflerin tane boyutunun küçük olması ve dağılımı görebilmemiz için geniş yüzeye ihtiyaç duyulduğu için düşük frekanslar dolayısıyla yüksek dalga boylarında çalışmak projenin hedeflerine ulaşması için gerekli verileri elde etmemize yardımcı olmayacaktır. Bu sebepten daha hassas sonuçlar almak için bu çalışmamızda yüksek frekanslarda çalışma yapılacaktır. Yüksek frekanslarda çalışmak çok düşük elektriksel boyutları bize sunduğu için, liflerin dağılımı ve oryantasyonunu algılamada çok faydalı olacaktır. Ultra geniş bant'a sahip iki tane doğrusal kutuplaşmaya sahip horn anten kullanılmış ve bunların arasına numune yerleştirilmiştir. Ölçümlerin hassaslığı ve doğruluğunu sağlamak için hava ve anten boyutlarına uygun metal plaka ile kalibre edilmiş ve sisteme entegre gelen yazılım ile kompleks elektrik geçirgenliğine ve manyetik geçirgenliğine bakılmış ve kaydedilmiştir. Sonuçlar

değerlendirilirken farklı oryantasyona ve lif yoğunluğuna sahip numunelerin saçılım yani S parametreleri, elektriksel geçirgenlik ve yansım, cole cole değerleri karşılaştırılarak sonuçlar yorumlanacaktır. Deney düzeneği Şekil 3'te şematize edilmiştir.



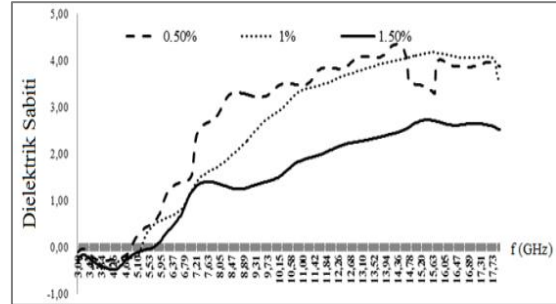
Şekil 3. Elektromanyetik özelliklerin ölçümünde kullanılacak laboratuvar kurulumu

### 3. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

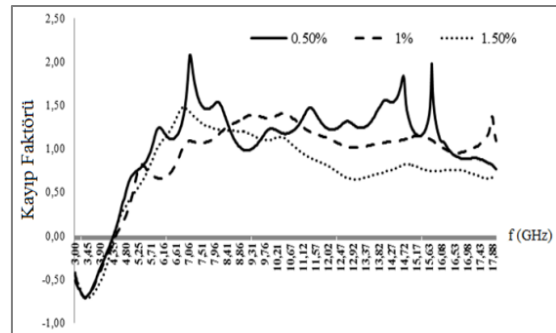
#### 3.1. Çelik Lif Yoğunluğu Tespiti

Sertleşmiş beton içerisindeki lif yoğunluğunu tespit edebilmek için 5 cm kalınlıkta, 20x20 cm<sup>2</sup> ölçülerine sahip kalıplara mutlak hacmin sırasıyla %0,5, 1 ve 1,5'i kadar çelik lif taze beton içerisinde rastgele dağıtılarak lifli beton numuneler üretilmiştir. Farklı yoğunlukta çelik lif içeren betonların dielektrik sabitleri ve kayıp tanjant değerleri saçılım parametreleri kullanılarak hesaplanmıştır. Şekil 4 a ve b'den anlaşılacağı üzere beton içerisindeki çelik lif yoğunluğunun artmasıyla birlikte betonun dielektrik sabiti azalmaktadır. Bunun sebebi çelik lifin artmasıyla betonun birim yoğunluğunun artması ile açıklanabilir. Beton dielektrik katsayıları arasındaki fark en açık şekilde 9.13 GHz frekans değeri yakınlarında görülmüştür. Tek bir frekans değerinde bile beton içerisindeki çelik lif yoğunluğunun hasarsız bir şekilde tahmin edilebileceği bu yöntem ile mümkün kılınmıştır. Ayrıca karbon çelik lif yoğunluğu frekansın 14.78

olduğu civarlarda kayıp faktörü ile de belirlemenin mümkün olduğu görülmüştür.



Şekil 4.a. Karbon çelik lif yoğunluğunun farklı olduğu betonlardaki dielektrik sabit değerleri

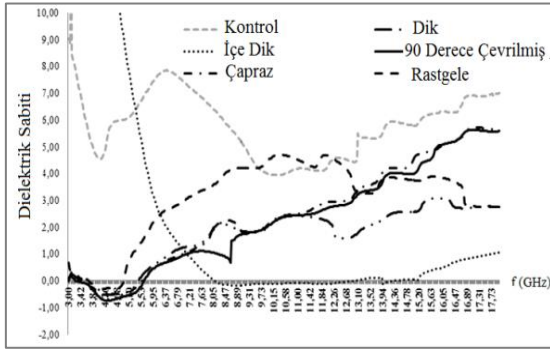


Şekil 4.b. Karbon çelik lif yoğunluğunun farklı olduğu betonlardaki kayıp faktörü değerleri

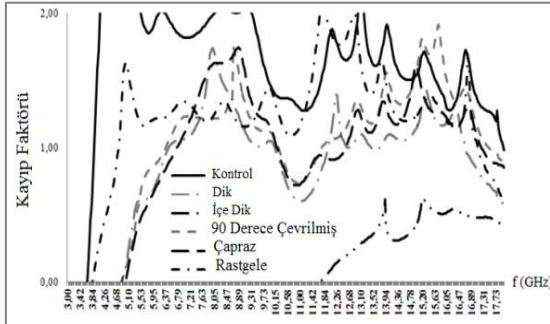
#### 3.2. Çelik Lif Oryantasyon Tespiti

Bu bölümde sertleşmiş beton içerisindeki liflerin oryantasyonu mikrodalga test yöntemleri kullanılarak hasarsız bir şekilde tespit edilmiştir. Liflerin beton içerisindeki oryantasyonu betonun mekanik özellikleri için önem arz etmektedir. Bu sebepten lifli betonların dielektrik sabitleri ve kayıp faktörleri mikrodalga ölçüm teknikleri kullanılarak tespit edilecektir. Lif oryantasyonunu tespit etmek için ilk olarak 0,5 su çimento oranına ve mutlak hacmin %1 kadar çelik lif içeren beton özel olarak hazırlanmış 5 cm kalınlığında 20x20 cm<sup>2</sup> ölçülerine sahip kalıplara dökülmüştür. Daha sonra Şekil 2'de gösterildiği üzere istenilen oryantasyonda lifler el ile kontrollü bir şekilde beton içerisine yerleştirilmiştir ve bir gün sonra

kalıptan çıkarıldıktan sonra lifli beton numuneler 28 gün boyunca su dolu bir tankta kür edilmişlerdir. Son olarak da elektromanyetik testler yapılarak Şekil 5 a-b sonuçları elde edilmiştir.



Şekil 5.a. Polarize edilmiş elektrik alana dik, içe dik, çapraz, 90 derece çevrilmiş ve rastgele dağılmış yönelime sahip karbon çelik lif içeren betonların dielektrik sabiti değerleri



Şekil 5.b. Polarize edilmiş elektrik alana dik, içe dik, çapraz, 90 derece çevrilmiş ve rastgele dağılmış yönelime sahip karbon çelik lif içeren betonların kayıp faktörü değerleri

Test sonuçlarında görünen dielektrik sabiti ve kayıp faktörü Nicolson Ross Weir (NRW) metodu [5] kullanılarak yansıma ve iletim parametreleri ile bulunmuştur. Şekil 9 a'da görüldüğü üzere frekansın 15,17 GHz olduğu noktada farklı oryantasyona sahip lifli betonların dielektrik sabitleri açıkça birbirinden farklıdır. Dielektrik sabitleri içe dik, dik, rastgele, çapraz 90 derece çevrilmiş, çapraz ve içerisinde lif olmayan kontrol numunesinin sırasıyla 0, 2,8, 3,8, 4, 4,2 ve 5,8'dir.

Bunun yanında kayıp faktörleri frekansın 12,20 olduğu civarda içe dik, çapraz, çapraz 90 derece çevrilmiş, dik, kontrol ve rastgele dağıtılmış lif oryantasyonunda sırasıyla 0,18, 0,88, 1,12, 1,43, 1,67 ve 2,00'dir. Test sonuçlarından da anlaşılacağı gibi lif oryantasyonu betonun elektriksel özelliklerinden faydalanarak sabit bir frekansta hasarsız bir şekilde tespiti mümkündür. Bu sistemin çalışması için belirli bir frekans seçilir ve güvenilir sonuçlar maliyeti çok ucuz olan bir yöntem ile hasarsız bir şekilde sanayeler içinde tespit edilir.

#### 4. SONUÇ

Lifli betonlarda beton içerisindeki lif yoğunluğu (liflerin beton içerisinde homojen olarak dağılıp dağılmadığını tespit etmek için) ve lif oryantasyonu lifli betonun performansını etkileyen önemli parametreler olmasına rağmen sertleşmiş beton içerisindeki lif dağılımını ve yönelimini tespit etmek için standart bir yöntem yoktur. Mevcut yöntemler ya karmaşık prosedürler içeren ya da pahalı olan sistemlerdir. Bu çalışmadaki yenilikçi bir yöntem ile birlikte beton içerisindeki liflerin homojen dağılıp dağılmadığı ve istenilen yönde olup olmadığı hasarsız bir şekilde yapılabileceği mümkün kılınmıştır. Yapılan deney sonuçları göstermiştir ki; sertleşmiş beton içerisindeki lifler hakkında betona hasar vermeden yorum yapılabilir. Böylelikle üretimi yapılmış lifli betonların kalite kontrolü daha güvenilir, hassas ve hasarsız bir şekilde tespiti yapılabilecektir.

#### 4. KAYNAKLAR

1. Beglarigale, A., Yazıcı, H., 2015. Pull-out Behavior of Steel Fiber Embedded in Flowable RPC and Ordinary Mortar, Construction and Building Materials, vol. 75, pp. 255–265.
2. Octávio, C., Dias-da-Costa, D., Alfaiate, J., Júlio, E., 2016. Modelling the behaviour of Steel Fibre Reinforced Concrete using a Discrete Strong Discontinuity Approach, Engineering Fracture Mechanics, vol. 154, pp. 12–23.
3. Barnett, S.J., Lataste, J.F., Parry, T., Millard, S., G., Soutsos, M.N., 2010. Assessment of

- Fibre Orientation in Ultra High Performance Fibre Reinforced Concrete and its Effect on Flexural Strength, *Materials and Structures*, vol. 43(7), pp. 1009–1023.
4. Kang, S.T., Lee, B.Y., Kim, J.K., Kim, Y.Y., 2011. The Effect of Fibre Distribution Characteristics on the Flexural Strength of Steel Fibre-reinforced Ultra High Strength Concrete, *Construction and Building Materials*, vol. 25(5), pp. 2450–2457.
  5. Luukkonen, O., Maslovski, S.I., Tretyakov, S.A., 2011. A Stepwise Nicolson-Ross-Weir-Based Material Parameter Extraction Method, *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 10, pp. 1295–1298.

## Effect of Titanium Dioxide and Titanium Dioxide-Silver Nanoparticles on Seed Germination of Lettuce (*Lactuca sativa*)

Zeynep Görkem DOĞAROĞLU\*<sup>1</sup>, Nurcan KÖLELİ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Mersin

Geliş tarihi: 01.09.2016

Kabul tarihi: 01.10.2016

### Abstract

The aim of this study was to evaluate the effects of TiO<sub>2</sub> and TiO<sub>2</sub>Ag nanoparticles on seed germination of lettuce (*Lactuca sativa*). Two parameters were examined in this study: number of seed germination and root-shoot elongation. Lettuce seeds in petri dishes were separately treated with different concentrations (control, 10, 20, 40, 60, 80 and 100 mg/L) of 5 mL TiO<sub>2</sub> and TiO<sub>2</sub>Ag nanoparticle suspensions. Number of seed germination was increased at increasing TiO<sub>2</sub> nanoparticles concentration especially at 80 and 100 mg/L TiO<sub>2</sub> with compared to control and also determined that radicle increased with TiO<sub>2</sub> and TiO<sub>2</sub>Ag treatment at 20 mg/L and 10 mg/L respectively.

**Keywords:** Lactuca sativa, Nanotoxicology, Phytotoxicity, Seed germination

## Titanyum Dioksit ve Titanyum Dioksit-Gümüş Nanopartiküllerinin Marul (*Lactuca sativa*) Tohumunun Çimlenmesine Etkisi

### Öz

Bu çalışmanın temel amacı TiO<sub>2</sub> ve TiO<sub>2</sub>Ag nanopartiküllerinin marul (*Lactuca sativa*) bitkisinin tohum çimlenmesine etkisinin değerlendirilmesidir. Çalışmada iki farklı parametre değerlendirilmiştir: tohum çimlenme sayısı ve kök-gövde uzaması. Marul tohumları petri kaplarına yerleştirildikten sonra farklı derişimlerdeki (kontrol, 10, 20, 40, 60, 80 ve 100 mg/L) 5'er mL TiO<sub>2</sub> ve TiO<sub>2</sub>Ag nanopartikül süspansiyonlarına maruz bırakılmıştır. Sonuçta marul tohumlarının çimlenme sayılarının nanopartikül derişimi arttıkça arttığı ve bu artışın özellikle 80 ve 100 mg/L TiO<sub>2</sub> konsantrasyonlarında gerçekleştiği belirlenmiştir. Ayrıca kök radikula uzamasının 20 mg/L TiO<sub>2</sub> ve 10 mg/L TiO<sub>2</sub>Ag nanopartikül derişimlerinde artış gösterdiği tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Lactuca sativa, Nanotoksikoloji, Fitotoksosite, Tohum çimlenmesi

\*Sorumlu yazar (Corresponding author): Zeynep Görkem DOĞAROĞLU, gorkemgulmez@mersin.edu.tr

## 1. INTRODUCTION

Nanotechnology is an application of scientific knowledge to manipulate the nature at the nanoscale, distinctively with bulk materials [1]. Nanoparticles (NPs) are sized between 1-100 nm which have some unique properties. Nanoparticles exist into the nature as a result of some human activities, this existence can be deliberate (e.g. soil and water remediation, fertilizer usage) and/or unintentional releases (e.g. water, air and application of sewage sludge to the soil) [2]. Physical and chemical properties of nanoparticles influence their impacts on environment and living organisms. There are less information in the literature about properties and application of nanoparticles and also due to concerns over possible adverse effects of nanotechnology on the living organisms so, many question marks about the nanoparticles [1,2].

Nanoparticles are present in the environment because of their increasing use and have the ability to enter, move into different parts of organism, and damage organisms. Overproduction, common use, and disposal of NPs will fatefully cause their release into atmospheric, aquatic and terrestrial environment [3]. Silver (Ag) and titanium dioxide (TiO<sub>2</sub>) nanoparticles are the most widely used types of nanoparticles. On the basis of common applications, considerable fraction of Ag nanoparticles and TiO<sub>2</sub> nanoparticles will find their way into aquatic and terrestrial ecosystems in time [4].

The photosensitivity and biocidal properties of Ag and TiO<sub>2</sub> nanoparticles have been found to be toxic to various organisms. The previous studies provide valuable information for further understanding the fate and toxicological risks of Ag and TiO<sub>2</sub> nanoparticles. However, there is scarce information about the effects of coexisting Ag and TiO<sub>2</sub> nanoparticles on the fate and ecological risks. On the one hand, coexistence of both of these nanoparticles may exert enhancing toxicity due to synergistic effects of Ag and TiO<sub>2</sub> nanoparticles, on the other hand, antagonistic effects may also be observed because of the absorptive effects of TiO<sub>2</sub> NPs on Ag ions [4]. Ag nanoparticles are

commonly used as an antibacterial agent, so this causes the presence of Ag nanoparticles in the environment via wastewater. Silver nanoparticles may easily enter the environment following their release from Ag nanoparticles and the major products which contained textiles, cosmetics, plastics, medical equipment, food containers, washing machines, pesticides and paints [5]. Ultimately, most nanoparticles will end up in the aquatic and terrestrial environment. Recently, Ag nanoparticles fate in the environment has been investigated and its potential eco-toxicological affect inspire the interests [6].

Plants are the most important component between soil and nanoparticles so they may serve potential pathway for NPs transport and accumulation in the food chain [7,8]. Crop plants are more likely to be exposed to nanoparticles than other plants because of application of treatment sludge in soils and usage of Ag nanoparticles in pesticides. Seed exposure to nanoparticles may cause decrease in seed germination, poor healthy root-shoot growth and less evapotranspiration and after the root exposure, the roots uptake the nanoparticles caused phytotoxic and genotoxic effects [6]. There is an increasing amount of investigation effect of some nanoparticles on various organisms but there is much less knowledge on the effect of TiO<sub>2</sub> nanoparticles on plants [3,7,9-11] compared to animals [12]. In the literature some researchers studied phytotoxicity of different nanomaterials (Multi-walled carbon nanotubes, Aluminum oxide, Zinc oxide, Al, Zn Cerium dioxide, Lanthanum (III) oxide, Gadolinium (III) oxide, Ytterbium oxide) and effect on seed germination of some plants (rye grass, corn, radish, rape, tomato, lettuce, wheat, cabbage, and cucumber). They reported that the higher concentrations of nano sized ZnO and Zn nanoparticles inhibited the germination of corn and ryegrass, respectively [13]. Lin and Xing [3], reported that the nanoparticles species and concentrations most effective parameters in root growth. Other researchers reported that the CeO<sub>2</sub> nanoparticles affected root elongation only lettuce in high concentration and the other three types of nanoparticles significantly affected root elongation at the same concentration [13,14]. Barrena et al.



determined that metallic nanoparticles ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , Ag and Au) had low effect on lettuce and cucumber [15]. Most of the nanoparticles cause toxic effects on plants in high concentrations and the toxicity threshold changes with species of plants and nanoparticles [3,16] also the surface characteristic of nanoparticles is important in the phytotoxic effects [17].

The main objective of this study is to determine the effect of  $\text{TiO}_2$  and  $\text{TiO}_2\text{Ag}$  nanoparticles on seed germination of lettuce (*Lactuca sativa*), also we measured the root and shoot length of germinated plants.

## 2. MATERIALS AND METHODS

### 2.1. Chemicals

Titanium dioxide and  $\text{TiO}_2\text{Ag}$  nanoparticles (~30 nm) were commercially prepared by Dr. Birol Karakaya with sol-gel method and the characterization of the  $\text{TiO}_2$  and  $\text{TiO}_2\text{Ag}$  nanoparticles suspension was performed by TEM technique.

### 2.2. Seed Germination and Root Elongation Assay

According to US Environmental Protection Agency, seed germination and root elongation assay are two standard indicators to determine the phytotoxicity [13]. The seeds selected were of uniform size to minimize error in seed germination and seedling vigor. Experiments were performed at 25°C using 10 seeds in 10 cm petri dishes. Filter paper cut to fit regular petri dishes was used as inert material. A double-layer of filter paper was placed in the petri dish. Ten lettuce seeds were placed in every petri dishes and were separately treated with different concentrations (0 (control), 10, 20, 40, 60, 80 and 100 mg/L) of  $\text{TiO}_2$  and  $\text{TiO}_2\text{Ag}$  NPs suspensions. After the 7 days seed germination, average lettuce plants were chosen in every petri dish and root-shoot length were measured. Germination was determined based on the number of seeds germination in a petri dish, and also root-shoot length was measured by millimetric paper. Two parameters are examined in

this study: number of seed germination and root-shoot elongation.

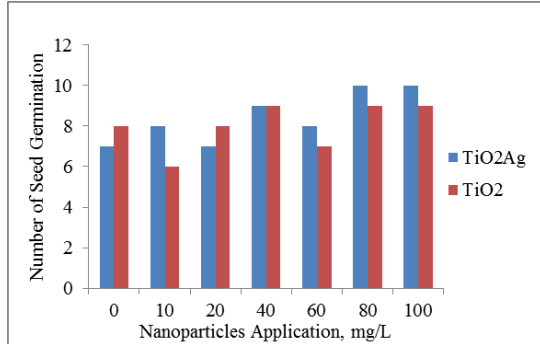
## 3. RESULTS

Seed coat protects the embryo against adverse environmental conditions and it causes inhibition of nanoparticles through into the seed via semipermeable structure, but it may not be possible at any time [10,18]. Nanoparticles size and type are the principal factors at this stage. Titanium dioxide and  $\text{TiO}_2\text{Ag}$  NPs application significantly affected on lettuce seed germinations. The comparative of seed germination results can be observed from the table (Table 1). The results showed that the effect of nanoparticles can be change nanoparticles type and concentrations. As shown in Figure 1, at high concentration especially  $\text{TiO}_2\text{Ag}$  NPs application enhanced the seed germination.

**Table 1.** Number of the seed germinations after nanoparticles application

Nanoparticles Application, mg/L	$\text{TiO}_2\text{Ag}$	$\text{TiO}_2$
0	7	8
10	8	6
20	7	8
40	9	9
60	8	7
80	10	9
100	10	9

It is important that the healthier plants depend on having a healthy root system. The root and shoot elongation help to assess the health of plants, so in this study, the root and shoot length measurements was realized for understanding the effect of  $\text{TiO}_2$  and  $\text{TiO}_2\text{Ag}$  nanoparticles on lettuce plants at seedling stage (Table 2).



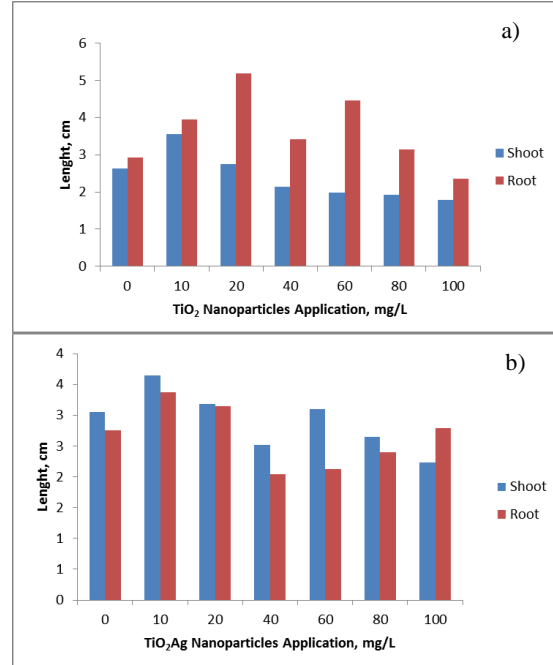
**Figure 1.** Effect of TiO<sub>2</sub> and TiO<sub>2</sub>Ag NPs on lettuce seed germination

The effect of TiO<sub>2</sub> and TiO<sub>2</sub>Ag nanoparticles on root and shoot elongation of lettuce was shown in Figure 2a and Figure 2b, respectively. TiO<sub>2</sub> nanoparticles had adverse effect on shoot elongation, after application of the 20 mg/L TiO<sub>2</sub> nanoparticles there was significant decreases in shoot length. On the other hand, TiO<sub>2</sub> nanoparticles promoted the root elongation, especially at 20 mg/L, as shown in Figure 2a.

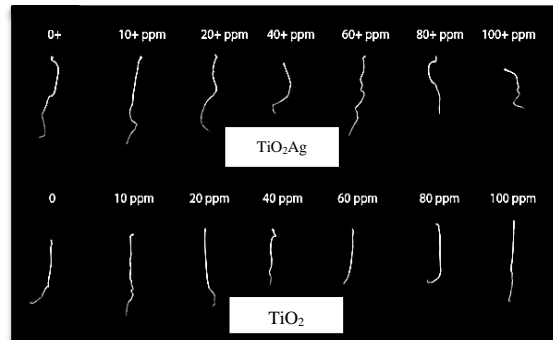
**Table 2.** Root and shoot length after application TiO<sub>2</sub>Ag and TiO<sub>2</sub> nanoparticles

NPs Application (mg/L)	TiO <sub>2</sub> Ag		TiO <sub>2</sub>	
	Root Length (cm)	Shoot Length (cm)	Root Length (cm)	Shoot Length (cm)
0 (Control)	2.8	3.1	2.9	2.6
10	3.4	3.7	4.0	3.6
20	3.1	3.2	5.2	2.8
40	2.0	2.5	3.4	2.1
60	2.1	3.1	4.5	2.0
80	2.4	2.7	3.1	1.9
100	2.8	2.2	2.4	1.8

However TiO<sub>2</sub>Ag nanoparticles promoted the seed germination, it had adverse effect on root-shoot elongation. Titanium dioxide-silver nanoparticles had adversely effect on root and shoot elongation, especially at high concentrations. Minimum elongation was observed at the 40 mg/L TiO<sub>2</sub>Ag concentration as shown in Figure 2b. Both of these nanoparticles effects on lettuce as visual were shown in Figure 3, briefly.



**Figure 2.** Effect of different TiO<sub>2</sub> (a) and TiO<sub>2</sub>Ag NPs concentration on root and shoot elongation of lettuce



**Figure 3.** Effect of TiO<sub>2</sub>Ag and TiO<sub>2</sub> NPs on root and shoot elongation of lettuce

It is known that the seed germination and root elongation tests are widely used for determining the phytotoxic effects in plants. These tests have some advantages such as rapid, sensitivity, low cost and suitability for different chemicals [3]. Limited reports in the literature emphasized the positive, negative or no effects of nanoparticles on plants. But it is clear that same nanoparticles have different effects on different plants.

#### 4. CONCLUSION

Last decades of nanotoxicology research has been increased in the literature. MWCNT, fullerene and metallic (e.g. ZnO, TiO<sub>2</sub>) nanoparticles are test materials which commonly used for determining and understanding better the nanotoxicity mechanisms of nanoparticles. Plants are the most important component between soil and nanoparticles. Seed coat is the most important part of the seed germination which has semipermeable structure. This structure allows or not allows nanoparticles to pass through the seed coat. If the nanoparticles pass through the coat, toxic effects may occur in the seed germination stage. If the nanoparticles cannot pass through the coat, the toxic effects may occur in the seedling stage. The pore size of the plants and nanoparticles size are the most affective parameters in this stage. Nanoparticles increase or inhibit the root and shoot elongation or it may be ineffective. In this study, we evaluated that the effect of ~30 nm TiO<sub>2</sub> and TiO<sub>2</sub>Ag nanoparticles on seed germination and root-shoot elongation of lettuce. Titanium dioxide and TiO<sub>2</sub>Ag nanoparticles application promoted the seed germinations, especially in high doses and also application of TiO<sub>2</sub> nanoparticles promoted the root elongation almost whole concentrations as compared with the control, but there was decreasing with increasing concentrations on shoot elongation. TiO<sub>2</sub>Ag nanoparticles have inhibitory effects on root and shoot elongations. The lack of information, the possibility of adverse impacts on the environment, safety and sustainability, are still a challenge [2]. Transfer in the food chain of nanoparticles via plants should be considered in the life cycle analysis of nanoparticles, especially through the roots. Future studies should also need to clarify the nanotoxicology, possible uptake by plants and translocation of nanoparticles to different parts of plants [19].

#### 5. ACKNOWLEDGEMENT

The authors would like to thank Dr. Birol KARAKAYA for preparing the TiO<sub>2</sub> and TiO<sub>2</sub>Ag nanoparticles samples.

#### 6. REFERENCES

1. Santos, C.S.C., Gabriel, B., Blanchy, M., Menes, O., García, D., Blanco, M., Arconada, N., and Neto, V., 2015. Industrial Applications of Nanoparticles—a Prospective Overview, *Materials Today: Proceedings*, 2, 456–465.
2. Shah, V., Belozero, I., 2009. Influence of Metal Nanoparticles on the Soil Microbial Community and Germination of Lettuce Seeds, *Water Air Soil Pollution*, 197, 143–148.
3. Lin, D., Xing, B., 2007. Phytotoxicity of Nanoparticles: Inhibition of Seed Germination and Root Growth, *Environmental Pollution*, 150, 243-250.
4. Zou, X., Shi, J., Zhang, H., 2014. Coexistence of Silver and Titanium Dioxide Nanoparticles: Enhancing or Reducing Environmental Risks?, *Aquatic Toxicology*, 154, 168–175.
5. Doolettea, C.L., McLaughlina, M.J., Kirby, J.K. Navarrob, D.A., 2015. Bioavailability of Silver and Silver Sulfide Nanoparticles to Lettuce (*Lactuca sativa*): Effect of Agricultural Amendments on Plant Uptake, *Journal of Hazardous Materials*, 300, 788–795.
6. Larue, C., Castillo-Michel, H., Sobanska, S., Cécillon, L., Bureau, S., Barthès, V., Ouerdane, L., Carrière, M., Sarret, G., 2014. Foliar Exposure of the Crop *Lactuca sativa* to Silver Nanoparticles: Evidence for Internalization and Changes in Ag Speciation, *Journal of Hazardous Materials*, 264, 98–106.
7. Du, W., Sun, Y., Ji, R., Zhu, J., Wu, J., Guo, H., 2011. TiO<sub>2</sub> and ZnO Nanoparticles Negatively Affect Wheat Growth and Soil Enzyme Activities in Agricultural Soil, *Journal of Environmental Monitoring*, 13, 822-828.
8. Kundu, S., Adhikari, T., Rao, A.S., 2015. Nanotechnology, Plant Nutrition and Climate Change, Chapter 9 in *Climate Dynamics in Horticultural Science*, vol. 2, p. 152.
9. Larue, C., Laurette, J., Herlin-Boime, N., Khodja, H., Fayard, B., Flank, A.M., et al., 2012. Accumulation, Translocation and Impact of TiO<sub>2</sub> Nanoparticles in Wheat (*Triticum aestivum* spp.): Influence of Diameter and Crystal Phase, *Science of the Total Environment*, 43, 197–208.

10. Song, U., Jun, H., Waldman, B., Roh, J., Kim, Y., Yi, J., Lee, E.J., 2013. Functional Analyses of Nanoparticle Toxicity: A Comparative Study of the Effects of TiO<sub>2</sub> and Ag on Tomatoes (*Lycopersicon esculentum*), *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 93, 60-67.
11. Gubbins, E.J., Batty, L.J., Lead, J.R., 2011. Phytotoxicity of Silver Nanoparticles to *Lemna Minor L.*, *Environmental Pollution*, 159, 1551-1559.
12. Feizi, H., Amirmoradi, S., Abdollahi, F., Pour, S.J., 2013. Comparative Effects of Nano Sized and Bulk Titanium Dioxide Concentrations on Medicinal Plant *Salvia officinalis L.*, *Annual Review & Research in Biology*, 3(4), 814-824.
13. Ma, X., Geisler-Lee, J., Deng, Y., Kolmakov A., 2010. Interactions Between Engineered Nanoparticles (ENPs) and Plants: Phytotoxicity, Uptake and Accumulation Review, *Science of The Total Environment*, 408(16), 3053–3061.
14. Khot, L.R., Sankaran, S., Maja, J.M., Ehsani, R., Schuster, E.W., 2012. Applications of Nanomaterials in Agricultural Production and Crop Protection: A Review, *Crop Protection*, 35, 64-70.
15. Barrena, R., Casals, E., Colon, J., Font, X., Sanchez, A., Puentes, V., 2009. Evaluation of the Ecotoxicity of Model Nanoparticles, *Chemosphere.*; 75, 850–857.
16. Lee, W.M., An, Y.J., Yoon, H., Kweon, H.S., 2008. Toxicity and Bioavailability of Copper Nanoparticles to The Terrestrial Plants Mung Bean (*Phaseolus Radiatus*) and Wheat (*Triticum Aestivum*): Plant Agar Test For Water-Insoluble Nanoparticles, *Environmental Toxicology and Chemistry*, 27(9), 1915–1921.
17. Yang, L., Watts, D.J. 2005. Particle Surface Characteristics May Play an Important Role in Phytotoxicity of Alumina Nanoparticles, *Toxicol. Lett.*, 158, 122-132.
18. Boonyanitipong, P., Kositsup, B., Kumar, P., Baruah, S., Dutta, J., 2011. Toxicity of ZnO and TiO<sub>2</sub> Nanoparticles on Germinating Rice Seed *Oryzasativa L.*, *International Journal of Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics*, 1(4), 282-285.
19. Nair, R., Varghese, S.H., Nair, B.G., Maekawa, T., Yoshida, Y., Kumar, D.S., 2010. Nanoparticulate Material Delivery to Plants, *Plant Science*, 179, 154–163.

## A Parametric Study on Evaluation of Backfill Interaction on Seismic Response of a Cantilever Wall

Tufan ÇAKIR<sup>\*1</sup>

<sup>1</sup>Gümüşhane University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Civil Engineering, Gümüşhane

Geliş tarihi: 26.06.2016

Kabul tarihi: 28.09.2016

### Abstract

Knowledge of the seismic behavior of cantilever retaining walls is an important component for their successful design in earthquake prone areas. In this study, a finite element procedure was used to investigate the effects of backfill soil properties variation on seismic response of a cantilever retaining wall. In this procedure, not only soil-structure interaction but also backfill-wall interaction was taken into consideration. Considering four different backfill soil conditions, the dynamic analyses of backfill-cantilever wall-soil/foundation system were carried out in time domain through ANSYS program. The magnitudes of lateral displacements and stresses were determined by performing non-linear time history analyses. As a result, based on the response amplification/reduction pattern observed on the lateral displacements and stresses, it is concluded that the dynamic behavior of cantilever walls is highly sensitive to the backfill characteristics.

