



ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ  
MÜHENDİSLİK MİMARLIK  
FAKÜLTESİ  
DERGİSİ

ÇUKUROVA UNIVERSITY  
JOURNAL OF THE FACULTY OF ENGINEERING AND ARCHITECTURE

Cilt/Vol: 31

Sayı/Issue: 1

Haziran/June 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

## YAZI İNCELEME KURULU (Editorial Board)

Zekeriya TÜFEKÇİ (ÇÜ)  
Mustafa GÜVEN (ÇÜ)  
Ahmet YÜCEER (ÇÜ)  
Ulus ÇEVİK (ÇÜ)  
Rızvan EROL (ÇÜ)  
İsmail Hakkı ÇAĞATAY (ÇÜ)  
Ulvi Can ÜNLÜGENÇ (ÇÜ)

Ahmet Mahmut KILIÇ (ÇÜ)  
Hüseyin AKILLI (ÇÜ)  
Kadir AYDIN (ÇÜ)  
F. Duygu SABAN ÖKESLİ (ÇÜ)  
R. Tuğrul OĞULATA (ÇÜ)  
Nil YAPICI (ÇÜ)

## Haziran 2016 Cilt 31 Sayı 1'de Görüşlerinden Yararlanılan Hakemler

Abdülazim YILDIZ (ÇÜ)  
A. Kamil TANRIKULU (ÇÜ)  
Serin MEZARCIÖZ (ÇÜ)  
Mustafa LAMAN (ÇÜ)  
Hasan SERİN (ÇÜ)  
Ali KOKANGÜL (ÇÜ)  
Ahmet Mahmut KILIÇ (ÇÜ)  
Sami ARICA (ÇÜ)  
Neslihan SEÇKİN (ÇÜ)  
Hakan GÜNEYLİ (ÇÜ)  
Atakan AKAR (ÇÜ)  
Emel ORAL (ÇÜ)  
Emel Ceyhun SABIR (ÇÜ)  
İrfan MACİT (ÇÜ)  
Füsün DOBA KADEM (ÇÜ)  
Cenk ŞAHİN (ÇÜ)  
Soner HALDENBİLEN (PÜ)  
Gülden GÜMÜŞBURUN AYALP (ZÜ)  
Faruk Fırat ÇALIM (İSTEÜ)  
İbrahim SÖNMEZ (ODMÜ)  
Ramazan BAYINDIR (GÜ)  
Kerimcan ÇELEBİ (ABTÜ)  
Okan KARAHAN (EÜ)  
Nil YAPICI (ÇÜ)  
İ. Halil GEREK (ABTÜ)  
Filiz ŞENKAL SEZER (UÜ)  
İbrahim Özgür DENEME (AÜ)  
Mesut ANIL (ÇÜ)  
Mesut BAŞIBÜYÜK (ÇÜ)  
Arif ÖZBEK (ÇÜ)  
Yusuf URAS (SİÜ)  
Mehmet BİLGİLİ (ÇÜ)  
Baki BAĞRIÇIK (ÇÜ)  
Serkan TOKGÖZ (MÜ)  
Ertuğrul CİHAN (OKAÜ)  
Coşkun ÖZALP (OKAÜ)  
Zihni ZERİN (OMÜ)

İbrahim TÜRKMEN (İÜ)  
İlker Fatih KARA (NÜ)  
Ali AYBEK (KSİÜ)  
Ahmet DEMİR (OKAÜ)  
Ertuç HÜRDOĞAN (OKAÜ)  
Yalçın YEŞİL (BÜ)  
Selma DÜZYOL (SÜ)  
Adil CANIMOĞLU (NÜ)  
Selahattin KOCAMAN (İSTEÜ)  
Cafer KAYADELEN (OKAÜ)  
Naime Filiz ÖZDİL (ABTÜ)  
Ercan ERDİŞ (İSTE)  
Nazan AVCIOĞLU KALEBEK (GÜ)  
Vahit KAPLANOĞLU (GÜ)  
Çiğdem SARP KAYA (GU)  
Altay ÇOLAK (ÇÜ)  
Füsün DOBA KADEM (ÇÜ)  
Beytullah TEMEL (ÇÜ)  
A. Ünal ŞORMAN (YDÜ)  
M. Emin ÖCAL (OKAÜ)  
Osman GÜRDAL (BOÜ)  
İsmail Hakkı ÇAĞATAY (ÇÜ)  
A. Erkan KARAMAN (BÜ)  
Ö. Yusuf TOROMAN (NÜ)  
Erkin ERTELEN (ÇÜ)  
Hacı Murat ARSLAN (ÇÜ)  
Gökhan TÜCCAR (ABTÜ)  
A. Feyzi BİNGÖL (FÜ)  
Hüseyin ÖZDEMİR (BÜ)  
Utku BAĞCI (MÜ)  
Engin EMSEN (AÜ)  
Hüseyin BULGURCU (BÜ)  
Yasin ERDOĞAN (İSTEÜ)  
Abdulkadir YAŞAR (ÇÜ)  
Beşir ŞAHİN (ÇÜ)  
Ali Hamza TANRIKULU (ÇÜ)

## 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.  
**(Bu sayı Çukurova Mühendisler - Mimarlar Güçlendirme Derneği tarafından bastırılmıştır)**

## **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

<b>Atık Mukavva, Alçı, Pomza, Perlit, Vermikülit ve Zeolit ile Yapılan Kompozitlerin Yangın Direncinin Araştırılması.....</b>	<b>1</b>
<i>The Investigation of Fire Resistance of Composites Made with Waste Cardboard, Gypsum, Pumice, Perlite, Vermiculite and Zeolite</i>	
<b>Hanifi BİNİCİ</b>	
<b>Karbon Lifli Polimer Sargılı Narin Betonarme Kolonların Moment Büyütme Yöntemi ile Analizi.....</b>	<b>11</b>
<i>Analysis of Carbon Fiber Polymer Confined Slender Reinforced Concrete Columns by Using Moment Magnification Method</i>	
<b>Duygu ERTÜRKMEN, Cengiz DÜNDAR ve Serkan TOKGÖZ</b>	
<b>İş Güvenliği Uzmanı Adaylarının Aldıkları Eğitim Hakkındaki Görüşleri .....</b>	<b>23</b>
<i>The Views of Occupational Safety Specialist Candidates About the Attended Training Program</i>	
<b>Özkan GÜĞERCİN, Nafi BAYTORUN, Utku GÜĞERCİN, Metin Semih SEZEN ve İlhami İLHAN</b>	
<b>Dolgu-Zemin Etkileşiminde Malzeme Modeli Etkisi .....</b>	<b>35</b>
<i>Material Model Effects on Embankment-Soil Interaction</i>	
<b>Zülal AKBAY ARAMA ve S. Feyza ÇİNİCİOĞLU</b>	
<b>Estimation of Moist Air Thermodynamic Properties using Artificial Neural Network .....</b>	<b>51</b>
<i>Yapay Sinir Ağları Kullanarak Nemli Havanın Termodinamik Özelliklerinin Tahmini</i>	
<b>Arif OZBEK</b>	
<b>Determining Process Capability Indices for Shirting Fabric .....</b>	<b>59</b>
<i>Gömlük Kumaş için Proses Yeterlilik İndekslerinin Belirlenmesi</i>	
<b>Serap AKCAN</b>	
<b>Kömürlerin Kimyasal Özelliklerinin Kendiliğinden Yanma Yatkınlığı Üzerindeki Etkisinin Araştırılması.....</b>	<b>69</b>
<i>Investigation of Chemical Properties of Coals on the Tendency of Spontaneous Combustion</i>	
<b>Özer ÖREN ve Cem ŞENSÖĞÜT</b>	
<b>N-Tipi SnS<sub>2</sub> Yarıiletken İnce Filmlerin Hazırlanması ve Karakterizasyonu .....</b>	<b>83</b>
<i>Preparation and Characterization of N-Type SnS<sub>2</sub> Semiconductor Thin Films</i>	
<b>Cebrail GÜMÜŞ ve Gülay ALTINDEMİR</b>	

## İÇİNDEKİLER/CONTENTS

- Eksik Akım Verilerinin Tahmin Modelinin Oluşturulmasında Yapay Sinir Ağlarının Kullanımı: Asi Nehri-Demirköprü Akım Gözlem İstasyonu Örneği ..... 93**  
*Using of Artificial Neural Network (ANN) for Setting Estimation Model of Missing Flow Data: Asi River-Demirköprü Flow Observation Station (FOS)*  
**Evren TURHAN ve Hatice ÖZMEN ÇAĞATAY**
- Dairesel Temel Altındaki Kum Zeminlerde Donatı Tabakasının Optimum Derinliğinin Belirlenmesi..... 107**  
*Determination the Optimum Depth of Reinforcement Layer under Circular Footing on Sandy Soils*  
**Baki BAĞRIAÇIK**
- An Overview of Micro-Hydropower Technologies and Design Characteristics of Waterwheel Systems ..... 117**  
*Mikro-Hidroelektrik Teknolojileri ve Su Çarkı Sistemlerinin Tasarım Özelliklerine Genel Bir Bakış*  
**Mehmet BİLGİLİ ve Arif OZBEK**
- İş Tatmininin Çalışan Motivasyonu Üzerine Etkileri: Türk İnşaat Sektöründe bir Araştırma ..... 135**  
*Impact of Job Satisfaction on Worker's Motivation: A Research in Turkish Construction Industry*  
**Sarbast MOSLEM ve Güzde TANTEKİN ÇELİK**
- Denim Kumaşların Dikiş Performansları Üzerine Deneysel Bir Çalışma ..... 143**  
*An Experimental Study About Seam Performance of Denim Fabrics*  
**Fusun DOBA KADEM ve Gamze GÜLŞEN BAKICI**
- Dinamik Teslim Zamanı Atama Problemi için Holonik Sistem Tasarımı ..... 149**  
*Holonic System Design for Dynamic Due Date Assignment Problem*  
**Cenk ŞAHİN**
- Investigation of Effects of Diesel and Biodiesel Fuels on Energy and Exergy Analysis in Diesel Engines ..... 159**  
*Dizel Motorlarda Enerji ve Ekserji Analizleri Üzerine Dizel ve Biyodizel Yakıtlarının Etkisinin Araştırılması*  
**Abdulkadir YAŞAR ve Abdulkadir Abdi ALİ**

## İÇİNDEKİLER/CONTENTS

- Konfeksiyon İşletmesinin Verimliliği için İş Etüdü Tekniği Kullanımı..... 175**  
*The Using of Work Study Technique for Process Productivity of Apparel Plant*  
**Zehra KUMAŞ, Emel Ceyhun SABİR ve Pınar DURU BAYKAL**
- Bütünleşik Afet Yönetiminde Boyce-Codd Form Yöntemi ile GLIDE İçerikli Veritabanı Oluşturulması ..... 191**  
*Database Creation in Integrated Disaster Management with Boyce-Codd Form Method Including GLIDE Content*  
**İrfan MACİT**
- Çukurova Üniversitesi Balcalı Kampüsü Kuzey Çarşı Projesi..... 203**  
*Çukurova University Balcalı Campus North Shopping Area Project*  
**Onur ERMAN**
- Axial Vibration Analysis of a Nanorod Embedded in Elastic Medium Using Nonlocal Strain Gradient Theory ..... 213**  
*Yerel Olmayan Şekil Değişirme Gradyanı Teorisi Kullanılarak Elastik Zemine Gömülü Nano Çubuğun Eksenel Titreşim Analizi*  
**Mesut ŞİMŞEK**
- Çapraz Akışlı Paralel Borulu Boru Demetinde Entropi Üretiminin Analitik ve Deneysel Olarak İncelenmesi ..... 223**  
*Analytical and Experimental Investigation of Entropy Generation for an In-line Cross-flow Tube Bank*  
**Alper YILMAZ ve Tuncay YILMAZ**
- Üçlü Eşleştirme Yöntemi ile Uydu ve Hidrolojik Model Kaynaklı Toprak Nemi Değerlerinin Hata Oranlarının Bulunması..... 231**  
*Estimation of the Errors of Remote Sensing and Hydrological Model-Based Soil Moisture Values Using Triple Collocation*  
**M. Tuğrul YILMAZ**
- İnşaat Sektörü Proje Yöneticilerinin Algılanan Liderlik Stilleri..... 241**  
*Perceived Leadership Styles of Turkish Construction Managers*  
**Güliden GÜMÜŞBURUN AYALP ve Mehmet Can KERETLİ**

## İÇİNDEKİLER/CONTENTS

- Şönt Reaktör Geçici Zaman Analizi ve Üşüşme Akımı Hesaplaması için Matlab Tabanlı Yazılım Geliştirilmesi ..... 255**  
*Development of Matlab Based Analysis Software for Transient Analysis of Shunt Reactor and Inrush Current Calculation*  
**İsmail TOPALOĞLU**
- Evaluation of Performance and Emission Characteristics of a VCR Diesel Engine Fuelled with Diesel Fuel and Diesel-Biodiesel-Alcohol Blends..... 263**  
*Dizel, Dizel-Biyodizel-Alkol Yakıt Karışımı Sıkıştırma Oranı Değişen Bir Dizel Motorun Performans ve Emisyon Karakteristiklerinin Değerlendirilmesi*  
**Abdulkadir YAŞAR, Ali KESKİN ve Şafak YILDIZHAN**
- Lif Türünün Betonların Yük-Deplasman Davranışı ve Donma-Çözülme Direncine Etkisi..... 273**  
*Effect of Fiber Type on the Load-Displacement and Freeze-Thaw Behaviors of Concretes*  
**Erdoğan ÖZBAY**
- Mimari Tasarım Bürolarında Çalışan Mimarların Mesleki Tükenmişlik Düzeylerini Etkileyen Demotivasyon Faktörleri ..... 281**  
*Demotivation Factors on the Job Burnout Levels that Affect the Architects who Work in Architectural Design Firms*  
**Tülay ÇİVİCİ**
- Spekularit Cevherinin Kalite Özelliklerinin İyileştirilmesi..... 293**  
*Improving of Quality Properties of the Specularite Ore*  
**Hüseyin VAPUR ve Soner TOP**
- Süt Endüstrisi Arıtma Çamuru Pirolizinde Sıcaklığın ve Parçacık Boyutunun Sentez Gaz Oluşumuna Etkisi..... 301**  
*Effect of Temperature and Particle Size on Dairy Industry Treatment Sludge Pyrolysis*  
**H. Kurtuluş ÖZCAN, Atakan ÖNGEN ve Emine ELMASLAR ÖZBAŞ**
- Kalker Taş Duvarlarda Sıcaklık ve Nem Performansının İncelenmesi ..... 313**  
*Investigation Temperature And Humidity Performance at the Limestone Walls*  
**Esma MIHLAYANLAR ve Filiz UMAROGULLARI**
- Denizden Su Alma Yapısı ve Binası Performans Analizi ve Güçlendirilmesi ..... 323**  
*Performance Analysis and Strengthening of Water Intake Structure and Building*  
**Gökhan GÜRSOY ve Hüseyin R. YERLİ**



## İÇİNDEKİLER/CONTENTS

- Alkol ve Katalizör Miktarlarının Farklı Katalizörlerle Üretilen Kanola Biyodizelinin Dönüşüm Oranı ve Yakıt Özellikleri Üzerindeki Etkisi ..... 337**  
*The Impacts of Alcohol and Catalyst Amounts on Conversion Rate and Fuel Properties of Canola Biodiesel Produced by Using Different Catalysts*  
**Ceyla ÖZGÜR**
- Çolaklı (Elazığ) Çevresindeki Plütonik Kayaçların Mineralojik, Petrografik ve Jeokimyasal Özellikleri..... 345**  
*Mineralogical, Petrographical and Geochemical Characteristics of Plutonic Rocks in the Çolaklı (Elazığ) Region*  
**Gizem ARSLAN ve Melahat BEYARSLAN**
- İnşaat Mühendisleri Özelinde Meslek Etiğinin Algılanma ve Uygulanma Düzeyi ..... 363**  
*The Level of Perception and Implementation of Professional Ethics in Civil Engineering Perspective*  
**Olca GENÇ, Ercan ERDİŞ ve Hilmi COŞKUN**
- Performance Analysis of Solar Powered Absorption Refrigeration System for Mersin Province..... 371**  
*Mersin İli için Güneş Enerji Destekli Absorpsiyonlu Soğutma Sisteminin Performans Analizi*  
**Beşir ŞAHİN, Mehmet BİLGİLİ, Altan ÇETİNGÖZ ve Nazım KURTULMUŞ**
- Elazığ Bölgesi Kromitit ve Yan Kayaçlarına ait PGE İçerikleri ve Jeokimyasal Yorumu ..... 381**  
*Platin Group Elements (PGE) Contents and Interpretation Geochemistry of Chromite Deposits with Host Rocks in Guleman (Elazığ) Region*  
**Gülşah ÖZEK, Muharrem AKGÜL, Nusret NURLU ve Nil YAPICI**
- Eğitim Laboratuvarlarında Güneş Enerji Verimliliğinin Araştırılması: İskenderun Örneği..... 395**  
*Investigation of Solar Energy Efficiency in Education Laboratory: Case Study İskenderun*  
**Murat BİKÇE, Ali Rıza ÇELİK ve Mustafa ÇAKIR**
- Uygulamalı Otomasyon Sistemleri Eğitim Simülatörü Geliştirilmesi..... 405**  
*Development of an Applied Automation Systems Simulator*  
**Erdoğan ŞİMŞEK ve Orçun KÜÇÜKATAY**

## İÇİNDEKİLER/CONTENTS

<b>Yapı Malzemesi Olarak Doğal Anhidritin Değerlendirilmesi.....</b>	<b>421</b>
<i>Evaluation of Natural Anhydrite as Building Material</i>	
<b>Hakan GÜNEYLİ, Nil YAPICI ve Süleyman KARAHAN</b>	
<b>Çekme Rijitleşmesinin FRP ve Çelik Donatılı Betonarme Kirişlerin Yük-Deplasman Davranışı Üzerindeki Etkisi .....</b>	<b>429</b>
<i>Tension Stiffening Effect on Load–Deflection Behavior of Concrete Beams Reinforced with FRP and Steel Bars</i>	
<b>İsmail ÜNSAL, Cengiz DÜNDAR ve A. Kamil TANRIKULU</b>	
<b>Investigation of Different Working Fluid Effects on Exergy Analysis for Organic Rankine Cycle (ORC) .....</b>	<b>441</b>
<i>Organik Rankine Çevriminde Farklı Soğutucu Akışkanların Ekserji Analizi Üzerine Etkisinin İncelenmesi</i>	
<b>N. Filiz TÜMEN ÖZDİL, Atakan TANTEKİN ve M. Rıdvan SEĞMEN</b>	
<b>Effects of a Square Groove at the Stagnation Point of a Circular Cylinder on its Near Wake .....</b>	<b>451</b>
<i>Durma Noktasına Yerleştirilen Bir Çentiğin Silindirin Ölü Akış Bölgesine Etkileri</i>	
<b>Çetin CANPOLAT</b>	
<b>Burulma Düzensizliğinin Betonarme Yapı Davranışına Etkileri .....</b>	<b>459</b>
<i>Effects of Torsional Irregularity on Reinforced Concrete Behaviour</i>	
<b>Hakan ERDEM</b>	

## Atık Mukavva, Alçı, Pomza, Perlit, Vermikülit ve Zeolit ile Yapılan Kompozitlerin Yangın Direncinin Araştırılması

**Hanifi BİNİCİ\***<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş*

*Geliş tarihi: 29.11.2015*

*Kabul tarihi: 22.04.2016*

### Özet

Bu çalışmada, atık mukavva, alçı, pomza, perlit, vermikülit ve zeolit ile yapılan kompozitlerin yangın direnci ASTM E 160-50'ye göre belirlenmiştir. Numunelerin birim hacim ağırlıkları, su emme oranları ile ısı iletim katsayısı ve ultra ses geçirgenlik katsayısı bulunmuştur. Atık mukavva, alçı, pomza, perlit, vermikülit ve zeolit ile yapılan kompozitlerin ısı iletim ve ultra ses geçirgenlik katsayısı oldukça düşük bulunmuştur. Test sonuçlarına göre en uzun yanma süresi üçlü karışımlardan elde edilmiştir. En kısa sürede yanan örnekler ise ikili karışımlardan özellikle alçı ve perlit katkılı olan örneklerdir. Sonuç olarak, atık mukavvanın alçı, pomza, perlit, vermikülit ve zeolitin ikili ve üçlü karışımlarıyla elde edilen kompozitlerin yangına yeterli direnç gösterdiği ve yanmayı geciktirdiği anlaşılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Yangın, Atık mukavva, Alçı, Pomza, Perlit, Vermikülit, Zeolit

### The Investigation of Fire Resistance of Composites Made with Waste Cardboard, Gypsum, Pumice, Perlite, Vermiculite and Zeolite

### Abstract

In this paper, fire resistance of the composite made with waste cardboard, gypsum, pumice, perlite, vermiculite and zeolite was determined according to ASTM E 160-50. Unit weight, water absorption rate, ultra sonic penetration, heat conductivity and permeability coefficient of the samples was found. Thermal conductivity, ultra-sound transmission coefficient of composites made with zeolite, waste cardboard, plaster, pumice, perlite and vermiculite is very low. According to the test results the longest burn time were obtained from the triple mixes. Fire resistance of gypsum and perlite binary mixtures was lowest. As a result, it was found that the ternary and binary mixture made with waste cardboard, gypsum, pumice, perlite, vermiculite and the zeolite showed enough resistance to fire and by delaying burning.

**Keywords:** Fire, Waste cardboard, Gypsum, Pumice, Perlite, Vermiculite, Zeolite

---

\* Yazışmaların yapılacağı yazar: Hanifi Binici, *Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş. hbinici@ksu.edu.tr*

## 1. GİRİŞ

Ateş, insanlığın ilk çağlarından günümüze kadar ulaşan en önemli gelişmedir. İnsanoğlu 4000 yıldır ateşin bulunmasıyla beraber madenleri işleyip şekillendirmişler ve ateşi kontrol altında tutabildikleri sürece, kedilerine fayda sağlamışlardır. Ancak ateşin kontrol edilememesiyle de büyük yangınlar çıkmış ve şehir ölçeğindeki tahribatlara yol açmıştır [1-3]. Yangın, maddenin ısı ve oksijenle birleşmesi sonucu oluşan yanma reaksiyonlarının neden olduğu doğal afettir. Yangınların oluştuğu coğrafik alanda maddi hasarlara neden olmasından ziyade, orada yaşayan canlılar ve çevre dengesi üzerinde son derece olumsuz etkileri vardır.

Yangında sıcaklığın artması sonucu atomların titreşmesi ile atomlar arası bağları uzamaya başlar. Bu ise, bazı malzemelerin genleşme veya yumuşama-erime gibi değişimlere uğramasına neden olur. Zira yangın esnasında sıcaklığın artmasıyla ortaya çıkacak ısı enerjisi, kristalli malzemelerden metal ve taşların; amorf yapıları olanlardan zeolit ve plastiklerin; karma yapıları olanlardan beton, seramik gibi malzemelerin iç yapılarını etkilemektedir. Malzeme ısınarak suyunu kaybettiğinde ısıya bağlı olarak iç gerilmeler ve çatlaklar artar, dağılma etkisi yaratır [4]. Yanma, maddenin ısı ve oksijenle birleşmesi sonucu oluşan kimyasal bir olaydır. Yanma olayının oluşabilmesi için madde, ısı ve oksijenin bir arada olması gerekir. Yangınlar aşağıdaki sınıflar içerisinde tanımlanmaktadır.

**A Sınıfı Yangınlar:** Katı madde yangınlarıdır. Soğutma ve yanıcı maddenin uzaklaştırılması ile söndürülebilir.

**B Sınıfı Yangınlar:** Yanabilen sıvılar bu sınıfa girer. Soğutma ve boğma ile söndürülebilir.

**C Sınıfı Yangınlar:** Likit petrol gazı, hava gazı, hidrojen gibi yanabilen çeşitli gazların yanması ile oluşan yangınlardır.

**D Sınıfı Yangınlar:** Yanabilen hafif metallerin ve alaşımların yanmasıyla meydana gelen

yangınlardır. Kuru kimyevi tozlar bu yangınları söndürmede kullanılırlar [5, 6].

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bir malzeme yanmaya başladığında ısı ortaya çıkarır ve malzemenin kendisi yanıcı ise bu malzemenin yanma sıcaklığı çok daha fazla olur [7]. İnsanların temel gereksinimlerinden biri de yangın güvenliğidir. Yangınlar insan hayatını ve can güvenliğini tehdit eden en önemli olaylardan biridir. Örneğin, dünyada kişi başına en çok enerji kullanan ilk üç ülke ABD, Kanada ve İngiltere'de istatistiklere göre yangın nedeni ile yıllık can kaybı, diğer ülkelere göre daha fazladır. Dolayısıyla teknoloji ilerledikçe ve endüstri alanında gelişmeler oldukça, ortaya çıkacak yangın olaylarında da artışlar olabilecektir. Bu nedenle hem ulusal boyutta hem de uluslararası boyutlarda var olan yangın güvenlik önlemlerini sürekli gözden geçirmek ve geliştirmek zorunludur [8]. Bu önlemlerin başında yangına daha dirençli malzeme üretimi gelmektedir. Özellikle yük taşıyıcı elemanların dışında diğer elemanların da yangın performansının dikkate alınması gerekir [4].