**Keywords:** Soil-structure interaction, Seismic response, Finite element method, Time history

### Konsol Bir İstinat Duvarının Sismik Davranışı Üzerinde Dolgu Etkileşiminin Değerlendirilmesi Üzerine Parametrik Bir Çalışma

### Öz

Konsol duvarların sismik davranışının bilinmesi, bu yapıların deprem bölgelerindeki başarılı tasarımını tesis etmek için önemli bir unsurdur. Bu çalışmada, konsol bir istinat duvarının sismik tepkisi üzerinde dolgu özellikleri değişiminin etkilerini incelemek için bir sonlu elemanlar yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde zemin-yapı ve dolgu-duvar etkileşimleri dikkate alınmıştır. Dört farklı dolgu zemini koşulu dikkate alınarak, dolgu-konsol duvar-temel/zemin sisteminin dinamik analizleri zaman ortamında ANSYS programıyla gerçekleştirilmiştir. Yerdeğiştirme ve gerilmeler doğrusal olmayan analizlerle belirlenmiş ve dinamik davranışın dolgu özelliklerine oldukça duyarlı olduğu ortaya konmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Zemin-yapı etkileşimi, Sismik davranış, Sonlu elemanlar metodu, Zaman geçmişi

---

\*Sorumlu yazar (Corresponding author): Tufan ÇAKIR, cakirtufan@hotmail.com

## **1. INTRODUCTION**

Retaining wall is a kind of structure that prevents soil from collapsing and sliding by withstanding the earth pressures generated by soil, and has been widely used in railways, bridges, building structures, hydraulic and harbor engineering. For the safety design of retaining wall under static and seismic load, earth pressures on retaining wall need to be estimated. However, reliable prediction of earth pressures is difficult due to the soil-structure interaction which is seriously influenced by backfill and subsoil material properties, wall flexibility, wall displacement, wave propagation and so on [1].

Reinforced concrete cantilever retaining walls represent a popular type of retaining system. It is widely considered as advantageous over traditional gravity walls since it combines economy and ease in construction and installation. The concept is deemed particularly rational, as it exploits the stabilizing action of the soil weight over the footing slab against both sliding and overturning, thus allowing construction of walls of considerable height. For walls of this type structural weight is not predominant as equilibrium depends mainly on backfill actions and the resistance of foundation soil [2].

There are mainly three categories of methods for design and seismic analysis of retaining walls: (a) analytic limit-state analysis methods where the wall can displace and/or rotate sufficiently at its base to induce a limit or failure state in the backfill, (b) analytic linear elastic or viscoelastic methods where the wall remains fixed at its base and the backfill soil is considered to respond in a linear elastic or viscoelastic manner, (c) numerical methods of solution, mainly finite element methods under the assumption of linear elastic or nonlinear elastoplastic soil behavior [3-6]. The present paper belongs to the third category of methods to seismically analyze the cantilever retaining wall under consideration. An extensive list of papers for each one of the above three categories can be found in [3-12], and the details need not be repeated herein.

Considering previous investigations on cantilever retaining walls, it is seen that most of them have concentrated on the estimation of earthquake-induced earth pressures. On the other hand, limited research has been done on the effects of soil-structure interaction on seismic behavior of cantilever walls under three dimensional conditions. Thus, the objective of this paper is to investigate the seismic response of a cantilever retaining wall considering the effects of backfill interaction. In line with this aim, a series of seismic analyses were carried out taking four different backfill soil conditions into consideration in time domain.

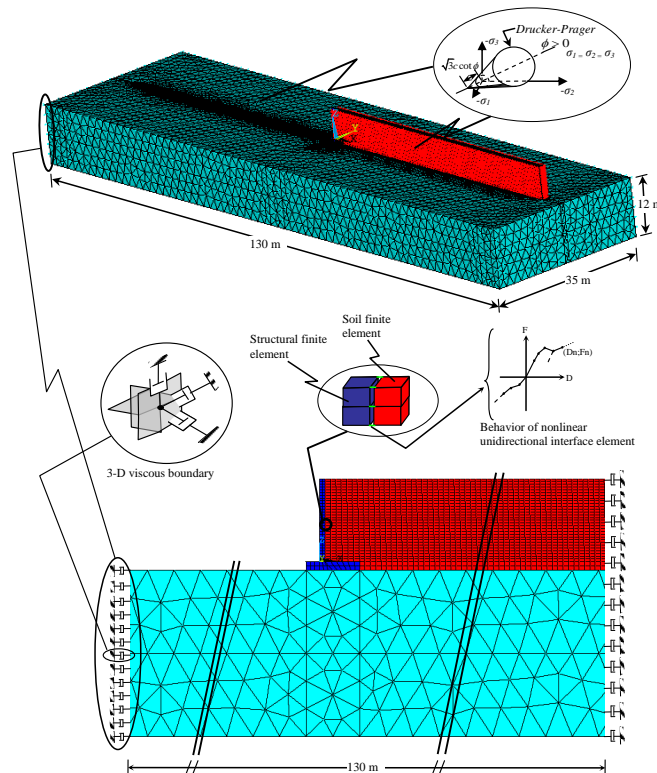
## **2. FINITE ELEMENT MODEL AND SEISMIC ANALYSIS**

For solving the problem of backfill-cantilever wall-soil/foundation system, the general purpose structural analysis program ANSYS was used [13]. Numerical analysis of the cantilever retaining wall problem with backfill and subsoil interactions and subjected to earthquake loading is a complex problem. Figure 1 shows the proposed finite element model for the problem of cantilever retaining wall. The heights of the wall and soil stratum are considered to be the same. The vertical stem height of the cantilever wall is  $H=6$  m, the wall stem has a constant thickness of 0.4 m, the thickness of base slab is 0.6 m, and the base slab width is 4.0 m. The cantilever wall system is founded on a deformable soil layer of thickness  $2H$ . In the finite element modelling, the structural wall is modelled with 3 D reinforced concrete solid elements (SOLID65) defined by eight nodes having three translational degrees of freedom in each node. The SOLID65 is used for the 3 D modeling of solids with or without reinforcing bars. The solid is capable of cracking in tension and crushing in compression. The backfill and soil/foundation system are modelled with 3 D structural solid elements (SOLID185) with eight nodes having three degrees-of-freedom at each node: translations in the nodal x, y, z directions. The SOLID65 has plasticity, hyperelasticity, stress stiffening, creep, large deflection, and large strain capabilities. It also has mixed formulation

capability for simulating deformations of nearly incompressible elastoplastic materials, and fully incompressible hyperelastic materials. Reasonable modelling of the wall-backfill interface requires using special interface elements between the wall and the adjacent soil to allow for separation. Hence, as a special interface element, nonlinear spring (COMBIN39) is used between the backfill and the wall allowing for the opening and closing of the gaps (i.e. de-bonding and bonding) to model backfill-wall interaction in this study. COMBIN39 is a unidirectional element with nonlinear generalized force-deflection capability that can be used in any analysis. The element has longitudinal or torsional capability in 1 D, 2 D, or 3 D applications. The longitudinal option is a uniaxial tension-compression element with up to three degrees of freedom at each node: translations in the nodal x, y, and z directions.

Another important consideration in the dynamic finite element analyses is the modeling of

semi-infinite extent of the soil medium. The general approach of treating these problems is to divide the infinite medium into the near field (truncated layer), which includes the irregularity as well as the non-homogeneity of the soil adjacent to the structure, and the far field, which is simplified as an isotropic homogeneous elastic medium [14]. In this study, the viscous boundary model [15] is used in three dimensions to consider radiative effect of the seismic waves through the soil medium. To represent the behavior of the semi-infinite backfill medium, the critical minimum distance from the face of the wall is taken as 10 H, a value which is believed to approximate adequately the behavior of the semi-infinite layer [4,9]. In this context, the dashpots were also placed 10H away from the wall in three dimensions to improve the accuracy of the simulation. Similarly, the artificial viscous boundaries have been placed in three dimensions on the boundaries of soil/foundation medium.



**Figure 1.** Finite element model of the system

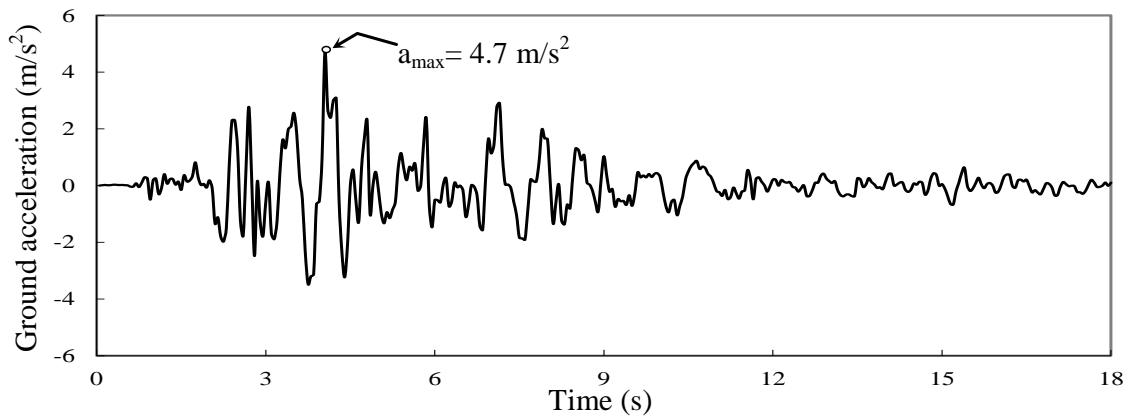
A series of seismic analyses with variation of parameters such as physical and mechanical properties of backfill soil were carried out employing the proposed finite element model. The Young's modulus, Poisson's ratio and unit weight of the wall are 28000 MPa, 0.2 and 25 kN/m<sup>3</sup>, respectively. The Young's Modulus, the Poisson's ratio and the unit weight of cohesionless foundation soil were taken to be 500 MPa, 0.35 and 19 kN/m<sup>3</sup>, respectively. To evaluate backfill interaction effects on dynamic

response of the cantilever retaining wall supported on flexible foundation, four different backfill soil types were considered in the analyses (Table 1). "CLS090" component of 1989 Loma Prieta earthquake was used in the nonlinear time history analyses (Figure 2). The horizontal peak ground acceleration for the record reaches 4.7 m/s<sup>2</sup>. Furthermore, Rayleigh damping was taken into consideration in the analyses. The damping values for both structure and soil were presumed to be 5%.

**Table 1.** Backfill soil properties considered in this study

Soil types	E (kN/m <sup>2</sup> )	G (kN/m <sup>2</sup> )	$\nu$	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	V <sub>s</sub> (m/s)	V <sub>p</sub> (m/s)
S1	300000	111111	0.35	19	241.83	503.40
S2	150000	55556	0.35	19	171.00	355.96
S3	75000	26786	0.40	18	121.99	298.81
S4	35000	12500	0.40	18	83.33	204.12

E: Young's modulus, G: Shear modulus,  $\nu$ : Poisson's ratio,  $\gamma$ : Unit weight, V<sub>s</sub>: Shear wave velocity, V<sub>p</sub>: Dilatational wave velocity



**Figure 2.** CLS090 component of 1989 Loma Prieta earthquake

### 3. RESULTS AND DISCUSSIONS

Table 2 summarizes the maximum top displacements and the stress responses at the front and back faces of the cantilever wall and their occurrence times depending on the variation of backfill soil properties. The table indicates that the responses of the system are different from each other so that the maximum values of both lateral displacements and stresses changed with changing

soil conditions. It is worth stating here that the displacements represent the relative lateral displacements of the wall with respect to the ground.

It is observed from Table 2 that as the backfill soil stiffness decreases, the displacement response generally tends to increase for all conditions, and this reflects a significant backfill influence on the response. For example, while the maximum lateral



displacement is estimated as 0.0043 m for S1 soil type, the same quantity is calculated as 0.0054 m for S4 soil type under Loma Prieta earthquake. Thus, it can be highlighted that SSI affects the wall

behavior so that the increment in the displacement response is almost at a level of 26% between S1 and S4 soil types.

**Table 2.** Seismic analysis results considering backfill-wall interaction

Soil types	S1		S2		S3		S4	
	t (s)	Value	t (s)	Value	t (s)	Value	t (s)	Value
$u_t$ (m)	4.00	-0.0043	4.00	-0.0050	4.00	-0.0054	4.00	-0.0054
$S_{zb}$ (MPa)	4.30	-5.4828	4.30	-5.2210	3.90	4.6066	4.30	-3.7675
$S_{yb}$ (MPa)	4.25	-0.8016	4.25	-0.7406	3.90	0.6381	3.90	0.5018
$S_{xb}$ (MPa)	4.30	-2.0368	4.30	-1.9433	3.90	1.6775	4.30	-1.3360
$S_{zf}$ (MPa)	4.30	5.5371	4.30	5.2822	3.90	-4.6663	4.30	3.8180
$S_{yf}$ (MPa)	4.25	0.5423	4.25	0.4945	4.25	0.4182	3.90	-0.3274
$S_{xf}$ (MPa)	4.25	0.7665	4.25	0.6772	4.25	0.5624	4.25	0.4356

$u_t$  : Maximum lateral top displacement of cantilever wall;  $S_{zb}$ ,  $S_{yb}$  and  $S_{xb}$  : Stresses estimated on the back face (backfill side) of the cantilever wall in  $z$ ,  $y$  and  $x$  directions, respectively;  $S_{zf}$ ,  $S_{yf}$  and  $S_{xf}$  : Stresses estimated on the front face of the cantilever wall in  $z$ ,  $y$  and  $x$  directions, respectively.

The computed stress responses can also be compared to introduce the backfill interaction effects. As seen from Table 2, the maximum stresses obtained at the critical sections of the wall change with varying soil conditions. The table indicates that as the backfill soil stiffness decreases, the displacement response generally tends to decrease for all conditions, and this reflects a significant backfill influence on the response. For example, while the peak stress, as compression, has the value of 5.4828 MPa for S1 soil type, it is calculated as 3.7675 MPa for S4 soil type at the back face of the cantilever retaining wall in  $z$  direction. This reflects a stress decrement of about 31% between S1 and S4 soil types due to the variation of backfill soil conditions. A similar trend can be observed for the other directions.

#### 4. CONCLUSIONS

The paper presents the results of a parametric study aimed to assess the dynamic response of a cantilever T-type retaining wall consisted of a concrete stem and base slab which form an inverted T considering not only soil-structure but

also backfill-wall interactions. The analyses were carried out using advanced numerical modelling of backfill-cantilever wall-foundation/soil system. Four non-linear time-history analyses were performed using different backfill soil conditions. The results are presented in terms of the lateral displacements and stresses in the wall obtained from nonlinear time history analyses. It is obvious that the seismic response of cantilever retaining wall is significantly affected from the backfill-structure interaction, and it is found to be very sensitive to changes in backfill soil properties.

#### 5. ACKNOWLEDGEMENTS

This research has been supported by Gümüşhane University Scientific Research Projects Coordination Department. Project Number: 15.F5110.02.02.

#### 6. REFERENCES

1. Shi, H., Jinxing, G., Yanqing, Z., 2016. Earth Pressure of Layered Soil on Retaining

- Structures, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 83, 33-52.
2. Kloukinas, P., Penna, A., di Santolo, A.S., Bhattacharya, S., Dietz, M., Dihoru, L., Evangelista, A., Simonelli, A.L., Taylor, C.A., Mylonakis, G., 2012. Experimental Investigation of Dynamic Behavior of Cantilever Retaining Walls, Second International Conference on Performance-Based Design in Earthquake Geotechnical Engineering, Taormina, Italy, May 28-30, paper no. 13.08.
  3. Nazarian, H.N., Hadjian, A.H., 1979. Earthquake-Induced Lateral Soil Pressures on Structures, J. Geotech. Eng. Div., ASCE, 105(GT9), 1049-1066.
  4. Veletsos, A.S., Younan, A.H., 1994. Dynamic Soil Pressures on Rigid Vertical Walls, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 23(3), 275-301.
  5. Vrettos, C., Beskos, D.E., Triantafyllidis, T., 2016. Seismic Pressures on Rigid Cantilever Walls Retaining Elastic Continuously Non-Homogeneous Soil: An Exact Solution, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 82, 142-153.
  6. Cakir, T., 2013. Evaluation of the Effect of Earthquake Frequency Content on Seismic Behavior of Cantilever Retaining Wall Including Soil-Structure Interaction, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 45, 96-111.
  7. Theodorakopoulos, D.D., Chassiakos, A.P., Beskos, D.E., 2001. Dynamic Pressures on Rigid Cantilever Walls Retaining Poroelastic Soil Media. Part I. First Method of Solution, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 21, 315-338.
  8. Gazetas, G., Psarropoulos, P.N., Anastasopoulos, I., Gerolymos, N., 2004. Seismic Behavior of Flexible Retaining Systems Subjected to Short-Duration Moderately Strong Excitation, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 24, 537-550.
  9. Psarropoulos, P.N., Klonaris, G., Gazetas, G., 2005. Seismic Earth Pressures on Rigid and Flexible Retaining Walls, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 25, 795-809.
  10. Giarlelis, C., Mylonakis, G., 2011. Interpretation of Dynamic Retaining Wall Model Tests in Light of Elastic and Plastic Solutions, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 31, 16-24.
  11. Cakir, T., 2014a. Influence of Wall Flexibility on Dynamic Response of Cantilever Retaining Walls, Structural Engineering and Mechanics, 49, 1-22.
  12. Cakir, T., 2014b. Backfill and Subsoil Interaction Effects on Seismic Behavior of a Cantilever Wall, Geomechanics and Engineering, 6, 117-138.
  13. ANSYS 13.0, ANSYS Inc., Canonsburg, PA, 2010.
  14. Wolf, J.P., Song, C., 1996. Finite Element Modelling of Unbounded Media, 11<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering, San Francisco.
  15. Lysmer, J., Kuhlemeyer, R.L. 1969. Finite Dynamic Model for Infinite Media, J. Eng. Mech. Div., ASCE, 95, 859-877.

## Meyve Suyu Endüstrisi Atıksuyundan Mikrobiyal Biyopolimer Üretiminin Araştırılması

Ezgi BEZİRHAN ARIKAN<sup>\*1</sup>, Havva Duygu ÖZSOY<sup>1</sup>, Abdullah EROL<sup>1</sup>,  
Ayşe İSLAMOĞLU<sup>1</sup>, Derya Nida KAYA<sup>1</sup>, Sevinç ÇAKMAK<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Mersin

Geliş tarihi: 10.08.2016

Kabul tarihi: 16.10.2016

### Öz

Biyoplastiklerin, geleneksel plastikler kadar yaygın kullanılmamasının en önemli nedeni yüksek üretim maliyetleridir. Bu nedenle son zamanlarda yapılan çalışmalar, yenilenebilir kaynaklar yerine atıklardan/atıksulardan biyoplastik üretimine odaklanmıştır. Ayrıca atıksudan biyoplastik üretiminde, saf kültür yerine aktif çamur gibi farklı mikrobiyal topluluklardan oluşan sistemlerin tercih edilmesi sterilizasyon işlemini ortadan kaldırdığından toplam üretim maliyetinde de azalmaya neden olmaktadır. Bu çalışmada, meyve suyu endüstrisi atıksuyunda bulunan karışık mikrobiyal biyokütle tarafından biyopolimer üretimi araştırılmıştır. Bu amaçla, Mersin İli'nde bulunan bir meyve suyu endüstrisinin atıksuyu, laboratuvar ölçekli 5 L hacmindeki ardışık kesikli reaktöre 10 günlük alıkonma süresi ve 120 L/sa'lik debi ile beslenmiştir. İlk bölme kısa bolluk, ikinci bölme uzun kıtlık ve üçüncü bölme çöktürme ünitesi olarak tasarlanan ardışık kesikli reaktörden 10 günlük alıkonma süresinin sonunda alınan çamur deneysel çalışmalarda kullanılmıştır. Çalışmada, 1 g çamurun kuru kütlesinden elde edilen biyopolimer %19 olarak saptanmıştır. Ayrıca, kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) giderim veriminin %77, AKM giderim veriminin ise %98 olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Aktif çamur, Ardışık kesikli reaktör, Biyoplastik, Biyopolimer, Meyve suyu endüstrisi atıksuyu

### Investigation of Microbial Biopolymer Production from Fruit Juice Industry

#### Abstract

Bioplastics have not been used as much as traditional plastics because of their cost of production. Therefore, recent research has focused on producing bioplastics from wastes/wastewater instead of renewable resources. Moreover, the preference for systems consisting of different microbial communities such as activated sludge instead of pure culture decrease to total production cost. In this study, biopolymer production was investigated by mixed microbial biomass in the fruit juice wastewater. Wastewater of fruit juice industry located in Mersin was fed with a laboratory-scale 5 L sequencing batch reactor (SBR) with 10 day retention time and a flow rate of 120 L/h. SBR was designed three compartment; first feast phase, second famine phase and third settling unit. At the end of retention time, sludge taken from settling unit was used for experimental studies. 19% biopolymer was obtained from dry mass of 1 g sludge. COD removal yield was 77%; SS removal yield was 98%.

**Keywords:** Activated sludge, Bioplastic, Biopolymer, Fruit juice industry wastewater, Sequencing batch reactor

\*Sorumlu yazar (Corresponding author): Ezgi BEZİRHAN ARIKAN, [ezgibezirhan@gmail.com](mailto:ezgibezirhan@gmail.com)

## 1. GİRİŞ

Plastikler, ahşap ve kağıt gibi malzemelere göre daha hafif ve ucuz olmaları nedeniyle endüstrideki tüketimi giderek artmaktadır. Ancak bu tüketimin getirdiği çevresel problemler, yasal baskılar ve plastiğin üretiminde kullanılan hammadde fiyatlarındaki dalgalanmalar plastik üretiminde alternatif arayışları gündeme getirmiştir. Son yıllarda geliştirilen alternatif malzemelerden biri de biyoplastiklerdir.

Biyoplastikler genellikle, şeker, mısır ve patates gibi [1,2] protein, lipid ve polisakkaritleri içeren yenilenebilir kaynaklardan [3,4] ya da bazı mikroorganizmalardan, alglerden ve mantarlardan üretilen [5,6] malzemelerdir.

Farklı türde mikroorganizmaların azotça fakir ve karbonca zengin atıksularda polihidroksi alkanat (PHA), polihidroksi bütirat (PHB) gibi biyopolimer türlerini üretebildikleri bilinmektedir. PHA'lar doğada bakterilerin şeker ya da yağları fermente etmesi ile üretilen düz zincirli poliesterlerdir. Bunlar, bakteriler tarafından karbon ve enerji depolamak için üretilmektedirler [7]. PHA'lar, ilaç ve hormonların yavaş salınımı için kullanılan kapsüller, kemik plakaları, sentetik kemik üretimi materyalleri, ameliyat iplikleri gibi medikal uygulamalarda ve boya üretimi, yalıtım malzemesi üretimi gibi endüstrilerde ham madde olarak kullanılabilir. Ayrıca herbisit ve insektisitlerin yavaş salınımları için tarımda, aroma ve kokunun zamanla ortaya çıkması amacıyla gıda endüstrisinde de kullanılabilir.

Yıllardır gündemden düşmeyen açlık problemleri nedeniyle biyoplastik üretiminde gıda hammaddelerinin kullanılması üreticiler ve tüketiciler tarafından büyük bir çelişki olarak görülmüştür. Aynı zamanda gıda hammaddelerinden biyoplastiğin üretim maliyetini artırdığı da düşünülmektedir. Üretim maliyetinin yüksek olması biyoplastiklerin geleneksel plastikler kadar yaygın kullanılmasını da engellemektedir. Çünkü geleneksel plastiklerin 1 kg'ı yaklaşık 1,2 € iken, biyoplastiklerin 1 kilogramı 3 ile 5 € arasında değişmektedir [8].

Bu nedenlerle, son zamanlarda yapılan araştırmalar biyoplastiklerin üretim maliyetlerinin azaltılması üzerine odaklanmıştır. Ayrıca, biyoplastiklerin üretimi için (1) daha ucuz substratların kullanımının, (2) yeni fermantatif teknolojik yöntemlerin [9,10], (3) biyoplastiğin geri kazanım ve saflaştırma yöntemlerinin [11] ve (4) sterilizasyon olmaksızın karışık kültürler ile üretim yöntemlerinin araştırılması gerekmektedir [12].

Çukurova Bölgesinde bulunan Mersin İli Türkiye'nin meyve ve sebze üretiminin ve işlenmesinin merkezlerinden biridir. Seracılık faaliyetlerinin geliştiği bu bölge, iklimi nedeni ile sebze ve meyveleri her sezonda yetiştirilebilme şansına sahiptir. Özellikle sebze ve meyve işleme sırasında açığa çıkan atık sular ve posa, yüksek karbon içeriği nedeni ile PHA ya da özellikle PHB türevleri üretebilen mikroorganizmaların çok düşük maliyet ile yetiştirilebilmesi için oldukça uygun bir substrat olarak görülmektedir. Çünkü meyve suyu üretim endüstrisi atık suları organik asitler ve mono/disakkaritler gibi düşük molekül ağırlıklı ve kolay parçalanabilir organik içeriği yüksek atık sular olarak bilinmektedirler.

Meyve işleme endüstrilerinde oluşan atıksuların arıtılmadan doğaya deşarj edilmesi, bir dizi çevresel probleme neden olabilir. Bu nedenle, yasal düzenlemelerin baskısı altında fiziksel, kimyasal, biyolojik arıtım tekniklerinden bir veya birkaçı kullanılarak arıtmaları gerçekleştirilir. Arıtım maliyetinin yüksek ya da düşük olması atığın karakterine bağlı olarak değişse de bu maliyet işletme sahiplerine ek yük getirdiğinden, ürünün satış fiyatına yansıtılmakta ve ürünün tüketiciye yüksek fiyattan ulaşmasına neden olmaktadır.

Aktif çamur gibi karışık mikrobiyal biyokütle içeren sistemlerin sterilizasyon gerektirmemeleri ve ucuz/karışık türde besin kaynağı (substrat) içeren atıksuyun kullanılması ile biyoplastik üretim maliyetini azaltılacağı öngörülmektedir. Bu nedenlerle bu çalışmanın amacı, meyve suyu endüstrisi atıksuyunun giderimini sağlarken, aynı zamanda aktif çamur prosesi ile bu atıksudan biyopolimer üretimini araştırmaktır.

## 2. MATERYAL VE METOT

### 2.1. Materyal

Çalışmada biyopolimer üretimi için gereken mikrobiyal biyokütlenin eldesinde meyve suyu endüstrisi atık suyu kullanılmıştır. Meyve suyu endüstrisi atıksuyu Mersin İlinde bulunan Anadolu Etap Tarım ve Gıda Ürünleri San. ve Tic. AŞ'den temin edilmiştir. Çalışmada kullanılan aktif çamur ise aynı işletmenin atıksu arıtma tesisinin havalandırma havuzundan temin edilmiştir. Bütün çalışmalar Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği su ve atıksu laboratuvarı ile biyoteknoloji laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

### 2.2. Metod

#### 2.2.1. Atıksu Karakterizasyonu

Meyve suyu endüstrisi atık suyunun karakterizasyonu amacı ile pH, iletkenlik, sıcaklık, Askıda katı madde (AKM) ve Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) analizleri standart metotlara göre gerçekleştirilmiştir [13].

#### 2.2.2. Ardışık Kesikli Reaktör Çalışmaları

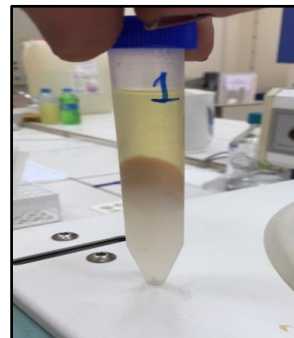
Çalışmalar, laboratuvar ölçekli üç kademedan oluşan 5L hacimli reaktörlerde gerçekleştirilmiştir. İlk kademe mikroorganizmaların biyokütle artışının gerçekleşmesi için, atıksu 120 L/sa'lik debi ve 10 gün'lük alıkonma süresi ile beslenmiştir. Reaktörün ikinci kademesi, birinci kademedan gelen azot oranı düşük atıksu ile beslenmiştir. Sistemin her iki kademesi de yeterli çözülmüş oksijenin sağlanması amacıyla havalandırılmış ve tam karışım sağlanmıştır. Ayrıca reaktörün her iki kademesine de toplamda 875 mL olmak üzere aktif çamur ilavesi yapılmıştır. Alıkonma süresi içerisinde 1-2-3-5-8-9 ve 10. günlerde meyve suyu atıksuyunda arıtımın gerçekleştirilip gerçekleştirilmediğinin tespiti amacı ile KOİ, AKM, pH ve iletkenlik parametreleri de belirlenmiştir.

Alıkonma süresinin sonunda, biyokütlenin hasatı çöktürme amaçlı tasarlanmış olan reaktörün üçüncü kademesinden çöktürülerek gerçekleştirilmiştir. Hasat edilen biyokütle, biyopolimer ekstraksiyon çalışmalarında kullanılmıştır.

#### 2.2.3. Biyopolimer Ekstraksiyon Analizleri

Hasat edilen biyokütle santrifüj edilerek (6000 rpm, 20 dakika) sıvı fazdan ayrılmıştır. Santrifüj sonrası toplanan biyokütle tartıldıktan (yaş ağırlık) sonra 80°C'de 24 saat süre ile etüvde kurutularak sabit tartıma getirilmiş ve kuru kütle saptanmıştır [14].

Ardından elde edilen kuru kütlede biyopolimerin gravimetrik tayini [15] gerçekleştirilmiştir; 1 g kuru kütle hassas terazide tartılarak 50 mL'lik santrifüj tüpüne konmuş ardından üzerine 12,5 mL sodyum hipoklorit ve 12,5 mL kloroform eklenerek ve vortekslenmiştir. Vortekslenen numune 30°C'de su banyosunda 90 dk bekletilmiş, 90 dk'nın sonunda 4000 rpm'de 15 dk santrifüjlenmiştir. Santrifüj sonunda oluşan 3 tabakadan (Şekil 1) en alt faz pipetle dikkatlice alınarak bir tüpe konulmuştur. 7/3 oranında hazırlanan metanol/su karışımından 1,25 mL bu fazın üstüne eklenmiş ve filtre edilmiştir. Tüpün ağzı açık kalacak şekilde 48 saat (çözücülerin uçurulması için) çeker ocakta bekletilmiş, 48 saatin sonunda elde edilen peletlerin tartımı yapılmıştır. 1 g kuru kütlede elde edilen biyopolimer miktarı yüzde olarak sonuçlandırılmıştır.



Şekil 1. Biyopolimerin gravimetrik tayini sırasında oluşan üç faz

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 3.1. Atıksu Karakterizasyon Sonuçları

Standart metotlara göre belirlenen meyve suyu endüstrisi giriş atık suyunun karakterizasyon sonuçları Çizelge 1’de gösterilmektedir.

**Çizelge 1.** Meyve işleme endüstrisi giriş atıksuyu parametreleri

Parametreler	Değer
AKM (mg/L)	7554
KOİ (mg/L)	7191,4
pH	6,24
İletkenlik (µs/cm)	272

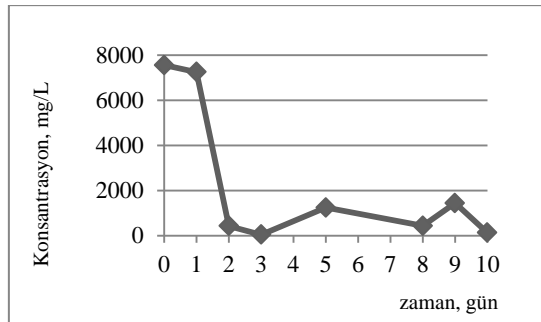
#### 3.2. Ardışık Kesikli Reaktör Çalışmaları

Üç kademeli 5L’lik reaktörün alıkonma süresi içerisinde 1-2-3-5-8-9 ve 10. günlerinde meyve suyu atıksuyunda arıtımın gerçekleştirilip gerçekleştirilmediğinin tespiti amacı ile gerçekleştirilen KOİ, AKM, pH ve iletkenlik analizlerinin sonuçları Çizelge 2’de gösterilmektedir.

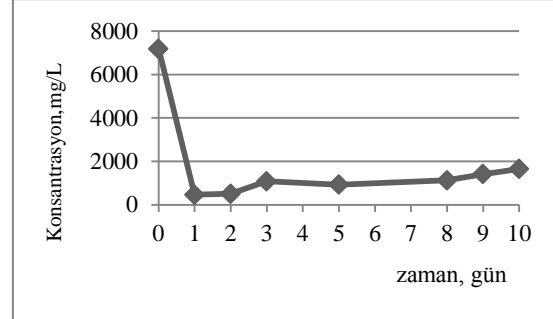
**Çizelge 2.** Meyve işleme endüstrisi giriş atıksuyu parametreleri

Parametreler	1. gün	2. gün	3. gün	5. gün	8. gün	9. gün	10. gün
AKM (mg/L)	7250	426,6	43,93	1243	436	1443	130
KOİ (mg/L)	464,2	509,7	1081,1	925,1	1124	1412,6	1649,4
pH	8,8	8,6	6,94	7,62	6,55	7,26	7,35
İletkenlik (µs/cm)	315	391	262	351	362	297	265

KOİ ve AKM parametrelerinin zamana bağlı değişimleri ise Şekil 2 ve Şekil 3’de gösterilmektedir.



**Şekil 2.** AKM'nin zamana bağlı değişim grafiği



**Şekil 3.** KOİ'nin zamana bağlı değişim grafiği

Analiz sonuçlarına göre reaktöre yükleme yapıldıktan 1 gün sonra KOİ gideriminde %93 oranında, alıkonma süresi sonunda ise %77 oranında giderim belirlenmiştir. Reaktöre yükleme yapıldıktan 2 gün sonra ise AKM gideriminde %94, alıkonma süresinin sonunda ise %98 verim elde edildiği tespit edilmiştir. AKM ve KOİ parametrelerinin zamanla değişiklik göstermesi atıksudaki biyokütlenin zamanla artışı ve azalışına bağlanmaktadır.

#### 3.3 Biyopolimer Ekstraksiyon Analizi Sonuçları

Reaktörden hasat edilen biyokütlenin kuru kütlesine uygulanan gravimetrik biyopolimer tayini sonucunda 1 g kuru biyokütleden 0,19 g biyopolimer elde edilmiştir. Buna göre meyve suyu endüstrisi atıksuyu ile beslenen tam karışimli reaktörde biyopolimer elde etme verimi %19 olarak tespit edilmiştir.

### 4. SONUÇ

DeneySEL çalışmalar sonucunda, 120 L/sa’lik debi ile tam karışimli ardışık kesikli reaktöre beslenen meyve suyu endüstrisi atıksuyunun 10 gün’lük alıkonma süresi sonunda %77 oranında KOİ giderimi, %98 oranında ise AKM giderimi sağlanmış, %19 oranında da biyopolimer elde edildiği tespit edilmiştir. Alıkonma süresinin kısaltılması ile arıtım veriminin de artacağı düşünülmektedir. Biyopolimer ekstraksiyon yöntemlerinin biyopolimer eldesinde önemli rol oynadığı düşünülerek, çalışmanın farklı yöntemlerle yinelenmesi ile elde edilen

biyopolimer yüzdesinin artırılacağı düşünülmektedir. Dinamik şartlarda zenginleştirilen biyokütlenin daha yüksek organik yüklemelere maruz bırakılması ile daha fazla biyopolimer depolayacağı da düşünülmektedir. Ayrıca çalışma sonunda elde edilen biyopolimer türünün (PHA, PHB vb.) belirlenmesi de önerilmektedir.

## 5. KAYNAKLAR

1. Sarasa, J., Gracia, J.M., Javierre, C., 2008. Study of the Biodisintegration of a Bioplastic Material Waste, *Bioresource Technology*, 100, 3764-3768.
2. Karana, E., 2012. Characterization of 'Natural' and 'High-quality' Materials to Improve Perception of Bioplastics, *Journal of Cleaner Production*, 37, 316-325.
3. Averous, L., 2004. Biodegradable Multiphase Systems Based on Plasticized Starch: a Review, *J. Macromol. Sci. C Polym. Rev.*, 44, 231-274.
4. Siracusa V., Rocculi P., Romani S., Dalla Rosa M., 2008. Biodegradable Polymers for Food Packaging: a Review, *Trends Food Science Technology*, 19, 634-643.
5. Luengo, J.M., Garcia, B., Sandoval, A., Naharro, G., Olivera, E.R., 2003. Bioplastics from Microorganisms, *Current Opinion in Microbiology*, 6, 251-260.
6. Özdemir, N., Erkmén, J., 2013. Yenilenebilir Biyoplastik Üretiminde Alglerin Kullanımı, *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi/The Black Sea Journal of Sciences*, 3(8), 89-104.
7. Başak B., İnce O., 2011. Azot Kısıtlı Atıksulardan Biyoplastik Üretimi için Yeni Bir Aktif Çamur Prosesi, *İTÜ Dergisi, Su Kirliliği ve Kontrolü*, 21(1), 45-54.
8. Song, J.H., Murphy, R., Narayan, J.R., Davies, G.B.H., 2009. Biodegradable and Compostable Alternatives to Conventional Plastics, *Phil. Trans. R. Soc.* 364, 2127-2139.
9. Choi, J., Lee, S.Y., 1999. Efficient and Economical Recovery of Poly (3-hydroxybutyrate) from Recombinant *Escherichia coli* by Simple Digestion with Chemicals, *Biotechnol. Bioeng.*, 62(5), 546-553.
10. Lee, S.Y., 1996. Plastic Bacteria? Progress and Prospects for Polyhydroxyalcanoate Production in Bacteria, *Trends Biotechnol.*, 14(11), 431-438.
11. Shang, L., Jiang, M., Chang, H.N., 2003. Poly (3-Hydroxybutyrate) Synthesis in Fedbatch Culture of *Ralstonia Eutropha* with Phosphate Limitation under Different Glucose Concentrations, *Biotechnol. Lett.*, 25, 1415-1419.
12. Bosco, F., Chiampo, F., 2010. Production of Polyhydroxyalcanoates (PHAs) using Milk Whey and Dairy Wastewater Activated Sludge Production of Bioplastics using Dairy Residues, *Journal of Bioscience and Bioengineering* 109(4), 418-421.
13. APHA, AWWA, WPCF., 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21<sup>st</sup> Ed., Washington D.C.
14. Mitra, D., Rasmussen, M.L., Chand, P., Chintareddy, V.R., Yao, L., Grewell, D., Verkade, J., Wang, T., van Leeuwen, J.H., 2012. Value-added Oil and Animal Feed Production from Corn-ethanol Stillage using the Oleaginous Fungus *Mucor Circinelloides*, *Biores. Technol.*, 107, 368-375.
15. Wang, B., Sharma-Shivappa, R.R., Olson, J.W., Khan, S.A., 2013. Production of Polyhydroxybutyrate (PHB) by *Alcaligenes Latus* using Sugarbeet Juice, *Industrial Crops and Products*, 43, 802-811.





## **Design of the Dual–Wideband Monopole Antenna for UMTS, WLAN and WiMAX Applications by using a Novel Hybrid Optimization Algorithm**

**Deniz ÜSTÜN<sup>\*1</sup>, Ali AKDAĞLI<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Mersin University, Tarsus Technology Faculty, Department of Software Engineering, Mersin

<sup>2</sup>Mersin University, Faculty of Engineering, Department of Electrical–Electronics Engineering, Mersin

Geliş tarihi: 03.07.2016

Kabul tarihi: 27.09.2016

### **Abstract**

In this study, a compact dual–wideband monopole antenna is proposed for the universal mobile telecommunications system (UMTS), wireless local area network (WLAN) and worldwide interoperability for microwave access (WiMAX) applications. In order to obtain the desired operating frequency bands, UMTS (1.9–2.1 GHz), WLAN (2.4/5.2/5.8 GHz) and WiMAX (2.5/3.5/5.5 GHz), a novel integration technique consisting of the HyperLynx<sup>®</sup> 3D electromagnetic (EM) platform based on the method of moments (MoM) and a new hybrid optimization algorithm (HOA) is utilized. The HOA is developed by integrating powerful mutation and crossover strategies of differential evolution (DE) algorithm with the onlooker bee phase of the artificial bee colony (ABC) algorithm. The monopole antenna is capable of producing two distinct operating bands. First impedance bandwidth of 2.48 GHz is from 1.44 to 3.92 GHz and second band having the bandwidth of 1.58 GHz is between 4.92 and 6.50 GHz. The proposed antenna has been designed, simulated and fabricated on 42×49.2×1.6 mm<sup>3</sup> FR4 substrate with relative permittivity 4.4 and loss tangent 0.02. The better performance in terms of impedance matching is achieved, as compared to the double–or triple–band antennas previously published in the literature. In addition, the design antenna performs the omnidirectional radiation patterns with a good gain performance in the operating bands.

**Keywords:** Hybrid optimization method, Artificial bee colony (ABC), Differential evolution (DE), Dual–wideband monopole antenna

### **Yeni Bir Melez Optimizasyon Algoritması Kullanarak UMTS, WLAN ve WiMAX Uygulamaları için Çift–Geniş Bantlı Monopole Anten Tasarımı**

### **Öz**

Bu çalışmada, UMTS (universal mobile telecommunications system), WLAN (wireless local area network) ve WiMAX (worldwide interoperability for microwave access) uygulamaları için bir kompakt

---

\*Sorumlu yazar (Corresponding author): Deniz ÜSTÜN, [denizustun@mersin.edu.tr](mailto:denizustun@mersin.edu.tr)

çift-geñiřbantlı monopol anten önerilmiştir. UMTS (1,9–2,1 GHz), WLAN (2,4/5,2/5,8 GHz) ve WiMAX (2,5/3,5/5,5 GHz) uygulamalarında arzu edilen çalışma bantlarını elde etmek amacıyla, momentler metoduna dayalı HyperLynx® 3D elektromanyetik platformundan ve yeni bir melez optimizasyon algoritmasından (MOA) oluşan entegre yeni bir teknik kullanılmıştır. MOA, farksal gelişim (FG) algoritmasının güçlü mutasyon ve çaprazlama operatörlerinin, yapay arı kolonisi (YAK) algoritmasının izleyici arı fazına entegre edilmesi ile geliştirilmiştir. Modellenen anten iki ayrı çalışma bandı üretmiştir. Birinci banda ait geñiřlik, 1,44 GHz'den 3,92 GHz'e kadar toplam 2,48 GHz'dir ve ikinci çalışma bandı ise 4,92 GHz'den 6,50 GHz'e kadar toplam 1,58 GHz'lik bir geñiřliğe sahiptir. Önerilen anten tasarımdan sonra benzetimleri gerçekteştirilmiş daha sonra, 4,4 dielektrik sabitli ve 0,02 tanjant kayıplı  $42 \times 49,2 \times 1,6 \text{ mm}^3$  boyutlarında FR4 altaş malzemesi kullanılarak üretilmiştir. Empedans eşlemesi açasından, daha önce literatürde yayınlanan çift ve üç bantlı antenlerle karşılaştırıldığında, önerilen antenin çok daha iyi bir performansla sahip olduğu görölmüştür. Bununla birlikte, çalışma bantları içinde tarsarlanan anten, çok iyi bir kazançla birlikte yönsüz bir radyasyon desenine sahiptir.

**Anahtar Kelimeler:** Melez optimizasyon metodu, Yapay arı kolonisi (YAK), Farksal gelişim (FG), Çift-geñiř bant monopol anten

## 1. INTRODUCTION

The wireless communication technologies which are universal mobile telecommunications system (UMTS), wireless local area network (WLAN), and worldwide interoperability for microwave access (WiMAX) applications have rapidly developed in recent years. At the same time, due to the increasing application areas of multiband frequency microstrip antennas in the modern world, the most of microstrip antenna designs have focused on the structures of antenna integrating various frequencies into a single system. The microstrip antennas have various advantages such as small size, low cost, wide bandwidth, good radiation pattern, simplicity in fabrication and easy integration with microwave devices. Additionally, these antennas have been widely utilized in wireless communication applications to meet the multiband, wideband applications and size reduction operations. So far, numerous microstrip antennas have been proposed to reduce size, enhance bandwidth, obtain multiband characteristic [1–18]. Two different coplanar waveguide (CPW) fed monopole antennas embedded slots into the patch and ground plane have been reported for operating in WLAN [1,2]. The triple-band antennas designed by using defected ground structure were presented for the WLAN and WiMAX, respectively [3,4].

In Ref. [5], a multiband characteristic for WiMAX has been obtained by using a planar inverted L-shaped monopole antenna design with L-shaped parasitic strip. In Ref. [6], a monopole antenna designed by utilizing a modified fork-shaped strip has been reported for the multiple impedance bandwidths covering WLAN and WiMAX. In [7–9], the CPW-fed monopole antennas designed by using different strip geometries have been investigated to achieve the tri-band for WLAN/WiMAX applications. In Ref. [10], a novel, broadband, compact and slot antenna with a parasitic element and a grounded inverted L-shaped strip was reported for WLAN/WiMAX frequencies. In [11,12], the two microstrip antennas which have different geometries for WLAN and WiMAX have been presented to produce dual resonant modes, respectively. The novel microstrip antenna designs [13–16] with different geometric shapes have been investigated to achieve multiband operation covering the frequency bands of WLAN and WiMAX. In Ref. [17], a compact triband square-slot antenna for WLAN and WiMAX applications was reported, while a compact ACS-fed monopole antenna with open-ended have been presented to cover the WLAN and WiMAX operation bands [18]. Unfortunately, although above-mentioned microstrip antennas show good multiband performance, many of these have complex structure [3,11,15–18], large in size [2,10,12,14,

16]. In addition, most of these antennas do not cover whole frequency bands of WLAN and WiMAX. [1,2,4–9,11–17].

In terms of design success, the optimization performance of antenna parameters is one of the important factors in the antenna design process. With the development of the artificial intelligence optimization algorithms, the various methods involving these optimization algorithms have been applied to microstrip antennas [19–22]. In Ref [19], the multiband and wideband patch antennas were designed by using parallel particle swarm optimization and finite difference time domain (FDTD) algorithm. The optimized parameters of a rectangular microstrip antenna (RMSA) have been calculated by particle swarm optimization (PSO) algorithm [20]. The genetic algorithm (GA) based on biological evolution [21] was used to determine the optimum feed position of the probe-feed microstrip antenna. In Ref. [22], the broadband patch antenna was designed by using differential evolution (DE) algorithm and moment of the method (MoM). In addition, the resonant frequency of the microstrip antennas having various geometries has been calculated by using AI optimization methods [23–26].

In this study, a compact dual-band microstrip monopole antenna is proposed for UMTS, WLAN and WiMAX applications. The monopole antenna is designed by using a new and efficient hybrid optimization method based on the ABC [27–29] and DE [30] algorithms. In order to obtain more effective search performance, the powerful mutation and crossover strategies of the DE algorithm were integrated to the onlooker bee phase of the ABC algorithm. The usage of the DE' method strategies improved the exploitation ability of the standard ABC algorithm while the kept employed bee phase as the standard ABC' updating strategy retains the exploration ability. In this manner, the between of exploitation and exploration was established a good balance during the search process for the good performance. Finally, the proposed hybrid optimization algorithm was tested on a set of four optimization benchmark functions and also compared with the optimization techniques like DE and ABC

algorithms. The obtained results demonstrated that the proposed hybrid optimization technique was superior to both of standard the ABC and DE algorithms on the used benchmark functions. The developed hybrid optimization algorithm was integrated with HyperLynx<sup>®</sup> 3D electromagnetic (EM) platform [31] based on methods of moment (MoM) [32] and then a monopole antenna having a dual-wideband was designed by using this integrated modality. To this end, a RMSA is chosen as the starting antenna, the proposed method is then utilized to modify some geometrical parameters of this starting antenna to operate in the designed bands. Desired frequency bands are selected in complying with the applications of UMTS (1.9–2.1 GHz), WLAN (2.4/5.2/5.8 GHz) and WiMAX (2.5/3.5/5.5 GHz). The HOA is relatively new and powerful optimization technique based on ABC and DE algorithm is used to find optimal solutions. The mask of desired bandwidth is utilized as an objective function in HOA to find the optimal or near optimal values of the antenna geometric parameters. The designed antenna is then fabricated and measured to evaluate the performance achievable. A successful comparison of the proposed antenna with the antennas previously published in the literature [1–18] is carried out with respect to operating frequency and bandwidth.

## 2. HYBRID OPTIMIZATION ALGORITHM (HOA) BASED ON ABC AND DE ALGORITHMS

ABC [27–29] algorithm is a swarm based optimization methods discovering near-optimal solutions for the optimization problems by the motivation foraging behavior of honey bees. In this optimization method, the model of the ABC algorithm consists of three different kinds groups of bees: employed bees, onlooker bees and scout bees. The virtual bees in the ABC fly around to search in a multidimensional solution space in order to discover the optimal solution of the optimization problem. The employed bees are assigned to specific food sources depending on experiences of themselves. The onlooker bees

decide food source location based on watching the dance of employed bees within the hive and adjust position. Scout bees carry out a random search for determining the new food source. The proposed differential evolution (DE) algorithm by Storn and Price [30] applied to find the optimal solution of numerous optimization problems in different fields is improved by inspiring the natural evolution of species in the world. In the optimization process of a difficult problem, the DEA is obtained an excellent performance using expert knowledge. The hybrid process is performed in the Onlooker bees step of the ABC algorithm. By incorporating the above-mentioned powerful mutation and crossover steps of the DE, an optimization algorithm consisting of ABC and DE has been developed as a hybrid model. The standard DE algorithm has a good exploiting property owing to powerful mutation and crossover strategies and it can easily determine the regions of the desired global minimum or maximum in the search space. On the other hand, the standard ABC algorithm is generally faster at the exploration of the problem solution, however its exploitation ability is comparatively poor. Therefore, an effective hybrid optimization method by integrating mutation and crossover steps of the DE into the onlooker bees step of the ABC algorithm has been developed to provide the improving of the rectangular microstrip antenna bandwidth. Thus, this hybrid optimization technique can explore new possible solutions in the search space with the help of DE mutation and crossover abilities and exploit the population information by the employed bee operator of ABC algorithm. Hence, the exploration and exploitation problems can be overcome by using the powerful hybrid optimization technique consisting of the ABC and DE algorithms.

### 3. NUMERICAL RESULTS OF HYBRID OPTIMIZATION METHOD

The performance of the developed HOA is compared ABC and DE algorithms. The parameters of the used hybrid and other optimization techniques are given in Table 1.

**Table 1.** The parameters of optimization algorithms

Parameters	Algorithms		
	Hybrid	ABC	DE
Population Number	100	100	100
Max. Iteration/generation	3000	3000	3000
Evaluation number	300000	300000	300000
Trial number	$NP \times D$	$NP \times D$	-
Scale factor ( $F$ )	0.6	-	0.6
Crossover constant ( $CR$ )	0.4	-	0.4

*NP: Number of population, D: Problem dimension*

In order to evaluate performance of the hybrid optimization algorithm, four benchmark functions are used. All experiments are repeated 30 times independently for each test function. These functions are given in Table 2. In the Table 2, the search range of functions indicates a subset of SR, D is the dimensions of the benchmark functions and it is equal of 30 for all functions. C column is denoted characteristic of these functions. The minimum value of the chosen four benchmark functions for evaluating the performance of the algorithms is equal of zero. The functions 1, 2 are unimodal a high-dimensional functions while the benchmark functions 3, 4 are multimodal and high dimensional-functions. The mean results of thirty independent runs obtained in the experiment are shown in Table 3. It can be clearly seen from the experimental results that the HOA is significantly better than the DE algorithm. The multimodal functions have many local minimums. The HOA obtained the best results for the  $f_3, f_4$  functions having multimodal property. The results show that the improved HOA can determine better optimal solutions than DE algorithms within the maximum number of the evolution number. Additionally, the HOA has a powerful ability to avoid from poor local optima and find a good near-global optimum. On the other hand, compared with ABC algorithm, the HOA is reached better solutions than ABC. It is obvious that the performance of the proposed HOA is more effective than DE and ABC for the high-dimensional benchmark functions. Figure 1 shows the average convergence graphs of the used HOA, ABC and DE algorithms for the used some benchmark functions in the performance test. It is clear that the HOA has better performance than the ABC and DE algorithm for all functions. Especially, compared

with the convergence of the ABC and DE algorithm, our hybrid technique is better fast and stable.

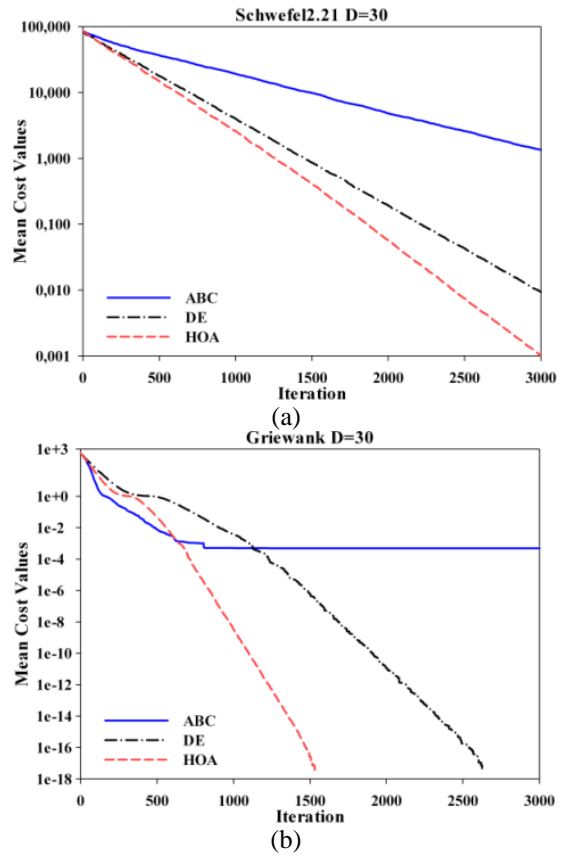
**Table 2.** The benchmark function used in the experiment

Functions	SR	C	Formulations
$f_1$ Sumsquares	[-10, 10]	US	$f_1 = \sum_{i=1}^n ix_i^2$
$f_2$ Powell	[-4, 5]	UN	$f_2 = \sum_{i=1}^{n/4} \left[ \begin{aligned} &(x_{4i-3} + 10x_{4i-2})^2 \\ &+ 5(x_{4i-1} - x_{4i})^2 \\ &+ (x_{4i-2} - 2x_{4i-1})^4 \\ &+ 10(x_{4i-3} - x_{4i})^4 \end{aligned} \right]$
$f_3$ Schwefel2.26	[-500, 500]	MS	$f_3 = \sum_{i=1}^n -x_i \sin(\sqrt{ x_i })$
$f_4$ Penalized1	[-50, 50]	MN	$f_4 = \frac{\pi}{n} \left\{ \begin{aligned} &10\sin^2(\pi y_1) \\ &+ \sum_{i=1}^{n-1} (y_i - 1)^2 \\ &\times [1 + 10\sin^2(\pi y_{i+1})] \\ &+ (y_n - 1)^2 \end{aligned} \right\} + \sum_{i=1}^n u(x_i, 10, 100, 4)$ $y_i = 1 + \frac{1}{4}(x_i + 1)$

U: Unimodal, M: Multimodal, S: Separable, N: Non-Separable

**Table 3.** The comparative experimental results of HOA, ABC and DE algorithms

Functions	Algorithms	Mean	Standard deviation
$f_1$	ABC	4.95E-016	6.62E-017
	DE	1.41E-024	6.51E-025
	<b>HOA</b>	<b>1.74E-032</b>	<b>9.50E-033</b>
$f_2$	ABC	3.16E-003	4.26E-004
	DE	4.78E-011	2.16E-011
	<b>HOA</b>	<b>1.75E-014</b>	<b>1.06E-014</b>
$f_3$	ABC	-12569.5	2.87E-012
	DE	-10882.4	693.105
	<b>HOA</b>	<b>-12569.5</b>	<b>1.85E-012</b>
$f_4$	ABC	4.44E-016	7.84E-017
	DE	9.20E-024	5.08E-024
	<b>HOA</b>	<b>8.22E-032</b>	<b>4.63E-032</b>



**Figure 1.** Average convergence performance of ABC, DE algorithms and HOA

#### 4. ANTENNA DESIGN AND OPTIMIZATION

The antenna is constructed on a volume of  $42 \times 49.2 \times 1.59 \text{ mm}^3$  FR4 substrate with dielectric constant 4.4 and loss tangent 0.02. Also, the antenna is excited by a microstrip line with  $50 \Omega$  impedance and signal strip width of 3 mm. The simulation process is performed by using packaged software named HyperLynx® [31] depended on the MoM [32]. Firstly, the design process has been started by using a monopole rectangular microstrip antenna. In order to obtain the desired bands corresponding UMTS, WLAN and WiMAX, the performance of impedance matching of the antenna has been improved by embedding slots into the patch and the ground. In this study, the

aim is to design a compact dual-band microstrip antenna by using a novel efficient method consisting of the MoM technique with the HOA. HOA uses the fitness evaluation to find well a solution. Each mathematical expression used to evaluate the fitness is referred to as a fitness factor. In order to optimize the geometry of the last antenna structure with respect to the desired performance of impedance matching of the antenna, the mathematical formula given in (1) is used as fitness function which having fitness factors.

$$fitness\ function = \left\{ 1 - \left[ \sum_{n=1}^N \frac{S_{11}(f(n))}{D(n)} + \sum_{n=1}^N G(n) \right] \right\} \quad (1)$$

$$D(n) = \begin{cases} -40, & \text{if } f(n) = 2.4, f(n) = 3.5, f(n) = 5.5\ GHz \\ -20, & \text{other} \end{cases} \quad (2)$$

$$G(n) = \begin{cases} 1, & \text{if } S_{11}(f(n)) \leq -10\ dB \\ 0, & \text{if } S_{11}(f(n)) > -10\ dB \end{cases} \quad (3)$$

Here,  $n=1, 2, \dots, N$  for  $f(n) = \{1.7, 1.8, 1.9, 2.0, 2.1, 2.4, 2.5, 3.5, 5.2, 5.5, 5.8\}$  GHz frequencies and  $N$  is the number of the fitness factor and is equal of value 11. The methodology of the used method combining HyperLynx<sup>®</sup> 3D electromagnetic (EM) platform [31] based on the method of moments (MoM) [32] and HOA is illustrated in Figure 2. At first, the initial parameters such as colony size, trial and iteration numbers of the HOA was set, and the possible solutions of the antenna geometric parameters are randomly determined as defined in the initial phase of the HOA. The geometry of the antenna is then simulated for those of each solution points by using HyperLynx<sup>®</sup> 3D electromagnetic (EM) platform [31] based on the method of moments (MoM) [32]. The fitness function is evaluated by considering the results of MoM. Eventually, the best solution which is closest to the desired performance of impedance matching of the antenna is memorized for every iteration. The solutions are being recursively enhanced by a specified iteration number.

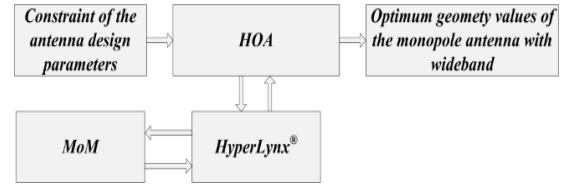


Figure 2. The antenna design and optimization methodology

Design parameters of the proposed antenna were given in Figure 3. The design parameters for a compact dual-band microstrip antenna are tabulated in Table 4. The values of optimization algorithmic parameters in the HOA are chosen as follows: population size ( $NP$ ) = 100, food number = 50,  $F=0.6$  (scale factor),  $CR=0.4$  (Crossover rate), trial value =  $NP \times D$ .  $D$  is the number of the antenna design parameter. The maximum iteration number is set to 2000. The optimum values of the antenna are found by using the proposed optimization method. The optimized values of geometric parameters are listed in Table 5.

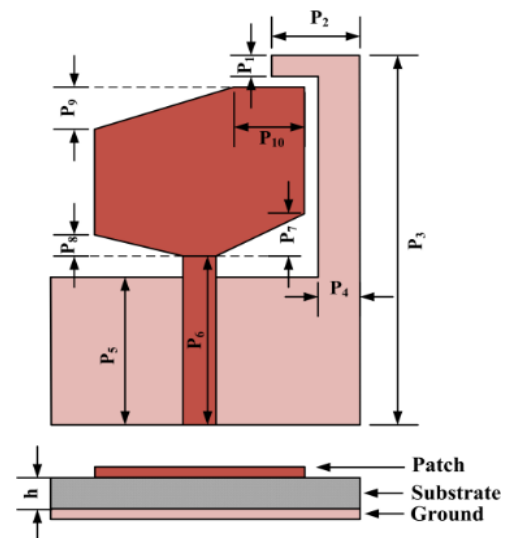


Figure 3. The last structure and design parameters of the proposed antenna

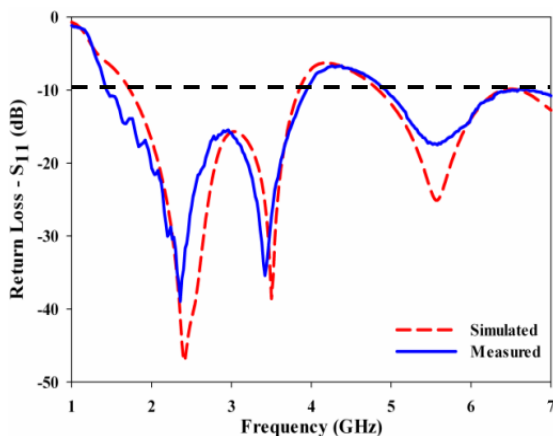
Table 4. Lower and upper bounds of the design Parameters (in mm) for compact dual-band monopole antenna

Bounds	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>	P <sub>5</sub>	P <sub>6</sub>	P <sub>7</sub>	P <sub>8</sub>	P <sub>9</sub>	P <sub>10</sub>
Lower	10	35	55	7	20	20	8	8	10	15
Upper	1	0	0	1	10	10	0	0	0	0

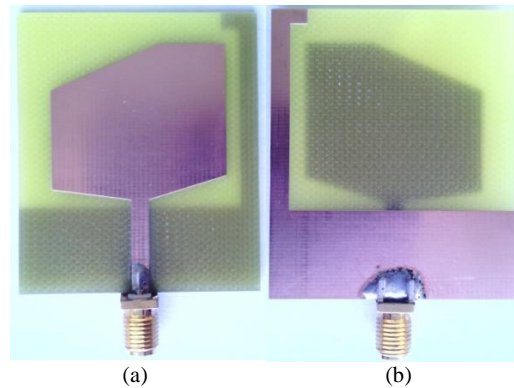
**Table 5.** Values of the geometric parameters (in mm) for optimized compact dual-band monopole antenna

P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>	P <sub>5</sub>	P <sub>6</sub>	P <sub>7</sub>	P <sub>8</sub>	P <sub>9</sub>	P <sub>10</sub>
2.7	3	49.2	3.1	13.4	16.2	4.3	1.9	8.2	11.5

The simulated and measured return loss curves of the final (optimized) and the antenna are given in Figure 4. The final antenna has two different operating bandwidths with  $S_{11} < -10$  dB. The first operating frequency interval having a bandwidth of 2.1 GHz is between 1.74 and 3.84 GHz and second operation band which has between 4.85 and 6.5 GHz have a bandwidth of 1.65 GHz. Finally, the desired performance of the proposed antenna is reached by using optimization technique based on HOA integrated in MoM method. The optimized antenna with the dimensions given in Table 5 has been successfully fabricated to test the accuracy of the optimization method in practical patch antenna designs. The return loss of the development antenna was measured with an Agilent E5071B ENA Series RF network analyzer. It can be clearly seen that there is a good agreement between the measured and simulated results. Some discrepancies between the measured and simulated results can be attributed to the substrate variations, fabrication tolerances, and feed connector misalignment. The photographs of the fabricated antenna are shown in Figure 5.

**Figure 4.** The measured and simulated return loss curves for the antenna**Table 6.** Reported multiband antennas in the literature

References	UMTS (1.9–2.1) GHz	WLAN (2.4/5.2/5.8) GHz	WiMAX (2.5/3.5/5.5) GHz
[1]	-	(2.4/5.2/5.8)	-
[5]	-	-	(2.5/3.5/5.5)
[11]	-	(2.4/5.2/5.8)	(2.5/3.5/5.5)
[12]	-	(5.2/5.8)	(3.5/5.5)
[17]	-	(2.4/5.2)	(2.5/3.5)
<b>Proposed Antenna</b>	<b>(1.9–2.1)</b>	<b>(2.4/5.2/5.8)</b>	<b>(2.5/3.5/5.5)</b>

**Figure 5.** The photographs of the fabricated antenna : (a) Top plane and (b) Bottom plane

Measured return loss of the proposed antenna shown that the impedance bandwidth of the two distinct operating bands with  $-10$  dB return loss were about 2.48 GHz (1.44–3.54 GHz) and 1.58 GHz (4.92–6.50 GHz) which are wide enough to cover the desired bandwidths of UMTS, WLAN and WiMAX applications. It is clearly seen that the proposed antenna obtained better results, when the obtained measurement result compared to previously proposed multiband antennas results in the Table 6 in terms of operation bands covering the frequencies of UMTS, WLAN and WiMAX applications. Figure 6 demonstrates the antenna radiation patterns at 2.4, 3.5 and 5.5 GHz. The symmetrical radiation patterns are seen in the  $x-z$  and  $y-z$  planes as depicted in the Figure 6. In addition, the radiation patterns with nearly omnidirectional radiation pattern are observed for these frequencies.

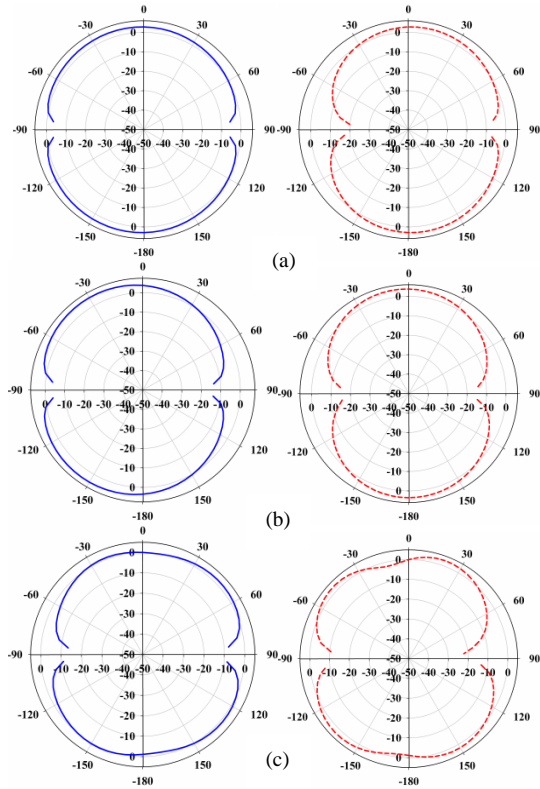


Figure 6. Radiation patterns of the proposed antenna for different frequencies: (a) 2.4 GHz, (b) 3.5 GHz and (c) 5.5 GHz  $x$ - $y$  plane (—),  $y$ - $z$  plane (-----)

The gain of the antenna is illustrated in Figure 7. It has been observed from Figure 6 that the gain at 2.4, 3.5 and 5.5 GHz are 1.84, 2.6 and 0.7 dBi, respectively. According to the gain curve, there is gain reduction at 5.5 GHz compared to the other frequency bands because of current is distributed in more than one frequency.