Yapı malzemelerinin yangına dirençli hale getirilmesi çalışmaları son yıllarda artış göstermiştir. Kuvars ve kumtaşı yerine cüruf, perlit, sünger taşı gibi hafif agregalar kullanılması yangın dayanım gücünü artıracaktır [9]. Dış duvarların yanma hızının en ve boyca caddeye açık binalarda bir saat, bina ile kapalı caddeye yüzü olmayan binalarda ise en az iki saat olması gerekmektedir. Bu sürenin sağlanması için, yapı elemanları arasında istenilen yanma süresine göre kalınlıkları belirlenmiş ateşe dayanıklı dolgu malzemeleri kullanılmaktadır. Örneğin bir saat süreli 800°C sıcaklık için; 5,3 cm kalınlıkta diatomit, 3,8 cm kalınlıkta vermicülit veya 4,3 cm kalınlıkta süngertaşı kullanılması yeterlidir. Dört saat süreli 1000°C sıcaklık için kalınlık olarak 12,5 cm perlit, 12 cm diatomit, 8 cm vermicülit, 9,2 cm süngertaşı veya taş veya cam yünü levhaları yeterlidir [10, 11].

Bu çalışmada atık mukavva, alçı, pomza, perlit, vermicülit ve zeolit ile yapılan kompozitlerin yangın direnci araştırılmıştır. Son yıllarda atıkların

geri dönüşümü büyük önem kazanmıştır. Diğer yandan enerjiye olan ihtiyaç ta ortadadır. Ayrıca, hem yeterli yalıtım özelliği olan hem de yangına direnç gösteren malzemelerin araştırılması gereği vardır. Bu çalışma ile farklı mineral ve atık mukavvalardan uygun malzeme üretimi amaçlanmıştır.

### 3. MATERYAL VE METOT

#### 3.1. Materyal

##### 3.1.1. Atık Mukavva

Kağıdın ana hammaddesi odundur ve odun ise ya iğne yapraklı veya yapraklı ağaçlardan elde edilir. Kağıdın önemli bir hammaddesi de atık kağıttır. Atık kağıt, herhangi bir amaçla kullanıldıktan sonra ve atılan her türlü kağıt, karton ve mukavvalara denir. Hızlı nüfus artışı, konforlu hayat şartlarının gelişmesi, şehirleşme ve toplumların eğitim seviyesine ambalajlama sanayisinin gelişmemesi, kağıt-karton tüketimini artırmıştır [12]. Çalışmada kullanılan mukavvalar okuldaki atıklardan elde edilmiştir.

##### 3.1.2. Alçı

Çalışmada toz şeklinde susuz alçı kullanılmıştır.

##### 3.1.3. Pomza

Pomza boşluklu, volkanik olaylar sonucu oluşmuş, fiziksel ve kimyasal etkenlere karşı dayanıklı, camsı, volkanik bir kayadır. Yüksek oranda ve birbiriyle bağlantılı olmayan gözenekler içeren, %50'ye yakın nem suyu bulduran ve toz haline getirildiğinde oldukça sert malzeme özelliği kazanan, ısı ve ses yalıtkanlığına, uygun basınç dayanımına sahip malzemedir. Pomzalar asidik veya bazik bileşimli olabilir [13]. Çalışmada kullanılan bazik pomza Osmaniye bölgesinden alınmıştır.

##### 3.1.4. Perlit

Özellikle inşaat sektörü alanında önemli bir işleve sahip olan perlit, yapı malzemesi olarak kullanılan

bir maddedir. İçeriğinde %74 civarında SiO<sub>2</sub> %15 civarı bir oranda da Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bulunur [14]. Volkanik karakterli bir maddedir. Çok hafif olması en önemli özelliğidir. Yapı malzemesi olarak kendine alternatif olan madde ve karışımlara oranla %50 oranında daha hafiftir. Çalışmada kullanılan genleştirilmiş perlit Niğde'den temin edilmiştir.

##### 3.1.5. Vermikülit

Vermikülit, volkanik magma kaynaklarından elde edilen bir mineraldir. Yüksek ısı ile işlenerek hacmi genişler, geçirgenliği artar ve hacim ağırlığı belirgin bir şekilde düşerek şekil değiştirir. Vermikülit, mikanın doğal aşınmasıyla oluşmuş magnezyum alümino silikat kil mineralidir. Bir kil minerali olan vermikülit Sivas-Yıldızeli'nden temin edilmiştir.

##### 3.1.6. Zeolit

Zeolitler alüminyum ve silis içeren minerallerin çeşitli reaksiyonları sonucu oluşmuştur. Zeolitler kafes yapılarında alüminyum, silis ve oksijen, gözeneklerinde ise katyon ve su içeren mikro gözenekli kristal katılardır. Silis ve alüminyum atomları ortak oksijen atomu sayesinde birbirlerine tetrahedral olarak bağlanmışlardır [15, 16]. Çalışmada kullanılan zeolit Manisa Gördes'ten temin edilmiştir. Zeolitler alkali ve toprak alkali elementlerin kristal yapıya sahip alüminyum silikatlarıdır [17]. Malzemelerin fiziksel özellikleri Çizelge 1'de ve kimyasal özellikleri Çizelge 2'de verilmiştir.

#### 3.2. Metot

##### 3.2.1. Karışımların Hazırlanması

Öncelikle atık mukavva kağıtları 24 saat su içerisinde bekletilerek yumuşaması sağlanmıştır. Geçen süreden sonra yeteri kadar yumuşayan kağıt homojen duruma gelmesi ve hamur olması için mikser ile iyice karıştırılmıştır. Hamurun kıvamını ve fazla suyun alınması için mikro delikli bez süzmele suyu süzümüştür. Hazır olan kağıt hamuruna Çizelge 3'de verilen oranlarda alçı, pomza, perlit, vermikülit ve zeolit (Şekil 1) katılarak farklı numuneler üretilmiştir. Boyutları

16x16x4 cm örnekler hazırlanmış ve eşit miktarda sıkıştırılmıştır.

**Çizelge 1.** Malzemelerin fiziksel özellikleri

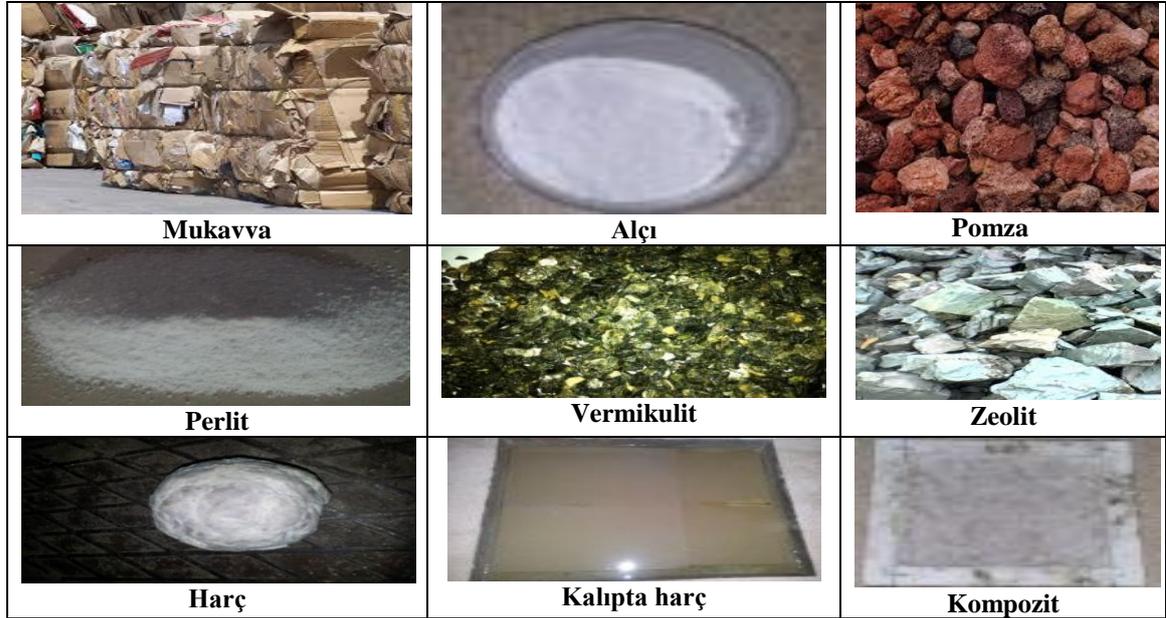
Malzeme	Birim hacim ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	Elek analizi (%)	
			90 µm nolu elek üzerinde kalan	200 µm nolu elek üzerinde kalan
Alçı	2,24	2300	0,06	0,4
Pomza	1,870	2500	0,05	0,6
Perlit	0,678	2400	0,06	0,5
Vermikülit	0,455	2600	0,03	0,7
Zeolit	2,183	2600	0,05	0,3

**Çizelge 2.** Malzemelerin kimyasal içerikleri

Malzeme	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O
Pomza	43,6	14,8	12,6	9,8	8,9	1,1	1,6
Perlit	67,1	11,8	3,7	1,2	0,2	1,5	0,8
Vermikülit	44,3	12,4	13,5	-	12,2	1,4	1,1
Zeolit	67,1	11,8	1,5	2,2	1,2	2,5	2,9

**Çizelge 3.** Karışım miktarları (g)

Numune no	Mukavva	Alçı	Pomza	Perlit	Vermikülit	Zeolit	Su
MA10	200	20	-	-	-	-	25
MA20	200	40	-	-	-	-	25
MAPO10	200	-	20	-	-	-	25
MAPO20	200	-	40	-	-	-	25
MPE10	200	-	-	20	-	-	25
MPE20	200	-	-	40	-	-	25
MV10	200	-	-	-	20	-	25
MV20	200	-	-	-	40	-	25
MZ10	200	-	-	-	-	20	25
MZ20	200	-	-	-	-	40	25
MA10Z10	200	10	-	-	-	10	25
MA20Z20	200	20	-	-	-	20	25
MPO10V10	200	-	10	-	10	-	25
MPO20V20	200	-	20	-	20	-	25
MPE10V10	200	-	-	10	10	-	25
MPE20V20	200	-	-	20	20	-	25
MPO10V10Z10	200	-	10	-	10	10	30
MPO20V20Z20	200	-	20	-	20	20	30
MPE10V10Z10	200	-	-	10	10	10	30
MPE20V20Z20	200	-	-	20	20	20	30



Şekil 1. Malzemeler ve üretilen kompozit

### 3.2.2. Birim Hacim Ağırlığı ve Su Emme Oranı

Üretilen örneklerin birim hacim ağırlıkları TS EN 2823'e göre ve su emme değerleri ise ASTM C 67-03'e göre bulunmuştur.

### 3.2.3. Ultrasonik Ses Geçirgenliği ve Isı İletim Katsayısı

Üretilen kompozitin ısı iletim katsayısı KEM marka QTM-500 model termal iletkenlik cihazı ile ölçülmüştür. Termal iletkenlik tayini deneyi ASTM C 1113-90'a göre yapılmıştır. Ultrasonik test cihazının kullanılmasıyla, malzeme içerisine gönderilen P ve S dalgalarının malzemenin bir yüzeyinden diğerine geçme süresi ölçülmekte, dalga hızı hesaplanmaktadır. Hesaplanan ses üstü dalga hızı ile malzemenin basınç dayanımı ve diğer özellikleri arasındaki ilişki yaklaşık olarak elde edilebilmektedir [18]. Numunenin bir yüzeyinden içeriye gönderilen ses üstü dalganın, bloğun diğer bir yüzeye ne kadar zamanda geçtiği ölçüldükten sonra, dalga hızı Eşitlik 1 ile hesaplanmaktadır:

$$V = (S/t) \cdot 10^6 \quad (1)$$

Burada; V = Dalga hızı (km/ sn), S= Proplar arası mesafe (Malzeme bloğunun ses üstü dalga gönderilen yüzeyi ile dalganın alındığı yüzeyi arasındaki mesafe, kilometre), t= Dalganın gönderilmiş olduğu malzeme yüzeyinden, alındığı yüzeye kadar geçen zamandır (sn) [19]. Bu deneyde numunelerin karşılıklı olarak pürüzsüz yüzeyleri belirlenmiş ve pundit cihazının iki başlığı gres yağı ile yağlanmıştır. Yağlanan bu iki başlık numunenin yüzeyine karşılıklı gelecek şekilde sabitlenmiş ve sonra pundit cihazının okumaları yapılmıştır. Bu okumaların en küçük olanı alınmış ve yukarıda verilen formül ile ultra ses hızı belirlenmiştir.

### 3.2.4. Yangın Direncinin Belirlenmesi

Üretilen malzemelerin yangın direnci kül fırınında değişik sıcaklıklarda ve standarda göre yapılmıştır.

#### 3.2.4.1. Kül Fırınında Yakma İşlemi

Kür işleminin ardından numuneler 50, 100, 150 ve 200°C sıcaklığa maruz bırakılmıştır. Numunelerin yüksek sıcaklıklarda ağırlık değişimleri belirlenmiştir.

### 3.2.4.2. ASTM E 160-50'e Göre Yangın Direnci

Yanma deneylerinde ASTM-E 60-50'de belirtilen esaslara uyulmuştur. Test ve kontrol örnekleri yakma işleminden önce  $27\pm 2^{\circ}\text{C}$  sıcaklık ve  $\%30\pm 5$  bağıl nem şartlarındaki iklimlendirme odasında  $\%7$  rutubete ulaşmaya kadar bekletilmişlerdir. Kontrol örneklerinden bir kısmının rutubeti  $\%30$  olarak muhafaza edilmiştir. Deneyde 24 adet örnek 12 katta kare prizma şeklinde dizilerek yakılmıştır. İşlem sırasında gaz basıncı  $0.5 \text{ kg/cm}^2$  sabit tutulmuştur. Ölçmeler alev kaynaklı, alev kaynaklı ve kor halinde olmak üzere üç aşamada yapılmıştır.

## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 4.1. Birim Hacim Ağırlığı ve Su Emme Oranı

Örneklerin birim hacim ağırlık ve su emme değerleri Çizelge 4'te verilmiştir.

Çizelge 4. Birim hacim ağırlık ve su emme değerleri

Numuneler	Birim hacim ağırlık( $\text{g/cm}^3$ )	Su emme (%)
MA10	1,48	78
MA20	1,51	71
MAPO10	1,69	81
MAPO20	2,15	76
MPE10	1,62	73
MPE20	1,68	69
MV10	1,79	74
MV20	1,35	45
MZ10	1,56	44
MZ20	2,88	47
MPO10V10	2,02	56
MPO20V20	1,25	41
MPE10V10	1,44	36
MPE20V20	1,64	30
MPO10V10Z10	1,45	43
MPO20V20Z20	1,52	35
MPE10V10Z10	1,57	45
MPE20V20Z20	1,63	32

Pomza, perlit, vermicülit ve zeolit ile üretilen yalıtım malzemelerinin birim hacim ağırlıkları

küçük iken su emme oranları daha yüksektir. Burada özellikle ikili karışımların göre üçlü karışımlarla üretilen kompozitlerin birim hacim ağırlıkları, daha büyük bulunmuştur. Pomza, perlit, vermicülit ve zeolit üçlü karışımlarıyla üretilen kompozitlerde katkı oranı arttıkça birim hacim ağırlık artarken su emme oranı azalmıştır. Alçı katkılı örneklerde ise katkı oranı arttıkça hem birim hacim ağırlık değerleri hem de su emme oranı artmıştır. Bu durum alçının yapısı ile açıklanabilir. Üçlü karışımlarla üretilen kompozitlerin da az su emmeleri bu minerallerin kompozit içerisinde dolgu etkisi yapmasının sonucudur. Bu sayede boşluk oranı azaldığından su emme oranı azalmıştır.

### 4.2. Ultrasonik Ses Geçirgenliği ve Isı İletim Katsayısı

Ultra ses geçiş hızları ve ısı iletim katsayıları Çizelge 5'de verilmiştir. Türk ve uluslararası standartlara göre bir malzemenin ısı yalıtım malzemesi olarak tanımlanması için onun sahip olduğu ısı iletkenlik katsayısının ( $\lambda$ )  $0,1 \text{ W/mK}$ 'den küçük olması gerekir.

Çizelge 5. Ultra ses geçiş hızları ve ısı iletim katsayıları

Numuneler	Ultra ses geçiş hızları ( $\text{km/s}$ )	Isı iletim katsayıları ( $\text{w/mK}$ )
MA10	0,39	0,1061
MA20	0,31	0,1023
MAPO10	0,64	0,0194
MAPO20	0,61	0,0135
MPE10	0,65	0,0199
MPE20	0,62	0,0145
MV10	0,68	0,0205
MV20	0,66	0,0195
MZ10	0,63	0,0167
MZ20	0,69	0,0096
MPO10V10	0,75	0,0071
MPO20V20	0,72	0,0068
MPE10V10	0,75	0,0065
MPE20V20	0,71	0,0055
MPO10V10Z10	0,78	0,0051
MPO20V20Z20	0,79	0,0064
MPE10V10Z10	0,83	0,0068
MPE20V20Z20	0,86	0,0071



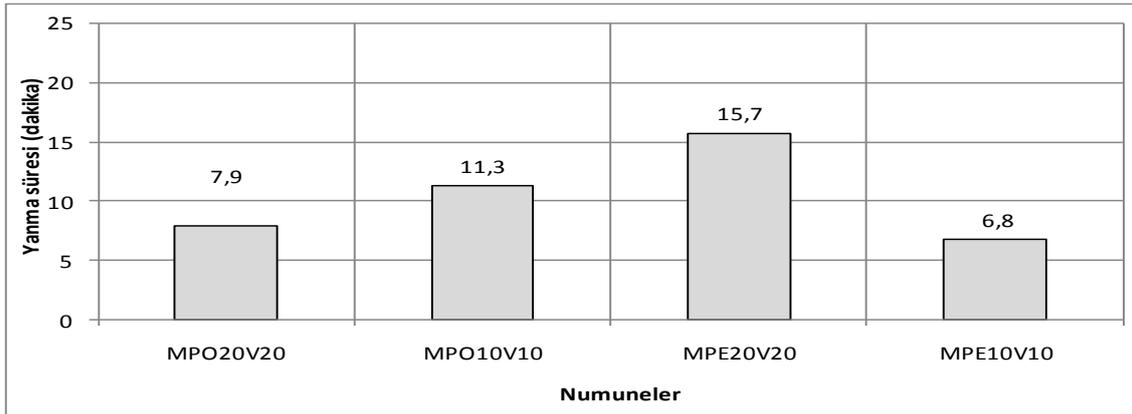
Çizelge 5 incelendiğinde MA10 ve MA20 örneklerin dışında tamamı yalıtım malzemesi kabul edilebilir. Örneklerin mikro yapılarının bir biriyle ilişkili veya ilişkisiz birçok boşluk içermesi nedeniyle ısı iletim katsayıları düşük bulunmuştur. Zira bu örneklerin ultrasonik ses geçiş hızları da bunu doğrulamaktadır. Çünkü söz konusu örneklerin ultrasonik ses geçiş hızları en küçük bulunmuştur. Bunun nedeni yine hem pomza hem de perlitin boşluklu yapısı ile açıklanabilir. Bu durum ise söz konusu ses dalgalarının yüzeyden geçerken absorbe edildiğinin bir sonucudur. Ayrıca, pomza, perlit, vermikülit ve zeolitin üçlü ve dördü karışımlarının ısı iletim katsayıları ile ultrasonik ses geçirgenlik değerleri ikili karışımlardan daha düşük bulunmuştur. Genellikle örneklerin birim hacim ağırlığı arttıkça

malzemenin ısı iletim katsayısının değeri de düşmektedir.

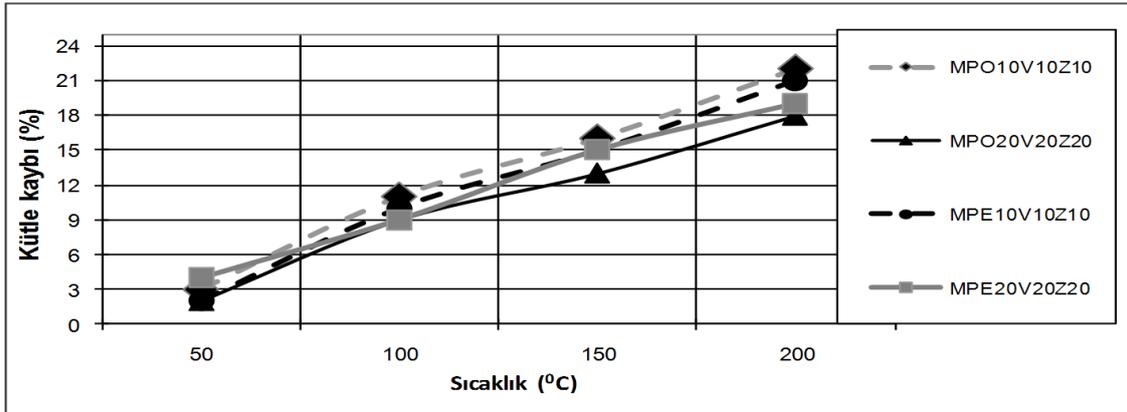
### 4.3. Yangın Direnci

#### 4.3.1. Kül Fırınında Yakma İşlemi

Numuneler 50, 100, 150 ve 200°C'de 30 dakika ısı işlem gördükten sonra ağırlıklarına göre kütle kayıpları bulunmuştur. İkili katkılı numunelerin kütle kayıpları Şekil 2'de, üçlü karışımların kütle kayıpları ise Şekil 3'de verilmiştir. İkili karışımlarla üretilen kompozitlerin yanma etkisiyle kütle kayıplarına göre, fırın sıcaklığı arttıkça kütle kaybı da artmaktadır. Tüm örneklerde katkı oranı arttıkça kütle kaybı azalmaktadır.



Şekil 2. İkili karışımların yakma sonrası kütle kayıpları



Şekil 3. Üçlü karışımların yakma sonrası kütle kayıpları

Genel olarak alçı katkılı örneklerin tüm sıcaklıklarda elde edilen kütle kayıpları daha yüksek bulunmuştur. En düşük kütle kayıpları pomza katkılı örneklerde elde edilmiştir. Üçlü karışımlarla üretilen kompozitlerin yanma etkisiyle kütle kayıplarına göre, fırın sıcaklığı arttıkça kütle kaybı da artmaktadır. Tüm örneklerde katkı oranı arttıkça kütle kaybı azalmaktadır.

Genel olarak üçlü karışımlarla elde edilen örneklerin tüm sıcaklıklarda elde edilen kütle kayıpları daha düşük gözlenmiştir. Üçlü karışımların kütle kayıpları ikili katkılı örneklerinin kütle kayıplarının 50, 100, 150 ve 200°C sıcaklıklarda sırayla %12, 15, 22 ve %25 daha düşük bulunmuştur. Bunun nedeni daha sıkı yapıya sahip örneklerin yangına daha dirençli olması ile açıklanabilir.

#### 4.3.3. ASTM E 160-50'ye Göre Yangın Direnci

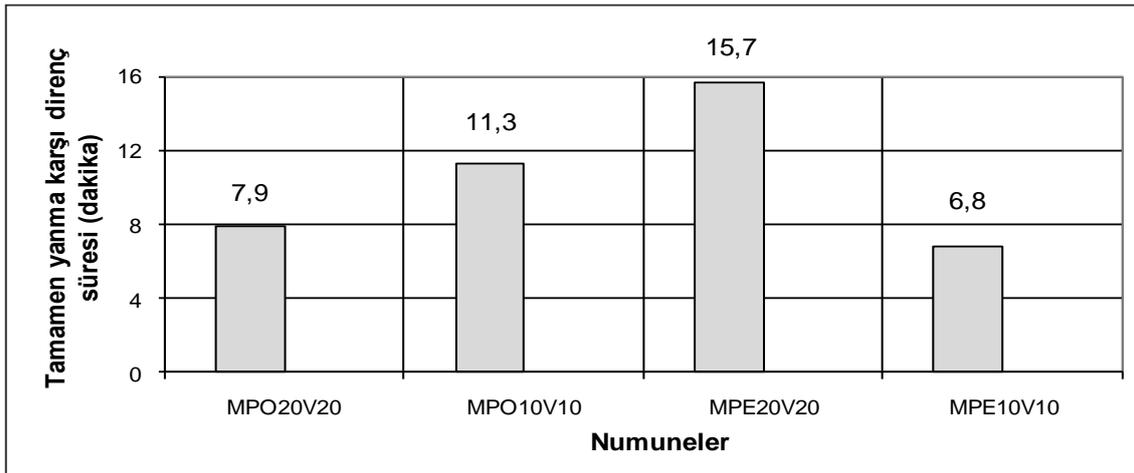
İki mineral katkılı örneklerin tamamen yanma süreleri Şekil 4'de, üçlü mineral katkılı örneklerin yanma süreleri ise Şekil 5'de verilmiştir. Isı transferinin sınırlı kalması hem aleve maruz kalan yüzey, hem de o yüzeyin yakın çevresindeki herhangi bir maddenin tutuşmaması açısından önemlidir [20]. İkili mineral katkılı kompozitlerin yanmaya karşı en uzun dayanan örnek %20 zeolit

katkılı örnektir. Bu grupta en kısa sürede tamamen yanan örnek ise %10 alçı katkılı MA10 örneğidir. Diğerlerinin %20 pomza+%20 perlit+%20 zeolit katkılı örneğin yanmaya direnci en iyi bulunmuştur. Bu örneğin tamamen yanma süresi 15,7 dakika iken %10 pomza+%10 perlit+%10 vermikülit katkılı örneğin tamamen yanma süresi 6,8 dakika'dır. Bu sonuç zeolit'in yanmaya karşı daha dirençli olduğunu göstermektedir. Bu sonuçlar önceki çalışmalarla [21] paralellik göstermektedir.