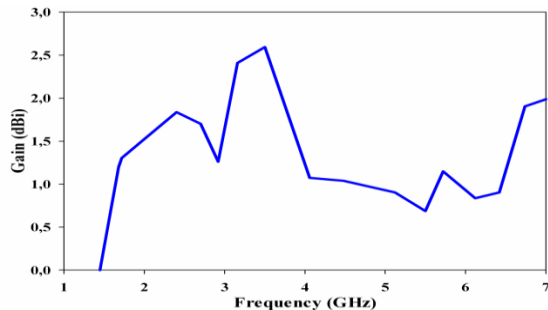


Figure 7. Gain of the proposed antenna

## 5. CONCLUSION

A novel dual-band microstrip antenna design based on the patch monopole for UMTS, WLAN and WiMAX applications has been proposed with simulated and measured results. In this antenna design, in order to achieve the required bands of the UMTS, WLAN and WiMAX applications, the different methods which are the cutting the patch and embedding slots into the ground has been applied to the geometry of the antenna. According to obtained results, there is close agreement between the measurement and simulation results. The proposed antenna has the capable of producing two distinct operating bands with  $-10$  dB return loss. The operating bands were about 2.48 GHz (1.44–3.54 GHz) and 1.58 GHz (4.92–6.50 GHz). In addition, it also ensures the gain of 1.84, 2.6 and 0.7 dBi for 2.4, 3.5 and 5.5 GHz, respectively. The antenna radiation pattern with nearly omnidirectional has been obtained. As a result, the proposed design can be a suitable antenna for using in UMTS, WLAN and WiMAX applications.

## 6. ACKNOWLEDGEMENTS

The authors are thankful to Dr. Abdurrahim Toktas for his precious help and performing antenna simulations through the HyperLynx<sup>®</sup> 3D EM platform in Karamanoglu Mehmetbey University.

## 7. REFERENCES

1. Liu, W.C., Wu, C.M., Chu, N.C., 2010. A Compact CPW-fed Slotted Patch Antenna for Dual-band Operation, *IEEE Antennas Wireless Propag Lett.*, 9, 110–113.
2. Huang, C.Y., Yu, E.Z., 2011. A Slot-monopole Antenna for Dual-band WLAN Applications, *IEEE Antennas Wireless Propag Lett.*, 10, 500–502.
3. Pei, J., Wang, A., Gao, S., Leng, W., 2011. Miniaturized Triple-band Antenna with a Defected Ground Plane for WLAN/WiMAX Applications, *IEEE Antennas Wireless Propag Lett.*, 10, 298–302.



4. Liu, W.Ch., Wu, Ch, M., Dai, Y., 2011. Design of Triple-frequency Microstrip-fed Monopole Antenna using Defected Ground Structure, *IEEE Trans Antennas Propag*, 10, 2457–2463.
5. Lu, J.H., Huang, B.J., 2010. Planar Multi-band Monopole Antenna with L-shaped Parasitic Strip for WiMAX Application, *Electron Lett.*, 47, 671–672.
6. Xu, P., Yan, Z.H., Wang, C., 2011. Multi-band Modified Fork-shaped Monopole Antenna with Dual L-shaped Parasitic Plane, *Electron Lett.*, 47, 364–365.
7. Liu, P., Zou, Y., Xie, B., Liu, X., Sun, B., 2012. Compact CPW-fed Tri-band Printed Antenna with Meandering Split-ring Slot for WLAN/WiMAX Applications, *IEEE Antennas Wireless Propag Lett.*, 11, 1242–1244.
8. Xu, Y., Jiao, Y.C., Luan, Y.C., 2012. Compact CPW-fed Printed Monopole Antenna with Triple-band Characteristics for WLAN/WiMAX Applications, *Electron Lett.*, 48, 1519–1520.
9. Iddi, H.U., Kamaruddin, M.R., Rahman, T.A., Abdulrahman, A.Y., Khalily, M., Jamlos, M.F., 2013. Triple-band CPW-fed Planar Monopole Antenna for WLAN/WiMAX Application, *Microwave Opt Technol Lett.*, 55, 2209–2214.
10. Pouyanfar, N., 2014. Broadband CPW-fed Square Slot Antenna Loaded with Parasitic Element for WLAN/WiMAX Applications, *Microwave Opt Technol Lett.*, 56, 338–340.
11. Yoon, J.H., Kil, G.S., 2012. Compact Monopole Antenna with Two Strips and a Rectangular-slit Ground Plane for Dual-band WLAN/WiMAX Application, *Microwave Opt Technol Lett.*, 54, 1559–1566.
12. Kaur, J., Khanna, R., 2014. Development of Dual-band Microstrip Patch Antenna for WLAN/MIMO/WiMAX/AMSAT/WAVE Applications, *Microwave Opt Technol Lett.*, 56, 988–993.
13. Huang, H.F., Zhang, S.F., 2014. Compact Multiband Monopole Antenna for WLAN/WiMAX Applications, *Microwave Opt Technol Lett.*, 56, 1809–1812.
14. Malekpoor, H., Jam, S., 2013. Design of Multi-band Asymmetric Patch Antenna for Wireless Applications, *Microwave Opt Technol Lett.*, vol. 55, pp. 730–734.
15. Hu, W., Yin, Y.Z., Yang, X., Fei, P., 2013. Compact Multi Resonator-loaded Planar Antenna for Multiband Operation, *IEEE Trans. Antennas Propag*, 61, 2838–2841.
16. Yuan, Z.X., Yin, Y.Z., Ding, Y., Li, B., Xie, J.J., 2012. Multiband Printed and Double-sided Dipole Antenna for WLAN/WiMAX Applications, *Microwave Opt Technol Lett.*, 54, 1019–1022.
17. Hu, W., Yin, Y.Z., Fei, P., Yang, X., 2011. Compact Triband Square-slot Antenna with Symmetrical L-strips for WLAN/WiMAX Applications, *IEEE Antennas Wireless Propag Lett.*, 10, 462–465.
18. Li, X., Shi, X.W., Hu, W., Fei, P., Yu, J.F., 2013. Compact Triband ACS-fed Monopole Antenna Employing Open-ended Slots for Wireless Communication, *IEEE Antennas Wireless Propag Lett.*, 12, 388–391.
19. Jin, N.B., Rahmat-Samii, Y., 2005. Parallel Particle Swarm Optimization and Finite Difference Time Domain Algorithm for Multiband and Wideband Patch Antenna Designs, *IEEE Trans Antennas Propag*, 53, 3459–3468.
20. Yilmaz, A.E., Kuzuoglu, M., 2007. Calculation of Optimized Parameters of Rectangular Microstrip Patch Antenna Using Particle Swarm Optimization, *Microwave Opt Technol Lett.*, 49, 2905–2907.
21. Namkung, J., Hines, E.L., Green, R.J., Leeson, M.S., 2007. Probe-feed Microstrip Antenna Feed Point Optimization using a Genetic Algorithm and the Method of Moments, *Microwave Opt Technol Lett.*, 49, 325–329.
22. Zhang, L., Cui, Z., Jiao, Y.C., Zhang, F.S., 2009. Broadband Patch Antenna Design using Differential Evolution Algorithm, *Microwave Opt Technol Lett.*, 51, 1692–1695.
23. Toktas, A., Bicer, M.B., Kayabasi, A., Ustun, D., Akdagli, A., Kurt, K., 2015. A Novel and Simple Expression to Accurately Calculate the Resonant Frequency of Annular-ring Microstrip Antennas, *International Journal of Microwave and Wireless Technologies*, 7, no. 6, 727–733.
24. Toktas, A., Akdagli, A., 2012. Computation of Resonant Frequency of E-Shaped Compact Microstrip Antennas, *Journal of the Faculty of*

- Engineering and Architecture of Gazi University, 27, 847–854.
25. Toktas, A., Bicer, M.B., Akdagli, A., Kayabasi, A., 2011. A Simple Formulas for Calculating Resonant Frequencies of C and H Shaped Compact Microstrip Antennas Obtained by Using Artificial Bee Colony Algorithm, *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*, 25, 1718–1729.
  26. Toktas, A., Akdagli, A., 2010. A Novel Expression in Calculating Resonant Frequency of H-Shaped Compact Microstrip Antennas Obtained by using Artificial Bee Colony Algorithm, *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*, 24, 2049–2061.
  27. Karaboga, D., 2010. Artificial Bee Colony Algorithm, *Scholarpedia* 5 (3) 6915 from [www.scholarpedia.org/article/Artificial.bee.colony.algorithm](http://www.scholarpedia.org/article/Artificial.bee.colony.algorithm).
  28. Karaboga, D., 2005. An Idea Based on Honey Bee Swarm for Numerical Optimization, Technical Report–TR06, Erciyes University, Engineering Faculty, Computer Engineering Department.
  29. Karaboga, D., Gorkemli, B., Ozturk C., Karaboga, N., 2012. A Comprehensive Survey: Artificial Bee Colony (ABC) Algorithm and Applications, *Artif.Intell. Rev.* (ex. 15.05.2016) from <http://dx.doi.org/10.1007/s10462-012-9328-0>.
  30. Storn, R., Price, K., 1997. Differential Evolution—a Simple and Efficient Heuristic for Global Optimization Over Continuous Spaces, *J Global Optim.*, 1, 1341–359.
  31. HyperLynx<sup>®</sup> 3D EM. Version 15. Mentor Graphics Corporation, Wilsonville (OR).
  32. Harrington, R.F., 1993. *Field Computation by Moment Methods*, Piscataway (NJ): IEEE Press.

## Pull out Performance of Medical Screws used in Orthopaedic Surgeries

Durmuş Ali BİRCAN\*<sup>1</sup>, Ahmet ÇETİN<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Çukurova University, Faculty of Engineering and Architecture, Mechanical Engineering Department, Adana

Geliş tarihi: 14.07.2016

Kabul tarihi: 12.10.2016

### Abstract

In this study, a new medical bone screw was designed and manufactured by Ti6Al4VELI GR23 material and tested in accordance with the ATSM F 543-02 test procedure experimentally. This test is used to measure the axial tensile force required to fail or remove a bone screw from a defined material. Concurrently, 3-D Finite Element Analysis (FEA) models of these medical bone screws were developed to simulate and biomechanically evaluate the pull-out forces and stiffness of the screw samples using FEA software ANSYS. Obtained results from the FEA models are in reasonable agreement with the experimental data on the pull-out strength of the medical bone screw. Results from FE models are experimentally verified.

**Keywords:** Medical screws, Finite element analysis (FEA), Pull-out, Biomechanics

### Ortopedik Operasyonlarda Kullanılan Medikal Vidaların Sıyırma Performansı

#### Öz

Bu çalışmada, Ti6Al4Veli GR23 malzemesi kullanılarak yeni bir medikal vida tasarlanmış, ASTM-543-02 test prosedürüne uygun test edilmiş ve üretilmiştir. Bu testte tanımlanan bir malzemeden vidanın kırılmasını veya kemik malzemeden ayrılmasına neden olan kritik eksenel kuvvet hesaplanır. Aynı zamanda, tasarlanan vidanın üç boyutlu sonlu elemanlar modeli ANSYS programı kullanılarak sıyırma kuvvetleri ve dayanımları değerlendirilmek ve simule edilmek için oluşturuldu. Sonlu elemanlar modelinden elde edilen sonuçlar deneysel sıyırma mukavemeti sonuçlarıyla uygunluk göstermiştir. Böylece sonlu elemanlar ile elde edilen sonuçlar deneysel olarak doğrulanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Medikal vidalar, Biyomekanik, Sonlu elemanlar yöntemi, Sıyırma

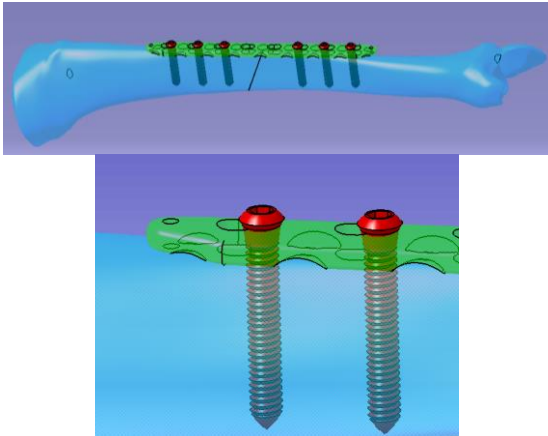
---

\*Sorumlu yazar (Corresponding author): Durmuş Ali BİRCAN, [abircan@cu.edu.tr](mailto:abircan@cu.edu.tr)

## 1. INTRODUCTION

Medical bone screws are commonly used in orthopaedic implants for internal fracture fixation [1]. They are placed into bone for the fixation of fractures in epiphyseal and metaphyseal areas such as the femoral head and condyles, proximal and distal tibia, talus, calcaneus, pelvis and spinal vertebrae [2,3] (Figure 1).

Problems associated with medical screws include loss of fixation, improper placement, fatigue and bending failure, cerebral spinal fluid leaks, nerve root injury and infection. In addition, any problems such as loss of reduction, vertebral body fractures after screw fixation, or metallic failure after the use of pedicle screws in osteoporotic spines [4]. Metallic medical bone screws are tested according to ASTM F543 for solution of these problems, such as torsion, driving torque, axial pullout, and self-tapping performance testing.



**Figure 1.** Assembly of the internal fracture fixation using bone plate and screw

Durability of fixation is important for life quality of patient. Biomechanical performance of fixation systems plays a major role in this manner. Pullout strength is one of the most important parameters that effect durability of fixation. Pullout strength can be used to measure loss of reduction of screw. This test is used to measure the axial tensile force required to fail or remove a bone screw from a defined material. Improving the pullout strength of

the screw is complicated because the pullout strength is dependent on several factors, including the screw design, insertion technique, bone quality and shape of the bone [5]. In previous studies, different types of screws were designed for improving the pull-out performance. Inceoğlu studied that the effects of stress relaxation on the mechanical properties of the interface were different for different screw designs [6]. Yaman was conducted to measure the pullout strengths of newly designed transpedicular screws.

Transpedicular screws redesigned with modified helical angles exhibit higher pullout strength compared to the classical transpedicular screws and can be inserted more rapidly with the same number of screwing rounds result with doubled insertion depth [7]. It's important to find out the stress concentrations and deformation zones of implants, so FEA is the best method for analysis of stresses and deformations of Ti6Al4V [8]. Chatzistergos was aimed to the design of a FE model simulating accurately the pullout behaviour of cylindrical pedicle screws and predicting their pullout force. Three commercial pedicle screws, subjected to pure pullout from synthetic bone were studied experimentally. The results were used for the design, calibration and validation of a FE model [9]. Chao compared experimental study and FE analysis to investigate the bending strength and pullout strength of conical pedicle screws, as compared with conventional cylindrical screws [10]. Feerick has been studied the screw pullout from cortical bone using the UDMGINI subroutine with the extended FE method (XFEM) [11].

Pullout strength of a screw is significantly correlated with the screw designs like screws with radial holes, different core geometries, thread designs, cannulated and expandable screws [12]. Bone screws have almost a V or buttress shape of thread. Kim showed that the V-shaped thread had the highest pullout strength in osteoporotic bone and that the V and buttress shapes of threads maintained the highest pullout strength in a normal bone density [4]. By reducing the core diameter toward the tip while maintaining the same nominal diameter, achieves frictional connection, and better locking, by means of better pullout strength [13].

In this study, a new medical bone screw was designed and manufactured by Ti6Al4V ELI GR23 material and tested in accordance with the ATSM F 543-02 test procedure experimentally. Concurrently, 3-D FEA models of these medical bone screws were developed to simulate and biomechanically evaluate the pull-out forces and stiffness of the screw samples using FEA software ANSYS.

## 2. MATERIALS AND METHODS

### 2.1. Design of a New Medical Bone Screw

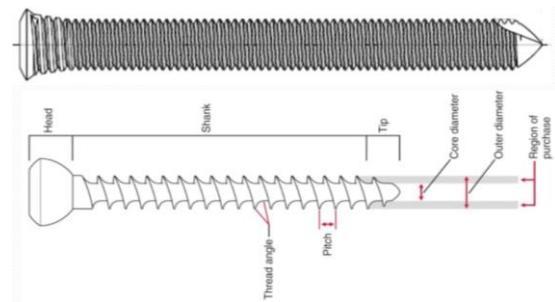
A screw is a device which converts rotational forces into linear motion. Thread design may vary according to the physical characteristics of the bone in which the screw is intended to gain purchase. The two main thread types of surgical screws are for cortical bone and for cancellous bone. Each screw type is available in fully threaded and partially threaded format. Screws can also be cannulated. Such a screw can be introduced over a threaded-tip guide wire. The guide wire is inserted preliminarily, partly as temporary fracture stabilization, and partly so that the final orientation can be checked radiologically, prior to screw insertion.

A surgical screw is a device manufactured to high specifications, and is to be used with great care and precision. In order to select the correct instruments and technique for insertion of any screw, the surgeon needs to be familiar with its dimensions. The diameter of the core determines the minimal hole size for the screw to be accommodated in the bone and determines the drill used to create the pilot hole for the screw. An appropriate length of screw needs to be chosen. If it is too short, it will not gain full purchase in the bone. If it is too long; it may cause problems by irritating the soft tissues, or protruding subcutaneously.

The pitch of the screw is the length travelled by the screw with each 360° turn of the spiral. The shorter the distance, the “finer” the pitch; the longer the distance, the “coarser” the pitch. Cortical bone screws have a fine pitch; cancellous

bone screws have a coarse pitch. The more threads engaged in the cortex, the greater the pull-out resistance. For a screw that crosses a fracture plane to produce interfragmentary compression, the thread must purchase in only the far cortex. A gliding hole is drilled in the near cortex. Special partially threaded cortical, or shaft-screws are also available for this purpose. If the screw that crosses the fracture plane purchases in both cortices, it cannot produce interfragmentary compression. Screws are also commonly used to attach implants to the bone by compressing them onto the bone surface using plates. As the plate hole is larger than the outside diameter of the conventional cortex screw and the screw has good purchase in the underlying bone, as it is tightened it compresses the plate to the bony surface.

In this study, a new bone screw was designed using CATIA Computer Aided Design (CAD) software package and technically detailed. General representation and designations related to new developed bone screw can be seen in Figure 2.



**Figure 2.** Engineering design of the medical bone screw

### 2.2. Material Properties

The high strength, low weight ratio and outstanding corrosion resistance inherent to titanium and its alloys has led to a wide and diversified range of successful applications which demand high levels of reliable performance in surgery and medicine as well as in aerospace, automotive, chemical plant, power generation, oil and gas extraction, sports, and other major industries.

In the majority of these and other engineering applications, titanium replaces heavier, less serviceable or less cost-effective materials. Designs made using the properties provided by titanium often result in reliable, economic and more durable systems and components.

Ti6Al4V ELI (Grade 23) is very similar to Ti6Al4V (Grade 5), except that Ti6Al4V ELI contains reduced levels of oxygen, nitrogen, carbon and iron. ELI is short for Extra Low Interstitials, and these lower interstitials provide improved ductility and better fracture toughness for the Ti6Al4V. The mechanical and chemical properties for Ti6Al4V ELI can be seen in Table 1. and Table 2.

**Table 1.** Mechanical properties of Ti6Al4V ELI

Mechanical Properties	Ti6Al4V ELI
Yield Strength (Mpa)	795
Ultimate Tensile Strength (Mpa)	860
Poisson Ratio (%)	0.24
Young Modulus (Gpa)	114
Rockwell Hardness (HRC)	30-35
Elongation (%)	>10
Reduction of Area (%)	>25
Fatigue Strength @ 600 Mpa (Cycle)	10 <sup>6</sup>

**Table 2.** Chemical properties of Ti6Al4V ELI

Chemical Properties	Ti6Al4V ELI
Aluminum, Al	5.5-6.5%
Vanadium, V	3.5-4.5%
Carbon, C	< 0.08%
Iron, Fe	< 0.25%
Oxygen, O	< 0,13%
Nitrogen, N	< 0.05%
Hydrogen, H	< 0.012%
Titanium, Ti	Balance to

### 2.3. Pull out Test Procedure and Testing

The Medical Bone Screw test samples Ti6Al4V ELI were prepared (as shown in Figure 3.) and tested in accordance with the “F 543-02 Standard Specification and Test Methods for Metallic Medical Bone Screws” test procedure [14]. Samples were tested using 2,5 kN capacity tensile test machine at room atmospheric conditions. Pull out test method is used to measure the axial tensile

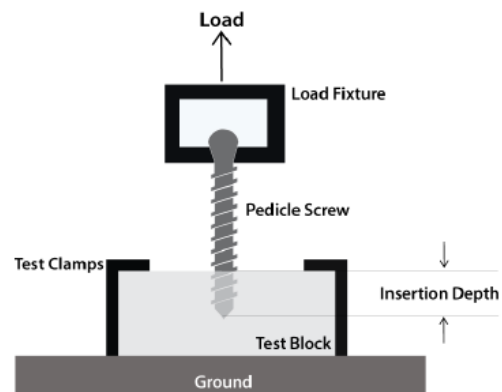
force required to fail or remove a bone screw from a defined material.



**Figure 3.** The medical bone screw test sample

Machines used for testing the axial pull out strength of screws conform to the requirements of F 543-02. A suitable test fixture as shown in Figure 4, used for testing. This fixture incorporate the test block which has material Ultra-High-Molecular-Weight Polyethylene (UHMW, UHMWPE) test block clamp, and bushing support. In addition to these requirements, the test block clamp and bushing support sufficiently rigid such that deflection under the required loading conditions is negligible. The test block clamp has a minimum grip span of five times the major diameter of the bone screw with the screw centered between the grips.

UHMWPE is a material better known as high performance polyethylene which is a thermoplastic polyethylene. Owing to its long chain like structure it can distribute loads more efficiently helping to reduce wear and increase stability. It has a high resistance to chemical attack and absorbs only minute amounts of moisture. In terms of medical applications UHMWPE is the preferred material when performing arthroplasty procedure for spine and orthopaedic implants.



**Figure 4.** A test fixture for testing medical bone screw

The test block fabricated from a uniform material that conforms UHMWPE as shown in Table 3. The top and bottom surfaces have flat, smooth, and parallel as required to ensure that the test block will be supported in the fixture with the top surface at an angle of 90° to the centerline of the test specimen. The test block has a 25 mm diameter. The bone screws inserted into the standard material in accordance with the insertion torque test method. The screws inserted at a rate of 3 r/min to a depth of 20 mm.

**Table 3.** Typical average physical properties of UHMWPE [15]

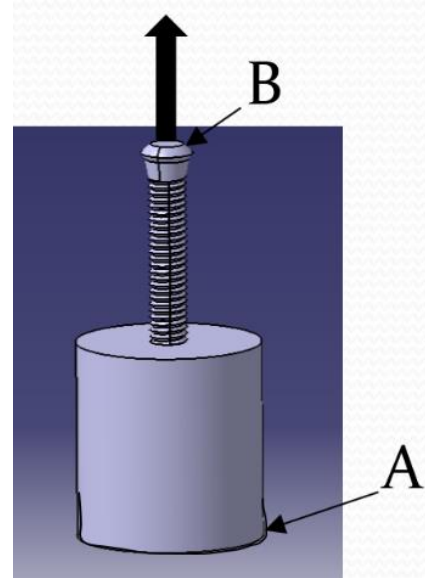
Physical Properties	UHMWPE
Molecular weight (106 g/mol)	2-6
Melting Temperature (°C)	125-138
Yield Strength (Mpa)	21-28
Ultimate Tensile Strength (Mpa)	39-48
Poisson Ratio (%)	0,46
Young Modulus (Gpa)	0,8-1,6
Elongation (%)	350-525
Impact Strength (J/m)	>1,070(no break)

The test block and test block clamp fixed to the base of the load frame so that the longitudinal axis of the screw is aligned with the direction of the applied load. The screw's placed in the slot of the load fixture and seated in the recess. The load fixture then attached to the load frame. A tensile load applied to the test specimen at a rate of 5 mm/min until the screw fails or releases from the test block.

#### 2.4. Finite Element Analysis (FEA)

**CAD Model and Material Properties:** The CAD software (CATIA V5R18) was used to create the solid model of the screw and test block as shown in Figure 5. The study includes FEA deformation simulations based on the standard of ATSM. The pullout experiments were simulated by FEA using ANSYS Workbench 16.0. The geometric model of the test sample was imported to ANSYS and mechanical properties of Ti6Al4V ELI and

UHMWPE as screw and test block material shown in Table 1 and 3 are defined as material parameters.



**Figure 5.** CAD model of the pullout test

**Meshing:** ANSYS software was used to generate meshes for the assembly. Tetrahedral elements of identical size and shape were employed for meshing. Mesh sensitivity was performed on the model using a workbench mesh tool called relevance.

**Boundary Conditions:** Boundary condition of FEA model was shown in Figure 5 using ANSYS. 3000N axial load was applied on B area and A was fixed area. These boundary conditions are similar to pullout test standards.

### 3. RESULTS AND DISCUSSION

#### 3.1. Experimental Test Results

Typical Force (N) versus Elongation (mm) curves using UHMWPE block material and Ti6Al4V ELI medical bone screws created by the method of ASTM F 543-02 to determine axial pullout strength. In experiments; maximum load applied and the mode of failure executed (screw shaft, screw threads, or material failure). Pullout strength



was analyzed using the Instron servo hydraulic materials testing system. All trials concluded with screw pullout. There were no screws visibly damaged during testing. There was also no evidence of cracking or fissuring of block or intrinsic block damage that extended into adjacent screw holes. Figure 6 demonstrates a typical profile obtained during the pullout test of a screw by plotting the force-displacement curve. The peak axial force and maximum deformation were determined as 2947 N and 15, 64 mm, respectively.

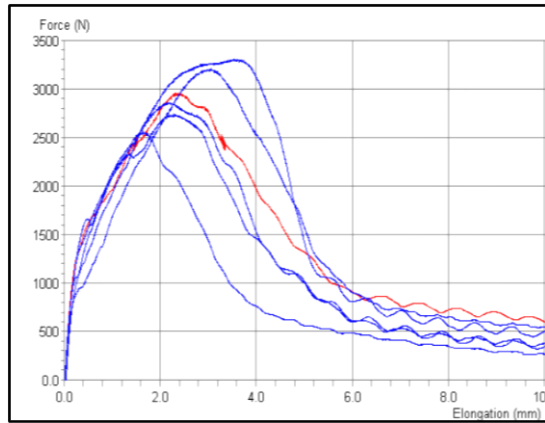


Figure 6. Force-deflection characteristics of medical bone screws

### 3.2. FEA Results

Reliable results can be obtained with experimental studies, but these studies do not give distribution of stress and deformation on test samples. If we want to achieve optimum design, must demonstrate these distributions for reliable interpretations. FEA was used for demonstration and simulation of stress, and deformation of designed model in boundary conditions. Also, it will guide for improving of design without time consuming and material waste. In this study, the FEA results are presented in Figure 7. It is clear from figure that for 3000 N applied force, deflection can be seen on solution model. This study shows that maximum and minimum deflections are distributed on the model. Thus, FEA results give some opinions such as critical area, minimum effected zone.

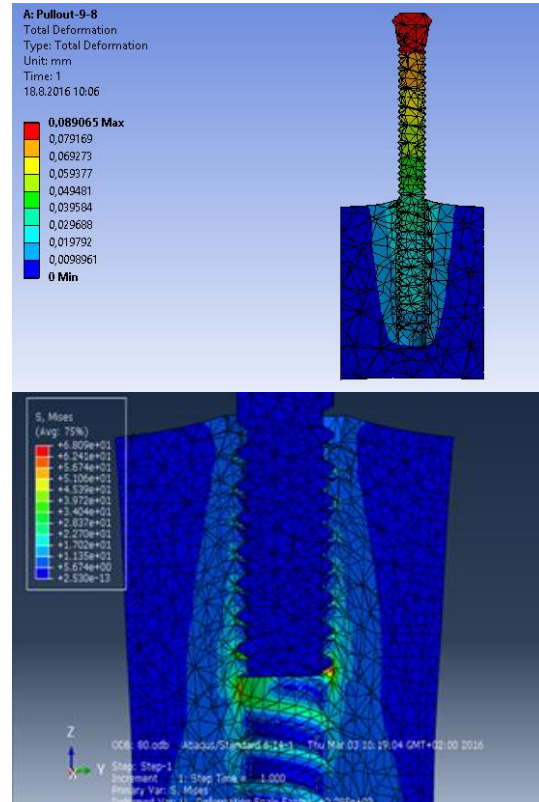


Figure 7. Total displacement on the screw and the bone

It was observed that at peak load the bone at the bone-screw interface experienced high stress gradient that led to the failure of the bone at edges of screw thread. The corresponding peak von Mises stresses ( $<$  yield stress) in the screw were also observed in the thread region at the bone-screw interface.

A decrease in stress values was observed as the bone was traversed from the bone-screw interface to the outer circumference of the bone illustrating a large stress gradient. Hence, it can be deduced that the failure of the model occurred in the bone around the outer diameter of the screw. The stress values were the highest in the first two threads at the ends and the failures stresses were evenly distributed at the bone-screw interface. It was observed that at peak load the elements representing cortical and cancellous bone near the thread tip region experienced high stresses.



The stress values in the screw were different from that of the bone in that they were not as evenly distributed as in the bone. It was observed that stress values in the screw decreased for threads away from the head as compared to those near the head. The stress experienced by the screw was much lower than its yield stress. Hence it can be concluded that failure during pullout testing occurs in the bone at the bone-screw interface without plastically deforming the screw threads. The displacement of the head of the screw was the largest as in the experimental evaluation.

#### 4. CONCLUSION

In this study, a new medical bone screw was designed using Ti6Al4V ELI GR23 material and tested in accordance with the ATSM F 543-02 test procedure experimentally. Concurrently, 3-D FEA models of these medical bone screws were developed to simulate and biomechanically evaluate the pull-out forces and stiffness of the screw samples using FEA software ANSYS.

Pullout strength was determined by screw thread design. Thread designs that allow for greater screw purchase result in higher screw pullout strengths. The pullout strength of new design was measured and compared against the FEA results. Screw pullout was measured by inserting the screws into Ø2.5mm holes drilled into UHMWPE blocks. The strength is measured as the amount of axial load of the screw can endure until failure or removal occurs.

The main factors affecting the pullout force of a bone screw are its design, the material properties of the bone and the insertion technique followed by the surgeon. Conflicts still exist whether to perform experimental study using cadaver or synthetic foam blocks since results may vary within the materials. A continuous study is needed to gather information and knowledge as much as possible to enhance more stable and rigid spinal fixation system. Extra concern must be put on to the osteoporosis cases since major problems of fixation stability and rigidity.

#### 5. REFERENCES

1. Battula, S., Schoenfeld, A., Vrabec, G., Njus, G. O., 2006. Experimental Evaluation of the Holding Power/Stiffness of the Self-tapping Bone Screws in Normal and Osteoporotic Bone Material, *Clinical Biomechanics*, 21, pp. 533–537.
2. Hsu, C.C., Chao, C.K., Wang, J.L., Hou, S.M., Tsai, Y.T., Lin, J., 2005. Increase of Pullout Strength of Spinal Pedicle Screws with Conical Core: Biomechanical Tests and Finite Element Analyses, *Journal of Orthopaedic Research*, 23, pp. 788–794.
3. Chapman, J.R., Harrington, R.M., Lee, K.M., Anderson, P.A., Tencer, A.F., Kowalski, D., 1996. Factors Affecting the Pullout Strength of Cancellous Bone Screws, *Journal of Biomechanical Engineering*, August, 118, pp. 391-398.
4. Kim, Y., Choi, W., Rhyu, K., 2012. Assessment of Pedicle Screw Pullout Strength Based on Various Screw Designs and Bone Densities-an Ex Vivo Biomechanical Study, *The Spine Journal*, 12, pp. 164–168.
5. Amaritsakul, Y., Chao, C., Jin, C., 2014. Comparison Study of the Pullout Strength of Conventional Spinal Pedicle Screws and a Novel Design in Full and Backed-out Insertions using Mechanical Tests, *Proc IMechE Part H:J Engineering in Medicine*, 228(3) pp. 250–257.
6. Inceoglu, S., Kılınçer, C., McLain, R.F., 2008. Screw Design Alters the Effects of Stress Relaxation on Pullout, *Bio-Medical Materials and Engineering*, 18, pp. 53–60.
7. Yaman, O., Demir, T., Arslan, A.K., İyidiker, M.E., Tolunay, T., Camuscu, N., Ulutas, M., 2015. The Comparison of Pullout Strengths of Various Pedicle Screw Designs on Synthetic Foams and Ovine Vertebrae, *Turk Neurosurg*, 25, 4, pp. 532-538.
8. Perren, S.M., 2002. Evolution of the Internal Fixation of Long Bone Fractures, *The Scientific Basis of Biological Internal Fixation: choosing a new balance between stability and biology*, *J Bone Joint Surg.*, 84B, pp. 1093-1110.

9. Chatzistergos, P.E., Magnissalis, E.A., Kourkoulis, S.K., 2010. A parametric Study of Cylindrical Pedicle Screw Design Implications on the Pullout Performance using an Experimentally Validated Finite-element Model, *Medical Engineering & Physics*, 32, pp. 145–154.
10. Chao, C.K., Hsu, C.C., Wang, J.L., Lin, J., 2008. Increasing Bending Strength and Pullout Strength in Conical Pedicle Screws: Biomechanical Tests and Finite Element Analyses, *Spinal Disord Tech*, 21, 2, pp. 130-138.
11. Feerick, E.M., McGarry, P., 2012. Computational Study of Cortical Bone Screw Pullout using the Extended Finite Element Method (XFEM), 2012 SIMULIA Community Conference.
12. Zdero, R., Rose, S., Shcemicsch, E. H., Papini, M., 2007. Cortical Screw Pullout Strength and Effective Shear Stress in Synthetic Third Generation Composite Femurs, *ASME J. Biomech. Eng.*, 129, pp. 289–293.
13. Krenn, M.H., Piotrowski, W.P., Penzkofer, R., Augat, P., 2008. Influence of Thread Design on Pedicle Screw Fixation, *J Neurosurg Spine*, 9, pp. 90–95.
14. ASTM F543-02, 2009. Standard Specification and Test Methods for Metallic Medical Bone Screws, *Annual Books of ASTM Standards*, Volume 13.01, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, pp. 134–153.
15. Edidin, A.A., Kurtz, S.M., 2000. Influence of Mechanical Behavior on the Wear of 4 Clinically Relevant Polymeric Biomaterials in a Hip Simulator, *The Journal of Arthroplasty*, 15, 3, pp. 321-331.

## Casting the Swarms Problem in the Ensembles Context

Çağatay KOK\*<sup>1</sup>, Seven Burçin ÇELLEK<sup>1</sup>, Çağlar KOŞUN<sup>2</sup>, Serhan ÖZDEMİR<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Izmir Institute of Technology, Department of Mechanical Engineering, İzmir*

<sup>2</sup>*Izmir Institute of Technology, Department of City and Regional Planning, İzmir*

*Geliş tarihi: 03.08.2016*

*Kabul tarihi: 03.10.2016*

### Abstract

Robotic swarms have been modeled in a myriad of ways. One property of the swarms is their multitude. As their numbers increase to uncountable numbers, the thermostatical mechanics may come into play. Authors took advantage of this fact so as to generate global statistics for the swarm. Three distinct ensembles are explained and formulated. When isolated, the swarms behave as if microcanonical ensemble reigns. But when a predator or a prey appears, transitions are observed depending on the conditions. Therefore, both the formulations and the transitions are all contingent. Finally, observed probabilities were discussed.

**Keywords:** Swarm modeling, Statistical physics, Ensembles, Robotics

### Sürüler Probleminin Topluluk Bağlamı Açısından Modellenmesi

#### Öz

Sürü robotları yüzlerce farklı şekilde modellenmiştir. Kalabalık olmaları sürülerin bir özelliğidir. Sayılamayacak kadar çok sayıya ulaştıklarında, termo-istatistiksel mekanik devreye girebilir. Yazarlar bu avantajı kullanarak sürü robotları için evrensel istatistik oluşturmak istediler. Üç temel topluluk açıklandı ve formüle edildi. Sürüler izole edildiklerinde mikrokanojik uyum ortama hakim olurken, ortama av veya avcı girişi olur ise, duruma bağlı olarak değişimler gözlemlenir. Bu yüzden formülasyonlar ve geçişler şarta bağlıdır. Son olarak gözlemlenen olasılıklar tartışıldı.

**Anahtar Kelimeler:** Sürü modellemesi, İstatistiksel fizik, Genel uyumlar, Robotik

---

\*Sorumlu yazar (Corresponding author): Çağatay KOK, [cagataykok@std.iyte.edu.tr](mailto:cagataykok@std.iyte.edu.tr)

## 1. INTRODUCTION

Swarms so far have been modeled through a multitude of techniques in literature. These techniques range from stability analyses to modeling biological inspired swarms, and particle swarm optimization. To exemplify, Rauch, Millanos, and Chialvo have studied pattern formation by mean-field stability analysis [1]. They generated a Langevin like equation for motion of particles. Another modeling study published by Matinoli, Easton, and Agassanun mentions distributed control of robots in a case study of collaboratively completing a given task. They introduced a research which concerned with probabilistic and non-spatial model of swarm robotics. This research was not interested in spatial distribution or trajectories of robots [2]. Additionally, Chen and Fang have investigated collective behavior of social foraging swarms with the help of Lyapunov stability theory [3]. Arlotti, Deutsch, and Lachowicz have proposed a Boltzmann-type mathematical swarm model for groups of agents moving orderly into the same direction [4]. More over most of the other publications have made use of Particle Swarm Optimization (PSO) [5-9]. Even though there is a plethora of literature modeling dynamics down to particle scale, none of them has dealt with particle locations specified by probability functionals. Probability functionals may be acquired in many ways. One of these ways is by means of thermostatical mechanics.

When one scours through the articles about modeling by ensembles, it may easily be seen that ensembles are being used in different branches of science from astrophysics to food chemistry. To name a few, Zhang has created a canonical ensemble model in order to examine the statistical significance of the quantum tunneling radiation spectrum [10,12]. Roman and Dukelsky have introduced grand canonical and canonical ensemble modeling in order to detect the low energy excited states in the pairing model of superconductivity (Bardeen-Cooper-Schrieffer model) [11]. The main objective of Nogawa, Ito, and Watanabe was to investigate the evaporation-condensation transition of the Potts model. In

accordance with this purpose, an intrinsically system-size-dependent discrete transition between supersaturation state and phase-separation state has been surveyed in the microcanonical ensemble [13]. Wang and Yang have aimed at improving the capability of numerical calculation on statistical model with large lattice sizes by means of microcanonical ensemble theory [14]. Hilbert and Dunkel have introduced one-dimensional evaporation model and they have analyzed this model by calculating thermodynamic functions both for microcanonical and canonical ensembles. By doing so, they have analogized and exemplified the differences between the microcanonical and canonical ensembles [15]. Alkhimov has submitted a d-dimensional model of the canonical ensemble of open self-avoiding strings [16]. Knani, Khalfaoui, Hachicha, Ben Lamine, and Mathlouthi have used grand canonical ensemble in food chemistry for modeling of water vapor adsorption on food products [17]. Knani, Mathlouthi, and Ben Lamine have delved into the peripheral mechanism of taste perception by the aid of grand canonical ensemble [18]. But none yet may be found on swarm modeling.

In this paper, the authors have modeled the swarm behavior using ensembles within the thermostatical mechanics framework. The classical statistical mechanics have three formally posed ensembles, i.e. microcanonical, canonical and grand canonical ensembles. Each of the three ensembles will be explained below.

## 2. ENSEMBLES

In statistical mechanics, a little is known about a system when a system is defined as one particle. This knowledge however, is not enough to describe exact state the system is in. Therefore, using an N number of same structure particle system and observing average behavior in distinct probable states provides more information. Such systems are called ensembles [19].

Statistical mechanics does not govern the cases where one or more but limited number of particles is involved. Knowing how many particles hit

boundary walls of a system is more of a concern than knowing when one specific particle hits the walls [20].

### 2.1. Microcanonical Ensemble

Microcanonical ensemble can be described as a system insulated from energy and particle transfer, with a known internal energy denoted by “U” [21]. All state probabilities are equal to each other and is equal to  $p_i = 1/W$ , where W is number of the states. Also, its temperature is given as it follows.

$$\frac{1}{T} \equiv \frac{\partial S_{BG}}{\partial U} = k \frac{\partial \ln W}{\partial U} \quad (1)$$

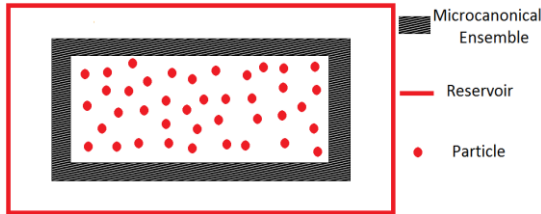
T = Temperature

$S_{BG}$  = Boltzmann-Gibbs Entropy

U = Total Energy of the System

k = Boltzmann constant

W = Number of States



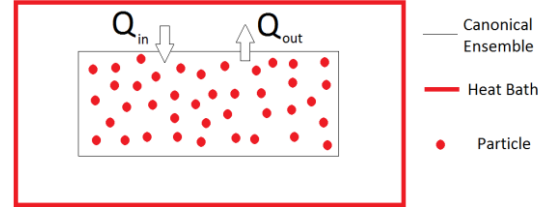
**Figure 1.** Representation of microcanonical ensemble

It can be imagined as an insulated box, shown in Figure 1, with N particles in it, and walls to be assumed rigid and smooth in order to talk about energy conservation when particles bump to the walls of box [20].

### 2.2. Canonical Ensemble

Canonical ensemble, in Figure 2, is a system that consists of N many particles and is in thermal equilibrium with a heat bath. Energy transfer is allowed with the heat bath, but particle transfer is impermissible. Heat bath can be described as a system with a relatively large heat capacity, in so much that its temperature remains constant in spite

of any energy transfer [22]. Since the energy transfer can be shown between the system and the heat bath, exact energy of the system is unknown.



**Figure 2.** Representation of canonical ensemble

However, mean energy U of the system can be calculated as it follows.

$$U = \sum_{i=1}^W p_i E_i \quad (2)$$

$$p_i = \frac{\exp(-\beta E_i)}{Z_{BG}} \quad (3)$$

$$Z_{BG} \equiv \sum_{i=1}^W \exp(-\beta E_i) \quad (4)$$

$$\beta = \frac{1}{kT} \quad (5)$$

$$\frac{1}{T} = \frac{\partial S_{BG}}{\partial U} \quad (6)$$

$$F_{BG} = U - TS_{BG} = -\frac{1}{\beta} \ln Z_{BG} \quad (7)$$

$$U = -\frac{\partial}{\partial \beta} \ln Z_{BG} \quad (8)$$

U = Mean Energy of the System

$p_i$  = Probability of The States

$E_i$  = Energy Eigenvalue

W = Number of States

$\beta$  = Lagrange Parameter

$Z_{BG}$  = Partition Function

$F_{BG}$  = Helmholtz Free Energy

### 2.3. Grand Canonical Ensemble

Grand canonical ensemble is a statistical ensemble whose particle number N is also given in form of average as well as its mean energy U. It means, a grand canonical ensemble can exchange particles with a reservoir. This reservoir can also act as a

heat bath, thus allows energy transfer as well [23]. Simply, a grand canonical can be seen in Figure 3 as an open system in contact with a reservoir [22].

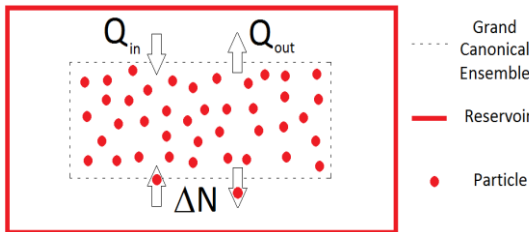


Figure 3. Representation of grand canonical ensemble

### 3. ENERGY AND MASS CONCEPTS IN SWARMS

Next, the authors wish to proceed by representing the swarms as a collection of particles, with a difference that they will be cast in ensembles. As may be read below, the differences and equivalences in ensembles appear as the occurrence of both the prey and the hunter. Prey and the hunter have an effect on swarm, and it can be described as a form of energy.

Other factors, such as environmental interactions, leadership disputes, etc. may also be described as disturbance and/or energy, and are omitted for the clarity of the thesis of this paper.

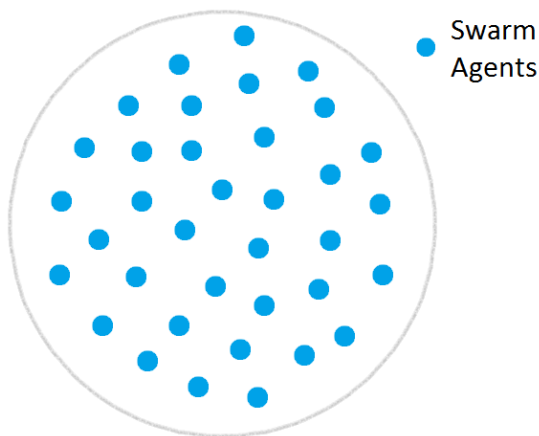


Figure 4. Swarm in microcanonical state

A swarm shows microcanonical characteristics when it is away from interactions of prey and/or hunter. There are no external influences on the swarm, and the swarm acts as if it is an isolated system, Figure 4.

All by itself, a microcanonical ensemble model would simply state that any formation is equally likely, and no preference of a particular configuration is observed. Its internal energy is constant; a minute temperature fluctuation is observed. Temperature may substitute for any state of the swarm, such as average speed, average distance, etc.

Aside from environmental interactions, leadership disputes, and all other psychologic reasons can be described as energy.

A swarm shows microcanonical characteristics when it is away from interactions of prey or hunter. There is no influence on swarm, and swarm acts as if it is an isolated system.

### 4. SWARM CAST IN ENSEMBLES, AND ENSEMBLE TRANSITIONS

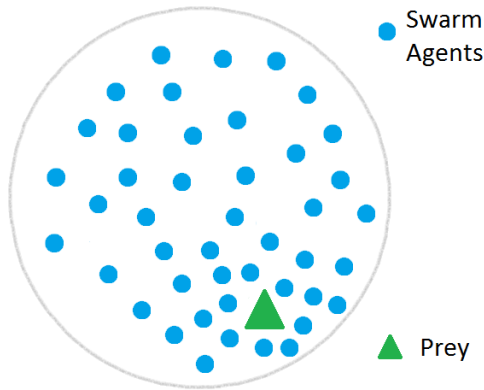
#### 4.1. Microcanonical to Canonical Ensemble Transitions

Transitions from the microcanonical to the canonical ensemble, and therefore the representation swarms in the canonical ensemble framework are given in the following two categories. These categories are heat dissipation and contraction, and heating and expansion as follows.

##### 4.1.1. Heat Dissipation and Contraction: The Prey

When the swarm finds a prey, probabilities in phase space change. Probabilities of the states close to the prey builds up, Figure 5, and it becomes likely to see more agents around the prey. Interactions between a swarm and a prey force the swarm to congregate at the location where the prey is. This shrinking in effective swarm radius

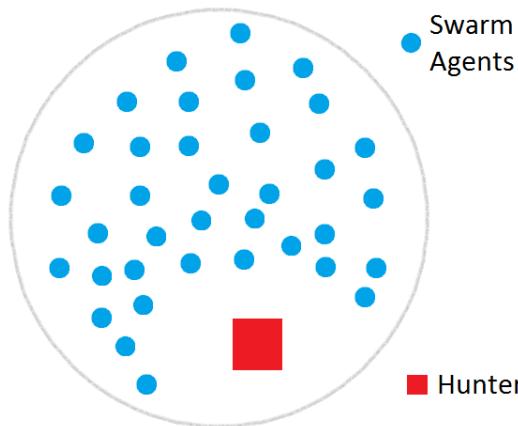
is an expected result of the energy dissipation from the system. Then it can be said that the presence of prey (food) has an effect of cooling on system.



**Figure 5.** Swarm in canonical state, interaction with prey

#### 4.1.2. Heating and Expansion: The Predator

When it comes to the interactions between the swarm and the predator, the swarm tries to get away and expand. This scene is similar to heating of the system. The state probabilities around the predator go to lower values, Figure 6, and the agents may tend to isolate the hunter, leaving a void around it, or flee from that location depending on the swarm size.



**Figure 6.** Swarm in canonical state, interaction with hunter

## 4.2. Canonical to Grand Canonical Ensemble Transition

There may be multiple ways where a grand canonical ensemble appears. One such case may be observed when two swarms start mingling. If the agents of these two swarms are identical, but assumes a predator role, not only an exchange of particles but loss of agents may be observed. Or simply that the swarm loses an agent, since it is a particle transfer, a loss or a gain of an agent can be defined as another transition, in this case, from canonical to grand canonical ensemble.

## 4.3. The Probabilities

The probabilities change after the transition from microcanonical to canonical ensemble. The probabilities that were originally uniform now become nonuniform. The probabilities of the states in canonical ensemble are functions of energy and the pseudo temperatures of those states, hence nonuniform. Temperature gradient (or speed gradient) is the cause of the new probability distribution.

Local interactions can be described as energy fluctuations when mass of hunter or prey is negligible compared to total mass of the swarm. This may very well be pronounced as *ensemble equivalence*.

## 5. CONCLUSION

In this study, the behavior of the collection of particles i.e. swarms is evaluated in thermostatical mechanics framework. Statistical ensembles are utilized to describe the behaviors of those particles and, hence this study focuses on modeling the swarm problem in the statistical ensembles. The authors deal with the swarm problem in three widely known statistical ensembles i.e. microcanonical, canonical and grand-canonical, each of which approaches the swarms in a different point of view. The initial state of the swarms is described within microcanonical ensemble where the agents of the swarms are isolated, Figure 4. In the following

scenarios, the transition from microcanonical to canonical and then to grand canonical ensembles are discussed in this paper. The scenarios of the transitions between the ensembles are illustrated and explained over predator, prey and swarm agents. It is assumed that the effects of prey and predator emerge in the form of energy. Thus, in the canonical ensemble context, the interaction between the swarm and the prey or predator would change the probabilities in the phase space, exhibiting the heating or cooling effects on the system, similar to Figure 5, and Figure 6. In grand canonical case, exchange of particles is also crucial, and in this paper, in the form of loss or gain of the agents is considered in the grand canonical ensemble. The authors believe that this new approach could deliver the researchers a tool that could bring in also a new insight regarding swarm behavior.

## 6. REFERENCES

1. Rauch, E.M., Millonas, M.M., Chialvo, D.R., 1995. Pattern Formation and Functionality in Swarm Models, *Physics Letters A* 207, no. 3-4: 185-93. doi:10.1016/0375-9601(95)00624-c.
2. Martinoli, A., Easton, K., Agassounon, W., 2004. Modeling Swarm Robotic Systems: A Case Study in Collaborative Distributed Manipulation, *Int J Robot Res The International Journal of Robotics Research* 23, no. 4: 415-36. doi:10.1177/0278364904042197.
3. Chen, S., Fang, H., 2006. Modeling and Stability Analysis of Social Foraging Swarms in Multi-obstacle Environment. *J. Control Theory Appl, Journal of Control Theory and Applications* 4, no. 4: 343-48. doi:10.1007/s11768-006-5170-8.
4. Arlotti, L., Deutsch, A., Lachowicz, M., 2005. A Discrete Boltzmann-type Model of Swarming, *Mathematical and Computer Modelling* 41, no. 10: 1193-201. doi: 10.1016/j.mcm.2005.05.011.
5. Zhao, Y., Zu, W., Zeng, H., 2009. A Modified Particle Swarm Optimization via Particle Visual Modeling Analysis, *Computers & Mathematics with Applications* 57, no. 11-12: 2022-029. doi: 10.1016/j.camwa.2008.10.007.
6. Lin, Y., Chang, W., Hsieh, J., 2008. A Particle Swarm Optimization Approach to Nonlinear Rational Filter Modeling, *Expert Systems with Applications* 34, no. 2: 1194-199. doi: 10.1016/j.eswa.2006.12.004.
7. Wu, Q., 2010. A Hybrid-forecasting Model Based on Gaussian Support Vector Machine and Chaotic Particle Swarm Optimization, *Expert Systems with Applications* 37, no. 3: 2388-394. doi: 10.1016/j.eswa.2009.07.057.
8. Chan, K.Y., Dillon, T.S., Kwong, C.K., 2011. Polynomial Modeling for Time-varying Systems Based on a Particle Swarm Optimization Algorithm, *Information Sciences* 181, no. 9: 1623-640. doi: 10.1016/j.ins.2011.01.006.
9. Cleghorn, C.W., Engelbrecht, A.P., 2014. A Generalized Theoretical Deterministic Particle Swarm Model, *Swarm Intell Swarm Intelligence* 8, no. 1: 35-59. doi:10.1007/s11721-013-0090-y.
10. Zhang, J., 2013. Canonical Ensemble Model for the Black Hole Quantum Tunneling Radiation, *Chinese Physics Letters Chinese Phys. Lett.* 30, no. 7: 070401. doi:10.1088/0256-307x/30/7/070401.
11. Sierra, G., Román, J.M., Dukelsky, J., 2004. The Elementary Excitations of the Bcs Model in the Canonical Ensemble, *International Journal of Modern Physics A Int. J. Mod. Phys. A* 19, no. Supp02: 381-95. doi:10.1142/s0217751x04020531.
12. Zhang, J., 2014. Canonical Ensemble Model for Black Hole Radiation, *J. Astrophys Astron Journal of Astrophysics and Astronomy* 35, no. 3: 573-75. doi:10.1007/s12036-014-9290-0.
13. Nogawa, T., Ito, N., Watanabe, H., 2011. Evaporation-condensation Transition of the Two-dimensional Potts Model in the Microcanonical Ensemble, *Physical Review E Phys. Rev. E* 84, no. 6. doi:10.1103/physreve.84.061107.
14. Wang, J., Yang, T., 1996. Numerical Microcanonical Ensemble Method for Calculation on Statistical Models with Large Lattice Sizes, *Phys. Rev. B Physical Review B* 54, no. 19: 13635-3642. doi:10.1103/physrevb.54.13635.



15. Hilbert, S., Dunkel, J., 2006. Nonanalytic Microscopic Phase Transitions and Temperature Oscillations in the Microcanonical Ensemble: An Exactly Solvable One-dimensional Model for Evaporation, *Physical Review E Phys. Rev. E* 74, no. 1. doi:10.1103/physreve.74.011120.
16. Alkhimov, V.I., 2014. A D-dimensional Model of the Canonical Ensemble of Open Strings, *Theoretical and Mathematical Physics Theor Math Phys* 180, no. 1: 862-79. doi:10.1007/s11232-014-0185-7.
17. Knani, S., Khalfaoui, M., Hachicha, M.A., Ben, Lamine, A., Mathlouthi, M., 2012. Modelling of Water Vapour Adsorption on Foods Products by a Statistical Physics Treatment Using the Grand Canonical Ensemble, *Food Chemistry* 132, no. 4: 1686-692. doi: 10.1016/j.foodchem.2011.11.065.
18. Knani, S., Mathlouthi, M., Ben Lamine, A., 2007. Modeling of the Psychophysical Response Curves Using the Grand Canonical Ensemble in Statistical Physics, *Food Biophysics* 2, no. 4: 183-92. doi:10.1007/s11483-007-9042-7.
19. William C., Kalmykov, Yu.P., Waldron, J.T., 1996. *The Langevin Equation: With Applications in Physics, Chemistry, and Electrical Engineering*, Singapore: World Scientific.
20. Sethna, James, P., 2006. *Statistical Mechanics: Entropy, Order Parameters, and Complexity*, Oxford, UK: New York.
21. Tsallis, C., 2009. *Introduction to Nonextensive Statistical Mechanics: Approaching a Complex World*, New York: Springer.
22. Bowley, R., Sánchez, M., 1996. *Introductory Statistical Mechanics*, Oxford: Clarendon Press.
23. Balian, R., 1991. *From Microphysics to Macrophysics: Methods and Applications of Statistical Physics*, Berlin: Springer-Verlag.



## A Novel Application of Chitosan Hydrogel for Eliminate Biofilm Formation on Urethral Catheters

Deniz ISMIK<sup>\*1</sup>, Sevil YÜCEL<sup>1</sup>, Melis ÖZGEN<sup>1</sup>, Ceren GENÇ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Yildiz Technical University, Faculty of Chemical and Metallurgical Engineering, Bioengineering Department, Istanbul*

<sup>2</sup>*Astra Medical Co-Ltd, Istanbul*

*Geliş tarihi: 04.09.2016*

*Kabul tarihi: 13.10.2016*

### Abstract

The aim of the present study was to investigate the effect of chitosan modification of silicon urethral catheters to improve antibacterial activity against to biofilm formation for long term catheterization. Chitosan was first immobilized on the silicon surface through a (3-aminopropyl) triethoxysilane (APTES) bridge in ethanol, toluene and acetone solutions, and glutaraldehyde used as cross linker. Fourier Transform Infrared Spectroscopy and Scanning Electron Microscopy were used for imaging surface modifications and characterization of silicone catheters. Biodegradability of chitosan hydrogel coatings was investigated with using artificial urea solution through pH measurements. The results showed that successful formation of chitosan hydrogels at catheter surface was observed both silicone urinary catheters

**Keywords:** Chitosan, Hydrogels, Urethral catheter, Silicone

### Üriner Kateterlerin Biyofilm Oluşumunu Engellemesi için Kitosan Hidrojelinin Yeni bir Uygulaması

### Öz

Bu çalışmada, uzun dönem kateterizasyonda kullanılan silikon üriner kateterlerin biyofilm oluşumuna karşı antibakteriyel aktivitesini artırmada kitosanın etkisi incelenmiştir. Kitosan; etanol, toluen ve aseton kullanılarak hazırlanan (3-aminopropil) trietoksisilan (APTES) çözeltileri vasıtasıyla silikon yüzeye bağlanmıştır. Çapraz bağlayıcı olarak glutaraldehit kullanılmıştır. Yüzey karakterizasyonu için Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) ve Scanning Electron Microscopy (SEM) kullanılmış, yapılan kitosan hidrojel kaplamaların biyobozunurlukları yapay üre sıvısında, sıvının pH değişimlerinin ölçülmesiyle incelenmiştir. Sonuç olarak, kullanılan silikon üriner kateterlerin üzerinde kitosan hidrojel kaplamaların başarılı bir şekilde oluşturulduğu gözlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Hidrojel, Kitosan, Üriner kateter, Silikon

\*Sorumlu yazar (Corresponding author): Deniz ISMIK, [ismikdeniz@gmail.com](mailto:ismikdeniz@gmail.com)

## **1. INTRODUCTION**

Chitosan, one of the most important and wide natural polymer, have many usages in medicine, agriculture and food industry. The antimicrobial activity of chitosan against to microorganisms, such as bacteria, yeast, and fungi, has been revealed.

There is a lot of urethral catheter materials like latex, polyvinyl chloride (PVC) in market for using catheterization. Latex is cheap and biocompatible material, it can be shaped easily, so it is suitable for catheterization; but therewithal latex is an allergic material for humans so there are some complications for usage as a urethral catheter material. PVC is also cheap, it can be producible and shaped easily, but PVC is just not enough to be protected biofilm formation. There is no antibacterial properties of PVC itself, so, for urethral catheterization, it needs coatings and some additives against to biofilm formation. Some coatings are preferred like hydrogels, or some additives like antibiotics or silver nanoparticles to increase the antibacterial properties of urethral catheters.

Silicon (Si) is one of the suitable polymers to use for produce of urethral catheters. Silicone is stronger and flexible material than latex or PVC. And also it is more permeable and more deformable, with this features it is more suitable for patients comfort. Furthermore, occurrence of biofilm layer is more difficult at a silicone surface. These superior properties make silicone safer and more useful material for urethral catheters [1-3].

In this study, chitosan was used as a hydrogel coating for silicone urinary catheter to improve antibacterial activity against to biofilm formation. Chitosan was first immobilized on the silicone surface through a (3-aminopropyl) triethoxysilane (APTES) bridge, and glutaraldehyde was used as cross linker.

Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) and Scanning Electron Microscopy (SEM) used for imaging surface modifications and characterization of silicone catheters. Also

biodegradability of chitosan hydrogel coatings was investigated with immersion of catheters in artificial urea solution for 25 days.

## **2. EXPERIMENTAL PROCEDURE**

### **2.1. Materials**

Silicon catheters were obtained from Rüşch, Teleflex, Malaysia. For artificial urea solution; urea, sodium chloride, disodium hydrogen orthophosphate (anhydrous), potassium dihydrogen orthophosphate, ammonium chloride, creatinine and sodium sulfite were used. Artificial urea solution chemicals, sodium carbonate, sodium phosphate, and chitosan (medium molecular weight) purchased from Sigma (USA). Acetone, toluene, ethanol, hydrogen peroxide and sulfuric acid purchased from Merck (USA).

### **2.2. Silicone Surface Modification**

Silicone surface modification was performed according to the method of Lü Xiaoying et. al. [4]. This method was modified in the view of the immersion time, solvent types and the percentage by volume of solvents. Silicone catheters were cut into 4 mmx10 mm pieces and underwent cleaning in methanol, toluene and acetone, each for 10 min at centrifuge, and dried under N<sub>2</sub> atmosphere. The process was as follows; the cleaned silicone pieces were immersed in a 3:7 piranha solution (98% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> and 30% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) for 5 h and washed with deionized water to give a hydrophilic surface to bond with APTES. After dried under N<sub>2</sub>atmosphere, silicone pieces were immersed in 2% APTES/95% acetone, 2% APTES/95% toluene [5] or 2% APTES/95% ethanol solutions [6] for 1h and 2h to investigate the effects of different solvents and time for binding process. After this process, samples were washed five times. Whereby, an -NH<sub>2</sub> surface was obtained. After being dried, the silicone pieces with the -NH<sub>2</sub> surface was immersed in 2% glutaraldehyde/H<sub>2</sub>O.2% glutaraldehyde/acetate buffer (pH 4.2), 2% glutaraldehyde/phosphate buffer (pH 7.2) or 2% glutaraldehyde/carbonate

buffer (pH 10.2) solutions to investigate the effects of different pH values for binding process for 1 h and 2h. After washing with deionized water, the silicone pieces were immersed in a 1% chitosan/HAc solution for 1 h. Then, the silicone pieces were taken out and dried in air dryer. Finally, silicone pieces were treated with a 0.1 M NaOH solution for 1 h and washed with deionized water until the pH value of the waste water reached the pH value of deionized water. After this process silicone pieces were dried at air dryer. Also silicone pieces were immersed in 10% APTES/90% toluene or 10% APTES/90% ethanol solutions to investigate the effects of APTES concentration for binding process. Silicone pieces immersed in 10% glutaraldehyde/H<sub>2</sub>O solutions. The same steps were applied for these samples.

### 2.3. Characterization

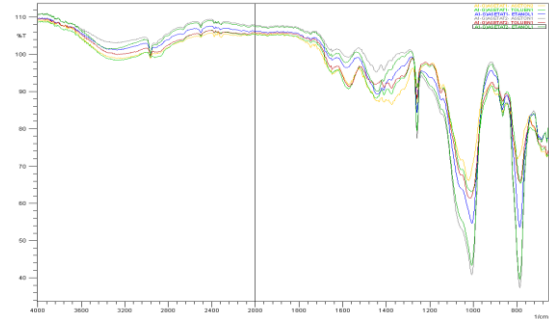
Infrared spectra of the samples were collected by using an FT-IR spectrometry (Thermo Scientific Nicolet iS10, USA) in the wave number range of 650 to 4000 cm<sup>-1</sup>. Scanning Electron Microscopy (SEM) was used for imaging chitosan hydrogels at the silicone surface. Artificial urea solution was used to determine the biodegradability of chitosan hydrogel coatings.

### 2.4. Results and Discussion

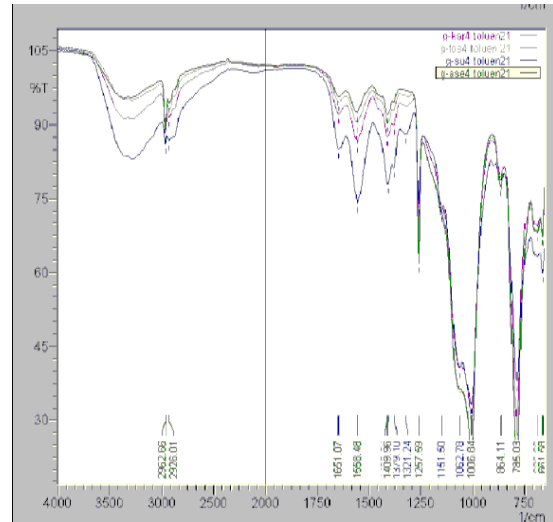
The results showed that, homogeneity of chitosan hydrogel coatings were affected by immersion time, solvent types and the percentage by volume of solvents.

#### 2.4.1. FT-IR Studies

Figure 1 and 2 show the FT-IR spectra of chitosan hydrogel coated catheters. The peaks at around 3400 cm<sup>-1</sup> and 1630 cm<sup>-1</sup> are assigned to isolated hydroxyl groups. The spectrum exhibits the asymmetric and symmetric bending of the Si–O–Si bonds at around 1055 cm<sup>-1</sup> and 794 cm<sup>-1</sup> for silica. C=N bonds gives peaks at around 1650 cm<sup>-1</sup>. The peaks between 1650 cm<sup>-1</sup> and 1350 cm<sup>-1</sup> confirmed the existence of chitosan [5].