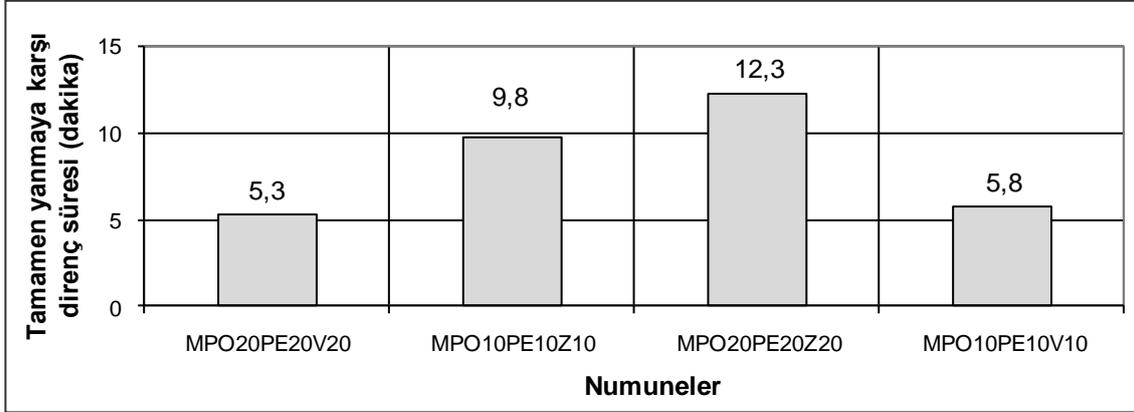
## 5. SONUÇLAR

Bu çalışmadan aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Yanma deneyi sonuçlarına göre, en fazla ağırlık kaybı alçı katkılı örneklerde gerçekleşmiştir. Ağırlık kaybında en uygun sonucu pomza, perlit, vermikülit ve zeolit üçlü karışımlarla üretilen kompozitler vermiştir.
2. Yanmada oluşan ağırlık kayıpları ve yanma sıcaklık değerleri literatürde verilen sonuçlarla ve standartlarda belirtilen değerlerle uyumludur.
3. Çalışmada alçı, pomza, perlit vermikülit, zeolit katkılı numunelerin ikili karışımlarının ultra ses geçiş hızı ve ısı iletim katsayısı daha düşük bulunmuştur.



Şekil 4. İki mineral katkılı örneklerin tamamen yanma süreleri



Şekil 5. Üçlü mineral katkılı örneklerin tamamen yanma süreleri

4. Alçı, pomza, perlit vermikülit ve zeolitin üçlü karışımlarıyla üretilen kompozitlerin birim hacim ağırlıkları daha yüksek, ancak su emme oranları diğerlerine göre daha düşük bulunmuştur.

Bu çalışmada atık mukavva, alçı, pomza, perlit, vermikülit ve zeolit ile yangına dirençli bir kompozitler üretilmiştir. Elde edilen bu sonuçlara, denemeleri yapılan bu kompozitlerin yangın sırasında belirli sıcaklık etkisinin bulunduğu okul, bina, sanayi yapısı, fırın, hamam vb. yapılarda söz konusu yalıtım malzemeleri kullanılabilir. Bu şekilde yapıların yangın dayanımı artırılabilir.

## 6. KAYNAKLAR

1. Kanan N.O., 2014. Energy Efficiency Building Design and Fire Safety 7th National Symposium on Roof and Facade 3-4 April 2014, Yıldız Technical University, 1515-1527, Besiktas- Istanbul .
2. Whitmore TC, Burslem D., 1997. Large-scale Disturbances in Tropical Rainforests. In: Newbery DM, Prins HHT, Brown ND (eds) Population and community dynamics in the tropics. Blackwell, Oxford, 13, 123-132.
3. Jacques G, Jean C, Jean-Claude M., 1997. Alternative Fire Resistance Strategies in Savanna Trees, Oecologia 110, 576-583.
4. Oymael S., Relationship of Water-Humidity and Fire Effects on Stability, Material Selection and Building Design, www.imo.org.tr.
5. Bayraktar K.G., 2011. Tesisatlarda ısı, ses ve yangın yalıtımı, 4. Ulusal tesisat mühendisliği kongresi ve sergisi, 665-676.
6. Temiz H, Kose M.M, Binici H., 2006. Effects of Fire on Precast Members: A Case Study, Engineering Failure Analysis 13, 1191-1201.
7. Liliana B. M, Exequiel S. R, Maria W, Analı 'a V., 2006. Thermal Degradation and Fire Resistance of Unsaturated Polyester, Modified Acrylic Resins and their Composites with Natural Fibres, Polymer Degradation and Stability 91, 255-261.
8. Basdemir H, Demirel F., 2010. A Literature Review of Passive Fire Safety Precautions in Buildings, Journal of Polytechnic, 13, 101-109,
9. Samrat A., 2004. Fire Safety of Buildings Covered by the Construction Product Directive 89/106/EEC(CPD), EU MEDA Programme, Support to the Quality Infrastructure in Turkey, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 05-09.07.2004.
10. Eric M., 2011. Yapılarda Mimari Planlama ve Yapı Elemanları Açısından Yangın Sorunları, Yapı Dergisi, 79, 41-43.
11. Gurdal E, Acun S., 2005. Isı Yalıtım Malzemeleri ve Yangın, İzolasyon Dünyası, 4, 48-52.

12. Binici H, Kucukonder A, Eken M, Sevinc A.H, Tufenk N., 2013. Waste Paper and Cardboard Production Use of Insulation Material, Çukurova University Journal of the Faculty of Engineering and Architecture, 28, 21- 29.
13. Binici H, Aksogan O, Kaplan H, Gorur E.B, Bodur M.N., 2008. Performance of Ground Blast Furnace Slag (GBS) and Ground Basaltic Pumice (GBP) Concrete Against Seawater Attack, Construction and Building Materials 22, 1515–1526.
14. Erdem T.K., Meral C., Tokyay M., Erdogan T.Y., 2007. Use of Perlite as a Pozzolan Addition in Producing Blended Cements, Cement and Concrete Composites, 29, 13-21.
15. Erdoğan B., 2005. Doğal ve Modifiye Doğal Zeolitlerde Etilen Adsorpsiyonu ve Bazı Uygulamalar, Yüksek Lisans Tezi, Fizik Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Anadolu Üniversitesi.
16. Gülen J, Zorbay F, Arslan S., 2012. Zeolites and Usage Areas, Karaelmas Science and Engineering Journal, 2, 63-68.
17. Ozkırım I, Yorukogullari E., 2005. Characterisation of Bet Isotherm from Manisa, Gördes Natural Zeolite (clinoptilolite), D.P.U. Fen Bilimleri Enstitüsü, 9, 65-70.
18. Binici H, Temiz H, Sevinç AH, Eken M, Kucukonder A, Ergul T, 2013. Linear Absorption Coefficients of Mortar Samples Made with the Eggshell, Kahramanmaraş Sütçü Imam University Journal of Engineering Sciences; 16, 11-17.
19. ASTM C 597(1994) Standart Test Method for Pulse Velocity Through Concrete, Annual Book of ASTM Standard.
20. EN 13501-2 Fire Classification of Construction Products and Building Elements-Part 2: Classification Using Data from Fire Resistance Tests, Excluding Ventilation Service, European Committee for Standardization, 2003.
21. Wang M, Wang X, Li L, Ji H., 2014. Fire Performance of Plywood, BioResources, 9, 4934-4945.

## Karbon Lifli Polimer Sargılı Narin Betonarme Kolonların Moment Büyütme Yöntemi ile Analizi

Duygu ERTÜRKMEN<sup>\*1</sup>, Cengiz DÜNDAR<sup>1</sup>, Serkan TOKGÖZ<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mersin

Geliş tarihi: 02.12.2015

Kabul tarihi: 07.03.2016

### Özet

Bu çalışmada, karbon lifli polimer sargılı yüksek dayanımlı çelik lifli ve lifsiz betonarme kolonların davranışları incelenmiştir. Bu amaçla hazırlanan 8 adet çelik lifli ve lifsiz karbon fiber sargılı betonarme kolon numuneler iki eksenli eğilme ve eksenel yük altında test edilerek taşıma gücü kapasiteleri ve yük-deplasman eğrileri belirlenmiş ve aynı kolon numunelerinin teorik olarak da analizi gerçekleştirilmiştir. Analizde beton basınç bölgesi için literatürde yer alan sargılı beton gerilme-şekil değiştirme modeli kullanılmıştır. Ele alınan kolon numunelerin beton basınç dayanımı 53,13~76,76 MPa arasında değişmektedir. Test edilen kolon numunelerine ait dayanım, dış merkezlik, karbon lifli polimer malzeme özellikleri ve narinlik etkisi parametreleri yapılan analizlerde incelenmiştir. Analizde, narinlik etkisi ACI-318 yönetmeliği tarafından önerilen Moment Büyütme Yöntemi' ne göre ele alınmıştır. Kolon numunelerin analizinden elde edilen sonuçların deneysel olarak elde edilen sonuçlarla uyum içinde olduğu gözlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Süneklik, Çelik lifli beton, Karbon lifli polimer, Sargılı beton, İki eksenli eğilme

### Analysis of Carbon Fiber Polymer Confined Slender Reinforced Concrete Columns by Using Moment Magnification Method

#### Abstract

In this study, the behavior of carbon fiber polymer confined plain and steel fiber reinforced concrete columns were examined. For this purpose, carbon fiber polymer confined plain and steel fiber reinforced concrete column specimens were prepared and analyzed to determine the ultimate strength capacity and the load-deflection curves of columns. In the analysis, a stress-strain model for confined concrete was used for the concrete compression zone. Compressive strength of reinforced concrete column specimens are range from 53,13~76,76 MPa. In the analysis compressive strength, eccentricity, carbon fiber polymer

---

\* Yazışmaların yapılacağı yazar: Duygu ERTÜRKMEN, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana. dbasli@cu.edu.tr

material properties and parameters of slenderness effect were examined. In the analysis, slenderness effect of the column is taken into account by using Moment Magnification Method suggested by ACI-318 building code requirements for structural concrete. In conclusion the analysis and experimental results of carbon fiber reinforced polymer confined plain and steel fiber reinforced concrete columns have been achieved in good accuracy.

**Keywords:** Ductility, Steel fiber concrete, Carbon fiber polymer, Confined concrete, Biaxial bending

## 1. GİRİŞ

Betonarme yapılarda düşey elemanlardan olan kolonlar, yapının dayanımı ve taşıma kapasitesi bakımından önemli elemanlardır. Söz konusu elemanlar yüksek dayanımlı beton ile de üretilebilmektedir. Ancak yüksek dayanımlı beton gevrek davranış gösterdiğinden bu şekilde hazırlanan kolonlar maksimum taşıma kapasitelerine ulaştığında ani olarak kırılmaktadır. Bu tür kolonların süneklik düzeyini arttırmak için beton içerisine belirli oranda çelik lif katılmaktadır. Bunların yanında, taşıma gücü kapasitesini ve sargı etkisini daha da arttırmak amacıyla kolonlar karbon lifli polimer malzeme (CFRP) ile dıştan sarılmaktadır. Böylece betonarme bir kolonla kıyaslandığında aynı özellikteki karbon lifli polimer malzeme sargılı kolonun taşıma gücü kapasitesi ve sünekliği, önemli düzeyde artış göstermektedir.

CFRP malzemesi betonarme elemanlara oldukça kolay ve hızlı bir şekilde uygulanabilmektedir. CFRP malzemesinin mekanik özellikleri, türü, elastisite modülü, dayanımı, kalınlığı, elemana uygulanan kat sayısı, malzemedeki liflerin yerleşimi ve yönü, CFRP sargılı elemanların yapısal davranışlarını büyük ölçüde etkilemekte ve değiştirmektedir.

Bilindiği gibi betonarme yapılarda genellikle köşe kolonlar düşey yükler, rüzgar yükleri veya deprem yükleri nedeniyle eksantrik yüklemelere maruz kalabilmektedir [1]. Gerek CFRP malzemesi ile sarılı eksantrik yüklü narin betonarme kolonların davranışlarının belirlenmesine gerekse lifli polimer sargılı betonarme elemanların mekanik davranışlarının belirlenmesine ilişkin pek çok

sayıda teorik ve deneysel araştırma yapılmıştır. Mirmiran ve Shahawy (1997), Toutanji ve Balaguru (1998), Teng ve Lam (2002), lifli polimer malzeme ile sarılı kolonların yapısal davranışları üzerinde çalışmışlardır [2-4]. Samaan ve arkadaşları (1998), eksenli doğrultusunda ve yanal yönde lifli polimer sargılı betonarme elemanların davranışlarının belirlenmesi için bir sargı modeli önermişlerdir [5]. Hadi (2006), lifli polimer malzeme ile sarılı normal dayanımlı betonarme kolonların eksantrik yük etkisindeki davranışlarının belirlenmesi için deneysel bir çalışma gerçekleştirmiştir. Elde ettiği deneysel sonuçlara göre lifli polimer malzeme ile sarılı betonarme kolonların daha yüksek dayanım, süneklik ve enerji yutma kapasitesi özelliklerine sahip olduğunu gözlemlemiştir [6]. Zaki (2011), karbon lifli polimer malzeme kullanılarak güçlendirilmiş eksantrik yüklü betonarme kolonlara ilişkin bir analiz ve tasarım yöntemi önermiştir [7]. Vincent ve Özbakkaloğlu (2013), lifli polimer sargı malzemesindeki liflerin dağılım ve yönlerinin betonarme kolonların davranışına olan etkilerini incelemiştir. Ayrıca sargılı betonarme kolonların sarılmasının kolonun basınç altındaki davranışına olan etkilerini araştırmışlardır [8]. Punurai, Hsu ve arkadaşları (2013), iki eksenli eğilmeye maruz karbon lifli polimer malzeme ile kaplı narin betonarme kolonların deneysel ve teorik davranışlarını incelemiştir [9].

Literatürde karbon lifli polimer sargılı çelik lifli narin betonarme kolonların davranışlarını konu alan çalışmalar oldukça sınırlı kalmıştır. Sunulan çalışmada, karbon lifli polimer sargılı çelik lifli ve liffsiz yüksek dayanımlı betonarme kolonların davranışının belirlenmesi amacıyla yapılan deneysel çalışmaya ek olarak bir de analiz çalışması gerçekleştirilmiştir. Analizde, narinlik etkisi ACI-318 yönetmeliğinde önerilen Moment Büyütme Yöntemi' ne göre ele alınmıştır.

Analizlerde beton basınç bölgesi için literatürde yer alan karbon lifli sargılı ve sargısız çelik lifli ve lifsiz beton davranışını tanımlayan gerilme-şekil değiştirme modelleri kullanılmıştır. Analizler sonucunda elde edilen kolon taşıma gücü kapasitesi değerlerinin deneysel olarak elde edilen değerlerle uyumlu olduğu belirlenmiştir.

## 2. MATERYAL VE METOT

### 2.1. Materyal

Sunulan çalışmada, çelik lifsiz ve lifli, sargısız ve karbon lifli sargılı olarak tasarlanan 8 adet kolon numunenin iki eksenli eğilme ve eksenel basınç altındaki davranışını simgeleyen sonuçlar, deneysel ve analitik olarak verilmiştir.

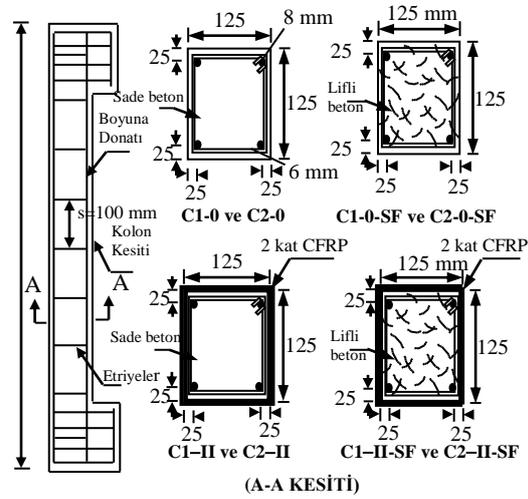
Test edilen kolon numunelerinin hazırlanmasında iki farklı beton karışımı kullanılmıştır. İlk beton karışımı C1, ikinci beton karışımı C2 serisi olarak adlandırılmış ve çelik lif ilave edilen serilere çelik lif katkısını simgeleyen SF kısaltması eklenmiştir. C1 serisi çelik lif kullanılmayan seri olup C1-0 sargısız, C1-II çift kat CFRP sargılı numunelerdir. C1-SF serisi bunların çelik lif katkılı olanları olup yine C1-0-SF sargısız, C1-II-SF çift kat CFRP sargılı numunelerdir. İkinci beton karışımı olan C2 serisi ve C2-SF serisi içinde C2-0 sargısız, C2-II çift kat sargılı, C2-0-SF sargısız ve C2-II-SF yine çift kat sargılı olan numunelerdir. Belirtilen serilerde yer alan numuneler için 1 m<sup>3</sup> hacimde kullanılan beton karışım oranları Çizelge 1'de görülmektedir. Söz konusu numunelerde sargılı ve sargısız silindirik basınç dayanımı değerleri 53,13~76,76 MPa aralığında elde edilmiştir.

**Çizelge 1.** Numunelere ait beton karışım oranları (1 m<sup>3</sup> hacim için)

Malzeme	C1	C1-SF	C2	C2-SF
Çakıl (kg)	1120	1110	1100	1090
Kum (kg)	725	720	640	630
Çimento (kg)	400	400	400	400
Su (l)	150	150	120	120
Kimyasal (kg)	5	5	15	15
Lif (kg)	-	50	-	60

Hazırlanan kolon numuneler 1300 mm uzunluğunda ve 125×125 mm kesitinde

tasarlanmıştır. Kolon numunelerde gerek iki eksenli eğilme ve eksenel basıncı sağlamak gerekse kolon uçlarında oluşabilecek yerel kırılmaları önlemek üzere numunelerin iki ucunda 200×200 mm başlık oluşturulmuştur. Kolon köşelerinde 8 mm çapında, akma dayanımı 550 MPa olan boyuna donatı kullanılmıştır. 6 mm çapındaki akma dayanımı 630 MPa olan etriyeler, kolon boyunca 100 mm aralıklarla yerleştirilmiştir. Kolon numunelerine ait detaylar Şekil 1'de verilmiştir.



**Şekil 1.** Sargılı ve sargısız kolon numunelerine ait kesit detayları ve donatı düzeni

Numunelere ait beton karışımlarında PÇ42,5 dayanımlı çimento, maksimum dane boyutu 20 mm olan agrega malzemesi ve RC 65/35 BN kodlu çelik lif kullanılmıştır. Numuneler prizlerini aldıktan sonra çift yönlü lif içeren Sika Wrap Hex 300C 0/90 olarak adlandırılan karbon lifli polimer malzeme ile Sikadur-330 isimli epoksi yapıştırıcısı kullanılarak sarılmıştır. CFRP sargılı ve sargısız olarak hazırlanan deney numunelerine ait örnekler Şekil 2'de görülmektedir.

Karbon lifli polimer sargısının kolonların davranışları üzerindeki etkilerinin belirlenmesi için hazırlanan 8 numuneden dört tanesi çift kat malzeme kullanılarak sarılmıştır.



Şekil 2. Sargılı ve sargısız kolon numune örnekleri



Şekil 3. Deney düzeneği

Kalan dört tanesi ise sargı yapılmayan lifsiz ve lifli beton karışımları ile imal edilen referans numuneleridir. Numunelere ait basınç dayanımı değerleri, numuneler hazırlanırken alınmış olan silindirik numune örneklerinin numunelerin test edildiği gün içerisinde aksel basınç altında denenmesi ile elde edilmiştir. Numune isimleri, numunelere ait beton basınç dayanımı değerleri, deneylerde numunelere uygulanan yükün eksantrisite değerleri ve numune hazırlığında kullanılan sargı miktarı bilgileri Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Numunelere ait dayanım ve eksantrisite değerleri ile kullanılan CFRP sargı miktarı

Numune	$f_{cd}$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$e_x=e_y$ (cm)	Lifli Kumaş
C1-0	6,466	4	yok
C1-II	5,772	4	çift kat
C1-0-SF	6,520	4	yok
C1-II-SF	6,759	4	çift kat
C2-0	7,676	5	yok
C2-II	6,191	5	çift kat
C2-0-SF	6,437	5	yok
C2-II-SF	5,313	5	çift kat

Hazırlanan kolon numuneler elemanların yük taşıma gücü kapasitelerinin, yük-deplasman eğrilerinin ve karbon lifli polimer malzeme sargısının kolon davranışı üzerine olan etkilerinin incelenmesi amacıyla seçilen eksantrisite değerlerinde yüklemeye tabi tutulmuştur.

Deneylerde kullanılan düzenek Şekil 3'de verilmiş olup yanal deplasmanların ölçümü için lineer deplasman ölçerler, yükün kaydedilmesi için veri toplama sistemi, yükün numuneye aksel yönde aktarımı için hidrolik silindirik sistemi ve deney sırasında elemana etkiyen yükü tespit etmek için ise 500 kN kapasiteli yük hücresi kullanılmıştır. Kullanılan yük hücresi ve deplasman ölçerler deneyden önce kalibre edilmiştir. Yük 1 kN/sn artımla numuneye verilmiş olup bu şekilde ortaya çıkacak yük-yanal deplasman eğrilerinin gerçek davranışı daha uygun ve düzgün bir şekilde yansıtması sağlanmıştır. Deney boyunca gerek yüklemdeki artım gerekse her iki eksen (x ve y) yönünde oluşan yanal deplasmanlar, veri toplama sistemi ile kaydedilmiştir. Çalışma kapsamında ele alınan kolon numunelerine ait deneysel sonuçlar Dündar, Ertürkmen ve Tokgöz (2015) tarafından yapılan çalışmada detaylı olarak verilmektedir [10].

## 2.2. Metot

Bu çalışmada karbon lifli polimer sargılı sade veya lifli narin betonarme kolonların davranışlarının belirlenmesi için analitik bir yöntem önerilmiştir. Bu yöntem iki eksenli eğilme ve aksel yüke maruz kolonlar için Tokgöz, Dündar ve Tanrıku (2008) tarafından geliştirilen programın, karbon lifli polimer sargılı betonarme kolonlara uygun olarak yeniden düzenlenmesi sonucu ortaya çıkmıştır. Önerilen yöntemde, beton basınç bölgesi bu bölgede oluşan gerilmelerin hesaplanabilmesi için küçük elemanlara ayrılmıştır. Karbon lifli polimer malzemenin herhangi bir basınç kuvvetini karşılamadığı ve sadece boyuna doğrultuda



oluşacak çekme kuvvetinin taşınmasına katkı sağladığı kabul edilmiştir. Bu nedenle karbon lifli malzeme, çekme bölgesinde de küçük elemanlara ayrılarak malzemede oluşan çekme gerilmeleri belirlenmiştir.

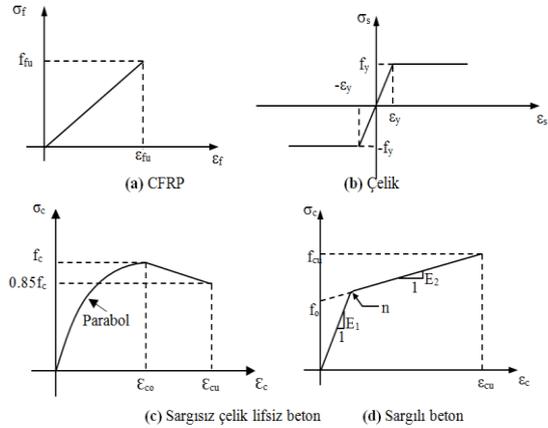
Önerilen analiz yönteminde yapılan varsayımlar: (1) eğilmeden önce düzlem olan kesitler, eğilmeden sonrada düzlem kalırlar. (2) malzemenin doğrusal olmayan davranışı esas alınır. (3) beton basınç bölgesi için literatürde mevcut sargılı ve sargısız beton gerilme-şekil değiştirme modelleri kullanılmıştır. (4) çelik için malzemenin elasto-plastik davranışını göz önüne alan gerilme-şekil değiştirme ilişkisi kullanılır. (5) betonun çekme dayanımına katkısı ihmal edilir. (6) sünme ve büzülme etkisi ihmal edilip beton, çelik ve CFRP malzemesi arasında tam bir aderans olduğu kabul edilmiştir. (7) eksenel ve kesme deformasyonları ihmal edilmiştir.