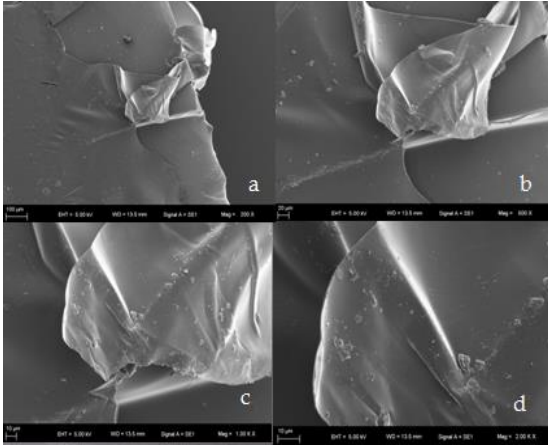
**Figure 1.** FT-IR spectrum of chitosan hydrogel coated catheters prepared with 2% APTES/95% toluene and 2% glutaraldehyde/acetate buffer chitosan hydrogel (dark green)



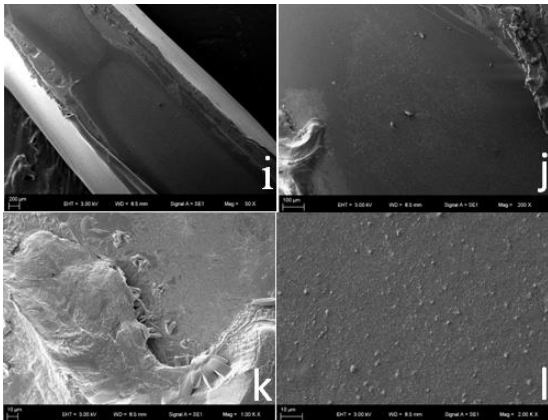
**Figure 2.** FT-IR spectrum of chitosan hydrogel coated catheters prepared with 10% APTES/90% toluene and 10% glutaraldehyde/acetate buffer chitosan hydrogel (green)

#### 2.4.2. SEM Analysis

Figure 3 and Figure 4 show the SEM images of the chitosan hydrogel coated catheters. The samples consisted of irregular shape of chitosan hydrogels. While immersion time at chitosan increased from 1 hour to 2 hours, the APTES ratio and glutaraldehyde ratio was also increased 2% to 10%, catheters were coated more homogenous.



**Figure 3.** SEM images of prepared with 10% APTES/90% toluene and 10% glutaraldehyde/acetate buffer chitosan hydrogel a) 200 X b) 500 X c) 1.00K X d) 2.00K X



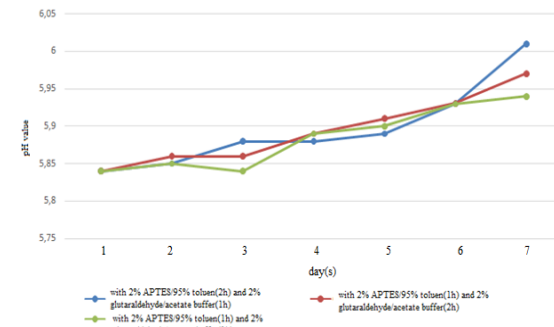
**Figure 4.** SEM images of prepared with 2% APTES/95% toluene and 2% glutaraldehyde/acetate buffer chitosan hydrogel e) 50 X f) 200 X g) 1.00K X h) 2.00K X

### 2.4.3. Biodegradation Studies

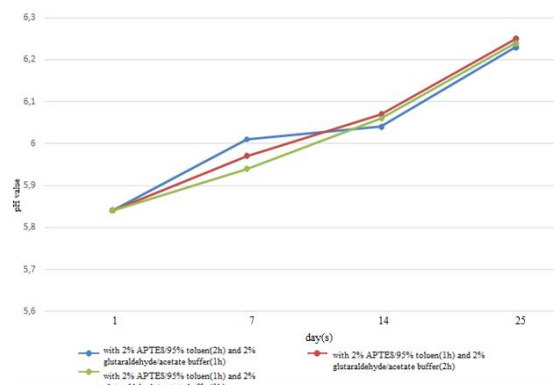
Figure 5 and Figure 6 show the biodegradation of chitosan hydrogels in artificial urea solution. Biodegradation of chitosan hydrogels were studied for prepared with 2% APTES/95% toluene and 2% glutaraldehyde/acetate buffer chitosan hydrogels. The samples were immersed in artificial urea solution for 25 days.

In first week (Figure 5), pH of artificial urea solution increased slowly. In 25 days (Figure 6) pH of artificial urea solution increased from 5,84 to 6,25.

In both studies pH of the artificial urea solution increased overtime. This can be interpreted as shown in the figures, degradability of the material increased by immersion time. (Figure 5, Figure 6).



**Figure 5.** Biodegradation studies of prepared with 2% APTES/95% toluene and 2% glutaraldehyde/acetate buffer chitosan hydrogels in 7 days



**Figure 6.** Biodegradation studies of prepared with 2% APTES/95% toluene and 2% glutaraldehyde/acetate buffer chitosan hydrogels from day 1 to day 25

## 3. CONCLUSION

In this study, chitosan was used as a hydrogel coating for silicone urinary catheter to improve antibacterial activity against to biofilm formation.

Chitosan was first immobilized on the silicone surface through a (3-aminopropyl) triethoxysilane (APTES) bridge, and glutaraldehyde was used as cross linker and examined by FT-IR, SEM and biodegradation studies. Homogeneity of chitosan hydrogel coatings affected by immersion time, solvent types and the percentage by volume of solvents. Based on the results, the samples which were prepared with 10% APTES and 10% glutaraldehyde had more homogenous chitosan hydrogel coatings than samples which were prepared with 2% APTES and 2% glutaraldehyde; but samples which were prepared with 10% APTES and 10% glutaraldehyde had some complications like changing color, so samples which were prepared with 2% APTES and 2% glutaraldehyde promising candidates for potential applications.

7. Raghunadh, A.S., Gomathi, T., Sudha, N., 2013. Physico-Chemical Characterization of Cross Linked Chitosan-Polyacrylonitrile Polymer Blends, 5 (2): 354-363.

#### 4. REFERENCES

1. Al-Aown, A., Kyriazis, I. et al. 2010. Ureteral Stents: New Ideas, New Designs, Therapeutic Advances in Urology, 2(2), 85.
2. Tunney, M.M., Gorman, S.P., 2002. Evaluation of Poly (Vinyl Pyrrolidone)-Coated Biomaterial for Urological use, Biomaterials, 23: 4601-4608.
3. Kowalczyk, D., Ginalska, G., Przekora, A., 2011. The Cytotoxicity Assessment of the Novel Latex Urinary Catheter with Prolonged Antimicrobial Activity, Journal of Biomedical Materials Research Vol 98(2) 222-228.
4. Xiaoying, L., We, İ.C., Yan, H., Yi, Z., Zhigong, W., 2009. Surface Modification on Silicon with Chitosan and Biological Research, Biomed. Mater. 4 (2009) 044103 (5pp).
5. Gunda, N.S.K., Singh, M., Norman, L., Kaur, K., Mitra, S.K., 2014. Optimization and Characterization of Biomolecule Immobilization on Silicon Substrates Using (3-aminopropyl) triethoxysilane (APTES) and Glutaraldehyde Linker, Applied Surface Science 305 (2014) 522–530.
6. Majoul, N., Aouida, S., Bessaïs, B., 2015. Progress of Porous Silicon APTES-Functionalization by FTIR Investigations, Applied Surface Science 331 (2015) 388–391.





## Tufanbeyli Linyitlerinin Mineral Madde İçeriğinin İnteraktif Rietveld Temelli X-Işını Difraksiyonu Yöntemi ile Kantitatif Olarak İncelenmesi

Abdulkadir ÜRÜNVEREN\*<sup>1</sup>, Suphi URAL<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 04.09.2016

Kabul tarihi: 29.09.2016

### Öz

Bu çalışmada, Tufanbeyli linyit numunelerinin mineral madde içerikleri X-ışını difraksiyon (XRD) tekniği ile incelenmiştir. Orijinal linyit numunelerinin X-ışını difraktogram çekimleri Rietveld yöntemi ile çalışan SIROQUANT yazılımı kullanılarak değerlendirilmiş ve mineral madde içerisindeki kristal formdaki mineraller ve bunların miktarları belirlenmiştir. Toplam mineral madde miktarının önemli bir kısmını oluşturan ve amorf formdaki inorganik maddelerin miktarını belirlemek için özütleme (liç) yöntemi kullanılmıştır. Numunelerde değişen miktarlarda kuvars, kalsit, aragonit, illit, illit/smektit, montmorillonit, götit ve pirit minerallerine rastlanılmıştır. Linyit numunelerinin mineral madde miktarının büyük bir kısmını suda ve asitlerde çözülebilen inorganikler oluşturmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Tufanbeyli, Kantitatif XRD, Rietveld, Siroquant, Özütleme

### A Quantitative Investigation of Mineral Content of Tufanbeyli Lignite by Interactive Rietveld Based X-Ray Diffraction Method

#### Abstract

In this study, mineral matter contents of Tufanbeyli lignite samples were investigated by X-ray diffraction (XRD) technique. The X-ray diffractograms of the original lignite samples were evaluated using the SIROQUANT software operating with the Rietveld method. The minerals and their quantities in the crystalline form in the mineral matter were determined. The extraction (leaching) method was used to determine the amount of inorganic substances in the amorphous form, which constitutes a significant portion of the total mineral content. Quartz, calcite, aragonite, illite, illite/smectite, montmorillonite, goethite and pyrite minerals were found in varying amounts in the samples. Most of the mineral content of lignite samples is soluble in water and acids.

**Keywords:** Tufanbeyli, Quantitative XRD, Rietveld, Siroquant, Extraction

---

\* Sorumlu yazar (Corresponding author): Abdulkadir ÜRÜNVEREN, [aurunveren@cu.edu.tr](mailto:aurunveren@cu.edu.tr)

## 1. GİRİŞ

Kömürün içerdiği mineral madde, kömürün üretimini, hazırlanmasını ve kullanımını etkilemektedir. Bu işlemlerin başarısı, kömürün içerdiği mineral maddenin özelliklerinin iyi tanınmasına bağlıdır. Kömür hazırlama tekniklerinin etkinlikleri ne olursa olsun, daima önemli miktarda mineral madde kömürde kalmakta ve kömürün kullanımında önemli rol oynamaktadır. Kömür, bir yakma ünitesinde yakıldığında, içerdiği mineral madde önemli değişikliklere uğrayarak; klinker oluşumu, korozyon, cüruf ve kurum gibi sorunlar yaratmaktadır. Kömürün temiz yakıtlara dönüştürülmesi amacıyla uygulanan, sıvılaştırma, gazlaştırma ve piroliz işlemleri de kömürün içerdiği mineral maddenin miktarından, türünden ve dağılımından önemli ölçüde etkilenmektedir. İçerdiği mineral maddeden kaynaklanan sorunların azaltılabilmesi için, kullanılan kömürün mineral madde içeriği konusunda yeterli bilgi sahibi olmak gerekmektedir.

Vorres'e [1] göre mineral madde, kömürdeki inorganik maddelerin ve elementlerin toplamı olarak değerlendirilmektedir.

Kömürde bulunan mineral maddeler üç ayrı sınıfa ayrılmaktadır [2]:

- Boşluk suyu içerisinde çözülmüş tuzlar ve diğer inorganik kalıntılar;
- Kömürün organik yapısı içerisinde bulunan inorganik elementler; ve
- Belli bir kristal yapısı olan inorganik tanecikler

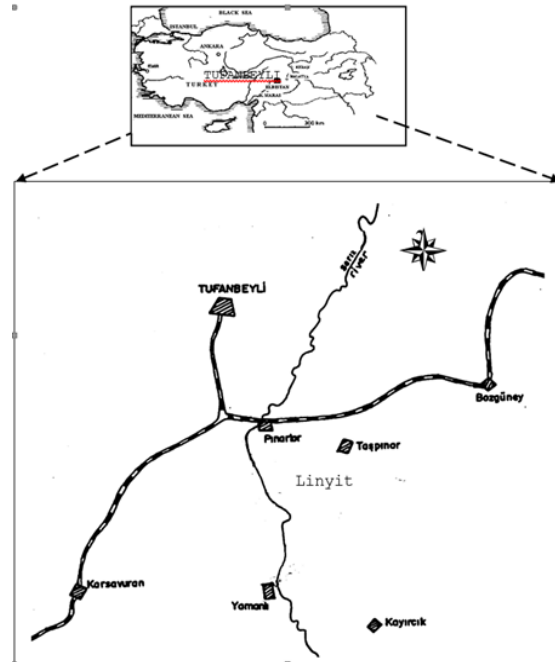
Yukarıda adı geçen ilk iki sınıf mineral maddenin mineral olmayan inorganik kısmını oluşturmakta ve bunlar genellikle düşük kaliteli kömürlerde mineral madde miktarının önemli bir kısmını oluşturmaktadır [3-5]. Yine Ward [5]'e göre bitümlü ve diğer yüksek kömürleşme derecesine sahip kömürlerde mineral madde miktarının büyük bir kısmını inorganik tanecikler ve mineraller oluşturmaktadır.

Bu çalışmada düşük kömürleşme derecesine sahip olan Tufanbeyli kömür numunelerinin [6] mineral madde içerikleri özütleme ve XRD teknikleri kullanılarak belirlenmeye çalışılmıştır.

## 2. TUFANBEYLİ LİNYİT SAHASININ TANITILMASI

Tufanbeyli'de bulunan, MTA Genel Müdürlüğü'ne ait, ÖİR 4289 ve ÖİR 2767 nolu ruhsat sahaları, 1/25000 ölçekli Elbistan L36, a3, b4, c1, d2 paftalarında yer almakta ve toplam 41,37 km<sup>2</sup>'lik bir alanı kaplamaktadır.

MTA Genel Müdürlüğü tarafından sahada 1985 yılında Jeolojik etütle başlayan çalışmalar 1989 ve 1990 yıllarında rezistivite, yüksek ayrımlı sığ sismik ve yapılan 19 adet sondajlı arama çalışmaları ile tamamlanmıştır. Bu çalışmaların değerlendirilmesiyle sahadaki kömür rezervi hesaplanmıştır. Linyit havzası Adana'ya 130 km mesafedeki Tufanbeyli ilçesi sınırları içerisinde yer almaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Tufanbeyli (Adana) linyit havzası yer bulduru haritası

Birbirlerinin mücaviri olan iki ruhsatın yer aldığı kömürlü saha kenarlara doğru yükselen düz bir ova görünümündedir. Sahadaki en büyük akarsu sahanın ortasında kuzeyden güneye doğru akan Sarız ırmağıdır. Saha Akdeniz Bölgesi içerisinde

yer almasına karşın, daha çok İç Anadolu Bölgesinin karasal ikliminin etkisi altındadır. Bu nedenle yağışlar kış mevsiminde kar, ilkbahar ve yaz mevsiminde yağmur şeklindedir. Ortalama rakım 1400 metre'dir. Doğal bitki örtüsü tamamen yok olmuştur. Sarız ırmağı kenarındaki verimli alüvyon topraklarında şekerpancarı, fasulye daha yüksek ve kurak yerlerde ise nohut ve hububat tarımı yapılmaktadır. Adana-Tufanbeyli kara yolu sahanın yanından geçmektedir. Bu nedenle sahaya ulaşım son derece kolaydır.

## 2.1. Genel Jeoloji

### 2.2. Stratigrafi

Sahada yapılan etütler sonucunda iki ayrı birim ayırtlanmıştır.

- Temel birimler
- Üst pliyosen-pleistosen birimleri

#### 2.2.1. Temel Birimler

MTA Genel Müdürlüğü tarafından yapılan etütler sonucunda bu birimler yaş veya litolojik olarak ayırtlanmamış, genel olarak Temel Birimler adı altında gösterilmiştir [7]. Kömürlü birimin altında bulunan ve temeli oluşturan bu birimler Paleozoik ve Mezozoik yaşlı kayalardan oluşmaktadır. Litolojik olarak çoğunlukla kireçtaşı-dolomit ve kuvarsitlerdir. Litolojik özelliklerin benzer olmasına karşın doku ve yapı farklılıkları belirgin olarak gözlenebilmektedir. Daha genç birimlere oranla aşınmaya karşı daha dayanıklı olmaları nedeniyle sahadaki önemli yükseklikleri oluşturmuşlardır.

#### 2.2.2. Üst Pliyosen-Pleistosen Birimleri

Tamamı sahada mostra vermeyen bu birimler aşağıdan yukarıya (Şekil 2) doğru beş ayrı birime ayrılmıştır [7].

1. Konglomera Çakıllı Kil: Kömürlü birimin tabanını oluşturan bu birim sahanın hiçbir yerinde yüzeylenmemektedir. Paleozoik-Mezozoik yaşlı birimlerden kopuk gelen çakıllardan oluşmaktadır. Havzanın ilk oluşumu sırasında yamaç molozu ve çamur akıntısı halinde gelmesiyle çökelmiştir.

Kalınlığı 10-50 m arasında değişmekte tabakalaşma göstermemektedir.

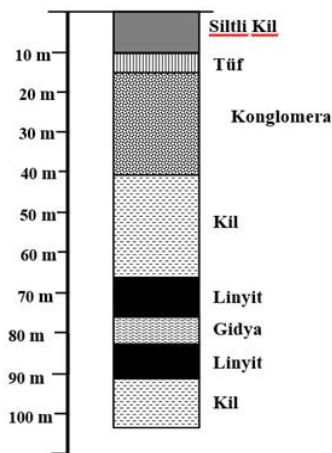
2. Kil-Kömür-Gıdya: Kil ve siltten taneli oluşur. 15-100 m arasında değişen kalınlığa sahiptir. 1,35-28,6 arasında değişen kalınlıkta kömür damarları içerir. Kömür damarları arasında Gıdya tabakaları yer alır. Yer yer bol olmak üzere tatlı su Gastropodları içerirler. Birim oldukça bol karbonatlı olup az tutturulmuştur.

3. Ufak Çakıl Serpantinli Kil: Kalınlığı 100-150 m dolayında olan bu birim gri-yeşilimsi gri renkli, karbonatlı silt-ince kum mercekli ve ufak çakıl serpantinleri içerir ve tabakalanma gözlenmemiştir. Havza ortasında daha ince taneli olan bu birim havza kenarlarına doğru gittikçe kumtaşı ve konglomeralara geçiş yaparlar.

4. Konglomera: 100-150 m arasında değişen kalınlığa sahip olan bu birim kötü boylanmış, polijenik az tutturulmuş, belirsiz, yer yer çapraz katmanlı, kumtaşı mercekli, çamur akıntılı, sarımsı kahverengidir.

5. Tüfit: Erciyes volkanizmasına bağlı olarak oluşmuş, pembe renkli andezitik özellikteki bu birimin kalınlığı 0-5 m arasında değişir. Bu birimin en iyi görüldüğü yer Tilki Tepe'nin batı yamacıdır.

6. Alüvyon: Sarız ırmağı ve buna bağlı kolların kenarlarında gelişen tutturulmamış çakıl-kum ve kilden oluşmaktadır. Sahanın batısında oldukça geniş ve verimli alüviyal toprakları oluşturmuşlardır.



Şekil 2. Tufanbeyli kömür sahası genelleştirilmiş stratigrafik kesiti [7]

### 2.3. Jeoloji Tarihçesi

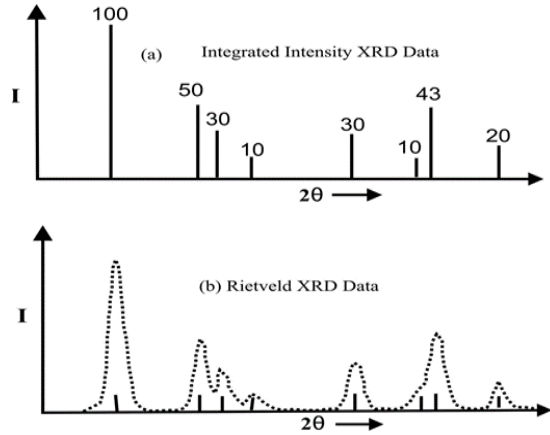
Pliyosen başlarında Temel Birimlerinde oluşan faylanmalarla dağlar arası çöküntü havzası oluşmuş, bu havzaya kenarlardan gravite kaymaları ile akarsularla tabandaki konglomeratik birimler çökelmeye başlamıştır. Bir süre sonra bu havza sığ göl bataklık ortamı haline gelişmiş ve kömürlü biriminde bulunduğu birimler havzada oluşmaya başlamıştır. Bu oluşum pleistosen ortalarına kadar devam etmiştir. Üst pleistosen başlarında havza akarsu-alüvyial yelpaze özelliği kazanmış ve bu sırada üstteki konglomeratlar ve bunun da üzerine Erciyes volkanizması ürünü olan tüfitler çökelmişlerdir. Havza bugünkü görünümünü Holosen’de kazanmaya başlamıştır [7].

### 3. MATERYAL VE METOT

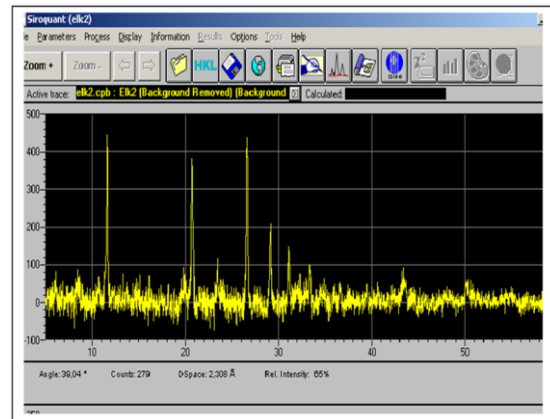
Tufanbeyli, linyit sahasında yapılan karotlu sondajlardan alınan altı adet kömür numunesinin XRD çekimleri Anadolu Üniversitesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü’nde gerçekleştirilmiştir. XRD çekimleri Rigaku difraktometre ile Cu K $\alpha$  tüple, 5°-60° arasında, 0,02°/dakika ganyometre hızında yapılmış ve sonuçlar sayısal olarak bir dosyaya kaydedilmiştir. Söz konusu numunelere ilişkin faz analizleri Anadolu Üniversitesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü’nde yapılmıştır. Bu dosyalar SIROQUANT bilgisayar yazılımına tanıtılarak kristal haldeki mineraller ve bunların miktarları belirlenmiştir. [8] en küçük kareler yöntemini kullanarak, XRD grafiğinin herhangi bir noktasında bir mineralin şiddetini (intensity) hesaplayabilen bir formül geliştirmiştir. [9] bir karışımdaki 25 farklı mineralin miktarlarını belirleyebilen Rietveld temelli SIROQUANT yazılımını hazırlamıştır (Şekil 3).

Kantitatif faz analizi yapılacak numunelere ilişkin XRD dosyaları SIROQUANT bilgisayar yazılımına tanıtılmış ve yazılımın “BACKGROUND” modu amorf maddenin XRD çekiminde oluşturduğu alan çıkartılmıştır (Şekil 4). Daha önce kalitatif faz analizinde belirlenmiş olan minerallerin “\*.hkl” dosyaları yazılımın veri tabanından bulunarak oluşturulan dosyaya tanıtılır

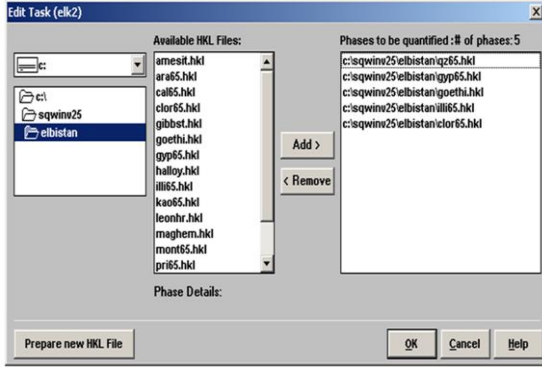
(Şekil 5). Yazılımın otomatik ön tarama modu kullanılarak mineral fazlarına ilişkin “\*.hkl” dosyaları XRD patternine yerleştirilir (Şekil 6). Daha sonra en az 5 aşamadan oluşan ince tarama işlemi vasıtasıyla orijinal XRD çekimi ile modellenen XRD grafiği üst üste çakıştırılır (Şekil 7). SIROQUANT her fazın toplam kristal formdaki mineraller içerisindeki ağırlıkça oranını, yine her faz için Rietveld ölçek faktörüne göre standart sapmasını ve orijinal XRD grafiği ile modellenen XRD grafiği arasındaki uygunluk değerini ( $\chi^2$  bölünmesi) vermektedir.  $\chi^2$  değerinin 1,0 olması XRD grafiği ile modellenen XRD grafiği arasındaki uygunluğun tam olarak sağlandığını gösterir (Şekil 8).



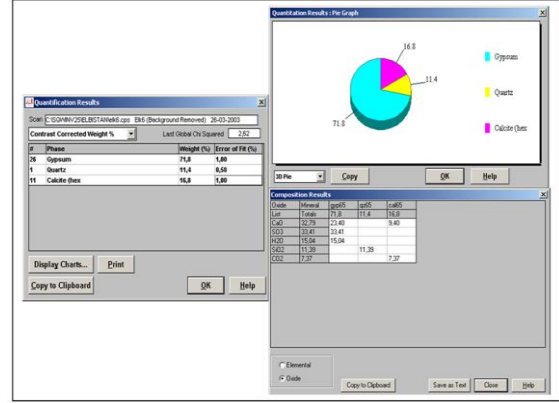
Şekil 3. Rietveld tahmin yöntemi ile kantitatif faz analizi



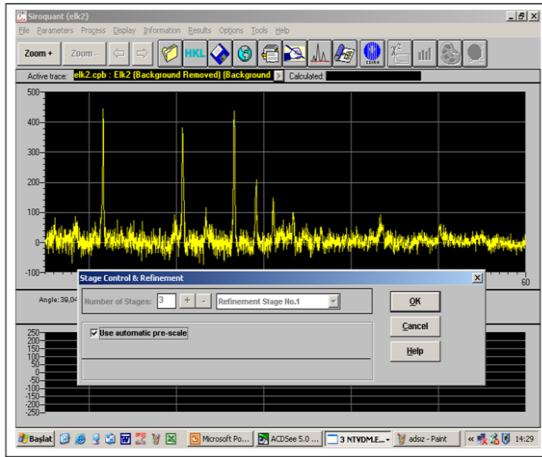
Şekil 4. XRD çekimine “BACKGROUND” modunun uygulanması



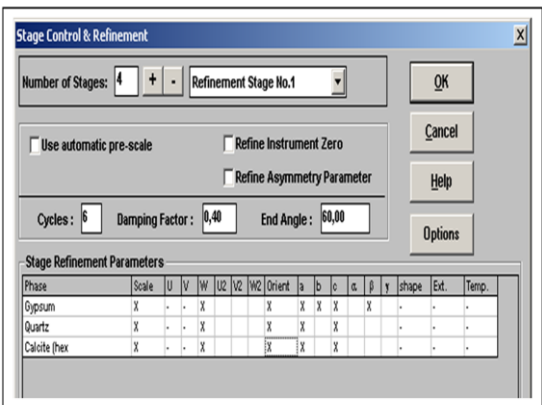
Şekil 5. Mineral fazlarına ilişkin \*.hkl dosyalarının hazırlanması



Şekil 8. Kantitatif faz analiz sonuçları



Şekil 6. Otomatik ön-tarama modu ile \*.hkl dosyalarının tanıtılması işlemi



Şekil 7. En az 5 aşamadan oluşan ince tarama işlemi

Toplam mineral madde miktarının önemli bir kısmını oluşturan ve kristal formda olmayan inorganik maddelerin miktarını belirlemek için, Ward'ın [10]'ın kullandığı teknik esas alınarak, özütleme (İiç) yöntemi kullanılmıştır. İlk aşamada 3 g kömür numunesi içerisinde 85 ml saf su bulunan santrifüj tüpüne yerleştirilerek katı-sıvı ayırımı yapılmış ve aynı numuneler 80°C su banyosunda 24 saat bekletildikten sonra aynı işlem tekrarlanmıştır. Daha sonra tüplerdeki su ve diğer çözümler uzaklaştırılarak, numunenin saf suda ağırlığını ne kadar kaybettiği ölçülmüştür. Daha sonra aynı numuneler amonyum asetat ve HCl çözümleri ile muamele ile muamele edilerek tekrar ağırlık kayıpları belirlenmiştir. Numunelerdeki katı-sıvı ayırımı proje kapsamında temin edilen 6000 devirli Hettich marka santrifüj ile gerçekleştirilmiştir. Bu işlemden sonra geriye kalan numuneden AS 1038,22 (2000) standardına uygun olarak 370°C'de kül elde edilmiştir. 212 µm elekten geçirilen numuneler darası alınmış krozelere yerleştirildikten sonra yeniden tartılarak 200°C sıcaklığa getirilmiş olan fırına yerleştirilir. Aynı numunelerin piritik ve sülfat kükürt yüzdeleri belirlenir. 2 saat'lik süre içerisinde fırının ısı yavaş yavaş 370°C'ye çıkarılır. Numuneler günde 2 kez fırından çıkarılarak nikel veya porselen bir kaşıkla karıştırılır. Bu işlemin amacı henüz yanmamış karbon parçacıklarını ortaya çıkartmaktır. Bu işlemler numunelerin ağırlığı ~%1 oranında sabit tartıya gelinceye kadar sürdürülür. Numunelerin tamamen okside olması yaklaşık olarak 5 gün sürmektedir.

## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

### 4.1. Kantitatif XRD Analizi

Daha önce faz analizi ile varlığı tespit edilen her bir mineral fazı için Rietveld formatında XRD veri dosyaları hazırlandıktan sonra ağırlıkça yüzdeleri elde edilmiştir. SIROQUANT her fazın toplam kristal formdaki mineraller içerisindeki ağırlıkça oranını, yine her faz için Rietveld ölçek faktörüne göre standart sapmasını ve orijinal XRD grafiği ile modellenen XRD grafiği arasındaki uygunluk

değerini ( $\chi^2$  bölünmesi) vermektedir.  $\chi^2$  değerinin 1.0 olması XRD grafiği ile modellenen XRD grafiği arasındaki uygunluğun tam olarak sağlandığını göstermektedir (Çizelge 1). Şekil 9'da T1 numunesine ilişkin orijinal XRD grafiği, modellenen XRD grafiği ve her iki grafik arasındaki fark görülmektedir. Numunelerde değişik oranlarda kuvars, kaolinit, montmorillonit, illit, kalsit, aragonit, jips, feldspat ve pirit minerallerine rastlanılmış olup kuvars ve kil mineralleri majör minerallerdir.

Çizelge 1. Kum için model parametreleri

	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Kuvars (%)	10,9(3)	24,3(2)	25,8(4)	15,6(2)	16,4(2)	23,2(4)
Kaolinit (%)	10,3(9)	12,7(4)	4,5(4)	1,2(6)	7,7(6)	14,7(7)
Montmorillonit (%)	6,9(7)	18,4(5)	22,9(5)	8,6(5)	16,9(4)	11,6(5)
İllit (%)	10,6(8)	11,3(9)	10,5(4)	2,3(8)	9,7(7)	22,6(6)
Kalsit (%)	1,7(3)	0,5(6)	1,2(3)	2,8(6)	0,9(2)	3,8(3)
Aragonit (%)	0,4(2)	0,6(3)	1,0(2)	2,5(4)	1,7(2)	4,5(2)
Jips (%)	53,9(5)	29,5(6)	23,8(2)	63,9(4)	40,7(3)	14,0(4)
Feldspat (%)	4,7(5)	3,2(7)	9,1(4)	1,3(2)	4,9(2)	2,1(4)
Pirit (%)	0,6(2)	0,4(9)	1,2(3)	1,8(3)	1,1(3)	3,5(4)
Global $\chi^2$	3,5	4,2	2,4	3,7	4,1	3,2

### 4.2. Suda ve Asitte Çözünabilen Mineral Madde Miktarının Tayini

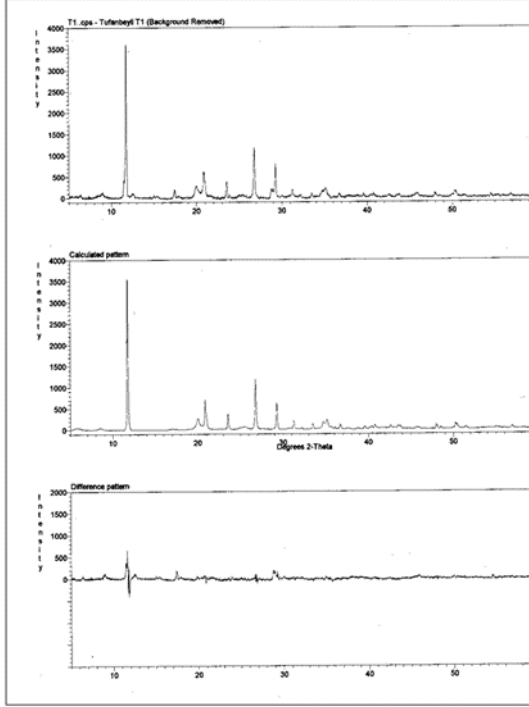
Toplam mineral madde miktarının önemli bir kısmını oluşturan ve amorf formda olan inorganik maddelerin miktarını belirlemek üzere numuneye önce su banyosu, daha sonra da amonyum asetat ve HCl asit banyoları yaptırılarak mineral maddenin suda ve asitte çözünen kısmı ağırlıkça belirlenmiştir (Çizelge 2). Numunelerdeki toplam

mineral madde miktarları %61 ile 79 arasında değişmektedir. Ayrıca bu mineral madde miktarlarının %30,4 ile %49,6 arasındaki bir kısmı da suda ve asitlerde çözünmektedir. Tufanbeyli kömürü gibi genç bir kömürde, mineral madde miktarının üçte biri ile yarısı arasındaki bir kısmının suda ve asitlerde çözünmesi bu kömürlerin hazırlanmasını ve kullanımını etkileyen önemli bir özelliği olarak ortaya çıkmaktadır.

Çizelge 2. Özütleme deney sonuçları

	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Suda ve asitte çözünen mineral madde (%)	49,6	34,2	30,4	32,3	44,7	31,6
Toplam mineral madde miktarı (%)	79,0	61,0	64,0	62,0	69,0	63,0





Şekil 9. T1 kömür numunesine ilişkin (a) orijinal XRD grafiği; (b) modellenen XRD grafiği; (c) her iki grafik arasındaki fark

## 5. SONUÇ

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıdadır:

- Kömür numunelerinin toplam mineral madde miktarları %61 ile %79 arasında değişmektedir.
- Toplam mineral madde miktarlarının %30 ile %50'si, özütleme işlemleri ile, suda ve asitlerde çözülmüştür. Tufanbeyli kömürü gibi genç bir kömürde, mineral madde miktarının üçte biri ile yarısı arasındaki bir kısmının suda ve asitlerde çözünmesi bu kömürlerin hazırlanmasını ve kullanımını etkileyen önemli bir özelliği olarak ortaya çıkmaktadır.
- Numunelerde değişik oranlarda kuvars, kaolinit, montmorillonit, illit, kalsit, aragonit, jips, feldspat ve pirit minerallerine rastlanılmıştır.
- Kristal formdaki minerallerin önemli bir bölümünü kuvars ve kil mineralleri oluşturmaktadır.

## 6. TEŞEKKÜR

Yazarlar bu çalışma için maddi destek sağlayan Çukurova Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Destekleme Fonu'na (MMF2003BAP5) teşekkür ederler. Ayrıca, bu çalışma için teknik destek sağlayan New South Wales Üniversitesi Öğretim Üyelerinden Colin WARD'a ve Anadolu Üniversitesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyelerinde Prof. Dr. Nuran AY'a da teşekkür ederiz.

## 7. KAYNAKLAR

1. Vorres, K.S. (1984) Mineral Matter and Ash in Coal, American Chemical Society, Washington.
2. Ward, C.R. (Ed.), 1984. Coal Geology and Coal Technology. Blackwell, Oxford, 345 pp.
3. Ward, C.R., 1991. Mineral Matter in Low-rank Coals and Associated Strata of the Mae Moh Basin, Northern Thailand, International Journal of Coal Geology 17, 69-93.
4. Ward, C.R., 1992. Mineral Matter in Triassic and Tertiary Low-rank Coals from South Australia, International Journal of Coal Geology 20, 185-208.
5. Ward, C.R., 2002. Analysis and Significance of Mineral Matter in Coal Seams, International Journal of Coal Geology 50, 135-168.
6. Karayığit, A.İ., Akdağ, T., 1996. The Geology and Coal Petrography of Miocene Lacustrine Lignites and Permian Bituminous Coals from the Karapınar Area, Sarız-Türkiye, Doğa Turkish Journal of Earth Sciences, Vol. 5, No. 1, pp. 1-10.
7. MTA, 1993. Adana/Tufanbeyli ÖİR-2767 ve ÖİR-4289 Ruhsat Nolu Linyit Sahası Ön Değerlendirme Raporu, Ankara.
8. Australian Standard 1038.22, 2000. Coal and Coke—Analysis and Testing, Part 22: Higher Rank Coal—Mineral Matter and Water of Constitution, Standards Australia International Ltd. Gefen A. Consequences of Imbalanced Joint-muscle Loading of the Femur and Tibia: from Bone Cracking to Bone Loss. In: Leder RS, Editor. 25th Annual International Conference of the IEEE: Engineering in

*Tufanbeyli Linyitlerinin Mineral Madde İçeriğinin İnteraktif Rietveld Temelli X-Işını Difraksiyonu Yöntemi ile Kantitatif Olarak İncelenmesi*

- Medicine and Biology Society. Proceedings; 2003 Sep 17-21; Cancun (Mexico): IEEE; 2003; p. 1827-1830.
9. Rietveld, H.M., 1969. A Profile Refinement Method for Nuclear and Magnetic Structures, Journal of Applied Crystallography 2, 65-71.
  10. Taylor, J.C., 1991. Computer Programs for Standardless Quantitative Analysis of Minerals using the full Powder Diffraction Profile, Powder Diffraction 6, 2-9.



## Temiz Suya Ulaşmada Bina İçi Su Yapıları Üzerine Halktaki Farkındalık ve Bilincin Ölçülmesi

Rozelin AYDIN<sup>\*1</sup>, Yağmur ATAKAV<sup>1</sup>, Seda CEYLAN<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Adana Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Biyomühendislik Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 07.08.2016

Kabul tarihi: 13.10.2016

### Öz

Bu araştırmanın amacı, Adana İli Seyhan İlçesi'nde apartmanlarda ikamet eden halkta, su depolarının halk sağlığı üzerine olan etkilerini araştırmak ve bu konuda halktaki farkındalık ve bilincin ölçülmesidir. Araştırmaya Adana İli Seyhan İlçesi'nde ikamet edip su deposu kullanıcısı olan 102 kadın 426 erkek olmak üzere toplam 528 kişi katılmıştır. Denekler basit rastgele örnekleme yöntemine göre seçilmiş, anketler yüz yüze görüşme tekniği kullanılarak uygulanmış, veriler Spss 15.0V paket programı kullanılarak çözümlenmiştir. Her bir soruya verilmiş olan cevaplar için frekans ve yüzde dağılımlar hesaplanmış, gruplar arasındaki farkın anlamlılık seviyesinin belirlenmesinde ise ki-kare testinden yararlanılmıştır. Elde edilen verilerin analizi sonucu, katılımcıların %88,6'sının sudan hastalık bulaşacağını bildiği, %42,6'sının depo temizlenme sıklığını bilmediği, su depolarının önerilen sıklıkta temizlenme oranının %22,5 olduğu, %62,3'ünün ölümcül etkileri olabileceğini belirttikleri belirlenmiş, yapılan çapraz tablolarda eğitim özelliğinin birçok cevap için istatistiksel olarak anlamlı farka sebep olduğu gözlenmiştir. Su depoları üzerine halktaki bilinç ve farkındalık düzeyinin ölçülmesi konusunda karşımıza çıkan en büyük sorunun eğitimsizlik olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Su depoları, Depo temizliği, Farkındalık, Sudan bulaşan hastalıklar, Anket

### An Analysis of Awareness and Consciousness of Public on the Indoor Water System in Apartment Building in Terms of Accessing to Clean Water

#### Abstract

The purpose of this research is to investigate on health effects of water storage tanks on public health and to analyze awareness and consciousness of residents live in an apartment building in province of Seyhan, Adana. The research has conducted on total of 528 people;102 woman and 426 man, who use water from water storage tanks and lives in Seyhan district, Adana. Participants were chosen according to simple random sampling method, questionnaire were completed by using face to face interview method, data were analyzed using SPSS 15.0V. Frequency and percentage distribution were calculated for each answer

\*Sorumlu yazar (Corresponding author): Rozelin AYDIN, raydin@adanabtu.edu.tr

given and chi square tests were used to determine statistical significance between the groups. The analysis of questionnaire showed, of the 582 participant 88.6% knew about disease transmission risks from contaminated water, 42.6% had no knowledge of the cleaning frequency of the storage tanks while the tanks that have cleaned in recommended frequency was 22.5%, 62.3% stated that contaminated water may have lead to deaths. Also, education characteristic showed statistically significant relationships with most of the questions in cross-tabulations. Lack of knowledge was determined as the most important problem in terms of awareness and consciousness levels of public on water storage tanks.

**Keywords:** Water storage tanks, Water storage tank cleaning, Awareness, Waterborne diseases, Survey

## 1. GİRİŞ

Su insan hayatının en önemli yapıtaşlarından birisidir. Yetişkin bir insanın vücut ağırlığının %70'ine kadarını oluşturabilen suyun yeterli miktarda vücutta bulunması, tüm hücre ve organ sistemlerinin düzgün çalışması için gereklidir [1]. Sadece içme amaçlı değil kişisel temizlik, besinlerin temizliği ya da yaşam alanları vb. temizliğinde de suya ihtiyaç duyulmaktadır. İnsan sağlığı için önerilen günlük su tüketim miktarı kadınlar için 2,7, erkekler için 3,7 litredir [2]. Burada en önemli olan parametre tüketilen suyun sağlıklı ve temiz olmasıdır. Sağlıklı ve temiz su, renksiz, tatsız ve kokusuz olmakla birlikte, içerisinde hastalık yapıcı mikroorganizmalar ve zararlı kimyasallar bulundurmaz [1,3,4].

Kirletici etmenler; çözülmüş oksijen, fekal koliform bakteriler, süspansiyonel sediment, çözülmüş katılar, fosfor ve patojen gibi biyolojik etmenler olarak sıralanabilir. Ancak sudan gelen en önemli tehlike, suların hastalık yapıcı mikroorganizmalar ile bulaşık olmasıdır [1]. Hastalık yapıcı mikroorganizmaların suya taşınması, suların ya hayvan ya da insan dışkı ile teması ile oluşturmaktadır [1,5]. Bulaşık olan bu sular kolera, diyare, dizanteri, hepatit A, tifo ve polyo (çocuk felci) gibi ölümcül olabilecek hastalıklara sebebiyet verebilmektedir [3,5-7]. Sudan bulaşan hastalıklardan ölümcül sonuçlarla sonuçlananlarının başında vücudun susuz kalmasına neden olan diyare gelse de, şistozomiazis gibi hastalıkların görülme oranı da oldukça yüksektir [1].

Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) verilerine göre, her yıl 3,4 milyondan fazla insan su kaynaklı

hastalıklardan dolayı ölmekte, 502.000 insan bulaşık sulara bağlı ishal sebebi ile hayatına kaybetmekte, 240 milyon kişi şistozomiazisten tedavi görmektedir [4]. Halk arasında yaygın olan “Bulaşmalar sadece kirli suyun içilmesi ile gerçekleşir” düşüncesi ise gerçeği yansıtmamaktadır. Nitekim *Pseudomonas*, *Flavobacterium* ve *Klebsiella* cinslerine ait bakteri türleri ile bulaşık suların deri ve göz gibi bölgeler ile teması halinde çeşitli enfeksiyonlara sebep oldukları bilinmektedir [3].

Ülkemizde de tüm dünyada olduğu gibi temiz suya ulaşım yıllar içinde kolaylaşmış, kaynağından alınan sular tesisatlar ile toprak altından kilometrelerce taşınarak depolara ve evlere kadar getirilmiştir. Ancak, kaynağından kullanım aşamasına kadar en kolay kirlenen madde sudur. Bu taşınım aşamasında isale hatlarında kullanılan metallerin oksitlenmesi, kullanılan plastik malzemelerin kalitesine göre çevreden bazı kontaminantların difüzyonuna olanak vermesi, dağıtımda boru bağlantılarının doğru şekilde yapılmaması ve borularda oluşabilecek hasarlar gibi sebeplerle suların kimyasal ve mikrobiyolojik olarak kirlenmesine neden olarak, bireylerin sağlıklı suya erişiminde büyük bir risk oluşturmaktadır [1,5]. Bunun önüne geçilmesi için, sağlıklı ve güvenli içme-kullanma suyunun topluma ulaştırılması ile yükümlü olan yerel yönetimlerce sular klorlanmakta ve ilgili parametreler düzenli olarak test edilmektedir. Temiz bir şekilde binalara ulaşan suyun bina içi yolculuğu ne yazık ki sahipsiz kalmaktadır. Bina içine ulaşan su, ilk aşamada kullanılmak üzere depolarda bekletilmektedir. Sağlık Bakanlığı su depolarının yılda iki kere profesyonel ekiplerce

temizletirilmesi gerektiği konusunda kullanıcıları uyarsa da, bu uyarı birçok kesim tarafından bilinmemekte, bazı durumlarda ise bilinmesine rağmen depo temizliği doğru bir şekilde, alanında uzman bir ekip tarafından yapılmamaktadır [8].

Bu çalışmanın amacı Adana İli Seyhan İlçesi'ndeki apartmanlardaki su deposu kullanan insanların, su deposu ve temizliği üzerine farkındalık ve bilinç düzeylerinin ölçülmesidir.

## 2. MATERYAL VE METOT

### 2.1. Araştırma Evren ve Örneklemi

Araştırmanın evrenini Adana İli'nin Seyhan İlçe sınırları içerisinde bulunan yetişkinler oluşturmaktadır. Araştırmanın örneklemini ise, 2014 yılının Ocak-Nisan ayları arasında araştırmayı kabul eden, basit rastgele örnekleme yöntemi ile seçilmiş apartmanlarında su deposu kullanan 528 denekten oluşturmaktadır. Bu amaç ile 744 kişi ile anket yapılmış ancak uygun görülmeyenler elenmiştir.

### 2.2. Veri Toplama Aracı ve Analizi

Çalışmanın amacı, su deposu kullanan bireylerin suyun önemi ve su depolarının temizliği üzerine farkındalık ve bilinç düzeylerinin ölçülmesi amacıyla hazırlanmış olan anketimiz, yüz yüze görüşme tekniği kullanılarak uygulanmış, veriler SPSS 15.0V paket programı kullanılarak değerlendirilmiştir. Her bir soruya verilmiş olan cevaplar için frekans ve yüzde dağılımlar hesaplanmış, gruplar arasındaki farkın anlamlılık seviyesinin belirlenmesinde ise ki-kare testinden yararlanılmıştır.

## 3. BULGULAR

Yapılan anket sonucunda katılımcıların %33,7'sinin 36-46 yaş aralığında olduğu, %80,7'sinin erkek, %58,9'unun ilkökul mezunu ve %55,1'inin kapıcı olduğu belirlenmiştir (Çizelge 1).

**Çizelge 1.** Katılımcılarının demografik özellikleri

Tanımlı Özellikler	Katılımcı Sayısı	Yüzdeler Dilim (%)	
Yaş	24 ve Altı	7	1,3
	25-35	88	16,7
	36-46	178	33,7
	47-57	164	31,1
	58 ve Üstü	91	17,2
Cinsiyet	Kadın	102	19,3
	Erkek	426	80,7
Eğitim	İlkokul Mezunu	311	58,9
	Lise Mezunu	139	26,3
	Üniversite Mezunu	78	14,8
Görüşülen Kişi	Kapıcı	291	55,1
	Apartman Sakini	85	16,1
	Apartman Yönetimi	152	28,8

Ayrıca katılımcıların şebeke suyunu yüksek oranda besinlerin yıkanması (%97,9), yemek yapımı (%96), genel ev temizliği (%98,5) ve kişisel temizlik (%99,8) amaçlı kullandığı görülmüştür. Bu kullanım alanlarını %84,3 gibi bir oranla içme suyu amaçlı kullanım takip etmiştir (Çizelge 2).

**Çizelge 2.** Katılımcıların şebeke suyunu kullanım amaçlarına göre dağılımları

Su kullanım amacı	Evet		Hayır	
	N*	%*	N	%
Besinlerin yıkanması	517	97,9	11	2,1
Yemek yapımı	507	96	21	4
İçme suyu	445	84,3	83	15,7
Genel ev temizliği	520	98,5	8	1,5
Kişisel Temizlik	527	99,8	1	0,2

\*N: Katılımcı sayısı, %: Yüzdeler dilim

Su depolarının temizliği konusunda katılımcıların %57,4'ü temizlenme sıklığını bildiğini belirtmiştir. Ancak önerilen sıklıkta temizlenme oranı %22,5 olarak belirlenmiştir (Çizelge 3).

**Çizelge 3.** Katılımcıların su depolarının temizlenme sıklığı cevaplarına göre dağılımı

	N	%	
Ne sıklıkta temizliği yapıyor?	Yılda 2 kere	119	22,5
	Yılda 1 kere	228	43,2
	Daha seyrek	161	30,5
	Bilmiyorum	20	3,8
Temizliğinizin ne sıklıkla yapılması gerektiğini biliyor musunuz?	Evet	303	57,4
	Hayır	225	42,6

Depo temizliğinin düzenli olarak yapılmaması durumunda doğabilecek sonuçlar sorulduğunda, katılımcıların %86,7 bakteri ürer cevabını verirken, bu cevabı tesisatın tıkanması (%58,9) seçeneği takip etmiştir. Sudan hastalık bulaşır mı sorusuna katılımcıların %88,6'sı evet cevabını

verirken, sudan bulaşması muhtemel hastalıklar konusunda ise, katılımcıların %51,7'si bağırsak paraziti, %48,3'ü göz hastalıkları ve %36,6'sı bilmiyorum derken, ölümcül etkisi olabileceğini düşünen kişilerin oranı ise %62,3'te kalmıştır (Çizelge 4).

**Çizelge 4.** Katılımcıların su depolarının temizlenmemesinden oluşacak problemler ve sulardan geçen bulaşıcı hastalıklara verdikleri cevaplara göre dağılımları

	Evet		Hayır	
	N	%	N	%
<b>Depo temizlenmezse ne olur?</b>				
Tesisat tıkanır	311	58,9	217	41,1
Şofben bozulur	263	49,8	265	50,2
Bakteri ürer	458	86,7	70	13,3
Bir şey olmaz	22	4,2	506	95,8
Fikrim yok	35	6,6	493	93,4
<b>Sudan bulaşan hastalıklar:</b>				
Uyuz	135	25,6	393	74,4
Sarılık	172	32,6	356	67,4
Bağırsak paraziti	273	51,7	255	48,3
Göz hastalığı	255	48,3	273	51,7
Besin zehirlenmesi	136	25,8	392	74,2
Deri hastalıkları	137	25,9	391	74,1

Genel duruma bakıldığında, bireylerin %86'sı hastalık önlenilecekse depoyu değiştirebileceğini, %52,3'ü ise bu aşamada fiyatın önemli olduğunu belirtmiştir (Çizelge 5). Hastalığı önleyebilecekse değiştirir cevabı verenler içinde ise, bu aşamada fiyatın önemli olduğunu düşünenlerin oranı %53,5 olarak belirlenmiştir. Benzer şekilde, ölümcül etkileri vardır cevabı verenlerinse %91,8'lik bir kısmı hastalık önlenilecekse depoyu değiştirebileceğini belirtirken, %54,4'ü için bu aşamada depo fiyatının önemli olduğu görülmüştür.

**Çizelge 5.** Katılımcıların su depolarının temizlenmemesi sonucu ortaya çıkan sağlık riskleri ve depo fiyatlarının depo değiştirilmesi üzerine olan etkisine göre dağılımları

		N	%
Ölümcül etkileri var mıdır?	Evet	329	62,3
	Hayır	105	19,9
Hastalığı önleyebilecekse, depoyu değiştirir misiniz?	Evet	454	86
	Hayır	74	14
Bu aşamada fiyat ne kadar önemlidir?	Önemlidir	276	52,3
	Önemli değildir	252	47,7

Depoların temizlenme sıklığı üzerine görüşülen kişilerde, kişilerin statüsü ve eğitimi arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark görülmemiştir. Sudan hastalık bulaşır mı, bulaşabilecek hastalıklar ve ölümcül etkilerinin olup olmadığı sorularının eğitim özelliği ile yapılan çapraz tablolarında, aralarında istatistiksel olarak anlamlı ilişki bulunmayan ( $X^2=4,6$   $p>0,05$ ) tek özelliğin besin zehirlenmesi olduğu görülmüştür. “Sudan hastalık bulaşır mı?” ve “Ölümcül etkileri var mıdır?” sorularına verilen cevaplar ile “Hangi hastalıklar bulaşır?” sorusunun “Bilmiyorum” cevaplarında ilkökul mezunları ile diğer eğitim grupları arasında

istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunmuştur ( $p<0,05$ ) (Çizelge 6). Sudan hastalık bulaşır mı, bulaşabilecek hastalıklar ve ölümcül etkilerinin olup olmadığı sorularının yaş ve cinsiyet özelliği ile yapılan çapraz tablolarında istatistiksel olarak anlamlı bir fark görülmemiştir.

Görüşülen kişinin statüsü ile yapılan tablolarda ise sadece suda hastalık bulaşır mı, göz hastalıkları bulaşır mı ve ölümcül etkileri var mıdır sorularına verilen cevaplar istatistiksel olarak anlamlı ( $p<0,05$ ) bulunmuştur.

**Çizelge 6.** Sudan bulaşan hastalıklar ve olası sağlık risklerinin eğitim bazında değerlendirilmesi

		Eğitim			Ki Kare Değeri	P Değeri
		İlkokul	Lise	Üniversite		
Sudan hastalık bulaşır mı?	Evet	261	135	72	18,4	$p<0,05$
	Hayır	33	2	5		
	Bilmiyorum	17	2	1		
Uyuz	Evet	66	245	20	9,9	$p<0,05$
	Hayır	49	90	58		
Sarılık	Evet	84	58	30	10,9	$p<0,05$
	Hayır	227	81	48		
Bağırsak Paraziti	Evet	143	82	48	10,1	$p<0,05$
	Hayır	168	57	30		
Göz Hastalıkları	Evet	128	87	42	19,9	$p<0,05$
	Hayır	185	52	36		
Besin Zehirlenmesi	Evet	71	45	20	4,6	$p>0,05$
	Hayır	240	94	58		
Deri Hastalıkları	Evet	66	49	22	10,1	$p<0,05$
	Hayır	245	90	56		
Hepsi	Evet	50	42	13	12,7	$p<0,05$
	Hayır	261	97	65		
Bilmiyorum	Evet	128	38	26	8,3	$p<0,05$
	Hayır	183	101	52		
Ölümcül etkileri var mıdır?	Evet	175	96	58	13,8	$p<0,05$
	Hayır	68	24	13		
	Bilmiyorum	68	19	7		

#### 4. TARTIŞMA ve SONUÇ

Adana ili Seyhan ilçesinde 528 katılımcı ile yapılan araştırmamız sonucunda, depoların temizliğinde katılımcıların sadece yarısına yakınının depolarını profesyonellerce

temizlettiklerini belirtmeleri, bizlere depoların yarısından fazlasının doğru şekilde temizlenmediğini göstermektedir. Ayrıca kişilerle yapılan birebir görüşmelerde, profesyonel olarak adlandırılan kişilerin yetkinliği üzerine de şüpheler doğmuştur.

Profesyoneller tarafından temizlenmemiş su depoların temizliğininse; limon tuzu-sirke solüsyonları, kireç sökücüler, deterjanlar ya da boyama gibi hijyen sağlamaktan uzak ve kullanılan materyalin cinsine göre son derece zararlı olabilecek uygulamalar ile gerçekleştirildiği görülmüştür (Şekil 1-a, 1-b).



Şekil 1. a. Temizliği yapılmayan galvaniz depo  
b. Temizliği yapılmayan fayans depo

Depo temizlenme sıklığının bilinirliği ile depo temizlenme sıklığında görülen farklı uygulamaların arasında istatistiksel olarak anlamlı ( $X^2=24,598$   $p<0,05$ ) bir ilişki olduğunun belirlenmiş olması, bu konudaki bilinçlenmenin ne kadar önemli olduğunun bir kanıtıdır. Buna göre, kişilerin su depolarının temizlenme sıklığı hakkında bilinç ve farkındalığı arttıkça, sağlıklı ve temiz suya erişebilme oranları da artacaktır. Sudan bulaşan hastalıklar kısmında bağırsak paraziti ve göz hastalıklarının daha fazla seçilmiş olmasının sebebi, kişisel tecrübeler olabileceği gibi, özellikle kirli sulardan kaynaklı ishal vakalarının yazılı ve görsel medyada geniş yankı uyandırmasından kaynaklanmaktadır. Buna rağmen sudan bulaşan hastalıklar ile ölümcül etkileri konusunda halkın yeterli bilince sahip olmadığı görülmektedir.

Bireylerin sudan bulaşan hastalıkların ölümcül etkileri üzerine bilinci ile bu sebeple yapılacak olan depo değişimlerine bakış açıları arasında istatistiksel olarak anlamlı ( $X^2=28.752$   $p<0,05$ ) bir ilişki olduğu gözlenmiş ve bu bilincin fiyat ile bir ilişkisinin olmadığı görülmüştür. Buradan hareketle, her ne kadar depo fiyatları halk tarafından bilinmiyor olsa da, sağlık söz konusu

olduğunda bireylerin fiyata önem vermedikleri ortaya çıkmaktadır.

Çalışmamızın kilit sorularından biri olan sudan hastalık bulaşır mı ve ölümcül etkiler var mıdır sorularında cinsiyet ve yaş özellikleri açısından istatistiksel olarak anlamlı ( $p>0,05$ ) bir ilişki görülemez iken, statü ve eğitim özellikleri bakımından oldukça paralel bir ilişki görülmüştür. Bu paralelliğin sebebinin anketimize katılanların büyük bir çoğunluğunu oluşturan kapıcıların büyük oranda ilköğretim mezunu olmasından kaynaklanmaktadır. Bu kişilerin eğitiminin bina içi temiz suya ulaşmada kilit noktalardan biri olduğu yadsınamaz bir gerçektir.

Elde ettiğimiz tüm bu veriler ışığında, bina içerisinde sağlıklı ve temiz suya ulaşmada, su depolarının temizlenmemesi sonucunda ortaya çıkabilecek sağlık sorunları üzerine yerel halktaki gözlenen farkındalık ve bilinç eksikliğinin temel nedeninin eğitim olduğu ortaya çıkmıştır. Bu yüzden bu konunun çözümüne dair yapılacak ilk iş eğitim üzerine çalışmalara hız vermektir. Yetkili kamu kurum ve kuruluşlarınca verilmesi gereken bu eğitimlerle; temiz suyun önemi, sudan bulaşabilecek hastalıklar ve bina içi su yapılarının temizliği konularını içermeli ve mümkün olduğunca geniş kitlelere duyurularak topluma yayılması sağlanmalıdır. Bu konuda en büyük sorumluluk yerel yönetimlere düşmektedir.

Suyun bina içi yolculuğunda denetimsiz kalması birçok sağlık sorununu da beraberinde getireceğinden, konusunda son derece yetkin ve en son teknolojik donanımlara sahip bir birim ve/veya ekip kurularak kullanılamaz durumdaki su depoların kullanıma izin verilmeyip, yenileme sürecine gidilmesi ve yılda 2 kere depoların profesyonel ekipler tarafından temizlenmesi sağlanmalıdır. Temiz bir içme suyuna ulaşmanın en temel insan hakkı olduğu unutulmayarak bina içindeki su yapıları denetimsiz bırakılmamalıdır.

## 5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma Çukurova Kalkınma Ajansı tarafından desteklenmiştir (TR62/14/DFD/0025).

## 6. KAYNAKLAR

1. Güler, Ç., Çobanoğlu, Z., 2006. Su kirliliği. Halk Sağlığı Temel Bilgiler Kitabında Hacettepe Üniversitesi Yayınları, 521–37.
2. Sawka, M.N., Chevront, S.N., Carter, R., Human water needs. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16028570> [kaynak 03 Kasım 2016] Haziran 2005; 63(6 Pt 2), s. 30-9.
3. Sönmez, G., Çizmecioglu, B., 2007. Su ile Bulaşan Hastalıklar, TEB Haberler Derg, 4, 28–32.
4. Gorchev, H.G., Ozolins, G., 2011. WHO Guidelines for Drinking-Water Quality, WHO Chron, 38(3), 104–8.
5. Fawell, J., Nieuwenhuijsen, M.J., 2003. Contaminants in Drinking Water, British Medical Bulletin, s. 199–208.
6. Singh, G., Kaushik, S.K., Mukherji, S., 2016. Revelations of an Overt Water Contamination, Med J Armed Forces India.
7. <http://who.int/mediacentre/factsheets/fs391/en/>.
8. İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik. 2013.





## A Product Search Engine Supporting “Best Product” Queries

Furkan GÖZÜKARA\*<sup>1</sup>, Selma Ayşe ÖZEL<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Çukurova University, Faculty of Engineering and Architecture, Computer Engineering Department,  
Adana

Geliş tarihi: 07.08.2016

Kabul tarihi: 13.10.2016

### Abstract

In this study, a novel product search engine system which supports “find the best products for a given category” type queries is proposed. The product search engine system consists of a focused crawler, a record linkage system, a sentiment analyzer, and a query engine system. The focused crawler is used to crawl product information from various e-commerce sites; the record linkage system determines the identical products that are crawled from different e-commerce sites; the sentiment analyzer classifies users’ reviews about the products as positive or negative so that our product search engine can decide which product is the best for a given category; and the query engine takes the user queries and displays the result. All implementations are done by using C# programming language in .NET 4.5 framework, and MS-SQL Server 2014 database management system is employed for data storage. The core of our system is the record linkage part which is based on a modified incremental Hierarchical Agglomerative Clustering algorithm. To improve the success of record linkage process we also develop a product code matching system such that if the two products from different e-commerce sites have the same product code they are considered as the same. In our experimental analysis we observe 96.25% F-measure in record linkage of E-commerce products and 100% precision in most related products search. Our system can successfully offer best products for a given category. The proposed system achieves to provide better user experience than the existing systems.

**Keywords:** Sentiment analysis, Focused crawler, Record linkage, Comparison shopping agent, Product ranking

### “En İyi Ürün” Sorgularını Destekleyen Bir Ürün Arama Motoru

#### Öz

Bu çalışmada, “verilen bir kategori için en iyi ürünleri bul” tarzındaki sorguları destekleyen özgün bir ürün arama motoru sistemi önerilmektedir. Geliştirilen ürün arama motoru sistemi, bir odaklı tarayıcı, bir kayıt eşleştirme sistemi, bir duygu analizi sistemi ve bir sorgu motoru sisteminden oluşmaktadır. Odaklı tarayıcı sistemi çeşitli e-ticaret sitelerindeki ürün bilgilerini elde etmek için kullanılmaktadır; kayıt eşleştirme sistemi farklı e-ticaret sitelerinde satılan aynı ürünleri tespit etmektedir; duygu analizi sistemi ürünlere yapılan kullanıcı yorumlarını olumlu veya olumsuz olarak sınıflandırmakta ve bu sınıflandırma hangi ürünlerin aranan kategori için en iyi ürün olduğunu belirlemek için kullanılmaktadır ve sorgu motoru ise kullanıcıların sorgusunu alıp kullanıcılara sonuçları göstermektedir. Bütün sistem C#

---

\* Sorumlu yazar (Corresponding author): Furkan GÖZÜKARA, [furkangozukara@gmail.com](mailto:furkangozukara@gmail.com)

programlama dilinde .NET 4.5 alt yapısı kullanılarak geliştirilmiştir ve veri depolamak için MS-SQL 2014 veri tabanı yönetim sistemi kullanılmıştır. Önerilen sistemin temelini artımsal olacak şekilde değiştirilmiş Hiyerarşik Aglomeratif Kümeleme algoritmasına dayanan kayıt eşleştirme sistemi oluşturmaktadır. Kayıt eşleştirme işleminin başarısını artırmak için ürün kodu eşleştirme sistemi geliştirilmiştir. Bu sistem farklı e-ticaret sitelerinde satılan ismi farklı olarak yazılmış ancak aynı ürün koduna sahip ürünleri tespit edebilmektedir. Deneysel analizlerimiz sonucunda, e-ticaret ürünlerinin kayıt eşleştirmesinde %96,25 F-ölçeği ve en alakalı ürünler aramasında %100 kesinlik elde edilmiştir. Geliştirilen sistem verilen kategori içinde en iyi ürünleri başarılı bir şekilde kullanıcıya sunabilmektedir. Önerilen sistem mevcut sistemlere göre daha başarılı bir kullanıcı deneyimi sunabilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Duygu analizi, Odaklı tarayıcı, Kayıt eşleştirme, Karşılaştırmalı alışveriş ajanı, Ürün sıralama

## 1. INTRODUCTION

For the last 2 decades, the rapid spread of usage of the Web and the advances in Internet technology brought many commercial opportunities along with it, both in Turkey and in the world. Interactive product selling can be said as one of the biggest opportunity. The volume of interactive buy/sell is exponentially increasing and it has become a common part of the trade business. The interactive buy/sell of products over electronic systems such as Internet is described as E-commerce (Electronic Commerce) [1]. The E-commerce shopping is becoming an irrevocable part of our lives as each year passes. With the emerging new technologies, and the increase in the technological education level of the consumers, it is now much easier to do E-shopping than before. According to the Turkey's official BKM (Interbank Card Center) statistics [2], the electronic shopping volume in Turkey has increased to 50.682.910.000 TL in 2015 from 16.553.790.000 TL in 2011. This massive increase in transaction volume attracts many businesses to start operating in E-commerce area. Thus, many new E-commerce websites are starting to operate continuously. Due to the stiff competition among E-commerce businesses, many companies also have to halt their operations. Additionally, because of the competition, the E-commerce websites constantly update their prices and make discounts or campaigns. Therefore, it is quite not possible for average consumers to keep track of numerous E-commerce websites when going to make an online purchase. To provide best prices for an

online product and the other features of the product to the consumers, CSA (Comparison Shopping Agent) systems are developed [3]. These systems collect the necessary information from E-commerce websites and provide the processed structured information to the consumers. Because of these stated reasons, in this study we present a full scale CSA system for Turkish E-commerce websites. Our proposed system crawls 50 different E-commerce sites in Turkey to collect product information. After that our developed record linkage system clusters the same products from different sites, then we extract title, price, category, and user reviews for each unique product. Our sentiment analysis system classifies users' reviews for each product and according to positive and negative reviews we rank the products for each product category. Finally the query engine of our system takes user query and returns the "most related" and "best" products with their price and reviews for the given category. To develop our product search engine, we design our own focused crawler, sentiment analyzer, record linkage, and product ranking metric, and we observe performance improvement in the developed systems with respect to state of the art systems.

The rest of the paper is organized as follows: in the next section a summary for the related work about CSA systems, focused crawlers, sentiment analysis, and record linkage are presented. In the third section we briefly explain the methods used in our system. The fourth section includes experimental evaluation results, and finally section five concludes the study.