Analizlerde kullanılan malzemelere yönelik gerilme-birim deformasyon eğrileri Şekil 4 (a-d)'de görülmektedir. CFRP malzemesi için malzeme davranışının kopma anına kadar lineer elastik olduğunu varsayan, donatı çeliği için elasto-plastik davranışı esas alan gerilme-birim deformasyon modelleri kullanılmıştır. Sargısız çelik lifsiz beton için Hognestad (1955) tarafından önerilen ve literatürde Hognestad Modeli olarak bilinen beton modeli dikkate alınırken; sargısız çelik lifli beton için Hsu ve Hsu (1994) tarafından, sargılı beton için ise Punurai ve Hsu (2013) tarafından önerilen gerilme-birim deformasyon modelleri kullanılmıştır. Şekil 4 (a)'da verilen CFRP malzemesine ait gerilme şekil değiştirme diyagramında  $\sigma_f$  ve  $\epsilon_f$  CFRP' nin gerilme ve şekil değiştirme değerleri olup;  $f_{fu}$  ve  $\epsilon_{fu}$  malzemeye ait maksimum gerilme ve şekil değiştirme değerleridir.

$$\sigma_f = E_f \epsilon_f \leq f_{fu} \quad 0 \leq \epsilon_f \leq \epsilon_{fu} \quad (1)$$

Burada  $E_f$  malzemeye ait elastisite modülü olup aşağıdaki ifade ile hesaplanmaktadır.

$$E_f = \frac{f_{fu}}{\epsilon_{fu}} \quad (2)$$



Şekil 4 (a-d). CFRP, çelik, sargısız ve sargılı beton gerilme-şekil değiştirme eğrileri

Şekil 4 (b)'de çelik için verilen gerilme şekil değiştirme diyagramı malzemenin elasto-plastik davranışını temel almakta olup diyagramda görülen  $\sigma_s$  ve  $\epsilon_s$  donatı çeliğinin gerilme ve şekil değiştirme değerleri olup;  $f_y$  ve  $E_s$  sırasıyla malzemeye ait akma dayanımı ve elastisite modülü değerleridir.

$$\sigma_s = E_s \epsilon_s \leq f_y \quad (3)$$

Şekil 4 (c)'de sargısız numuneler için beton basınç bölgesinin tanımında kullanılan Hognestad modeli yer almaktadır. Modelde, betonun ( $\sigma$ - $\epsilon$ ) ilişkisi tanımlanırken ( $\sigma$ - $\epsilon$ ) ilişkisinin, eğrinin tepe noktasına kadar ikinci dereceden parabol olduğu, tepe noktasından sonraki azalan kısmının ise doğrusal olduğu varsayılmıştır. Modelde maksimum gerilmenin genelde beton silindirik basınç dayanımının %85'i olduğu kabul edilmiştir ( $f_c=0,85f_{ck}$ ). Maksimum gerilmeye karşılık gelen birim kısalma değeri,  $\epsilon_{co}=2f_c/E_c$  olarak verilmiş ise de bu değer, basit bir yaklaşımla 0,002 olarak da alınabilmektedir. Kırılmaya karşılık gelen maksimum birim deformasyon değeri  $\epsilon_{cu}=0,0038$  olarak kabul edilmektedir. Betonun elastisite modülü için ise (4) denklemi önerilmektedir.

$$E_c = \tan \alpha = 12680 + 460 f_c \quad (\text{MPa}) \quad (4)$$

Modelde yer alan parabolik ve doğrusal kısmı ifade eden denklemler sırasıyla (5) ve (6) ifadelerinde yer almaktadır.

$$\sigma_c = f_c \left[ \frac{2\varepsilon_c}{\varepsilon_{co}} - \left( \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{co}} \right)^2 \right] \quad (5)$$

$$\sigma_c = f_c \left[ 1 - 0,15 \left( \frac{\varepsilon_c - \varepsilon_{co}}{\varepsilon_{cu} - \varepsilon_{co}} \right) \right] \quad (6)$$

Burada  $f_c$  beton basınç dayanımını;  $\varepsilon_{co}$  maksimum gerilmeye karşılık gelen birim kısalmayı;  $\varepsilon_{cu}$  kırılma anındaki birim kısalmayı ve  $\varepsilon_c$  betondaki birim kısalmayı simgelemektedir.

Yapılan analizlerde sargısız çelik lifli numuneler için ise Hsu ve Hsu (1994) tarafından tanımlanan ve aşağıda denklemleri verilen gerilme-birim deformasyon ilişkisi kullanılmıştır.

$$\sigma_c = \left[ \frac{n_1 \beta \left( \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_0} \right)}{n_1 \beta - 1 + \left( \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_0} \right)^{n_1 \beta}} \right] f_c \quad (7)$$

Burada;  $\left( 0 \leq \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_0} \leq x_d \right)$  olmalıdır.

$$\sigma_c = 0,6 \exp \left[ -0,7 \left( \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_0} - x_d \right)^{0,8} \right] f_c \quad (8)$$

Burada;  $\left( x_d \leq \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_0} \right)$  olmalıdır.

İfadelerde yer alan  $n_1$  ve  $\beta$ , malzeme parametreleri olup  $n_1$ , malzeme dayanımına;  $\beta$  ise gerilme-birim deformasyon eğrisinin şekline bağlıdır. Değerleri karışımda bulunan çelik lif miktarının hacimsel oranına göre değişmekte olan bu parametrelere ait kullanılan ifadeler ise Hsu ve Hsu (1994)

tarafından yapılan çalışmada detaylı olarak verilmektedir.

Yine yukarıda belirtilen denklemlerde yer alan  $\sigma_c$  değeri, beton basınç gerilmesini,  $f_c$  değeri ise maksimum beton basınç gerilmesine karşılık gelen gerilmeyi simgelemektedir. Bununla birlikte,  $\varepsilon_0$  maksimum gerilmeye karşılık gelen birim kısalmanın değerini,  $x_d$  ise eğrinin azalan kısmını temsil eden bölümünde  $0.6f_c$  gerilmesine karşılık gelen birim kısalma değerini temsil etmektedir.

Şekil 4 (d)'de sargılı beton için verilen gerilme şekil değiştirme modelinde eğriler farklı eğime sahip iki artan doğrunun birleşmesi ile temsil edilmiş olup burada  $\sigma_c$  ve  $\varepsilon_c$  sırasıyla, CFRP sargılı betonun gerilme ve birim deformasyon değerleridir.  $E_1$  ve  $E_2$  ifadeleri ise verilen bu iki artan doğruya ait eğim yani elastisite modülü değerleridir.  $f_0$  ikinci doğruya ait başlangıç gerilmesi olup bu noktadan itibaren oluşan gerilmeler plastik haldeki gerilmelerdir.  $n$  ise şekil faktörünü ifade etmektedir. Ayrıca  $\varepsilon_{cu}$  lifte oluşacak olan maksimum şekil değiştirmeyi,  $f_{cu}$  ise CFRP sargılı betonda oluşacak olan maksimum gerilmeyi temsil etmektedir.

CFRP sargılı betonun gerilme-birim deformasyon davranışını belirleyen ifade Punurai ve Hsu (2013) tarafından önerilen (9) denkleminde yer almaktadır.

$$\sigma_c = \frac{(E_1 - E_2)\varepsilon_c}{\left[ 1 + \left( \frac{(E_1 - E_2)\varepsilon_c}{f_0} \right)^n \right]^{1/n}} + E_2\varepsilon_c \quad (9)$$

Bu ifadede görülen ilk doğrunun eğimi olan  $E_1$  ifadesi ACI 318-08 (2008) tarafından önerilen denklem (10) kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$E_1 = 4730\sqrt{f_c} \quad (10)$$

Yine verilen ifadede yer alan ve ikinci doğrunun eğimi olan  $E_2$  denklem (11)'deki ifade kullanılarak hesaplanmaktadır. Bu ifadede yer alan  $E_f$  CFRP kumaşının kuru haldeki etkili elastisite modülü

$$E_2 = 189,21f_c^{0.2} + 1.345 \frac{E_f t_f}{D} \quad (11)$$

değeridir;  $t_f$  CFRP kumaşının kalınlığı;  $D$  ise göbek betonun çapıdır.

$f_0$  ikinci doğruya ait başlangıç gerilmesi olup denklem (12) ile hesaplanmaktadır.

$$f_0 = 0,85f_c + 1,9f_r + 6,89 \quad (12)$$

Burada  $f_r$  CFRP kumaşının sargılama basıncı olup denklem (13) ile elde edilmektedir.

$$f_r = \frac{2f_f t_f}{D} \quad (13)$$

Burada yer alan  $f_f$  ise halka gerilmesidir.

CFRP sargılı betona ait maksimum gerilme olan ( $f_{cu}$ ) ve ona karşılık gelen birim deformasyon ( $\varepsilon_{cu}$ ) değerleri ise aşağıda verilen ifadelerle elde edilebilmektedir:

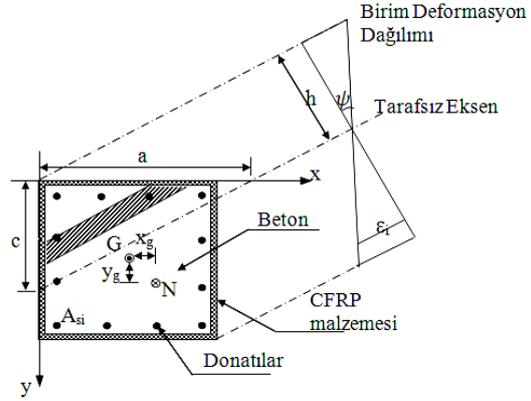
$$f_{cu} = f_c + 6,14f_r^{0.75} \quad (14)$$

$$\varepsilon_{cu} = \frac{f_{cu} - f_0}{E_2} \quad (15)$$

### 3. ANALİTİK YÖNTEM İÇİN FORMÜLASYONLAR

İki eksenli eğilme ve eksenel basınca maruz CFRP sargılı kolon kesiti ve birim deformasyon dağılımı Şekil 5’de görülmektedir.

Analizde karbon fiber polimer malzeme çekme bölgesinde, beton malzeme basınç bölgesinde tarafsız eksen konumuna paralel olarak şeritlere ayrılmaktadır. Bu şeritlerin ağırlık merkezindeki birim deformasyon değerleri Denklem (16) yardımıyla hesaplanmaktadır. Hesaplanan birim deformasyonlara karşılık gelen gerilmeler her bir malzemenin gerilme-birim deformasyon modelinden belirlenmektedir.



Şekil 5. CFRP sargılı kolon kesiti ve birim deformasyon dağılımı

$$\varepsilon_i = \varepsilon_{cu} \left[ \left( \frac{y_i}{c} + \frac{x_i}{a} \right) - 1 \right] \quad (16)$$

Burada a ve c ifadeleri sırasıyla x-y eksenlerinin orijin noktasından tarafsız eksene olan mesafeleridir.  $\varepsilon_{cu}$  betonda oluşan maksimum birim deformasyon değeridir. Oluşacak eğrilik aşağıdaki ifade ile saptanmaktadır.

$$\psi = \frac{\varepsilon_c}{h} \quad (17)$$

Burada  $\varepsilon_c$  betonda oluşan birim deformasyon değeri olup h maksimum basınç lifi ile tarafsız eksen arasındaki mesafedir.

CFRP sargılı kesitin içinde oluşan eksenel kuvvet ve kuvvetin uygulandığı eksantrisite nedeniyle kesitin x ve y eksenleri yönünde oluşan eğilme momenti değerleri statik olarak dıştan uygulanan eksenel kuvvet ve yükün uygulandığı eksantrisiteden doğan eğilme momentlerine eşit olacaktır. Kesitin içinde oluşacak olan eksenel kuvvet ve momentler betonda, donatı çeliğinde ve CFRP kumaşında meydana gelen kuvvet, gerilme ve şekil değiştirmelerin ortak etkisiyle aşağıda verilen denge denklemleri kullanılarak hesaplanacaktır.

$$N = \sum A_c \sigma_c + \sum A_s \sigma_s + \sum A_{fp} \sigma_{fp} \quad (18)$$

$$M_x = \sum A_c \sigma_c y_c + \sum A_s \sigma_s y_s + \sum A_{fp} \sigma_{fp} y_{fp} \quad (19)$$

$$M_y = \sum A_c \sigma_c x_c + \sum A_s \sigma_s x_s + \sum A_{fp} \sigma_{fp} x_{fp} \quad (20)$$

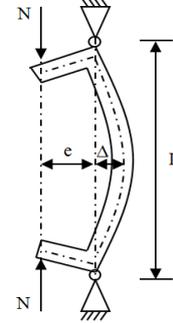
Burada  $A_c$ ,  $A_s$  ve  $A_{fp}$  sırasıyla betonun, çeliğin ve CFRP kumaşının kesit alanlarıdır.  $\sigma_c$ ,  $\sigma_s$  ve  $\sigma_{fp}$  sırasıyla betonun, çeliğin ve CFRP kumaşının gerilme değerleridir.  $(x_c, y_c)$ ,  $(x_s, y_s)$  ve  $(x_{fp}, y_{fp})$  yine sırasıyla betonun, donatı çeliğinin ve CFRP kumaşının kesit ağırlık merkezine olan mesafeleridir. CFRP kumaşında meydana gelecek kuvvetler kumaşın elemana boyuna yönde uygulanması hali için hesaba alınmıştır.

Sargısız ve sargılı kolon numunelerinin analizinde, oluşacak olan aksel yük ve moment taşıma kapasitesi değerlerinin hesabı için narinlik etkisini göz önüne alan ACI-318 yönetmeliği tarafından önerilen Moment Büyütme Yöntemi kullanılmıştır.

#### 4. MOMENT BÜYÜTME YÖNTEMİ

Betonarme yapılarda mevcut bulunan kolon elemanlarının kesit boyutları, boylarına oranla küçük olduğundan kolonlar genelde narin eleman olarak davranırlar. Eğilme etkisine maruz narin bir kolonda, yer değiştirmeden dolayı ilave bir moment meydana gelmektedir. İkinci mertebe momenti olarak adlandırılan bu ilave moment  $N(\Delta)$  mertebesinde ve genellikle kolon ortasında maksimum olmaktadır (Şekil 6).

İkinci mertebe momentler çoğunlukla ihmal edilemeyecek boyutta olabilmektedir. Bu nedenle hesaplara dahil edilmeleri gerekir. Bu amaçla kolonlarda meydana gelen yer değiştirme değerlerinin de doğru olarak saptanması önemli olmaktadır. Ancak, kolonların karmaşık sınır koşullarına sahip olması, betonarmenin doğrusal- elastik olmayan bir malzeme olması, davranışın zamana ve yük geçmişine bağlı olması gibi nedenlerden dolayı yer değiştirmelerin kesin olarak elde edilmesi mümkün olamamaktadır. Bu



Şekil 6. Eksantrik yük altında kolonda oluşan deplasman

nedenle hesaplarda bir takım kabuller yaparak sonuca gidilmektedir.

$$M_{\max} = N(e) + N(\Delta) \quad (21)$$

Kolonlarda narinlik etkisini hesaplara katmak için ACI yönetmeliğinde öngörülen ve TS 500-2000 tarafından da kabul edilen "Moment Büyütme Yöntemi" kullanılmaktadır. Yöntemin kullanılabilmesi için narinlik oranının denklem (22)'de verilen ifadeyi sağlaması gerekmektedir.

$$\frac{L_k}{i} \leq 100 \quad \left( i = \sqrt{\frac{I}{A}} \right) \quad (22)$$

Burada  $L_k$  kolon etkili boyunu;  $i$  ise kesit atalet yarıçapını göstermektedir. Bu yöntemde narinlik etkisinden meydana gelen ikinci mertebe momentlerinin de dahil edildiği moment değeri ( $M_{\max}$ ), birinci mertebe momentinin  $N(e)$ , moment büyütme katsayısı ( $\delta$ ) ile çarpılmasıyla elde edilmektedir.

$$\delta = \frac{C_m}{1 - 1,33 \frac{N_u}{N_{cr}}} \geq 1.0 \quad (23)$$

$$C_m = 0,6 + 0,4 \frac{M_{u1}}{M_{u2}} \geq 0,4 \quad M_{u1} \leq M_{u2} \quad (24)$$

İki ucu mafsallı kolonlarda  $C_m=1,0$  alınmaktadır.  $N_{cr}$  kolon burkulma yükü olup aşağıdaki ifade ile tanımlanmaktadır.

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(kL)^2} \quad (25)$$

Burada  $(kL)$  kolon etkili boyu;  $EI$  ise kolonun etkili eğilme rijitliğini göstermektedir. Betonarme kolonlar için eğilme rijitliği, TS 500-2000 tarafından önerilen aşağıdaki ifade ile ele alınmaktadır.

$$EI = \frac{0,4E_c I_c}{1 + \beta_d} \quad (26)$$

Burada  $E_c$  beton elastisite modülünü,  $I_c$  kesit atalet momentini ve  $\beta_d$  sünme oranını göstermektedir. Kısa süreli yüklemeye maruz elemanlarda  $\beta_d=0$  alınmaktadır.

Eğik eğilmeye maruz betonarme kolonların narinlik hesabında moment büyütme çarpanı ( $\delta_x$ ,  $\delta_y$ ) iki yönde ayrı ayrı hesaplanarak ilgili momentlerle çarpılmak suretiyle hesaplara yansıtılmaktadır.

$$M_{ux} = \delta_x N_u e_y \quad M_{uy} = \delta_y N_u e_x \quad (27)$$

Narinlik hesabında, analiz ve tasarımda oluşturulan denge denklemleri sağlanıncaya kadar her iterasyonda iki yönde moment büyütme çarpanı ( $\delta_x$ ,  $\delta_y$ ) değeri hesaplanarak işlemlere katılmaktadır.

## 5. ARAŞTIRMA BULGULARI

Yapılan bu çalışma kapsamında, iki eksenli eğilme ve eksenel basınç altında deneysel olarak test edilen kolonlar, narinlik hesabında Moment Büyütme Yöntemi göz önüne alınarak geliştirilmiş olan bilgisayar programı kullanılarak analiz edilmiştir. Analizde beton basınç bölgesi için sargısız çelik lifsiz numuneler için Hognestad modeli (1955), sargısız çelik lifli numuneler için Hsu ve Hsu (1994) tarafından önerilen model ve

sargılı numuneler için ise Punurai ve Hsu (2013) tarafından önerilen sargılı beton gerilme-birim deformasyon modeli kullanılmıştır.

Analiz sonucunda elde edilen moment ve eksenel yük taşıma gücü değerleri, deneysel olarak elde edilen değerler ile karşılaştırmalı olarak Çizelge 3'de verilmiştir.

**Çizelge 3.** Kolon numunelerine ait deneysel ve analitik taşıma gücü değerleri

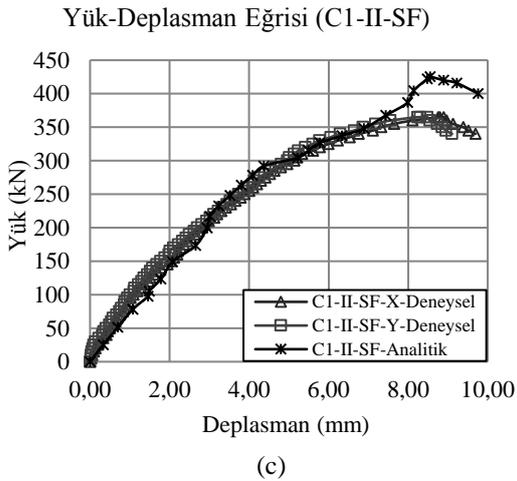
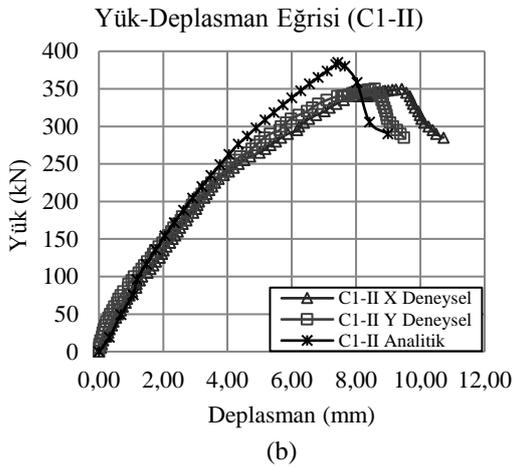
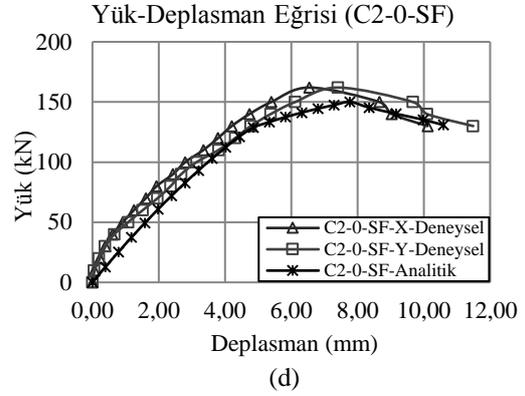
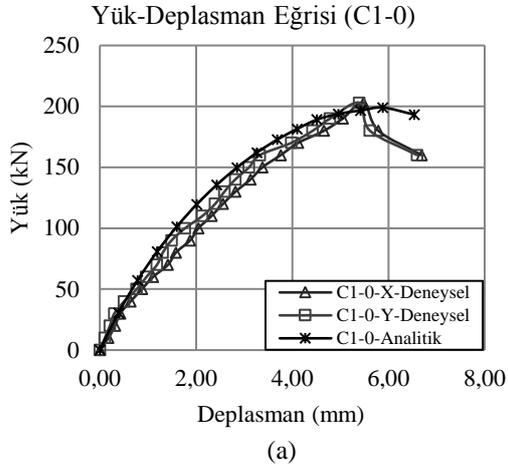
Numune	$N_d$ (kN)	$N_{test}$ (kN)	$M_x \& M_y$ (kNcm)	$N_d / N_{test}$
C1-0	199,03	203	932,57	0,980
C1-II	385,31	350	1531,10	1,100
C1-0-SF	198,62	220	929,63	0,903
C1-II-SF	425,24	365	1699,47	1,165
C2-0	165,72	155	932,88	1,069
C2-II	333,95	283	1669,52	1,180
C2-0-SF	150,02	162	843,35	0,926
C2-II-SF	305,29	267	1529,92	1,143
				1,058

C1-0, C1-II, C1-II-SF ve C2-0-SF numunelerine ait deneysel ve analitik olarak elde edilen yük-deplasman eğrileri ise karşılaştırmalı olarak Şekil 6 (a-d)'de sunulmuştur.

## 6. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Sunulan çalışmada lifli ve lifsiz, çift kat CFRP sargılı ve sargısız, yüksek dayanımlı beton kullanılarak hazırlanmış 8 adet kare kesitli kolon numunesi, iki eksenli eğilme ve eksenel basınç altında deneye tabi tutulmuş ve analiz için analitik bir yöntem geliştirilmiştir.

Yapılan deneylerde lifsiz karışıma sahip olan C1-0 ve C2-0 olarak adlandırılan numuneler, yüksek dayanımlı beton kullanılarak hazırlandıkları için oldukça gevrek bir davranış sergilemişlerdir. C1-0-SF ve C2-0-SF olarak adlandırılan lifli numuneler ise yük etkisinde lifsiz olan numunelere kıyasla çok daha fazla deformasyon yapma özelliği göstermişlerdir. Bu da yüksek dayanımlı betona ilave edilen çelik lifin, betonun sünekliğini önemli ölçüde arttırdığı sonucunu doğrulamaktadır [13].



Şekil 6 (a-d). Bazı numunelere ait karşılaştırmalı yük-deplasman eğrileri

Kolonlarda meydana gelen göçme veya çatlamların genelde numunenin orta kısımlarında meydana geldiği gözlenmiştir. CFRP malzemesi ile sarılan gerek lifli gerek lifsiz kolon numunelerinde, sargı malzemesinde enine yönde bulunan liflerin numunelerin yanal rijitliğini arttırdığı görülmüştür. Test edilen kolonlarda önce kolonun çekme bölgesinde, çekme çatlaklarının oluşumu gözlenmiş sonra basınç bölgesinde betonun kırılması ile numunenin taşıma gücüne eriştiği belirlenmiştir. Çift yönlü lif içeren CFRP sargısının, eğilme çatlağı oluşumunu ertelediği sonucuna varılmıştır. Moment Büyütme Yöntemi kullanılarak yapılan analizler sonucunda elde edilen taşıma gücü değerlerinin deneysel değerlerle uyumlu olduğu görülmüştür.

Yapılan deneylerden ve analizlerden elde edilen sonuçlara göre, eksantrik yüklemeye maruz kalan yüksek dayanımlı betonarme kolonların gevrek kırılmasını önlemek ve sünek davranmasını sağlamak için; bu kolonlara çelik lif ilave edilmesi, aynı zamanda burkulmaları azaltmak, süneklik ve dayanımı arttırmak için de CFRP ile sarılması önerilmektedir.

## 7. TEŞEKKÜR

Bu çalışma Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir (Proje no: MMF2013D22).