## 2. RELATED WORK

### 2.1. CSA Systems

The first widely recognized comparison agent is Bargain Finder [4] which is a focused CSA system that scans only online CD (Compact Disc) stores. It uses internal search system of the E-commerce websites in order to display results to the users. When a user submits a query, it transforms query into the internal searching structure of the online CD stores and then submits query to the registered online stores in its system. When the results return from the online CD stores, it integrates results and then displays to the users. It does not utilize any record linkage system. There exist numerous CSA studies in the literature such that [5,6] conducted by Guttman et al. and Sadeddin et al. Moreover, Pathak has published a detailed survey about the CSA systems [3].

### 2.2. Focused Web Crawlers

Web crawlers are software systems that are used to collect information from websites. Their main task is fetching websites, processing fetched source code and extracting new target hyperlinks to crawl. General web crawlers start with root URLs and continue until crawling all of the hyperlinks that they can find. However, this task is tedious and not doable for small or even average scale applications. Only a few large-scale commercial general search engines (e.g., Google, Bing, Yahoo, Yandex, and so on) can cope with the challenges and the massiveness of the entire Web and keep their index fresh. Therefore, developing focused Web crawlers are much more feasible and commonly practiced. Focused Web crawlers are specialized versions of general Web crawlers that crawl only certain topics or certain Web sites [7]. Even though they are much smaller scale than general Web crawlers, still many challenges and tough tasks await the developers who are going to build focused Web crawlers [8]. Studies of Heydon and Najork [9], Shkapenyuk and Suel [10], Boldi et al. [11], and Gomes and Silva [12] include how to design a general web crawler; studies of Shkapenyuk and Suel [10], Yohanes et al. [13], and Liu and Milios [14] discuss how to decide

more relevant pages for a focused web crawler to reduce resource requirements such as space, bandwidth, computation power, etc., in the crawling task.

### 2.3. Sentiment Analysis

With the emerging new technologies, today, electronic platforms such as internet blogs, E-commerce Web sites, digital newspapers, Facebook, Twitter, online forums, etc. become crucial for our lives. People not only read these platforms, but also leave their opinions about the related subjects. The analysis of these opinions has become a major interest recently in the NLP (Natural Language Processing) field. Sentiment analysis or opinion mining is the computational study of people's opinions, appraisals, attitudes, and emotions toward entities, individuals, issues, events, topics and their attributes [15]. There has been much research in the opinion mining and sentiment analysis area recently. There are three recent major surveys made by Pang and Lee [16], Liu and Zhang [15], and Vinodhini and Chandrasekaran [17].

### 2.4. Record Linkage

Grouping same entities from different sources into the same cluster is known as record linkage [18] in the literature and has been widely researched. As the record linkage task is heavily domain dependent, there exist numerous different algorithms proposed by Tejada et al. [19], Jin et al. [20], Yan et al. [21], Köpcke and Rahm [22], and Christen [23] for this task. Supervised (i.e., classification), unsupervised (i.e., clustering), and mixture of supervised and unsupervised methods are generally used for record linkage tasks. Many of the previous works are done on single category entities; for example, only on restaurants, or only on authors, or only on electronic devices, etc. However, in our study we have infinitely many number of categories such as video cameras, led TVs, smartphones, hard disks, printers, fans, grass mowers, perfumes, etc. and we try to develop a record linkage system to deal with all these categories.

### 3. ARCHITECTURE OF THE PRODUCT SEARCH ENGINE

The proposed product search engine consists of four main components that are i) focused crawler, ii) sentiment analyzer, iii) record linkage system, and iv) query processor. The details for each component are explained in the below subsections.

#### 3.1. The Focused Crawler

The proposed focused web crawler is used to crawl and extract information from 50 Turkish e-commerce web sites including hepsiburada, vatanbilgisayar, gittigidiyor, n11, trendyol, markafoni, etc. The crawler system starts crawling process from the seed URLs of the e-commerce sites, downloads and processes the Web pages,

extracts product information from product pages, and generates new URLs to be crawled. This process continues until no new pages from the e-commerce sites are found. Estimated numbers of Web pages in some e-commerce sites are presented in Table 1. As can be seen from the Table 1, there are thousands of Web pages to be crawled and processed. To achieve this goal our focused Web crawler is implemented in multi-threaded fashion and for each e-commerce site up to 50 concurrent connections have been made to provide both politeness for the e-commerce servers and fast crawling of the pages. Moreover, we develop some rules to distinguish product pages from other pages such that if a Web page satisfies the rules, the page is a product page and we extract product title, price, category, and users’ reviews for the product and store these information in a database for further processing.

**Table 1.** Estimated number of Web pages to be crawled for some e-commerce sites

E-commerce Site	Number of Web pages	E-commerce Site	Number of Web pages
Gittigidiyor	788,000	Teknosa	1,070,000
N11	781,000	Markafoni	473,000
Hepsiburada	778,000	Sanalpazar	552,000
Vatanbilgisayar	3,230,000	Kitapyurdu	627,000
Trendyol	570,000	Tozlu	1,110,000

#### 3.2. The Sentiment Analyzer

We use sentiment analysis to determine the polarity of the users’ reviews for each product, therefore try to rank products for a given category and be able to answer “best product” queries. The crawled user reviews are classified by using an SVM classifier. To train the classifier, we manually labeled some of the users’ reviews and obtain 600 positive and 600 negative comments. Then we apply lowercase conversion, transform diacritics, remove punctuations and non-ASCII characters. We do not remove stopwords and apply stemming as they decrease classification performance. After these preprocessing steps, the user reviews are converted to bag-of-words format and vectors are formed. Classifier is trained by using the labeled reviews then other reviews can be labelled by the trained model.

#### 3.3. The Product Record Linkage System

As we crawl product information from different e-commerce Web sites, we need to identify the same products from different sources. As each e-commerce site can give different names to the same products this identification process is not easy. For example, while “Sony Xperia Z2 Cep Telefonu” and “Telefon Sony Z2 Xperia” refer to the same products, “Sony Xperia Z2 Cep Telefonu” and “Sony Xperia M2 Dual Cep Telefonu” are completely different products and in this study we need to successfully distinguish these two cases. To identify the same products from different sources, we propose a record linkage system which is the core part of this study.

The proposed record linkage system is based on a hierarchical agglomerative clustering algorithm and works in incremental fashion. Our system uses

some domain expert defined rules while clustering the products. First of all prices of the products are compared, if the ratio of the prices of the two products are greater than a threshold value (e.g., 1.5) the two products can not be the same. If the products pass the price test, then their brands are compared. If both of the two products have brand information and the brands are different, they can not be the same product. If the products also pass the brand test then word conflict check is made. For example “pc” and “ps3” are conflicting words. The first one is used to define computer games while the second one defines PlayStation games. As an example, products having titles “PC DRAGON AGE INQUISITION” and “PS3 DRAGON AGE INQUISITION” are different although they seem very similar. If the two product titles have conflicting words, then they are considered as different. The last test that is applied is product code test. If the two product titles have product codes and these codes are different, then these two products can not be the same. We also propose an algorithm for product code detection and our algorithm can successfully detect product codes as in titles “18.5 PHILIPS 193V5LSB262

5MS SİYAH LED MONİTÖR” and “19.5 PHILIPS 203V5LSB26 5MS SİYAH LED MONİTÖR” and our record linkage system can decide that these two products are different.

### 3.4. The Query Engine and User Interface

The user interface allows user to enter his query and shows the results. Two different query types are supported by our system. The first query type is used to search for the most related products according to the user input as shown in Figure 1. As an example when user enters the search term “photograph (fotoğraf)” and clicks on the “Search a Product” button, the search terms are queried from the database and the products having the titles which includes the search term are displayed. The other products that are at the same cluster with the found ones are also listed. As shown in the Figure 1, minimum and maximum price information, and number of positive and negative comments for the products are also displayed. User is allowed to see the details of the products by clicking on the product names as shown in Figure 2.




Home Page Search Product Search Category						
fotoğraf						
Search a Product Search Most Popular						
#	Product Image	Product Name	Price		# of Offers	# of Comments
1		NIKON D7000 18-105MM VR KIT DİJİTAL FOTOĞRAF MAKİNESİ	Min 2,259 ₺	Max 3,106 ₺	16	45 8
2		Nikon D810 Body DSLR Dijital Fotoğraf Makinesi	Min 6,999 ₺	Max 9,699 ₺	5	0 0
3		Nikon CoolPix S2800 Dijital Fotoğraf Makinesi	Min 269 ₺	Max 297 ₺	7	1 0
4		Nikon CoolPix P510 Dijital Fotoğraf Makinesi	Min 1,206 ₺	Max 1,206 ₺	1	0 0
5		Nikon Coolpix S800C Siyah Dijital Fotoğraf Makinesi	Min 549 ₺	Max 699 ₺	3	0 0

Figure 1. Most related products search result in our proposed CSA system




#	Product Image	Product Name	Price	Go to Store
1		Nikon D7000 + 18-105mm VR Lens Kit 16.2 MP 3" LCD Profesyonel DSLR Fotoğraf Makinesi <a href="http://www.buroteknik.com/en-ucuz-nikon-d7100-18-105mm-fiyati-ozellikleri_92925.html">http://www.buroteknik.com/en-ucuz-nikon-d7100-18-105mm-fiyati-ozellikleri_92925.html</a>	2,259 ₺	<a href="#">Go to the Seller</a>
2		Nikon D7000 + 18-105mm VR Kit Dijital Fotoğraf Makinesi	2,275 ₺	<a href="#">Go to the Seller</a>
3		Nikon DSLR D7000 Slr + 18-105 MM VR Lens Kit Fotoğraf Makinesi	2,278 ₺	<a href="#">Go to the Seller</a>
4		Nikon D7000 18-105 VR KİT	2,312 ₺	<a href="#">Go to the Seller</a>
5		Nikon D7000 16.2 Mp 3" LCD 18-105mm VR Lens Dijital SLR Fotoğraf Makinesi	2,317 ₺	<a href="#">Go to the Seller</a>

Figure 2. Details of a product

The second query type is to find the “best product”. As shown in Figure 3, when user enters search terms “graphic card (ekran kartı)” and clicks on the “Search Most Popular” button, the product categories that matches with the user query are fetched. Then, the sub-categories of the previously found categories are also retrieved. After that, all products that belong to the found categories and their clusters are searched. All products that belong to these clusters are also found and displayed. Then, all comments for these products are retrieved, popularity scores of all clusters are calculated, and the clusters are presented to the user according to the popularity score in descending order.

The popularity score is computed according to equation 1, where  $scoreP_i$  is the popularity score of the  $i$ -th cluster,  $C_{pi}$  is the total number of positive comments in the  $i$ -th cluster,  $C_{ni}$  is the total number of negative comments in the  $i$ -th cluster,  $S_i$  is the number of different E-commerce stores in the  $i$ -th cluster.

$$scoreP_i = (C_{pi} - C_{ni}) \times S_i \quad (1)$$

User can also see positive and negative comments made for that product as shown in Figure 4. These comments are cumulatively collected from all of the E-commerce stores that particular product is sold.




#	Product Image	Product Name	Price		# of Offers	# of Comments
1		SAPPHIRE 4GB R9 290X OC TRI-X GDDR5 512 Bit 11226-00-40G HDMI 2xDVI ATI 16X	Min 1,144 ₺	Max 1,692 ₺	10	↑3 ↓1
2		Asus GTX780 ROG POSEIDON GDDR5 3GB 384Bit Nvidia GeForce DX11.2 Ekran Kartı	Min 1,225 ₺	Max 1,896 ₺	7	↑3 ↓1
3		EVGA GTX980 SuperClock ACX 4GB GDDR5 256 Bit Ekran Kartı - 04G-P4-2983-KR	Min 2,055 ₺	Max 2,128 ₺	3	↑2 ↓1

Figure 3. Screenshot of search best products results

Search product name (best price) or category name (most popular)

[Products List](#) [Positive Comments](#) [Negative Comments](#)

5 Yıldız hak eden bir ürün çok güzel bir ürün fiyatı uygun bu model bir fotoğraf makinasını uygun bir ürün tavsiye ederim.Profesyonel fotoğrafçılar için mükemmel bir alet.....

kaçılmıyacak bir makina fiyatı da çok uygun bu fiyata başka yerde aradım bulamadım en uduğunu bu buda teknosa farkı olsa gerek

Arkadastar urun tam profesyonel bir ürün ve suan bunun 2 . Eli bu fiyata satılıyor sıfırını teknosa bize çok uyguna veriyor kaçırılmaz bence bu

Tam anlamıyla bir prof makine. Özellikleri zaten yazılmış tekrardan yazmayacağım. Benim hosuma giden kısmi beraberinde verilen lensi. 18-105 benim için ideal bir lens. Yakın çekim ve uzak çekim için birebir bir ürün. Yanında orjinal sırt çantasında verilmesi ekstra masraftan kurtarıyor. Tesekkürler teknosa.

Nikon D90'ın yeni versiyonu bu ürün sınıfının en iyi DSLR'sidir bence ve bir D90 kullanıcısı olarak canona'a göre daha sağlam gövdesi ve durusuyla ve çekim kalitesiyle tereddütsüz tavsiye ederim.

d7000

3 aydan bu yana kullanıyorum harika bi ürün ilk başta d5100 ile d7000 arasında kalmıştım şimdi kesinlikle d7000 diyorum

Tam Profesyonel

👍 Sağlam gövde, hızlı çekim, kaliteli fotoğraf ve Full HD Video, mükemmel iso kalitesi ve pil ömrü

👎 Eksik yönünü bulamadım.

Fotoğraf çekmenin hakkını verebilecek ilginiz varsa bu fiyata bu makine kaçmaz. İleride bu fiyata alınır mı bilmiyorum ama uzun yıllar severek kullanabileceğiniz bir makinedir nikon D7000. Bu makina hakkında neler yazılır ki! Sadece şunu belirtmek yeter sanırım; 2012 yılında bu makine EISA tarafından "EN İYİ DSLR MAKİNE" seçildi. Ayrıca, Teknik Görüntü Basın Birliği tarafından da "en iyi DSLR makine ve "en iyi ürün tasarımı" ödülüne layık görüldü. Başka söze gerek var mı?

Figure 4. Screenshot of how positive comments of a product are displayed

#### 4. EXPERIMENTAL EVALUATION

The success of our system highly depends on the performance of the record linkage system. Therefore we perform several experiments to evaluate the performance of our record linkage algorithm. We collect a dataset from our crawled Web pages for performance evaluation experiments and this dataset is available on <https://github.com/FurkanGozukara/Record-Linkage>. Our system has 96.25% F-Measure value while the best state-of-the-art algorithm has

89.12% F-Measure for the dataset. For more information we refer to the study [24].

The performance of the proposed search engine is evaluated by making some queries and computing the top-n precision of the results. We compare our system with most popular 7 commercial CSA websites in Turkey by submitting 5 different queries. For calculating the precision, we check whether the top 10 returned results are related to the query or not. The results of this experiment are presented in Table 2.

**Table 2.** Top-10 precision of the CSA systems for the given queries

Query	Top-10 precision of the CSA systems							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Nikon D810	100%	100%	100%	N/A	N/A	N/A	50%	100%
Dishonored Pc Oyun	100%	N/A	100%	N/A	N/A	N/A	0%	100%
Canon CLI-551	100%	100%	100%	N/A	N/A	N/A	100%	100%
Asus Xonar DSX 7.1	100%	N/A	100%	N/A	N/A	N/A	33%	100%
Fakir Buharlı Ütü	100%	100%	N/A	N/A	N/A	N/A	0%	100%

In Table 2, the query column lists the queries made on the CSA systems. Column numbers from 1 to 8 are used to give short names to the CSA systems. Names of the CSA systems that are used in the experiment are listed as follows: **1** refers to [www.akakce.com](http://www.akakce.com), **2** is [www.cimri.com](http://www.cimri.com), **3** means [www.teknofiyat.com](http://www.teknofiyat.com), **4** is [www.iyi.net](http://www.iyi.net), **5** is used for [www.uygunfiyat.com](http://www.uygunfiyat.com), **6** represents [www.efiyat.com](http://www.efiyat.com), **7** refers to [www.fiyatarat.com](http://www.fiyatarat.com), and finally **8** is used for our system. As shown in Table 2, [akakce.com](http://www.akakce.com) and our system have performed 100% precision for all queries. [Teknofiyat.com](http://www.teknofiyat.com) has performed 100% precision for four queries, [cimri.com](http://www.cimri.com) has performed 100% precision for 3 queries; [iyi.net](http://www.iyi.net), [uygunfiyat.com](http://www.uygunfiyat.com), and [efiyat.com](http://www.efiyat.com) can not give relevant results to any of the queries; and [fiyatarat.com](http://www.fiyatarat.com) has performed with 36.6% precision on the average for all queries.

For analyzing performance of “best products in a category” query of our system, we compare our system with Google as other CSA systems do not have support for this query type. For the query “best graphic card (en iyi ekran kartı)”, the top result returned by Google is the sponsored results as shown in Figure 5. Basically they are the ads

promoted by the E-commerce Web sites. Moreover, two results of the displayed six results are not even graphic cards as shown in Figure 6. The two results of the displayed four graphic cards are professional graphic cards and most of the users who look for graphic cards would not be interested in them. CSA systems cannot be queried with such “best product” queries. However, CSA systems like [akakce.com](http://www.akakce.com) support categorical listing and in these listings, they sort the results by their internal ranking mechanisms such as in our search engine as shown in Figure 3. The 2<sup>nd</sup>, 10<sup>th</sup> and 11<sup>th</sup> results of Google lead to category listing of the E-commerce stores in Turkey. The 3<sup>rd</sup>, 6<sup>th</sup> and 8<sup>th</sup> results are journal posts about best graphic cards however, they are heavily outdated. The 4<sup>th</sup> result is a video about best graphic cards and again it is outdated as well. The 5<sup>th</sup> result is pictures of graphic cards. The 7<sup>th</sup> and 9<sup>th</sup> results of Google are about what consumers should consider when purchasing a graphic card. However, when a user query our system to find out best products in a category, our system always provide the most updated information and rank them according to our proposed ranking mechanism as shown in Figure 3.



en iyi ekran ka... için Google Alışveriş sonuçları

Sponsorlu

					
MSI GT80S 6QF(Titan ... ₺20.854,00 Hepsiburada	Sapphire Amd Firepro W9100 ₺13.790,40 n11.com	SAPPHIRE AMD FirePro ₺16.821,90 Bilisimport.com	Asus 4gb R7 Amd R7 240 ... ₺299,85 n11.com	Asus ROG MATRIX- ... ₺3.193,03 sanalmarketi...	Amd X3 Oyun Bilgisayarı + ... ₺869,00 n11.com

Figure 5. The top result of Google “best graphic card (en iyi ekran kartı)” search

### Ekran Kartları Nvidia ve Ati Ekran Kartı Modelleri - Vatan Bilgisayar

[www.vatanbilgisayar.com/ekran-kartlari/](http://www.vatanbilgisayar.com/ekran-kartlari/)

Nvidia ve ati gibi markalardan oluşan ekran kartı modellerini en uygun fiyatlarla ekran kartları ve özel taksit seçenekleriyle Vatan Bilgisayar'da.

[Nvidia](#) - [Amd](#) - [ASUS Ekran Kartları](#) - [MSI Ekran Kartları](#)

### En İyi 10 Ekran Kartı - ShiftDelete.Net

[shiftdelete.net/en-iyi-10-ekran-karti-20709](http://shiftdelete.net/en-iyi-10-ekran-karti-20709)

18 May 2010 - Piyasada bulunan onlarca ekran kartı modeli arasında en iyileri hangisi biliyor musunuz? Sizler için şu an satılan kartlar arasın da en iyi 10 ...

### Dünyanın En Güçlü 10 Ekran Kartı - YouTube



<https://www.youtube.com/watch?v=2aiHBB6E0nE>

10 Şub 2015 - Donanım Arşivi tarafından yüklendi

AMD nin yeni sürücülüride çok iyi bir şekilde güncellendi. ... 3000 tl ekran kartı gta 5 için alacağım omegin en ...

### en iyi ekran kartı ile ilgili görseller

Görseller hakkında kötüye kullanım bildirin



### en iyi ekran kartı için diğer resimler

Figure 6. Google best graphic cards query

### Ekran kartı tavsiyesi 2015 Oyun içi En iyi ekran kartları !

[www.uzmantavsiyesi.net](http://www.uzmantavsiyesi.net) > Teknoloji

19 Nis 2015 - Ekran kartı tavsiyesi 2015 en kaliteli en ucuz en iyi hızlı pci oyun için popüler ekran kartı önerisi tavsiyeleri hangisini almalıyım hızlı fps ...

### Ekran kartı seçiminde hedefi 12'den vurun! - Sayfa 3 - CHIP Online

[www.chip.com.tr](http://www.chip.com.tr) > Satın Alma Rehberi

Ekran kartı seçiminde AMD veya Nvidia mı sorusunu yanıtlamanız elbette ... Linux, size Windows veya OS Xi bırakılabilecek kadar iyi bir seviyeye geldi mi?

### Nvidia ve AMD ekran kartları karşı karşıya! - CHIP Online

[www.chip.com.tr](http://www.chip.com.tr) > Galeri

Puan: 30,6 (100 üzerinden) Fiyat: 232 TL Sessizlik: %67.9 Ekipman: %62.0 Performans: %14.4 Güç tasarrufu: %48.8 Yüksek yüzdeler, o daha iyi olduğuna ...

### Ekran Kartı Alırken Nelere Dikkat Edilmelidir? - Webtekno

[www.webtekno.com/.../ekran-karti-alirken-nelere-dikkat-edilmelidir-h4106.html](http://www.webtekno.com/.../ekran-karti-alirken-nelere-dikkat-edilmelidir-h4106.html)

8 Ara 2014 - (Böyle dedik diye Bit değeri yüksek olan benim ekran kartım daha iyi demesin. Çünkü buda ekran kartının daha iyi olmasında önemli olan ...

### Ekran Kartı Modelleri ve Fiyatları - Gold.com.tr

[www.gold.com.tr](http://www.gold.com.tr) > Bilgisayar > Bilgisayar Bileşenleri

En iyi ekran kartı markalarını Gold'da bulabilirsiniz. Asus ekran kartı ve diğer markaların ekran kartı fiyatları çeşitli kampanyalarla her cebe uygun! Ekran kartı ...

### Ekran Kartı Çeşitleri ve Fiyatları | Media Markt

[www.mediamarkt.com.tr](http://www.mediamarkt.com.tr) > Bilgisayar > Bilgisayar Bileşenleri > Ekran Kartı

Bilgisayarınızın performansına en uygun Ekran Kartı Çeşitleri'ne ... Bu konuda tercih yapılırken, en iyi

Figure 6. Google best graphic cards query (Continued)

## 5. CONCLUSION

In this study we present the main components of a product search engine which allows finding products on a given category, listing the prices from different vendors, and ranking the products according to user reviews. The core of the system is the record linkage part and the proposed record linkage algorithm clearly outperforms the similar algorithms that are previously designed. The product code detection along with the price matching, brand matching, and conflict words matching rules that we have proposed significantly improve the success of the record linkage task. We also show that the proposed system is successful by submitting queries to the system and other well-known CSA systems.

## 6. ACKNOWLEDGEMENTS

This work was supported by the Scientific and Technological Research Council of Turkey (TÜBİTAK) scholarship 2211-C.

## 7. REFERENCES

1. Chen, S.C., Dhillon, G.S., 2003. Interpreting Dimensions of Consumer Trust in E-Commerce, *Information Technology and Management*, 4:2-3, p. 303-318.
2. <http://bkm.com.tr/en/internetten-yapilan-kartli-odeme-islemleri>. Accessed, 23.05.2016.
3. Pathak, B., 2010. A Survey of the Comparison Shopping Agent-Based Decision Support

- Systems, *Journal of Electronic Commerce Research*, 11:3, p. 178-192.
4. Krulwich, B., 1996. Information Integration Agents: Bargainfinder and Newsfinder, In *Internet-Based Information Systems: Papers From The 1996 AAAI Workshop*, Vol. 79.
  5. Guttman, R., Moukas, A., Maes, P., 1999. Agents as Mediators in Electronic Commerce, In *Intelligent Information Agents*, 131-152.
  6. Sadeddin, K.W., Serenko, A., Hayes, J., 2007. Online Shopping Bots for Electronic Commerce: The Comparison of Functionality and Performance, *International Journal of Electronic Business*, 5:6, p. 576-589.
  7. Chakrabarti, S., Van Den Berg, M., Dom, B., 1999. Focused Crawling: A New Approach to Topic-Specific Web Resource Discovery, *Computer Networks*, 31:11, p. 1623-1640.
  8. Gupta, S.B., 2012. The Issues and Challenges with the Web Crawlers, *International Journal of Information Technology & Systems*, 1:1, p. 1-10.
  9. Heydon, A., Najork, M., 1999. Mercator: A Scalable, Extensible Web Crawler, *World Wide Web*, 2:4, p. 219-229.
  10. Shkapenyuk, V., Suel, T., 2002. Design and Implementation of a High-Performance Distributed Web Crawler, In *Data Engineering, 2002. Proceedings. 18<sup>th</sup> International Conference*, 357-368.
  11. Boldi, P., Codenotti, B., Santini, M., Vigna, S., 2004. Ubicrawler: A Scalable Fully Distributed Web Crawler, *Software: Practice and Experience*, 34:8, p. 711-726.
  12. Gomes, D., Silva, M.J., 2008. The Viúva Negra Crawler: An Experience Report, *Software: Practice & Experience*, 38:2, p. 161-188.
  13. Yohanes, B.W., Handoko, H., Wardana, H.K., 2013. Focused Crawler Optimization Using Genetic Algorithm. *TELKOMNIKA (Telecommunication Computing Electronics and Control)*, 9:3, p. 403-410.
  14. Liu, H., Milios, E., 2012. Probabilistic Models for Focused Web Crawling, *Computational Intelligence*, 28:3, p. 289-328.
  15. Liu, B., Zhang, L., 2012. A Survey of Opinion Mining and Sentiment Analysis, In *Mining Text Data*, 415-463.
  16. Pang, B., Lee, L., 2008. Opinion Mining and Sentiment Analysis, *Foundations and Trends In Information Retrieval*, 2:1-2, p. 1-135.
  17. Vinodhini, G., Chandrasekaran, R.M. 2012. Sentiment Analysis and Opinion Mining: A Survey, *International Journal*, 2:6, p. 282-292.
  18. Fellegi, I.P., Sunter, A.B. 1969. A Theory for Record Linkage, *Journal of the American Statistical Association*, 64:328, p. 1183-1210.
  19. Tejada, S., Knoblock, C.A., Minton, S., 2002. Learning Domain-Independent String Transformation Weights for High Accuracy Object Identification, In *Proceedings of the Eighth ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, 350-359.
  20. Jin, L., Li, C., Mehrotra, S., 2003. Efficient Record Linkage in Large Data Sets, In *Database Systems for Advanced Applications, 2003. (DASFAA 2003). Proceedings. Eighth International Conference*, 137-146.
  21. Yan, S., Lee, D., Kan, M.Y., Giles, L.C., 2007. Adaptive Sorted Neighborhood Methods for Efficient Record Linkage, In *Proceedings of the 7<sup>th</sup> ACM/IEEE-CS Joint Conference on Digital Libraries*, 185-194.
  22. Köpcke, H., Rahm, E., 2010. Frameworks for Entity Matching: A Comparison, *Data & Knowledge Engineering*, 69:2, p. 197-210.
  23. Christen, P., 2012. A Survey of Indexing Techniques for Scalable Record Linkage and Deduplication, *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 24:9, p. 1537-1555.
  24. Gözükarar, F., Özel, S.A., An Incremental Hierarchical Clustering System for Record Linkage in E-Commerce Domain, In *The Publishing Process*.



## Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi Yazım Kuralları

Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi mühendislik bilimlerindeki güncel bilimsel ve teknik gelişmeleri araştırmacılara ve mühendislere ulaştırmayı hedeflemektedir. Tüm mühendislik alanları ile ilgili teorik/deneysel ve uygulamaya yönelik çalışmalar Dergi'nin ilgi alanındadır. Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi daha önce başka hiçbir yerde yayımlanmamış, özgün ve güncel bilimsel araştırma ve uygulamaları içeren makale ve kısa bildirimleri ile Dergi'de daha önce yayımlanmış makalelerle ilgili tartışmaları kabul etmektedir. Çeviri ve derleme makaleler kabul edilmemektedir. Makaleler Türkçe veya İngilizce olabilir. Dergi'ye gönderilen yazılar yayınlansın veya yayımlanmasın iade edilmez. Makaleleri yayınlama yetkisi dergi yayın kuruluna aittir.

Makalenin tamamı bilgisayar ortamında hazırlanmalı baskıya hazır biçimde iki adet (birisinde yazar adları ve adresleri olmamak üzere) **Dergi web sayfasında verilen örnek şablona uygun hazırlanmış olarak elektronik ortamda veya e-posta ekinde gönderilmelidir.**

Makale, A4 (210x297 mm) boyutlu kağıda, Windows uyumlu Word ortamında, Times New Roman font kullanılarak, birer aralıkla yazılmalı, ana başlıklar 12 Punto (koyu), yazar adları 12 Punto (koyu), alt başlıklar ve metin 10 punto olmalıdır.

Çizimler ve çizelgelerle birlikte, makaleler 15 sayfadan, kısa bildirimler 4 sayfadan daha uzun olmamalıdır. **Makale Türkçe ise: Türkçe Başlık, İngilizce Başlık, Öz, Anahtar Kelimeler, Abstract** (İngilizce öz), **Keywords, Metin, Semboller** (gerekliyse), **Teşekkür** (gerekliyse) ve **Kaynaklar,**

**Makale İngilizce ise: İngilizce Başlık, Türkçe Başlık, Abstract, Keywords, Öz** (Türkçe öz), **Anahtar Kelimeler, Text, Notations** (gerekliyse), **Acknowledgments** (gerekliyse) ve **References** sırası içinde düzenlenmelidir.

**Başlık** kısa ve açık olmalı, içeriği yansıtılabilmelidir. **Öz** (ve **Abstract**) çalışmanın amacını, kapsamını, yöntemini ve ulaşılan sonuçları kısaca tanımlamalı ve 150 kelimeyi aşmamalıdır. En az üç, en fazla beş tane anahtar kelime verilmelidir. Başlık, Öz ve İngilizce başlıklı Abstract birinci sayfaya sığdırılmalı ve ana metin ikinci sayfadan başlatılmalıdır. **Metin** yalnız bir dil ve anlatımla yazılmalı, makale Türkçe ise Türkçe, makale İngilizce ise İngilizce yazım kurallarına uygun olmalıdır.

Bölüm ve alt bölüm başlıkları numaralanmalıdır. Denklemler numaralanmalı ve bu numaralar satır sonunda parantez içinde gösterilmelidir. Yazılarda yalnızca SI birimleri kullanılmalıdır. Semboller uluslararası kullanıma uygun seçilmeli; her bir sembol ilk kullanıldığı yerde tanımlanmalıdır. Teşekkür olabildiğince kısa olmalı, çalışmaya katkısı ve desteği bulunan kişi ve kuruluşlar belirtilmelidir. Çizelgeler, çizimler ve fotoğraflar metin içine yerleştirilmeli, her birine numara ve başlık verilmeli ve başlıklar çizim ve fotoğrafların altına, çizelgelerin üstüne yazılmalıdır.

Kaynaklar metinde köşeli parantez içinde numaralanmalı ve kaynaklar listesinde metin içinde veriliş sırasına uygun biçimde belirtilmelidir. Etik kuralları gereğince, alıntılar tırnak içinde verilmeli ve bir referans numarası ile kaynak belirtilmelidir. Kaynaklarda şu bilgiler verilmelidir: Yazar(lar)ın soyadı, adının baş harfi, diğer yazarlar, makalenin (bildirinin veya kitabın) tam başlığı; **Makale ise:**, derginin adı, cilt, sayı, başlama ve bitiş sayfaları, yıl. **Kitap ise:** cilt numarası, varsa editörü, yayımlandığı yer, yayımlandığı yıl. **Bildiri ise:** konferansın adı, yapıldığı yer, yıl. **Elektronik ortamdan alınmış ise:** Bildiri sadece CD/DVD'de yayınlanmış ise: Yazar(lar)ın soyadı, adının baş harfi, diğer yazarlar, bildirinin adı, konferansın adı (CD/DVD), yapıldığı yer, yıl. "Konferansın adından hemen sonra parantez içerisinde CD/DVD olduğu belirtilecektir." **Tez ise:** Yazarın soyadı, adının baş harfi, tezin adı, derecesi, sunulduğu kurum, yıl. **Rapor ise:** Yazarın soyadı, adının baş harfi, diğer yazarlar, raporun adı, türü, numarası, kuruluşun adı, yayımlandığı yer, yıl. **Web Sitesi ise:** Yazar(lar) belli ise; yazarın soyadı, adının baş harfi, diğer yazarlar, yazının başlığı, web adresi (<http://www.xxxxx.xxx.xxx>), gün, ay, yıl olarak alıntı tarihi, varsa yayımlandığı yıl. **Kurum/Kuruluşlara ait ise:** Kurum adı, yazının başlığı, web adresi (<http://www.xxxxx.xxx.xxx>), gün, ay, yıl olarak alıntı tarihi, varsa yayımlandığı yıl. **Elektronik kitap/rapor ise:** Yazar(lar)ın soyadı, adının baş harfi veya kitap/raporu yayımlayan kurum veya kuruluşun adı, gün, ay, yıl olarak alıntı tarihi, varsa yayımlandığı yıl.

### Dergi İletişim Adresleri

Çukurova Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergi Yayın Kurulu Başkanlığı 01330 ADANA

E-posta: mmfdergi@cu.edu.tr  
Tel: (322) 3387050

cu.mmfdergi@gmail.com  
Faks: (322) 3386126