## 8. KAYNAKLAR

1. Dundar C., Tokgoz S., Tanrikulu A.K., Baran T., 2008. Behaviour of Reinforced and Concrete-Encased Composite Columns Subjected to Biaxial Bending and Axial Load, *Building and Environment*, 43(6): 1109-20.
2. Mirmiran, A., Shahawy, M., 1997. Behavior of Concrete Columns Confined by Fiber Composite, *Journal of Structural Engineering ASCE*, 123(5):583-590.
3. Toutanji, H., Balaguru, P., 1998. Durability Characteristics of Concrete Columns Wrapped with FRP Tow Sheets, *Journal of Materials Civil Engineering ASCE*, 10(1):52-57.
4. Teng, J.G., Lam, L., 2002. Compressive Behavior of CFRP-Confined Elliptical Concrete Columns, *Journal of Structural Engineering ASCE*, 128(12):1535-1543.
5. Samaan, M., Mirmiran, A., Shahawy, M., 1998. Model of Concrete Confined by Fiber Composites, *Journal of Structural Engineering ASCE*, 124(9):1025-1031.
6. Hadi, M.N.S., 2006. Behaviour of FRP Wrapped Normal Strength Concrete Columns under Eccentric Loading, *Composite Structures*, 72(4):503-511.
7. Zaki, M.K., 2011. Investigation of FRP Strengthened Circular Columns under Biaxial Bending, *Engineering Structures*, 33:1666-1679.
8. Vincent, T., Ozbakkaloglu, T., 2013. Influence of Fiber Orientation and Specimen end Condition on Axial Compressive Behavior of FRP-Confined Concrete, *Construction and Building Materials*, 47:814-826.
9. Punurai, W., Hsu, C.T.T., Punurai, S., Chen, J., 2013. Biaxially Loaded RC Slender Columns Strengthened by CFRP composite Fabrics, *Engineering Structures*, 46:311-321.
10. Dundar C., Erturkmen D., Tokgoz S., 2015. Studies on Carbon Fiber Polymer Confined Slender Plain and Steel Fiber Reinforced Concrete Columns, *Engineering Structures*, 102:31-39.
11. Hognestad, E., Hanson, N.W., Mchenry, D., 1955. Concrete Stress Distribution in Ultimate Stress Design, *ACI Journal*, 27(4), 455-479.
12. Hsu L.S.M., Hsu C.T.T., 1994. Stress-Strain Behavior of Steel Fiber High-Strength Concrete under Compression, *ACI Structural Journal*, 91(4):448-457.
13. Tokgoz, S., 2009. Effects of Steel Fiber Addition on the Behaviour of Biaxially Loaded High Strength Concrete Columns, *Materials and Structures*, 42(8):1125-1138.
14. ACI 318, 2008. Building Code Requirements for Structural Concrete, Detroit (MI), American Concrete Institute.





## İş Güvenliği Uzmanı Adaylarının Aldıkları Eğitim Hakkındaki Görüşleri

Özkan GÜĞERCİN\*<sup>1</sup>, Nafi BAYTORUN<sup>1</sup>, Utku GÜĞERCİN<sup>2</sup>  
Metin Semih SEZEN<sup>1</sup>, İlhami İLHAN<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fak., Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Adana

<sup>2</sup>Adana Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, İşletme Fak., Yönetim Bilişim Sistemleri Böl., Adana

<sup>3</sup>Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Böl., Adana

Geliş tarihi: 08.12.2015

Kabul tarihi: 01.04.2016

### Özet

Ülkemizde mal ve can kaybına neden olan iş kazalarının önlenmesine yönelik olarak yürütülen geniş kapsamlı çalışmalar içerisinde, eğitim faaliyetleri öncelikli hale gelmiştir. Bu nedenle, 2012 yılında uygulamaya konulan 6331 sayılı Yasa ile İş Güvenliği Uzmanlığı kavramı ve iş güvenliği uzmanlarının eğitimi konusunda düzenlemeler yapılmıştır. Ancak son dönemde, söz konusu düzenlemeler doğrultusunda başlayan eğitim faaliyetlerinin yetersizliği ve eğitimlere katılanların nitelikleri konusu tartışılmaya başlanmıştır. Bu çalışmada, eğitim almakta olan iş güvenliği uzmanı adaylarının görüşlerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla iş güvenliği uzmanlığı eğitimi veren iki ayrı kurumun 5 ayrı sınıfındaki toplam 112 adaya, derslik ortamında, 19 sorudan oluşan bir anket uygulanmıştır. Söz konusu anketin değerlendirilmesi sonucunda; İş Güvenliği Uzmanlığı eğitimine devam eden ve uygulamalı eğitim aşamasına gelmiş olan adayların, aldıkları uzaktan eğitimin ve teorik eğitimin yeterliliği konusunda kuşkuvarının olduğu sonucuna varılmış, eğitim sisteminin belli noktalarda açmazları olduğu, bu eğitim faaliyetlerine katılanlarca da doğrulanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Eğitim, İş sağlığı ve güvenliği eğitimi, İş güvenliği uzmanlığı

### The Views of Occupational Safety Specialist Candidates About the Attended Training Program

#### Abstract

Training activities have come to fore among the efforts which are intended to prevent the work accidents cause loss of life and property in Turkey.

---

<sup>1</sup>Yazışmaların yapılacağı yazar: Özkan GÜĞERCİN, Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Adana. ogugercin@mail.cu.edu.tr

However, recently inadequacy of the training activities launched within the scope of mentioned regulations and qualification of attendees have begun to be discussed.

In this study, it is aimed to determine the opinions of safety specialist candidates in training. For this purpose, a survey that consists of 19 questions was applied to totally 112 of attendees during course in 5 classes of two different constitutions having occupational safety training programs. As a result of the study, it is found that the safety specialist candidates in training and in practice phase have a suspicion about the proficiency of distant and theoretical training activities received by them. The attendees in the training activities verified that the training system has some dilemmas at certain points.

**Keywords:** Training, Occupational health and safety training, Occupational safety specialist

## 1. GİRİŞ

Teknolojik gelişmeler sonucunda üretim sürecinde kullanılmaya başlanan yeni madde, makine ve üretim yöntemleri ile sağlanan gelişmeler insanlığın refahını artırmak yanında; insan ve çevre sağlığı açısından önemli sorunları da beraberinde getirmektedir. Bu sorunların uzun dönemde tüm insanlığı etkileyeceğini kestirmek mümkün olmakla birlikte, durum kısa dönem için irdelendiğinde, daha çok çalışan ve üreten kesimleri (iş gücünü) etkilediği ortadadır. Durum külfet-nimet ilişkisi açısından irdelendiğinde de yükselen refahın bedelinin çalışanlara ödetildiği görülmektedir ki bu durum her şeyden önce insani değildir.

Ülkemizde yıllık ortalama kaza sayısının 70.000 adet ve yıllık ortalama ölüm sayısının 1500 kişi dolayında olduğu bilinmektedir. Meslek hastalıkları açısından da ülkemizde durum üzüntü vericidir. İş kazaları ve meslek hastalıkları, ölüm ve yaralanmalar yanında işletme ve üretim güvenliği açısından da azımsanmayacak önemdedir. Bu bağlamda, konu tüm ulusu ilgilendirmektedir. Araştırmalar sonucu ulaşılan yaygın kanı; iş kazaları ve meslek hastalıkları nedeniyle ortaya çıkan maddi ve manevi kayıpların gelişmekte olan ülkelerin Gayrı Safi Millî Hasıllarının (GSMH) önemli bir bölümüne karşılık geldiği şeklindedir. İş kazalarının ülkemize yıllık maliyetinin ise 40 milyar TL dolayında olduğunu belirtilmektedir [1, 2]. Gerek insan kayıplarını gerekse maddi kayıpları azaltmak amacıyla, iş sağlığı ve güvenliği konusunda yıllardır çeşitli çalışmalar yapıldığı bilinmekle

birlikte, yürürlükte olan yasal düzenlemeler ve yaptırımlarla istenilen sonuçlara ulaşamadığı da ortadadır. Bunda üretim sürecinin tüm aşamalarında görev alan paydaşların iş sağlığı ve güvenliği konusundaki bilgi birikimlerinin yetersiz olması ile iş sağlığı ve güvenliği kültürünün oluşturulamamış olması temel etkenler olarak alınabilir [1].

Son yıllarda çalışmalara hız verilerek halen uygulamada olan 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu yürürlüğe (30.06.2012) sokulmuştur. Bu kanuna dayanılarak, İş Güvenliği Uzmanlığı ve İş Güvenliği Uzmanlığı eğitimine yönelik düzenlemeler yapılmıştır. Böylece uzun yıllardır Mühendis Odaları'nın ilgili Bakanlıklarla iş birliği halinde açtıkları kurslarla yürütülmekte olan İş Güvenliği Uzmanlığına yönelik eğitim faaliyetleri sonlandırılmıştır. Meslek Yüksekokullarında İş Sağlığı ve Güvenliğine yönelik programlar ise devam etmektedir. Son olarak, 6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanun'una dayanılarak hazırlanan ve 29.12.2012 tarih ve 28512 sayılı resmi gazetede yayımlanan "İş Güvenliği Uzmanlarının Görev Yetki ve Sorumlulukları ve Eğitimleri Hakkında Yönetmelik" ile eğitim konusu yeniden düzenlenmiştir. Yönetmeliğin 23. Maddesinde; İş Sağlığı ve Güvenliğine Yönelik Eğitim Kurumlarının Bakanlık birimlerince hazırlanan müfredatı esas almak zorunda oldukları ifade edilmiştir. Eğitim faaliyetlerinin; uzaktan eğitim (90 saat), teorik eğitim (90 saat) ve uygulamalı eğitim (40 saat) olmak üzere, toplam 220 saatten az olamayacağı ve uygulamaların en az bir iş

güvenliği uzmanının görevli olarak bulunduğu işyerlerinde yapılacağı belirtilmiştir.

Ancak verilen eğitimin niteliği ve bu eğitimden geçen İş Güvenliği Uzmanlarının edindikleri birikimlerin yeterliliği konusu detaylı olarak irdelenmemiş, eksiklikler tespit edilememiştir. Öyle ki; İş Güvenliği Uzmanı adaylarının dahi aldıkları teorik bilgileri işletmelerde yapacakları uygulamalı eğitim aşamasında pekiştirebilecekleri konusunda çekinceleri bulunmaktadır. İş güvenliği uzmanlığı eğitiminin yetersizliği konusunda Yılmaz [3] ve Kızılyar [4] ülkemizde iş sağlığı ve güvenliği eğitiminin tüm eğitim kademelerinde oldukça yetersiz olduğunu, yapılan düzenlemelerde teorik ve pratik eğitimlerin çok kısa tutulduğunu belirtmektedirler. Aynı şekilde Bodur ve Ark [5], Selçuk Üniversitesi'nin Mühendislik Fakültelerinde ve Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulunda yaptıkları araştırmada, öğrencilerden %86'sı iş güvenliği ile doğrudan ilgili zorunlu derslerin bulunmadığını saptamışlardır. Eğitimin önemine karşın, Meslek Liselerinde iş güvenliği dersi okutulmazken, mühendislik öğrencilerinin çoğu, İş Sağlığı ve Güvenliği (İSG) dersi almamaktadırlar [6]. Oysa İSG konusunda işveren ve çalışanların güvenlik bilincinin artırılması eğitimle yakından ilgilidir [7].

Eğitim; bir takım becerilerin, öğrenim ve öğretim içerisinde; insanın bilgi, sezinleme ve akıl yürütme yeteneklerini geliştiren faaliyetler ve kavramlar bütünü olarak ele alınmaktadır. Başka bir deyişle, eğitim, önceden saptanmış esaslara göre insanların davranışlarında belli gelişmeler sağlamaya yarayan plânlı etkiler dizisidir. Eğitim bireyin, toplumun ve gelecekteki insanlığın gelişim ve refahını güçlendirmeyi amaçlar. Bu nedenle eğitim kurumları, kültürel değişimi ve gelişimi sağlayan örgütlerin başında gelir [8]. Bu bağlamda, İş Güvenliği eğitiminde amaç; iş güvenliği kültürünü oluşturmak olmalıdır. Ancak unutulmamalıdır ki eğitimde başarı için devletin ve siyasetin olaya bakışı ve yaklaşımı da önemlidir. Bu konuda Oğuzkan [9], "Bir eğitim sistemini çevreleyen siyasi atmosfer, o eğitim sisteminin gelişmesinde rol oynayan en güçlü etkenlerden biri olduğuna göre eğitim, ait bulunduğu memleketin siyasi ve

sosyal eğilimlerini izlemek zorundadır." demiştir. Yukarıda sıralanan tüm bu faktörler, iş güvenliği eğitiminde hala bazı eksikliklerin bulunmasında etkilidir. Kaldı ki Amerika Birleşik Devletleri İstatistik Bürosu; iş güvenliği uzmanlığının geleceğin mesleği olacağını ve önümüzdeki yıllarda gerek ücret, gerekse istihdam açısından önemli bir fırsat alanı yaratacağını belirtmiştir. Aynı birim, işverenlerin iş güvenliği uzmanlarından beklentilerini ise, uzmanlık derecesine bağlı olarak; problem çözme becerisi, tımdengelim, yaratıcılık, sistem analizi, problemlere duyarlılık, mükemmel sözlü ve yazılı iletişim becerileri, güçlü organizasyon yeteneği gibi konulardaki yeterlilikler olarak sıralamaktadırlar [10].

2014 yılında yapılan bu çalışmada, halen uygulamada olan 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Yasasına dayanılarak gerçekleştirilen İş Güvenliği Uzmanlığı Eğitimi faaliyetine katılmış ve bu eğitim faaliyetlerinin uzaktan ve örgün eğitim aşamalarını tamamlamış iş güvenliği uzmanı adaylarının aldıkları eğitime yönelik görüş ve beklentilerinin saptanması amaçlanmıştır.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışma kapsamında; Adana ilinde bulunan iki farklı eğitim kurumunda beş farklı sınıfta bulunan toplam 113 İş Güvenliği Uzmanı adayına, bir kez uzaktan eğitimlerini tamamlayarak örgün eğitim faaliyetlerine başlamaları aşamasında ve bir kez de yüz yüze eğitimi bitirdikten sonra olmak üzere iki farklı zamanda, toplam 18 sorudan oluşan bir anket uygulanmıştır. Anket sorularından ilk dördü katılımcıların tanınmasına yöneliktir. 5., 6. ve 7. sorular ise katılımcıların veya yönetimleri altında çalışanların iş kazası geçirip geçirmediği ile 8., 9., 10., 11. ve 12. sorular katılımcıların iş güvenliği konusundaki mevcut bilgi düzeylerini ve bu bilgileri edinme yöntemlerini saptamak amacıyla yöneliktir. 13., 14., 15., ve 16. sorular katılımcıların almakta oldukları eğitime yönelik değerlendirmelerini, 17. soru almakta oldukları eğitimin kalitesinin artırılmasına yönelik görüşlerini ve 18. soru ise katılımcıların iş yaşamlarında karşılaşmayı bekledikleri sorunları

saptamak amacıyla sorulmuştur. İş Güvenliği uzmanı adaylarının cevapladıkları 113 adet anket formundan 95'i SPSS İstatistik Paket Programı kullanılarak analiz edilmiştir. Analiz sonuçları ve yapılan değerlendirmeler aşağıda sunulmuştur.

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışma sonucunda elde edilen veriler ve analiz sonuçları aşağıda verilmiştir.

#### 3.1. İş Güvenliği Uzmanlığı Eğitimine Katılanların Cinsiyetlerine Göre Dağılımları

İş sağlığı ve güvenliği eğitimine katılanların cinsiyetlerine göre dağılımları Çizelge 1'de verilmiştir.

**Çizelge 1.** Katılımcıların cinsiyetlerine göre dağılımları

Katılımcıların		Sayı	%
Cinsiyeti	Erkek	64	67,37
	Kadın	31	32,63
Toplam		95	100,00

Çizelge 1'de iş güvenliği uzmanlığı eğitimine katılan toplam 95 kişiden yaklaşık %67'sinin erkek, %33'nün ise kadın olduğu görülmektedir. İş güvenliği uzmanlığı eğitimine katılmalarına izin verilen fakültelerde okuyan öğrencilerde, kadın ve erkek oranının yaklaşık olarak %40-60 oranlarında olduğu dikkate alındığında, kadınların iş güvenliği uzmanlığı eğitimine, dolayısıyla iş güvenliğine olan ilgilerinin erkeklere oranla daha az olduğu söylenebilir.

#### 3.2. Katılımcıların Yaş Gruplarına Göre Dağılımları

Katılımcıların yaş gruplarına göre dağılımlarında 5'er yıllık zaman aralıkları dikkate alınarak yapılan değerlendirmeler Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2'de katılımcılardan büyük bölümünün 21-25 yaş grubundan oluştuğu görülmektedir. Bu durum, söz konusu yaş grubunun yeni mezun ve büyük ölçüde işsiz olmasından kaynaklanmış

olabilir. Diğer bir değerlendirme ile bu yaş grubu iş güvenliği uzmanlığını iş kapısı olarak gördüğü şeklinde olabilir. Halbuki Yılmaz [3], iş sağlığı ve güvenliğinin disiplinler arası, yeterli eğitim ve deneyime ihtiyaç duyulan bir alan olduğunu belirterek, yeni mezun olmuş, hiçbir eğitim ve deneyime sahip olmayan kişilerin uzman yapılmasının doğru olmayacağını vurgulamıştır.

**Çizelge 2.** Katılımcıların yaş gruplarına göre dağılımları

Katılımcıların		Sayı	%
Yaş Grubu	21-25	24	25,3
	26-30	21	22,1
	31-35	15	15,8
	36-40	18	18,9
	41+	17	17,9
Toplam		95	100

#### 3.3. Katılımcıların Mezun Oldukları Fakülteleere Göre Dağılımları

Katılımcıların mezun oldukları fakülteleere göre dağılımları Çizelge 3'te verilmiştir. Katılımcıların büyük bölümünü %61,1'i (58 kişi) Mühendislik Mimarlık Fakültesi mezunu iken, %15,8'nin (15 kişi) Ziraat Fakültesi mezunu oldukları, bunları %10,5 ile Fen Edebiyat Fakültesi mezunlarının takip ettiği görülmektedir. Bu sayıların gerek halen öğrenimine devam eden, gerekse meslekî yaşamını sürdürmekte olan Mühendislik Mimarlık Fakültesi mezunlarının oranı ile tutarlı olduğu söylenebilir.

**Çizelge 3.** Katılımcıların mezun oldukları fakülteleere göre dağılımları

Katılımcıların		Sayı	%
Fakülteleere Göre Dağılımları	Müh. Mimarlık Fak.	58	61,1
	Ziraat Fak.	15	15,8
	Teknik Eğitim Fak.	7	7,4
	Fen. Edebiyat Fak.	10	10,5
	Su Ürünleri Fak.	5	5,3
Toplam		95	100,0

### 3.4. Katılımcıların Mezuniyetlerine Göre Halen Çalışma Durumları

Katılımcıların halen çalışma durumları ve mezun oldukları fakülterlere göre dağılımları Çizelge 4’de verilmiştir.

Çizelge 4’de katılımcılardan %51’nin anketin yapıldığı sırada çalıştığı, çalışanlar arasında Müh. Mim Fakültesi mezunlarının %54 ile en yüksek, Su Ürünleri Fakültesi mezunlarının ise en düşük (%0) oranda olduğu görülmektedir. Bu veriler, Türkiye’deki yükseköğrenim görmüş bireylerdeki işsizliğin oldukça yüksek olduğunu da göstermektedir. Nitekim bu oranın %29,3 dolayında olduğu belirtilmektedir [11].

**Çizelge 4.** Katılımcıların mezun oldukları fakülterlere göre halen çalışma durumları

Katılımcıların	Çalışıp-Çalışmama Durumu			Toplam	
	İş Bulamadım	Çalıştım/Ayrıldım	Halen Çalışıyorum		
Mezuniyeti	Müh.-Mimarlık Fak.	8	19	31	58
	Ziraat Fak.	1	6	8	15
	Teknik Eğitim Fak.	2	3	2	7
	Fen - Edebiyat Fak.	1	2	7	10
	Su Ürünleri Fak.	3	2	0	5
	<b>Toplam</b>	<b>15</b>	<b>32</b>	<b>48</b>	<b>95</b>

### 3.5. Katılımcıların İş Kazası Geçirme Durumları

Katılımcıların iş kazası geçirme durumları Çizelge 5’te verilmiştir.

Çizelge 5’te iş güvenliği uzmanlığı eğitimine katılan toplam 95 kişiden 14’ünün (%15) iş kazası geçirdiği, iş kazası geçirenlerden 12’sinin Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, 2’sinin ise Ziraat Fakültesi mezunu oldukları görülmektedir.

Meslekî eğitim almış olan İş Güvenliği Uzmanı adaylarından %15’nin iş kazası geçirmiş olması düşündürücüdür. İş kazası geçirenlerle, halen çalışan ve çalışıp ayrılanlar (48+32=80) oranlandığında (14/80=%18) ise durum daha vahim hale gelmektedir. Bu durum, ülkemizdeki iş sağlığı ve güvenliği düzeyini ve yükseköğrenim görmüş teknik elemanların iş sağlığı ve güvenliği konusundaki yetersizliklerinin, hatta kendilerini dahi koruyabilecek bilgi ve yeterliliğe sahip olmadıklarının bir göstergesi olarak alınabilir.

**Çizelge 5.** Katılımcıların iş kazası geçirme durumları

Katılımcıların	İş Kazası Geçirme Durumu		Toplam	
	Evet	Hayır		
Mezuniyeti	Müh.-Mim. Fak.	12	46	58
	Ziraat Fak.	2	13	15
	Teknik Eğitim Fak.	0	7	7
	Fen Edebiyat Fak.	0	10	10
	Su Ürünleri Fak.	0	5	5
<b>Toplam</b>	<b>14</b>	<b>81</b>	<b>95</b>	

Ayrıca burada, iş kazası geçiren 14 kişiden 9’nun (%64) erkek, 5’nin (%36) kadın olduğunu belirtmek uygun olacaktır. Bu oranların ankete katılan kadın (%33) ve erkek (%67) oranları ile uyumlu olduğu dikkate alındığında, kadınların da iş kazasına uğrama oranlarının erkekler kadar olduğu ortaya çıkmaktadır. Oysa beklenen, erkek çalışanların daha ziyade şantiye ve atölye gibi daha tehlikeli çalışma alanlarında görev almaları nedeniyle daha yüksek oranda kazaya uğrayabilecekleridir.

### 3.6. Adayların Yönetimleri Altında Çalışanların İş Kazası Geçirme Durumları

Adayların yönetimleri altında çalışanların iş kazası geçirme durumları Çizelge 6’da verilmiştir.

Çizelge 6’da görüldüğü üzere katılımcılardan 38’nin (%40) yönetimi altında çalışanlardan bir bölümü iş kazasına uğramıştır. Konu ile ilgili sıralama yapıldığında: Teknik Eğitim Fakültesi

çıkışlı yöneticilerden %75'nin, Su Ürünleri Fakültesi mezunlarının %67'sinin; Fen Edebiyat ve Müh.-Mim. fakültesi mezunlarının %43'ünün denetimi altında çalışanların iş kazası geçirdiği, iş kazası geçirme bağlamında en düşük oranın ise %33 ile Ziraat Fakültesi Mezunu yöneticilerin denetimi altında çalışanlarda rastlandığı saptanmıştır.

**Çizelge 6.** Adayların yönetimleri altında çalışanların iş kazası geçirme durumları

Katılımcıların		Kaza Geçirme Durumu		Toplam	%
		Evet	Hayır		
Mezuniyeti	Müh.-Mimarlık Fak.	25	33	58	43
	Ziraat Fak.	5	10	15	33
	Teknik Eğitim Fak.	3	4	7	75
	Fen Edebiyat Fak.	3	7	10	43
	Su Ürünleri Fak.	2	3	5	67
	<b>Toplam</b>	<b>38</b>	<b>57</b>	<b>95</b>	

### 3.7. Adayların Yönetimleri Altındaki Çalışanların Geçirdikleri Şiddeti En Yüksek Olan Kazaların Sonuçları

Adayların yönetimleri altında çalışanların geçirdikleri şiddeti en yüksek olan kazaların sonuçları Çizelge 7'de verilmiştir.

Toplamda, kaza geçirdiği ifade edilen 38 çalışandan, 12'sinin kazayı hafif yaralanma ile atlattığı, 18'inin 1 gün veya daha uzun süre ile işten uzaklaştığı, 6'sının sürekli olarak işten uzaklaştığı ve 2'sinin ise öldüğü anlaşılmıştır.

### 3.8. Katılımcıların İş Güvenliği Uzmanlığı Eğitimine Katılma Nedenleri

Katılımcıların iş güvenliği uzmanlığı eğitimine katılma nedenleri konusundaki görüşleri Çizelge 8'de verilmiştir.

**Çizelge 7.** Adayların yönetimleri altında çalışanların geçirdikleri şiddeti en yüksek olan kazaların sonuçları

Katılımcıların		Kazanın Etkisi				Toplam
		Hafif Yaralanma	1 Gün ve Daha Fazla İşten Uzakl.	Sürekli İşten Uzaklaşma	Ölüm	
Mezuniyeti	Müh.-Mim. Fak.	8	12	4	1	25
	Ziraat Fak.	2	1	1	1	5
	Teknik Eğitim Fak.	0	2	1	0	3
	Fen Edebiyat Fak.	2	1	0	0	3
	Su Ürünleri Fak.	0	2	0	0	2
	<b>Toplam</b>	<b>12</b>	<b>18</b>	<b>6</b>	<b>2</b>	<b>38</b>

Çizelge 8'de görüldüğü üzere; iş güvenliği eğitimine katılanların, öncelikle denetimleri altında bulunacak olan çalışanların güvenliğini önemstedikleri, bunu takiben İSG Uzmanlığını meslek olarak algıladıkları, 3. sırada ise iş yaşamında kendi güvenliklerini sağlamayı önemstedikleri saptanmıştır. Mutluluk verici olan ise, katılımcıların insanî bir yaklaşımla iş sağlığı ve güvenliği uzmanlığı eğitiminin işe girişte veya iş sırasında kendilerine öncelik sağlayabileceği gerekçesini son sıralarda önemli bulmalarındır.

### 3.9. Katılımcıların İş Güvenliği Eğitimine Katılmadan Önceki Bilgi Düzeyleri Üzerine Görüşleri

Katılımcıların iş güvenliği eğitimine katılmadan önce iş güvenliği hakkında sahip oldukları bilgi düzeyleri üzerine görüşleri Çizelge 9'da verilmiştir. Çizelgede katılımcılardan %41'nin faaliyet alanları konusunda bilgi sahibi oldukları; %30 oranındaki katılımcının ise, iş güvenliği eğitimine katılmadan önce konu hakkında hiçbir bilgiye sahip olmadıkları görülmektedir.

**Çizelge 8.** Katılımcıların iş güvenliği uzmanlığı eğitimine katılma nedenleri üzerine görüşleri

Katılımcıların		Önem Derecesi	Ort.
Eğitime Katılma Nedenleri	İş yaşamımda kendi güvenliğimi sağlamak için	3	2,68
	İş yaşamımda sorumlu olduğum çalışanların güvenliği sağlamak için	1	2,41
	İş yaşamımda rakiplerin arasında önde olmak için	5	4,02
	Ek gelir elde etmek için	4	3,21
	İSG uzmanlığını meslek olarak gördüğüm için	2	2,67

Not: Katılımcılardan tablodaki seçenekleri önem sırasına göre 1'den 5'e kadar sıralamaları istenmiştir. (1: En önemli, 5:En önemsiz)

**Çizelge 9.** Katılımcıların iş güvenliği eğitimine katılmadan önceki bilgi düzeyleri üzerine görüşleri

Katılımcıların		Sayı	%
Bilgi Düzeyi	Hiç bir bilgiye sahip değildim.	29	30,5
	Kendimi koruyacak düzeyde bilgim vardı.	27	28,4
	Kendi faaliyet alanımda (işimde) yeterli bilgiye sahiptim.	39	41,1
	Tüm sektörlere yönelik bilgiye sahiptim.	0,0	0,0
Toplam		95	100

Teknik eğitim almış katılımcılardan %30'nun iş sağlığı ve güvenliği konusunda herhangi bir birikime sahip olmaması, durumun vahametini ortaya koymak için yeterlidir. Bu grubun daha çok yeni mezun ve henüz iş yaşamında yerini almamış olanlardan oluştuğu söylenebilir. Faaliyet alanı ile ilgili bilgiye sahip olanların ise, sahip oldukları bilgiyi, halen bir işletmede çalışıyor olmaları ya da

daha önceden çalışmış olmaları sonucunda edindikleri deneyimlere borçlu oldukları söylenebilir. Bazı yatırımcı kuruluşlarda yapılan çalışmalar sonucunda, halen çalışıyor oldukları halde iş sağlığı ve güvenliği hakkında bilgi sahibi olmayan teknik elemanların oranının %42,9 olduğu saptanmıştır. Bu oranın iş güvenliği eğitimine başlama aşamasında olan adaylarda %30,5'e düşmesi iş sağlığı güvenliği konusunun son yıllarda önemsendiğinin bir göstergesi olarak alınabilir [12].

### 3.10. Katılımcıların İş Güvenliği Alanındaki Bilgilerini Edinme Yöntemleri Üzerine Görüşleri

Katılımcıların iş güvenliği alanındaki bilgi birikimini edinme yöntemleri üzerine görüşleri Çizelge 10'da verilmiştir.

**Çizelge 10.** Katılımcıların iş güvenliği alanında bilgilerini edinme yöntemleri üzerine görüşleri

Katılımcıların		Sayı	%
Bilgiyi Edinme Yöntemleri	Yüksek öğretim sırasında ders olarak	19	29
	Yüksek öğretim sırasında derslerde ünite şeklinde	18	27
	Yüksek öğretim sırasında, kongre, konferans seminer	9	14
	Orta öğretim sırasında ders olarak,	3	5
	Farklı yerlerden	17	26
Toplam		66	100

Katılımcıların mevcut bilgilerini edinme yöntemleri konusu irdelendiğinde (Çizelge 10); yükseköğretim sırasında iş güvenliği dersi alanların oranının sadece %29 olduğu, herhangi bir dersin içinde ünite olarak bilgilenenlerin oranının ise %27 olduğu görülmektedir. Bu durum yüksek öğretim kurumlarının 2015 yılına kadar konuyu yeteri kadar önemsemedikleri anlamına gelmektedir. Bu nedenle 2015-2016 Öğretim yılından başlamak üzere tüm mühendislik dallarında iş güvenliğinin zorunlu ders olarak okutulmaya başlanması sevindirici bir gelişmedir. İş güvenliği konusundaki bilgileri farklı yerlerden

aldığını belirtenlerin oranı da %26 ile oldukça yüksektir. Farklı yer terimine açıklık getirilmemesine karşın uzman adaylarının bu bilgilerin, büyük bölümünü çalıştıkları işletmelerden edindikleri söylenebilir.

2003 yılında yapılan bir çalışmada Güvercin ve Aybek [12], iş sağlığı ve güvenliği hakkında bilgi sahibi olduğunu belirten ve aynı tarihte bir kamu kurumunda çalışmakta olan 135 kişiden sadece %21,6'sı yüksek öğrenimleri sırasında bilgi edindiklerini belirtmişlerdi. Bu çalışmada ise, iş sağlığı ve güvenliği hakkında yeterli bilgiye sahip olduğunu belirten 66 adaydan %70'i yüksek öğretimde iş sağlığı ve güvenliği veya benzer dersler aldıklarını belirtmişlerdir. Bu durumdan üniversitelerin iş güvenliği konusunu 2003 yılı öncesine göre öne çıkardıkları şeklinde algılanabilir. Yine, 2003 yılında iş sağlığı ve güvenliği hakkında hiçbir bilgiye sahip olmadığını belirtenlerin oranı %37,3 iken, makaleye konu adaylarda bu oran %30,5'e düşmüştür.

### 3.11. Katılımcıların Yaş Gruplarına Göre Bilgi Edinme Biçimleri

Katılımcıların yaş gruplarına göre bilgi edinme biçimleri konusundaki görüşleri Çizelge 11'de verilmiştir.

Çizelge 11'de, 21-25 ve 26-30 yaş gurubunda yer alan 32 kişinin üniversitelerde ders, ünite veya konferanslar yolu ile bilgi edindikleri görülmektedir. Bu durum umut verici olup iş sağlığı ve güvenliği konusunda farkındalığın mevcudiyetinin bir işareti olarak değerlendirilebilir. Buna karşın 41 yaş üstü grupta yer alan 17 kişiden 16'sının bilgiyi üniversiteler dışındaki farklı yerlerden sağlamış olmaları, üniversitelerin iş sağlığı ve güvenliği eğitimine bakışlarının gün geçtikçe iyiye gittiğinin göstergesi şeklinde ifade edilebilir.

### 3.12. Katılımcıların Bilgi Edinme Biçiminin Fakülterele Göre Dağılımı

Katılımcıların bilgi edinme biçiminin fakülterele göre dağılımı Çizelge 12'de verilmiştir.

**Çizelge 11.** Bilgi edinme biçimi ve yaş durumları

Katılımcının	Bilginin alınma yeri ve biçimi					Toplam	
	Ders Alarak	Ünite Olarak	Kong. Konf. Sem.	Orta Öğretim	Farklı Yerde Eğt.		
Yaşı	21-25	12	6	2	1	0	21
	26-30	5	6	1	1	1	14
	31-35	1	4	5	0	3	13
	36-40	1	1	1	1	5	9
	41+	0	1	0	0	8	9
Toplam		19	18	9	3	17	66

Çizelge 12'de Müh-Mim. Fakültelerinin iş sağlığı ve güvenliği eğitimini kıyaslanan diğer fakülterele göre daha fazla önemsedikleri, ancak diğer fakültelerin de benzer çaba içinde oldukları görülmektedir.

**Çizelge 12.** Katılımcıların bilgi edinme biçiminin fakülterele göre dağılımı

Katılımcının	Mezuniyeti					Toplam	
	Müh Mim	Ziraat	Teknik Eğitim	Fen Edebiyat	Su Ürünleri		
Bilgiyi Nasıl Edindiği	Ders alarak	9	3	1	4	2	19
	Ünite	13	1	1	3	0	18
	Kongre, Konf., Seminer	7	0	1	0	1	9
	Orta öğretimde	2	0	0	1	0	3
	Farklı yerde eğitim alarak	9	4	2	1	1	17
Toplam		40	8	5	9	4	66



### 3.13. Katılımcıların Uzaktan Eğitim Çalışmaları Üzerine Görüşleri

Katılımcıların uzaktan eğitim çalışmaları üzerine görüşleri Çizelge 13'te verilmiştir. Çizelgede görüldüğü üzere; katılımcılardan 35 kişi (%36,8) uzaktan eğitime yeterli zaman ayıramadıkları halde, yönetmeliklerde belirtilen engelleyici tüm düzenlemelere karşın, yani yeterli temel bilgilere sahip olmaksızın yüz yüze eğitime katılabilmektedir. Kuşkusuz bu durum katılımcıların teorik eğitim aşamasındaki algılama kapasitelerine olumsuz yansımış ve uzaktan eğitimi tartışılır duruma getirmiştir. Dolayısıyla uzaktan eğitim sürecinin denetimi için yeni yöntemlerin saptanması ve uygulanmaya başlanması gerekmektedir.

Aynı çizelgede; uzaktan eğitim sürecinde anlatılan ünitelerin sıralamasının hatalı ve içeriklerinin yetersiz olduğunu belirtenlerin oranı (%33,6) uzaktan eğitimin yeterli olduğunu belirtenlerin oranından (%30,5) daha yüksek olduğu görülmektedir.

**Çizelge 13.** Katılımcıların uzaktan eğitim çalışmaları üzerine görüşleri

Katılımcıların		Sayı	%
Uzaktan Eğitim Konusundaki Görüşleri	Yeterli	29	30,5
	Zaman ayıramadığım için yorum yapmıyorum	35	36,8
	Yetersiz	31	33,6
Toplam		95	100,0

### 3.14. Katılımcıların Uzaktan Eğitim Aşamasında Ortaya Çıkan Eksiklerini Kapatmaya Yönelik Görüşleri

Katılımcıların uzaktan eğitim aşamasında ortaya çıkan eksiklerini kapatmaya yönelik görüşleri Çizelge 14'te verilmiştir.

**Çizelge 14.** Katılımcıların uzaktan eğitim aşamasında ortaya çıkacak eksiklerini kapatmaya yönelik görüşleri

Katılımcıların		Sayı	%
Eksiği Kapatma Yöntemi	Yüz yüze eğitim	52	54,7
	Staj	16	16,8
	Deneyim	27	28,4
Toplam		95	100,0

Çizelge 14'te katılımcılardan %54,7'si uzaktan eğitim aşamasında meydana gelen eksiklerini yüz yüze (teorik) eğitim aşamasında tamamlayabileceklerini ummaktadırlar. İkinci sırada ise %28 ile uzaktan eğitim aşamasında ortaya çıkan eksiklerini iş yerinde edinecekleri deneyimleri ile kapatmayı düşünenler gelmektedir. Bilindiği üzere deneyim, bir olayın tekrarı halinde mümkündür. İş ortamı bu anlamda deneyime (iş kazasına) izin veremez. Uzaktan eğitim aşamasındaki eksiklerini teorik eğitim aşamasında kapatmayı planlayanların, teorik eğitime yeterli birikimle başlayamayacaklarından, çoğunlukla başarısız olmaları da doğaldır.

### 3.15. Katılımcıların Aldıkları Örgün Eğitimin Yeterliliği Konusundaki Düşünceleri

Katılımcıların aldıkları örgün eğitimin yeterliliği konusundaki düşünceleri Çizelge 15'de verilmiştir.

**Çizelge 15.** Katılımcıların aldıkları örgün eğitimin yeterliliği konusundaki düşünceleri

Katılımcıların		Sayı	%
Görüşü	Yeterli	61	64,2
	Yetersiz	34	35,8
	Toplam	95	100,0

Katılımcılardan %64'ü aldıkları örgün eğitimi yeterli bulurken, %36'sı aldıkları örgün eğitimin yetersiz olduğu kanısındadırlar. Katılımcıların %36'sının teorik eğitimi yetersiz bulmaları oldukça anlamlı ve üzerinde durulması gereken bir konudur. Çünkü; iş güvenliği uzmanlarının kendilerini yetersiz bulmaları, onların motivasyonunu, sorumluluk alabilme yeteneğini, iş

sağlığı ve güvenliğine olan inanç ve güvenlerini olumsuz yönde etkileyecektir. İzlenmesi gereken bir diğer konu ise kendini yetersiz bulanların (43 kişi) İş Güvenliği Uzmanlık sınavındaki durumlarıdır. İlgililer şayet bu sınavı başarabiliyorlarsa, iş güvenliği uzmanlığı eğitimi ve sınavın içeriği sorgulanır duruma gelecektir.

### 3.16. Katılımcıların Aldıkları Örgün Eğitimin Yetersizlik Nedenleri Üzerine Görüşleri

Katılımcıların Aldıkları örgün eğitimin yetersizlik nedenleri üzerine görüşleri Çizelge 16'da sunulmuştur.

Örgün eğitimin yetersizlik nedenleri arasında; katılımcılardan %35,3'ü eğitim süresinin yetersizliğini ilk sıraya alırken, %11,8'i sunum yetersizliğini ve %11,8'i ise materyal yetersizliğini iki ve üçüncü sıraya yerleştirmiştir.

Katılımcılardan %17,6'sı teorik eğitime yeterli zaman ayıramadıklarını belirterek kendi kusurlarından söz etmişlerdir.

**Çizelge 16.** Katılımcıların aldıkları örgün eğitimin yetersizlik nedenleri üzerine görüşleri

Katılımcıların	Sayı	%	
Yetersiz Bulma Nedenleri	Sunum yetersiz	6	11,8
	Süre yetersiz	18	35,3
	Materyal yetersiz	6	11,8
	Zaman ayırmadım	9	17,6
	Sıralama uygunsuz	4	7,8
	Dersler sıkışık	4	7,8
	Uygulama ortamı yok	4	7,8
Toplam	51	100,0	

### 3.17. Katılımcıların Aldıkları Eğitimin Kalitesinin Artırılmasına Yönelik Önerileri

Katılımcıların aldıkları eğitimin kalitesinin artırılmasına yönelik önerileri Çizelge 17'de verilmiştir.

Çizelge 17'de katılımcıların eğitimin kalitesinin artırılmasına yönelik önerileri sıralanmıştır. Bu çizelge incelendiğinde; 42 kişinin öncelikle staj süresi ve staj yapılan ortamın iyileştirilmesi gerektiğini, 35 kişi öğretim süresinin uzatılmasını, 32 kişi uzmanlığın yüksek öğretimdeki mezuniyet alanlarına göre ayrılmasını ve 27 kişinin ise iş sağlığı ve güvenliği konularına yükseköğretimde yer verilmesine öncelik (ilk sırada) verdikleri görüşülmüştür. Buradan hareketle; öncelikle adaylara yeterli ve etkin bir staj ortamının sağlanması gerektiği ortaya çıkmaktadır. Dikkate alınması gereken diğer bir konu ise öğrenim süresinin uzatılmasıdır. Toplam 220 saatlik bir eğitim süresinde çalışanların can güvenliğini ve işletmelerin güvenliğini sağlayabilecek iş güvenliği uzmanlarının yetiştirilmesi pek mümkün görülmemektedir.

**Çizelge 17.** Katılımcıların aldıkları eğitimin kalitesinin artırılması yönelik önerileri

Katılımcıların	Sayı	%	
Önerileri	Staj	42	26,40
	Lisans mezuniyetine göre uzmanlık alanı belirlenmeli	32	20,10
	Öğretim süresi uzamalı	35	22,00
	Yükseköğretimde iş sağlığı ve güvenliğine yer verilmeli	27	17,00
	Derslerde sunum kalitesi artırılmalı	4	2,50
	Uzaktan eğitim	2	1,30
	Derslerin ve ünitelerin sıralaması tutarlı olmalı	2	1,30
	Yeterli uygulama fırsatı için staj süresi uzatılmalı	4	2,50
	İş güvenliği uzmanı alımlarında sektörel ayırım yapılmalı	3	1,90
	Önerim yok	8	5,00
	Toplam	159	100,00

Not: Birden fazla seçeneğin seçilmesine olanak verilmiştir.

### 3.18. Katılımcıların İş Yaşamlarında Karşılaşabilecekleri Sorunların Kaynakları Üzerine Görüşleri

Katılımcıların iş yaşamında (görev sırasında) karşılaşılabilecekleri sorunların kaynakları üzerine görüşleri Çizelge 18’de verilmiştir.

Katılımcılardan %35,3’ü ücret ve iş güvencesi açısından doğrudan işverene bağımlı olmaları nedeni ile görevlerini yasal düzenlemeler doğrultusunda yapamayacaklarını ilk sıradaki sorun olarak görürken, katılımcılardan %17,6’sı ülkemizde iş güvenliği kültürünün henüz oluşmamış olmasını ikinci sıradaki sorun olarak belirtmişlerdir. Bilgi birikiminin yetersiz kalabileceği korkusunu yaşayanların oranı (%11,8) ve iş sağlığına yönelik yeterli araç-gereci sağlayamayacağından çekinenlerin oranı (%11,8) sırasıyla 3. ve 4. sırada yer almaktadır.

**Çizelge 18.** Katılımcıların iş yaşamlarında karşılaşılabilecekleri sorunların kaynakları üzerine görüşleri

Katılımcıların		Sayı	%
Güçlük Nedenleri	Bilgi birikiminin yetersiz kalacağından korkuyorum	6	11,80
	Ekonomik ve iş güvencesi açısından işverene bağımlıyım	18	35,30
	Üretim ortamında iş güvenliği için yeterli araç - gereci bulamam	6	11,80
	Ülkemizde iş güvenliği kültürünün olmaması beni başarısızlığa itebilir	9	17,60
	Tüm sektörlerde iş bulma şansım yok	4	7,80
	Her hangi bir güçlükle karşılaşmayı beklemiyorum	4	7,80
	Bilgi birikimi yetersiz	4	7,80
Toplam		51	100,00

## 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Ülkemizde meydana gelen iş kazaları, ekonomik kayıplar yanında çok sayıda can kayıplarına da neden olmaktadır. İş kazalarının ve sonuçlarının bu derece fazla olmasında temel faktör; işçi –işveren-devlet üçlüsünün sorunun çözümüne yönelik eğitim faaliyetlerini yeteri kadar gerçekleştirememiş olmalarıdır. Başka bir deyişle tüm gayretlere karşın; iş sağlığı ve güvenliği kültürünün bir türlü oluşturulamamasıdır. Son yıllarda 6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanun’una dayanılarak hazırlanan ve 29.12.2012 tarih ve 28512 sayılı resmi gazetede yayımlanan “İş Güvenliği Uzmanlarının Görev Yetki ve Sorumlulukları ve Eğitimleri Hakkında Yönetmelik” ’in İş Sağlığı ve Güvenliği eğitimi konusunda umutları artırmakla birlikte, istenilen sonuca ulaşılmasında yeterli olmadığı görülmüştür.

Yukarıda saptanmış olan sorunların çözümüne yönelik olarak aşağıdaki öneriler sıralanabilir.

- 1- Özellikle devlet kurumları, İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanı yetiştiren kurumlarda denetimlerini daha etkin bir şekilde sürdürmelidir.
- 2- 90 Saatlik uzaktan eğitim aşamasının çok da yararlı olmadığı dikkate alınarak, gerekirse bu süre teorik eğitime eklenmeli veya farklı denetim yolları bulunmalıdır.
- 3- İş Güvenliği uzmanlarının çalışma alanları mezuniyet alanlarına göre sınırlandırılarak, adayların kendi alanlarında daha iyi yetişmeleri sağlanabilir. Bu durum hem eğitim kurumundaki hem de iş hayatındaki başarıyı artıracaktır.
- 4- Mevcut yasal düzenlemeler doğrultusunda sağlanan ücret nedeni ile işverene bağımlı olan iş güvenliği uzmanının, görevini tam olarak yerine getirmesi mümkün olamayabilir. Bu durum gerek ücret gerekse iş güvencesi açısından iş güvenliği uzmanlarının işverene bağımlılığı önlenmelidir.
- 5- Adayların staj çalışmalarını önemsedikleri ancak nitelikli bir staj ortamına ulaşmakta güçlüklerle karşılaşacakları açıktır. Konu üzerine çalışmalar yapılmalı ve 40 saatlik (5 günlük) staj süresi mutlaka uzatılmalıdır.

- 6- İş güvenliği uzmanlığı eğitimi için ayrılan 220 saatlik süre oldukça yetersizdir ve mutlaka artırılmalıdır
- 7- İş güvenliği eğitimi verilen kurumlarda yeterli eğitim materyalinin bulunmadığı ve sağlanmasının da pek mümkün olamayacağı dikkate alınarak, derslerden bir bölümünün eğitimcilerin denetimi altında, şantiye, atölye ve fabrikalarda yapılması sağlanmalıdır.
9. Cramer, J. F., Browne, G. S., 1982. Çağdaş Eğitim (Milli Eğitim Sistemleri Üzerinde Mukayeseli Bir İnceleme), Çeviri: A. Ferhan Oğuzkan, Milli Eğitim Basımevi, İstanbul.
10. US Bureau of Labor Statistics (BLS) [http://study.com/articles/Become\\_a\\_Certified\\_Safety\\_Engineer\\_Certification\\_and\\_Career\\_Info.html](http://study.com/articles/Become_a_Certified_Safety_Engineer_Certification_and_Career_Info.html) (18.05.2015)
11. <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=15975> (27.11.2015)

## 5. KAYNAKLAR

1. Ceylan, H., 2012. Türkiye’de İş Sağlığı ve Güvenliği Eğitimi Problemleri ve Çözüm Önerileri, Electronic Journal of Vocational Colleges, Sayı: 2(2), Sayfa:94-104.
2. Ertenü, L. H. , 2015. Türkiye’de İş Güvenliği Kültürü <http://www.yonetimakademi.com/makale-detay.php?id=129&mid=74> (26.11.2015)
3. Yılmaz, F., 2009. İş Sağlığı ve Güvenliğinde Okul Eğitiminin Önemi: Modern Örnekler Işığında İş sağlığı ve Güvenliği Lisans Eğitiminin Ülkemizde Uygulanabilirliği, Kamu-İş dergisi, Cilt:11, Sayı:1, Sayfa:107-138.
4. Kızılyar, A., 2015. [http://demirmedya.net/makale-4472-Turkiyede\\_Is\\_Guvenligi\\_Rezaleti.html](http://demirmedya.net/makale-4472-Turkiyede_Is_Guvenligi_Rezaleti.html) (26.11.2015)
5. Bodur, S., Filiz, E., Durduran, Y., Durduran, S.S., 2011. Mühendis ve Tekniker Adayları İş Sağlığı ve Güvenliğinden Ne Kadar Haberdar, Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi, Cilt:3 No: 3, Sayfa:9-15.
6. Yılmaz, F., 2009. Avrupa Birliği ve Türkiye’de İş Sağlığı Güvenliği:Türkiye’de İş Sağlığı ve Güvenliği Kurullarının Etkinlik Düzeyinin Ölçülmesi, T. C. İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Çalışma Ekonomisi ve Endüstri İlişkileri Anabilim Dalı Doktora Tezi
7. Anonim, 2013. Danıştay Onuncu Dairesi Kararı No: 2013/7980.
8. Bursalıoğlu, Z., 1971. Okul Yönetiminde Yeni Yapı ve Davranışlar, Ankara Üniversitesi Eğitim Fakültesi Yayınları, No 15.
12. Güvercin, Ö., Aybek, A., 2003. Teknik Personelin İş Güvenliği Konusundaki Eğitim Düzeyleri Üzerine Bir Araştırma, ZKÜ Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Teknoloji Dergisi, Yıl:6, Sayı:1-2, Sayfa: 69-77.

## Dolgu-Zemin Etkileşiminde Malzeme Modeli Etkisi

Zülal AKBAY ARAMA<sup>\*1</sup>, S. Feyza ÇİNİCİOĞLU<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul*

*Geliş tarihi: 23.12.2015*

*Kabul tarihi:09.03.2016*

### Özet

Kentleşme ve ulaşım sistemlerini oluşturan barajlar, limanlar, otoyol ve köprü yaklaşım dolguları gibi önemli inşaat mühendisliği uygulamalarının yumuşak temel zeminleri üzerine de yapılması gerekli olmaktadır. Temel zemini içinde yumuşak zeminler tek tabaka halinde veya tabakalanmış zemin profili içinde farklı kalınlıklarda bulunabilmektedirler. Bu makalede, farklı rijitlikteki ve kalınlıklardaki tabakalardan oluşan temel zemini profillerinin değişken geometrik özelliklere ve mukavemet parametrelerine sahip dolgularla birlikte davranışı, beş değişik malzeme modeliyle yapılan analizlerin sonuçları ışığında parametrik olarak incelenmiştir. Sonuçların uygulamacılara dolgu-zemin etkileşiminin önemli davranış bileşenlerini değerlendirmek bakımından yararlı bilgiler sunacak nitelikte olduğu düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Dolgu, Tabakalanma, Kritik yükseklik, Malzeme modelleri, Zemin-yapı etkileşimi.

## Material Model Effects on Embankment-Soil Interaction

### Abstract

Embankment construction over soft foundation soils is usually required as part of the infrastructure projects such as dams, ports and harbours, highways and bridge abutments. Soft foundation soils may be encountered as thick deposits or as a layer of a stratified foundation system. In this paper, the problem of embankment construction on stratified soils consisting of a soft layer either at the top, just beneath the embankment loads or at the bottom beneath a stiffer soil stratum underlying the embankment were analysed. Many variables were considered in the parametrical analyses such as varying soil thicknesses, different sequences of layering, different embankment geometries. A large number of analyses were conducted by using five types of material models to find the main features of embankment-foundation interactive behaviour on the stratified soils and the role of adopted material models on the results.

**Keywords:** Embankment, Soil layering, Critical height, Material models, Soil-structure interaction.

---

\* Yazışmaların yapılacağı yazar: Zülal AKBAY ARAMA, *Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul. zulalakbay@gmail.com*

## 1. GİRİŞ

Baraj, liman, otoyol ve köprü yaklaşım dolguları gibi önemli inşaat mühendisliği uygulamalarının yumuşak zeminler üzerine inşa edilmesi en karmaşık zemin mekaniği problemlerinden birisini oluşturmaktadır. Dolgular geniş alan kaplayan ve aktardıkları büyük yükler sebebi ile temel zeminini, genişlik ve derinlik olarak, büyük boyutlarda etkileyen yapılardır. Yumuşak zeminler ise düşük mukavemetleri ve yüksek sıkışabilirlik özellikleri nedeniyle problemler zeminler arasındadır. Sadece yumuşak zeminden oluşan kil birimlerinde bile zeminde meydana gelen yaşlanma, ıslanma-kuruma çevrimleri ve diğer kimyasal etkiler gibi etkenler nedeni ile zemin yüzeyinde kabuk tabakası oluşumu gözlenmektedir. Kabuk tabakası, altında yer alan yumuşak kil tabakası ile kıyaslandığında kil kabuk daha yüksek rijitlik ve dayanım değerine sahip olmaktadır. Bu sebeple yumuşak homojen bir zemin üzerine inşa edilen yapıların göçme şekli ile kabuk tabakasına veya tabakalanmış bir profile sahip olan zeminler üzerine inşa edilen yapıların göçme şekli birbirinden çokça farklı olmaktadır. Yumuşak temel zemini üzerinde yer alan kabuk tabakası zemini güçlendirmekte ve kabuğun kalınlığına bağlı olarak zemin taşıma kapasitesini arttırmaktadır [1]. Geoteknik uygulamalarında karşılaşılan birçok vakada yapılar farklı rijitlik özelliklerine ve farklı kalınlıklara sahip olan tabakalanmış temel zeminleri üzerine inşa edilmektedirler [2].

Günümüze kadar mükemmel plastik homojen zeminler hakkında sayısız çalışma yapılmış olmasına rağmen tabakalanmış zemin ortamındaki zemin-yapı bütünleşik sisteminin analizinde elde edilecek efektif çözümler hakkında sınırlı sayıda çalışma mevcuttur. Tabakalanmış temel zeminleri üzerine dolgu inşası probleminin diğer zemin-yapı etkileşimi problemlerinden ayırt edici özelliği, bu problemlerde yapının kendisinin de zeminden inşa edilmiş olmasıdır. Bu bağlamda, Akbay Arama ve arkadaşları [3], yapmış oldukları çalışma ile yol genişletme çalışmalarında, farklı yapım süreçlerinin değişik temel zemini profilleri üzerindeki etkisini sonlu elemanlar yöntemi ile takip etmişlerdir. Söz konusu çalışmada Mohr

Coulomb malzeme modeli kullanılarak iki farklı rijitlikte zeminden oluşan tabakaların yapı altında yumuşak-sert kil ve sert- yumuşak kil sıralaması ile bulunması durumu için analizler yapılmıştır. Analizler sonucunda temel zemini profilinde bulunan kabuk tabakasının sistem stabilitesini arttırdığı ancak meydana gelen deformasyonlar bakımından değerlendirme yapıldığında ise kabuk tabakasının gerilme etkisini alttaki yumuşak tabakaya transfer etmesiyle deformasyonların alttaki yumuşak zemin tabakası içinde yoğunlaştığı belirlenmiştir. Üstte yumuşak zemin bulunması durumunda ise gerilmelerin yumuşak tabaka içerisindeki deplasmanlar ile absorbe edildiği gösterilmiştir. Akbay Arama ve Çinicioğlu [4], temel zemininin sadece yumuşak kil, sadece sert kil ve yumuşak-sert, sert-yumuşak kil olarak ardışık tabakalanması şeklinde dört farklı temel zemini tabakalanma profili için sonlu elemanlar yöntemi ile parametrik analizler yaparak mevcut bir dolgunun tek taraflı olarak genişletilmesi sırasında oluşan geoteknik problemleri irdelemişlerdir. Analizlerinde mevcut dolguyu ve genişletilen yolu Doğrusal Elastik, temel ortamını ise Pekleşen Zemin malzeme modelleri ile tanımlamışlardır. Analizlerinin sonucunda büyük deplasmanların mevcut dolgu-genişletilmiş yol ara yüzeyinde meydana geldiğini, temel tabakalanma durumunun inşa prosedürünü ciddi oranda etkilediğini ve şekillendirdiğini, deformasyon değerlerinin üst ve alt sınır değerlerini sırasıyla saf yumuşak ve saf sert kilden oluşan zemin profillerinden elde edildiğini, yumuşak zeminin üstte bulunduğu durumda alta bulunduğu duruma nazaran daha yüksek güvenlik seviyesi elde edildiğini göstermişlerdir. Akbay Arama ve arkadaşları [5], tek ve çift taraflı dolgu genişletme çalışmalarının sebep olduğu problemleri inceleyerek yumuşak ve sert kil zeminden oluşan iki farklı tabakalanma durumu için meydana gelen deformasyonları ve stabilize problemlerini sonlu elemanlar ve limit denge programları ile analiz ederek karşılaştırmalı bir şekilde yorumlamalar getirmişlerdir. Dolgu ve genişletilmiş yolu Doğrusal Elastik, temel zemini ortamını ise Mohr Coulomb malzeme modelleri ile tanımlamışlardır. Analizlerin sonucunda üst tabakada yumuşak zemin bulunması durumunda tabaka kalınlığındaki artışın güvenlik düzeyini

azalttığı ve bu durumun üst tabakada sert zemin bulunması durumunda tersine döndüğü görülmüş, sonlu elemanlar yöntemi ile elde edilen güvenlik değerlerinin limit denge yöntemi ile elde edilen değerlerden daha yüksek olduğu hesaplanmıştır. Akbay Arama ve Çinicioğlu [6], yumuşak killerin iki katmanlı temel zemini profilinde alt veya üst tabakada farklı kalınlıklarda yer aldığı durumları ele alarak bu temel profilleri üzerine inşa edilebilecek olan dolgunun kritik yükseklik değerlerini araştırmışlardır. Söz konusu analizler için i- yumuşak kil-sert kil ve ii- sert kil-yumuşak kil şeklinde farklı iki rijitlikte kil katmanından oluşan ancak değişken tabaka kalınlıklarına sahip temel zemini profilleri belirlemiştir. Ayrıca değişik yapısal malzeme modellerinin (i-Mohr Coulomb, ii-Pekleşen Zemin, iii- Yumuşak Zemin) farklı temel zemini profilleri üzerindeki etkisini tüm yapım süreci boyunca tek kademe yükleme için modelleyerek takip etmişlerdir. Analizlerinin sonucunda malzeme modeli farklılıklarının etkisini sonuçlarda net bir şekilde gözlemiş ve Mohr Coulomb malzeme modelinden elde edilen yükseklikler ile Pekleşen Zemin ile Yumuşak Zemin modellerinden elde edilen kritik yükseklikler arasında 2-4 kata varan oranlarda farklılık hesaplamışlardır. Pekleşen ve Yumuşak Zemin malzeme modelleri ile tanımlanan yumuşak-sert kil temel profilinde ise Pekleşen Zemin malzeme modeli ile elde edilen yükseklik değerlerinin Yumuşak Zemin malzeme modeli ile elde edilen yükseklik değerlerinden daha fazla olduğunu görmüşlerdir. Tüm bu incelenen literatür çalışmaları göstermiştir ki; hem dolgu yükü altında bulunan yumuşak zeminlerin davranışının karmaşıklığı hem de inşa edilen dolgunun yapı malzemesinin de zeminden oluşması sebebi ile dolgu-zemin sisteminin etkileşimli olarak davranış analizi gerekmektedir. Bu bağlamda yumuşak zeminler üzerine inşa edilen dolguların davranışı kendisini taşıyan temel zeminiyle birlikte incelendiğinde, yumuşak zemin üzerine uygulanan dolgu yükü, temel zemininin yeniden yerleşmesini sağlamakta ve yer değiştirme etkisi ile kütleli hareketine karşı koyan bir direnç mekanizması mobilize olmaktadır. Temel zemininde oluşan bu yer değiştirmeler zeminin taşıma gücünü değiştirerek yumuşak zemin tabakalarında kayma etkisini ortaya çıkarmakta ve kayma etkileri zemin

direncini aştığında ise temel stabilitesi bozularak göçme durumuna ulaşılmaktadır. Bu sebeplerle dolgu-temel sistemi tasarımı yapılırken dolgunun geometrik ve geoteknik özelliklerinin temel zemini taşıma gücünün izin verdiği sınırlar içerisinde kalmasını sağlayacak bir analiz yöntemi ile belirlenmesi önemlidir. Dolgu-temel zemini etkileşimli sisteminin analizi amacıyla kullanılan sonlu elemanlar yöntemi, sayısal analiz yöntemlerinden en etkin ve sistematik olanıdır.

Bu makale kapsamında, farklı tabaka kalınlıklarına ve rijitlik değerlerine sahip olan tabakalanmış kil temeller değişik malzeme modelleri ile tanımlanarak, üzerlerinde yer alan dolguların ani yükleme koşullarında göçmeden inşa edilebileceği kritik yükseklik değerleri araştırılmış ve bu yolla göçme mekanizmalarının şekilleri, deformasyon değerleri ve deformasyon dağılım bölgeleri Plaxis sonlu elemanlar programı ile iki boyutlu düzlem deformasyon koşullarında değerlendirilmiştir. Yapılan çalışmalar göstermiştir ki, gerek dolgu gerekse temel zemini profili için kullanılan geoteknik parametrelerin hesaplanması tasarımda dikkat edilmesi gereken en önemli husustur. Hesaplanan geoteknik parametrelerin sistem davranışını temsil edecek nitelikte malzeme modelleri ile kullanımı ise gerilme dağılımları, deformasyonlar, göçme mekanizmaları gibi tipik davranış özellikleri üzerinde ciddi bir etkiye sahiptir.

## 2. DOLGU-ZEMİN ETKİLEŞİMİ İÇİN PARAMETRİK ANALİZLER

Dolgu tasarımında dikkat edilmesi gereken en önemli nokta hem dolgu altındaki temel zemini ortamının değişken yapıya sahip olması hem de inşa edilen dolgunun yapısal malzemesinin zeminden oluşmasıdır. Bu durum sebebiyle yapısal sistemin dolgu olduğu uygulamalarda inceleme aşamasında, inşa sırasında ve inşadan sonraki davranış bir bütün olarak ele alınmalı ve ortaya çıkabilecek sorunlar mühendislik bakış açısı ile değerlendirilerek tasarım aşamasında çözüme yönelik çalışmalar yapılmalıdır. Tasarım aşamasında zemin-yapı bütünlük sisteminin

davranışını şekillendiren en temel özellikler; malzeme davranış modeli ve bu modele bağlı olarak hesaplanan malzeme özellikleridir. Bu makale kapsamındaki geoteknik özelliklerin belirlenmesinde literatürden büyük ölçüde faydalanılmış ve en gerçekçi bütünsel davranışın elde edilebilmesi amacıyla hem dolgu hem de zemin ortamı için farklı malzeme modelleri kullanılmıştır. Dolgu zemininin tanımlanması için; Mohr Coulomb (MC), Pekleşen Zemin (HS) ve Pekleşen Zemin Küçük Birim Deformasyon Rijitliği (HS\_SS) malzeme modelleri; temel zeminlerinin tanımlanması için; i-Mohr Coulomb (MC), ii-Pekleşen Zemin (HS) iii-Pekleşen Zemin Küçük Birim Deformasyon Rijitliği (HS\_SS) iv-Yumuşak Zemin (SS) v-Modifiye Cam Kili (MCC) malzeme modelleri seçilmiştir. Ayrıca analizler için Profil 1: yumuşak kil (YK)-sert kil (SK) ve Profil 2: sert kil (SK)-yumuşak kil (YK) şeklinde farklı iki rijitlikte kil katmanından oluşan ancak değişken tabaka kalınlıklarına (1-3-6-18-36-125 metre) sahip zemin profilleri belirlenmiştir. Dolgunun inşa şeklinin ve malzeme parametrelerinin sistem davranışı üzerindeki etkisinin belirlenmesi amacı ile dolgu malzeme özelliklerinde değişiklik yapılmış ve elde edilen beş adet dolgu (D1, D2, D3, D4, D5) ile çok değişkenli analizler tekrarlanmıştır. Dolgu 1 (D1), diğer dolgu uygulaması örneklerinin referansı olarak kullanılmıştır. (1/2) şev eğiminde inşa edilen Dolgu 1 için [7]'den faydalanılarak birim hacim ağırlık değeri  $20 \text{ kN/m}^3$ , kayma mukavemeti parametreleri  $c=5 \text{ kPa}$  ve  $\phi=30^\circ$  olarak seçilmiştir. Dolgu 2'de (D2), D1'in geoteknik parametreleri aynen kullanılmış ancak dolgu-zemin ara yüzeyine geotekstil malzeme serilerek dolgu güçlendirilmiştir. Dolgu 3'de (D3), şev eğimi (1/2) olarak kullanılmış, birim hacim ağırlığı değeri  $18 \text{ kN/m}^3$  seçilerek dolgu D1'e göre hafifletilmiş ve kayma mukavemeti parametreleri  $c=3 \text{ kPa}$  ve  $\phi=25^\circ$  seçilerek dolgu malzemesi zayıflatılmıştır. Dolgu 4'de (D4), birim hacim ağırlığı  $20 \text{ kN/m}^3$ , kayma mukavemeti parametreleri  $c=1 \text{ kPa}$  ve  $\phi=22^\circ$  seçilerek D1'e göre malzeme zayıflatılmıştır. Dolgu 5'de (D5), şev eğiminin göçme davranışına etkisi araştırılmış ve eğim değeri (1/1) oranına azaltılarak D1 ile aynı geoteknik parametreler kullanılmıştır. Ayrıca D1 için her iki zemin profilinde ve tanımlanan tüm

temel zemini malzeme modellerinde analizler sonucu meydana gelen toplam deplasman değerleri elde edilerek yorumlanmıştır. Yapılan tüm parametrik çalışmalar sonucunda dolgu-temel zemini etkileşimli davranışını en gerçekçi şekilde temsil edeceği düşünülen malzeme modelleri seçilerek D1'in üst tabaka kalınlığının 1-6-18 metre olması durumlarında her iki zemin profilinde analizler tekrarlanmıştır. Aşağıda, ilk olarak makale kapsamında kullanılan malzeme davranış modelleri anlatılmış ve ardından dolgu-zemin ortamına ait geometrik-geoteknik özelliklerin detayları verilmiştir. Makale kapsamında, iki boyutlu ortamda ve eksenel simetrik koşullarda yapılan analizler için sonlu elemanlar yöntemi ile çalışan Plaxis V 2011.02 programı kullanılmıştır. Dolgu ve temel zemini ortamının modellenmesinde program dâhilinde bulunan malzeme modellerinden i-MC, ii-HS, iii-HS\_SS, iv-SS ve v-MCC seçilmiştir. Söz konusu malzeme modellerinden MC'de akma yüzeyinde zemin lineer elastik mükemmel plastik malzeme olarak davranış sergilemektedir. Bu yolla MC model çözümlerinde zemin için tek ve sabit bir rijitlik parametresi kullanılmaktadır. Geoteknik problemlerine ilk yaklaşımda ve öncül analizlerde tercih edilmekte olan bu yöntemde hesaplamalar hızlıdır. Model stabilite hesaplamaları için idealdir ancak verdiği deformasyon değerleri gerçekçi değildir. MC modelde kullanılan parametreler; E Young modülü [ $\text{kN/m}^2$ ],  $\nu$  poisson oranı [-], c kohezyon [ $\text{kN/m}^2$ ],  $\phi$  sürtünme açısı [ $^\circ$ ],  $\psi$  genleşme açısı [ $^\circ$ ] şeklindedir [8]. HS malzeme modeli, hem yumuşak hem de sert killer gibi farklı davranış özellikleri gösteren zeminlerin modellenmesinde kullanılan ileri düzeyli bir modeldir. MC modeldeki gibi göçme durumu  $\phi$ , c,  $\psi$  ile tanımlanmaktadır. Bununla birlikte rijitlik parametreleri üç farklı değer ile daha doğru olarak ifade edilebilmektedir: Drenajlı üç eksenli deneyden elde edilen referans sekant rijitliği  $E_{50}^{\text{ref}}$ , referans üç eksenli boşaltma/yeniden yükleme rijitliği  $E_{\text{ur}}^{\text{ref}}$  ve birincil ödometre yüklemesi için referans tanjant rijitliği  $E_{\text{oed}}^{\text{ref}}$ . HS model gerilmeye bağlı rijitlik modüllerini dikkate almaktadır. Bu durum basınç ile birlikte tüm rijitliklerin artması anlamına gelmektedir. Referans basınç değeri  $100 \text{ kPa}$  (1 bar) olarak değerlendirmeye alınmaktadır. HS\_SS modelde, HS modeline ilave



olarak küçük birim deformasyon değerlerinde zeminin artan rijitliği de dikkate alınmaktadır. Bu davranış HS\_SS modelde bir başlangıç birim deformasyon geçmişi modülü ve iki başlangıç malzeme parametresi ( $G_0^{ref}$ ,  $\gamma_{0.7}$ ) tanımlanması ile anlatılmaktadır.  $G_0^{ref}$ , küçük birim deformasyon kayma modülünü ve  $\gamma_{0.7}$ , kayma modülünün küçük deformasyon kayma modülüne göre %70 azalımındaki birim deformasyon seviyesini tariflemektedir. HS\_SS Modelin tanımlanmasında kullanılan diğer parametreler HS modelle aynıdır. Yüksek sıkışabilirlik özellikleri sebebi ile normal konsolide killer, killi siltler ve turba zeminler yumuşak zeminler olarak ifade edilmektedirler. Yumuşak zeminleri tanımlamakta kullanılan ileri düzey bir model olan SS, Cam Kili teorisi ve kritik durum zemin mekaniği bakış açısı çerçevesinde geliştirilmiştir. Modelde MC göçme kriteri mevcut olup, diğer parametreler:  $\lambda^*$  modifiye sıkışma indeksi,  $\kappa^*$  modifiye şişme indeksi,  $v_{ur}$  boşaltma/yeniden yükleme poisson oranı şeklindedir. MCC malzeme modeli dünya çapında kabul görmüş ileri düzeyli bir modeldir. Bu model normal konsolide kil zeminlerin davranışını ifade etmek için oluşturulmuştur. Farklı zeminlerin tanımlanmasında kullanıldıklarında çok büyük kayma gerilmelerinin oluşmasına izin verilebilmektedir bu sebeple modelin güvenlik analizlerinde ve pratik uygulamalarda kullanılması önerilmemektedir. MCC Modelde kullanılan parametreler:  $\lambda$  Cam kili sıkışma indeksi,  $\kappa$  Cam kili şişme indeksi, M kritik durum çizgisinin tanjantı,  $e_{init}$  başlangıç boşluk oranı,  $v_{ur}$  boşaltma/yeniden yükleme poisson oranı şeklindedir [8, 9].

## 2.1. Dolgunun Geometrik ve Geoteknik Özellikleri

Analizlerde kullanılan dolgunun taban genişliği 90 metredir ve platform genişliği kritik dolgu yüksekliğine bağlı olarak değişmektedir (Şekil 1). Dolgunun şev eğimi düşey/yatay: 1/1, 1/2 olarak iki farklı eğimde koordinatlandırılarak sayısal analiz programına tanımlanmıştır. Sonlu elemanlar yönteminin kullanılmış olduğu analizlerde doğru tahminler sağlamak ancak model parametrelerinin doğru seçimi ile sağlanabilmektedir. Bu makalede kullanılan dolgunun özelliklerinin belirlenmesinde

Brinkgreve ve arkadaşları (2010) tarafından kum zeminler için geliştirilmiş olan ampirik formüllerden faydalanılmıştır [10]. Formüllerde, RD değeri yüzdelik olarak göreceli sıklık değerini vermektedir. Eşitlik (1) yardımı ile bilinen doymamış birim hacim ağırlığı değerinden RD değeri hesaplanabilmekte ve hesaplanan RD değeri ile Eşitlik (2)'den de doymuş birim hacim ağırlığı elde edilebilmektedir.



Şekil 1. Zemin profilleri ve dolgu geometrik kesiti

$$\gamma_{unsat} = 15 + 4.0 \text{ RD}/100 \quad [\text{kN/m}^3] \quad (1)$$

$$\gamma_{sat} = 19 + 1.6 \text{ RD}/100 \quad [\text{kN/m}^3] \quad (2)$$

Seçilen bir referans basıncı (program tarafından  $P^{ref}$  değeri  $100 \text{ kN/m}^2$  olarak atanmıştır) değerine bağlı olarak HS ve HS\_SS model için gerekli olan rijitlik parametreleri Eşitlik (3), (4), (5), (6) ile hesaplanabilmektedir.

$$E_{50}^{ref} = 60000 \text{ RD}/100 \quad [\text{kN/m}^2] \quad (3)$$

$$E_{oed}^{ref} = 60000 \text{ RD}/100 \quad [\text{kN/m}^2] \quad (4)$$

$$E_{ur}^{ref} = 180000 \text{ RD}/100 \quad [\text{kN/m}^2] \quad (5)$$

$$G_0^{ref} = 60000 + 68000 \text{ RD}/100 \quad [\text{kN/m}^2] \quad (6)$$

Eşitlik (7)  $G_s = 0,722 G_0$ 'daki kayma birim deformasyonu  $\gamma_{0.7}$  değerini ifade etmektedir.

$$\gamma_{0.7} = (2 - \text{RD}/100) 10^{-4} \quad [-] \quad (7)$$

E' değeri Eşitlik (8)'den hesaplanmaktadır.

$$E' = [(1 + v') (1 - 2v') / (1 - v')] E_{oed} \quad [\text{kN/m}^2] \quad (8)$$

Tanımlanmış olan bu eşitlikler yardımı ile MC, HS, HS\_SS model için hesaplanmış dolgu geoteknik parametreleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Yol dolgusunun geoteknik özellikleri

Temel Zemin Malzeme Modeli	MC		HS		HS_SS		SS		MCC	
	YK	SK	YK	SK	YK	SK	YK	SK	YK	SK
Drenaj tipi	Und(C)	Und(C)	Und(A)	Und(A)	Und(A)	Und(A)	Und(A)	Und(A)	Und(A)	Und(A)
$\gamma_{unsat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	16,5	19,5	16,5	19,5	16,5	19,5	16,5	19,5	16,5	19,5
$e_0$	2,1	0,8	2,1	0,8	2,1	0,8	2,1	0,8	2,1	0,8
$s_u$ (kPa)	20	80	-	-	-	-	-	-	-	-
$E'$ (kPa)	10000	40000	-	-	-	-	-	-	-	-
$E_{ur}^{ref}$ (kPa)	-	-	800	8500	800	8500	-	-	-	-
$E_{50}^{ref}$ (kPa)	-	-	850	9000	850	9000	-	-	-	-
$E_{oed}^{ref}$ (kPa)	-	-	8000	30000	8000	30000	-	-	-	-
$*v-v_u-v'_{ur}$	0,495	0,495	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
$c'_{ref}$ (kN/m <sup>2</sup> )	-	-	1	25	1	25	1	25	1	25
$\phi'$ (°)	-	-	23	26	23	26	23	26	23	26
$\gamma_{0,7}$	-	-	-	-	0,056	0,1	-	-	-	-
$G_0^{ref}$ (kN/m <sup>2</sup> )	-	-	-	-	7000	30000	-	-	-	-
$\lambda^*$	-	-	-	-	-	-	0,12	0,045	-	-
$\kappa^*$	-	-	-	-	-	-	0,02	0,009	-	-
$\lambda$	-	-	-	-	-	-	-	-	0,372	0,036
$\kappa$	-	-	-	-	-	-	-	-	0,062	0,0162
M	-	-	-	-	-	-	-	-	0,8984	1,0267

Analizlerde kullanılan geotekstil malzemenin EA eksenel rijitlik değeri Boogert ve arkadaşları (2012) tarafından DIN EN ISO 10319 standartlarına göre uygulanan beş çekme deneyinden elde edilen 2269 kN/m değeri olarak kullanılmıştır [11].

## 2.2. Temel Zemin Profili Geometrik ve Geoteknik Özellikleri

Tabakalanmış temel zeminleri üzerinde yer alan dolgulardaki kritik yükseklik değerinin belirlenmesi amacı ile birbirine zıt rijitlik özelliğine sahip kil tabakalarının artarda sıralama durumu için zemin profilleri oluşturulmuştur (Şekil 1). Üstte bulunan kil tabakalarının kalınlıkları 1-3-6-18-36-125 metre olacak şekilde değişkindir. Yapılan modellemelerde zemin ortamının toplam tabaka kalınlığı 130 m olacak şekilde seçilmiştir. Zemin profilinde yeraltı su seviyesi zemin üst yüzeyindedir. Temel zemininin dayanım ve rijitlik özelliklerinin belirlenmesinde, [8, 12]'den faydalanılmıştır. Söz konusu çalışmalarda, zeminin geoteknik parametrelerinin

belirlenmesi amacı ile ödometre ve üç eksenli testlerden oluşan kapsamlı bir deneysel veri dizisi oluşturularak Plaxis programında üç eksenli ve ödometre deneyleri modellenerek yumuşak ve sert Bangkok kili için MC, HS, HS\_SS, SS malzeme modellerine ait parametreler denetlenmiştir. Bu makalede söz konusu parametreler kullanılmış olup, permeabilite katsayıları x ve y yönlerinde anizotropi etkisi göz önüne alınarak tanımlanmıştır ( $k_{x(YK)}= 8 \times 10^{-05} \text{ m/g}$ ,  $k_{y(YK)}= 4 \times 10^{-05} \text{ m/g}$ ,  $k_{x(SK)}= 8 \times 10^{-04} \text{ m/g}$ ,  $k_{y(SK)}= 4 \times 10^{-04} \text{ m/g}$ ). Çizelge 2'de MC, HS, HS\_SS, SS, MCC malzeme modelleri için makale kapsamında kullanılacak olan parametreler özetlenmiştir.

## 3. SAYISAL ANALİZLER VE DEĞERLENDİRMELER

Plaxis V 2011.02 programında yapılan 1368 adet analizde, dolgunun tek kademedeki drenajsız olarak yüklenmesi (toptan) durumunda geçmeden inşa edilebileceği maksimum yükseklik değeri "kritik yükseklik" olarak tanımlanmış ve elde edilen veriler bu parametre ışığında yorumlanmıştır.

Analizlerde dolgu kritik yüksekliği değerinin tayini için 0,5 metre hassasiyet kullanılarak, inşa drenajsız koşullarda plastik faz (konsolidasyon süresi tanımlanmaksızın) ile gerçekleştirilmiş ve inşa sonrası yapılan güvenlik analizleri ile güvenlik sayısı değerini 1'e yakınsayan değer kritik yükseklik değeri olarak elde edilmiştir. Ayrıca sonlu elemanlar yönteminde kullanılan ağ yoğunluğunun analiz sonuçlarına etkisinin

değerlendirilmesi amacıyla geniş - orta ve çok sıkı olarak seçilen ağlar ile ayrı ayrı analizler tekrarlanmıştır. Orta-çok sıkı olarak tanımlanan sonlu elemanlar ağlarında yapılan analizlerde aynı sonuçlara yaklaşıldığı görülmüştür. Makale içeriğindeki değişkenlerin çokluğu sebebi ile optimum süre kullanımı açısından sonlu elemanlar ağı "orta" yoğunlukta modellenerek çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

**Çizelge 2.** Temel zemini geoteknik özellikleri

Malzeme Modeli	Dolgu 1-2-4-5			Dolgu 3		
	MC	HS	HS_SS	MC	HS	HS_SS
RD	125	125	125	75	75	75
$\gamma_{unsat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	20	20	20	18	18	18
$e_0$	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
E' (kPa)	67500	-	-	40500	-	-
$E_{50}^{ref}$ (kPa)	-	75000	75000	-	45000	45000
$E_{oed}^{ref}$ (kPa)	-	75000	75000	-	45000	45000
$E_{ur}^{ref}$ (kPa)	-	225000	225000	-	135000	135000
$\nu'$	0,2	-	-	0,2	-	-
$\nu'_{ur}$	-	0,2	0,2	-	0,2	0,2
$c'_{ref}$ (kPa)	5	5	5	3	3	3
$\phi'$ (°)	30	30	30	25	25	25
$k_x$ (m/gün)	0,3145	0,3145	0,3145	0,3145	0,3145	0,3145
$k_y$ (m/gün)	0,3145	0,3145	0,3145	0,3145	0,3145	0,3145
$\gamma_{0,7}$	-	-	7,50E-05	-	-	1,25E-04
$G_0^{ref}$ (kPa)	-	-	145000	-	-	111000

Değişken üst tabaka kalınlıklarında olan temel zeminlerinin beş farklı malzeme modeli (MC, HS, HS\_SS, SS, MCC) ile dolgunun sadece MC malzeme modeli ile tanımlanması durumunda inşa edilebilecek olan kritik dolgu yüksekliği değerleri Çizelge 3'de verilmiştir. Çizelgede bahsi geçen farklı dolgulara (D1, D2, D3, D4, D5) ait özellikler Çizelge 4'de detaylandırılmıştır. Çizelge 3'de sunulmuş olan verilerin daha anlamlı kılınması için Şekil 2'de aynı malzeme modeli ile tanımlanmış olan temel zeminleri için, üstte sırası ile yumuşak ve sert kil bulunması durumlarında dolgu özelliklerinin (Dolgu 1-2-3-4-5) kritik yükseklik değerleri üzerindeki etkisi verilmiştir. Grafiklerin isimlendirmesinde kullanılan (1) alt indisi üst tabakada yumuşak kil, (2) alt indisi ise üst tabakada sert kil bulunması durumunu, (a) MC, (b) HS, (c) HS\_SS, (d) SS, (e) MCC malzeme modellerinde yapılan analizleri temsil etmektedir.

Şekil 2(a<sub>1</sub>)'de üst tabakanın küçük kalınlıklardaki yumuşak kilden oluşması durumunda, dolgu geoteknik ve geometrik özelliklerinin sistem davranışına etkisi daha net bir şekilde gözlemlenmektedir. D1 ve D2 dolgularında en fazla kritik dolgu yüksekliğine ulaşıldığı ve geotekstil ile yapılan iyileştirmenin dolgu yüksekliği üzerinde etkisi olmadığı görülmüştür. Ayrıca üst tabakada yumuşak zemin bulunması durumlarında, tabaka kalınlığının 15-20 metre değerlerine kadar tüm dolgularda azalan kritik dolgu yüksekliği değeri gösterirken; bu kalınlık değerinden fazla yumuşak zemin bulunması durumunda, 5 metre değerinde sabit kalmaktadır. Bu durum, sistem davranışında dolgu malzemesi özelliklerinin artık etkili olmadığını yani sistemin yumuşak zemin deformasyonları tarafından yönetildiğinin bir göstergesidir.

**Çizelge 3.** Farklı malzeme modellerine ve tabakalanma durumlarına sahip temel zeminleri üzerinde yer alan Dolgu 1-2-3-4-5 (MC) için elde edilen kritik yükseklik değerleri

D 1 (MC)										
UST TABAKA KALINLIĞI (m)	Temel Zemini Malzeme Modeli									
	MC		HS		HS_SS		SS		MCC	
	YK	SK	YK	SK	YK	SK	YK	SK	YK	SK
	hcr(m)		hcr(m)		hcr(m)		hcr(m)		hcr(m)	
1	13	5	1,5	4,5	2	4,5	1,5	3,5	1	1,5
3	9	5,5	1,5	7	2	7	1,5	5,5	1	2
6	7	6	1,5	9,5	2	9,5	1,5	8	1	2
18	5,5	8	1,5	14,5	2	15	1,5	11	1	2
36	5	11,5	1,5	14,5	2	15	1,5	11	1	2
125	5	22	1	14,5	2	15	1,5	11	1	2
D 2 (MC)										
1	13	5,5	3,5	7	3,5	7	4,5	6,5	2	3
3	9,5	5,5	3	11,5	3	11,5	3	10,5	1,5	4,5
6	8	6	3	15,5	3	14,5	3	12,5	1,5	6
18	6,5	8	3	20,5	2,5	20	3	22	1,5	6
36	5,5	11,5	3	22	2,5	22	3	22	1,5	6
125	5	22	3	22	2,5	22	3	22	1,5	6
D 3 (MC)										
1	11	6	1,5	4,5	1,5	5	2	4,5	1	1,5
3	9	6	1,5	7	1,5	7,5	2	6	1	1,5
6	7,5	7	1,5	9,5	1,5	10,5	2	8,5	1	1,5
18	6	9	1,5	15,5	1,5	16	2	10,5	1	1,5
36	5,5	13	1,5	15,5	1,5	16	2	10,5	1	1,5
125	5,5	22	1	15,5	1,5	16	2	10,5	1	1,5
D 4 (MC)										
1	7,5	5	1	4	1	4	1	3,5	0,5	1
3	7	5,5	1	6,5	1	6,5	1	5	0,5	1
6	6	6	1	8,5	1	8,5	1	7	0,5	1
18	5	8,5	1	8	1	11,5	1	7	0,5	1
36	5	8,5	1	6	1	11,5	1	7	0,5	1
125	5	10,5	1	6,5	1	11,5	1	7	0,5	1
D 5 (MC)										
1	8	5	1,5	4,5	1,5	4,5	1,5	3,5	0,5	1
3	7,5	5,5	1,5	6,5	1,5	6,5	1,5	5	0,5	1
6	6,5	5,5	1,5	8,5	1,5	8,5	1,5	7,5	0,5	1
18	5	7,5	1,5	12	1,5	12	1,5	7,5	0,5	1
36	5	10	1,5	12	1,5	12	1,5	7,5	0,5	1
125	5	12	1,5	12	1,5	12	1,5	7,5	0,5	1

**Çizelge 4.** Dolgu 1-2-3-4-5'e ait geometrik ve geoteknik detaylar

Dolgu No	Şev eğimi	İyileştirme	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c (kPa)	$\phi$ (°)
Dolgu 1	1/2	-	20	5	30
Dolgu 2	1/2	Var	20	5	30
Dolgu 3	1/2	-	18	3	25
Dolgu 4	1/2	-	20	1	22
Dolgu 5	1/1	-	20	5	30

Şekil 2(a<sub>2</sub>)'de üstte sert zeminin bulunduğu durumlarda, 18 metre kalınlığına kadar tüm dolgularda aynı davranış şekli ve kritik dolgu

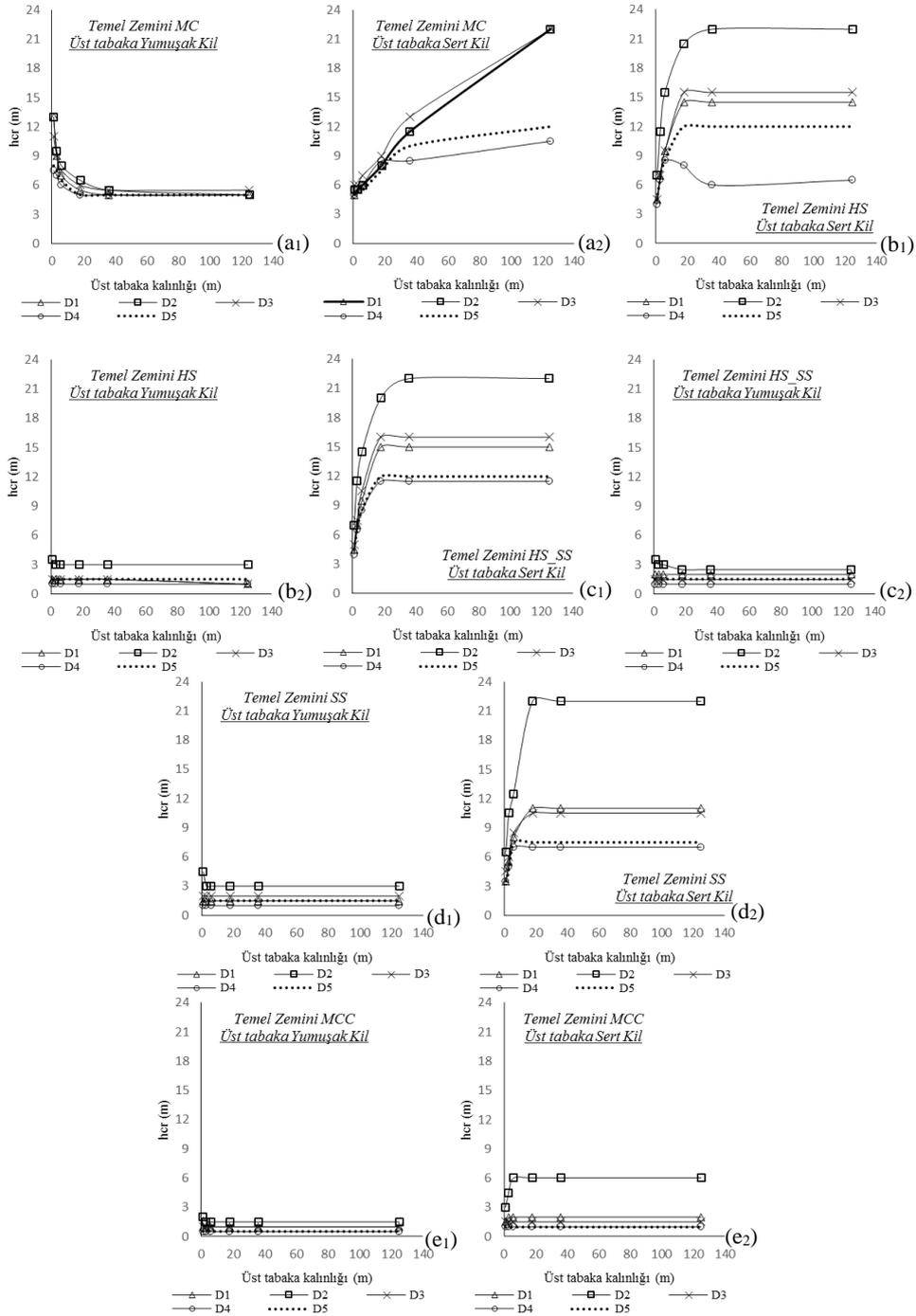
yüksekliği hesaplanmıştır. Bu kalınlık değerinden sonra, aynı anda, hem dolgu malzemesi kayma mukavemeti parametrelerinin azaltılması hem de

birim hacim ağırlığının azaltılması ulaşılabilecek olan kritik yükseklik değerini olumlu bir şekilde etkilemiştir.

Bu davranışın sebebi, dolgunun hafifletilmesi ile yumuşak zemine aktarılan gerilmelerin, dolayısıyla sistemde oluşacak olan deformasyonların, azalması yolu ile taşıma gücünün artması şeklinde açıklanabilmektedir. Geotekstil ile iyileştirme ise bu durumda da kritik yükseklik değeri üzerinde etkili olmamıştır. Ulaşılabilecek olan nihai kritik yükseklik değerleri incelendiğinde ise D1, D2, D3 dolgularında aynı, D4 dolgusunda ise en az değerde olacak şekilde sıralama yapılabilmektedir. Söz konusu durum göstermektedir ki, dolgunun kayma mukavemeti parametrelerinin azaltılması davranış üzerinde ciddi olumsuz etkilere yol açmakta ve bu durum şev eğimi etkisine nazaran daha baskın olmaktadır. Ayrıca MC malzeme modelinde yapılan analizlerde üst tabakanın sert olması ve tabaka kalınlığının artması ile elde edilebilecek kritik dolgu yüksekliği de sürekli olarak artmaktadır. Şekil 2(b<sub>1</sub>)’de geosentetik malzeme ile iyileştirilen dolguya (D2) ait kritik yükseklik değeri; D1, D3, D4, D5 dolgularına göre üç kata varan farklılık göstermektedir ve tüm dolgularda yumuşak tabaka kalınlığının yükseklik üzerinde etkisi yok denecek kadar azdır. Şekil 2(b<sub>2</sub>)’de D2 dolgusu en büyük kritik yükseklik değerini vermektedir. Diğer dolgularda ise 6 metreye varan sert tabaka kalınlığına kadar, kritik yükseklik değerleri aynı düzeyde artmakta ancak bu kalınlıktan sonra D3>D1>D5>D4 olacak şekilde değişim göstererek, 18 metre kalınlıktan sonra sabit bir yükseklik değerinde kalmaktadır. Bu davranış, gelişmiş modellerde (HS vb.) gerçekçi bir şekilde değerlendirilebilen deformasyon etkisinden kaynaklanmaktadır. Çünkü sert kil tabakasının küçük kalınlık değerlerinde gerilme etkisi yumuşak tabakaya transfer edilebilmekte ve deformasyonlar alttaki yumuşak zemin tabakası içinde yoğunlaşmaktadır. Alttaki tabakaya aktarılan gerilme artışı değerleri, artan kabuk tabakası kalınlığına bağlı olarak azaldıkça, alttaki yumuşak tabakada azalan deformasyonların kritik yüksekliği etkileme seviyesi düşmektedir. Kabuk tabakası kalınlığı yaklaşık olarak 18 metreye ulaştığında ise (bu problemde tanımlanan gerilme seviyeleri için

geçerli olmak koşuluyla) temel zemini görevini esas olarak sert tabaka üstlenmektedir. Şekil 2(c<sub>1</sub>), (d<sub>1</sub>), (e<sub>1</sub>)’de de Şekil 2(b<sub>1</sub>)’dekine benzer davranış görülmekte, geosentetik malzeme ile iyileştirilen dolguya ait kritik yükseklik değeri; D1, D3, D4, D5 dolgularına göre 2-3 kata varan farklılık sergilenmektedir.

Tüm dolgularda üst tabakanın yumuşak kilden oluşması durumunda tabaka kalınlığının yükseklik üzerinde etkisi yok denecek kadar az olmaktadır. Şekil 2(c<sub>2</sub>), (d<sub>2</sub>), (e<sub>2</sub>)’de ise Şekil 2(b<sub>2</sub>)’dekine benzer davranış görülmekte ve D2 dolgusu en büyük kritik yükseklik değerini vermektedir. Diğer dolgularda ise üstte 6 metreye varan sert tabaka kalınlığına kadar kritik yükseklik değerleri aynı değerlerde artmakta ancak bu kalınlıktan sonra D3>D1>D5>D4 olacak şekilde değişim göstererek 18 metre kalınlıktan sonra bir yükseklik değerinde sabitlenmektedir. Elde edilen yükseklik değerleri malzeme modellerine göre MC>HS=HS\_SS>SS>MCC şeklinde değişiklik göstermektedir. Bu durum malzeme modeli farklılığının sistemin bütünsel davranışı üzerindeki etkisini ortaya koymaktadır. MC ile yapılan analizlerden elde edilen kritik dolgu yüksekliği değerinin diğer malzeme modelleri ile elde edilen değerlerden yüksek çıkmasının sebebi, diğer modellerde gerilme durumuna ve plastik bölgede rijitlik azalışına bağlı olarak deformasyonların hesaplanabilmesi ve deformasyonlara dayalı olarak göçmeye varan davranışın takip edilebilmesidir. Ayrıca tüm şekillerden de görülmektedir ki, üstte sert kilin bulunduğu temel zemini profillerinde, üstte yumuşak kilin bulunduğu temel zemini profillerine göre daha yüksek dolgu inşa edilebilmektedir. Dolgu-temel zemini etkileşim probleminde dolgu davranışının daha gerçekçi bir şekilde ifade edilebilmesi için Dolgu 1-2-3-4-5’de HS, HS\_SS malzeme modelleri kullanılarak analizler tekrarlanmıştır. Çizelge 5’de MC, HS, HS\_SS malzeme modelleri ile tanımlanmış Dolgu 1-2-3-4-5 için hesaplanan kritik yükseklik değerleri verilmiştir. Şekil 3’de ise D1’in temel zemini olarak üst tabakanın 1 metre yumuşak, 1 metre sert ve 18 metre yumuşak, 18 metre sert zeminden oluşması şeklindeki 4 durum için dolgu ve temel zemini malzeme modeli değişiminin kritik yükseklik değeri üzerindeki etkisi sütun grafikler ile özetlenmiştir.



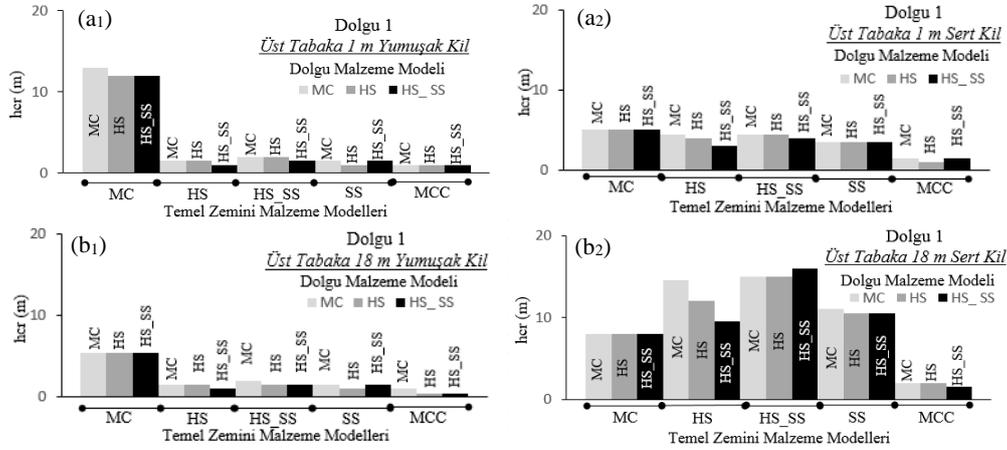
Şekil 2. Üst tabakanın yumuşak veya sert olması durumunda tabaka kalınlığının ve malzeme modelinin dolgu 1-2-3-4-5 için hesaplanan kritik yükseklik değeri üzerindeki etki

Grafiklerin isimlendirmesinde kullanılan (1) alt indisi üst tabakada yumuşak kil bulunmasını, (2) alt indisi ise üst tabakada sert kil bulunmasını, (a) 1 m üst tabaka kalınlığını, (b) 18 m tabaka kalınlığını temsil etmektedir. Şekil 3(a<sub>1</sub>)’de temel zeminin MC olması durumunda dolgunun farklı malzeme modelleri ile tanımlanmasının davranış üzerinde herhangi bir etkisi bulunmamaktadır. Hem dolgunun hem de temel zeminin farklı malzeme modellerinde tanımlanması durumunda ise MC ile yapılan analizlere göre 10 kata varan oranda farklı değerlere rastlanmıştır. Bu durum modeller arasında davranışı tanımlamak bakımından önemli farklılıkların bulunmasının sonucudur. MC modeli zemin davranışını tanımlamakta kullandığı mukavemet ve rijitlik parametreleriyle gerilme ve deformasyona dayalı bir analiz modeli değildir ve bu yapıyla daha basit ve genel bir yaklaşım seviyesindedir. Problemin gerilme ve deformasyon davranışını gerçekçi bir şekilde takip etmek için daha gelişmiş seviyedeki modeller tercih edilmelidir.

Gelişmiş modellerde yapılan analizler incelendiğinde ise ulaşılabilecek olan kritik dolgu yüksekliği değeri üzerinde malzeme modelinin fazla etkili olmadığı ve ortalama kritik dolgu yüksekliğinin 1,6-2 metre aralığında olduğu hesaplanmıştır. Şekil 3(a<sub>2</sub>)’de temel zeminin MC ile tanımlanması sonucu elde edilen yükseklik değerlerinin maksimum olduğu ve diğer modellerle yaklaşık olarak aynı yüksekliklerin elde edildiği görülmektedir.

Şekil 3(a<sub>1</sub>) ve Şekil 3(a<sub>2</sub>) karşılaştırıldığında ise sert zemin üzerinde bulunan 1 metre kalınlığındaki yumuşak zeminin taşıma gücünü azalttığı; yumuşak zemin üzerinde bulunan 1 metre sert kilin ise taşıma gücünü ciddi oranda arttırdığı söylenebilmektedir. Yumuşak zemin yüzeyinde bulunan 1 metre kalınlığındaki kabuk tabakası dolgu yüklerini altta bulunan yumuşak zemin içerisine hapsederek yüklerin bu tabaka içerisinde daha geniş alana yayılmasını sağlamakta ve bu yolla, oluşan deplasman değerlerini azaltarak taşıma gücünü arttırmaktadır. Şekil 3(b<sub>1</sub>)’de (a<sub>1</sub>)’dekine benzer bir davranış görülmekte ancak elde edilen değerler bakımından değerlendirme yapıldığında, yumuşak tabaka kalınlığı arttıkça

ulaşılabilen kritik yükseklik değerinin özellikle MC malzeme modelinde azaldığı görülmüştür. Şekil 3(b<sub>2</sub>)’de ise malzeme modeli farklılığı kritik yükseklik değerleri üzerinde önemli değişikliklere yol açmıştır. Maksimum kritik dolgu yüksekliği değerleri, temel zeminin ve dolgunun HS\_SS malzeme modeli ile tanımlandığı durumlarda ortaya çıkmıştır. Maksimumdan minimuma olacak şekilde kritik yükseklik değerleri temel zemini malzeme modeline göre sıralandığında HS\_SS>HS>SS> MC>MCC şeklindedir. Dolgu malzeme modelinin değişmesi en çok temel zeminin HS malzeme modeli ile tanımlandığı durumda belirginleşmiştir. Çizelge 6’da ve Şekil 3’de D1’in farklı malzeme modellerine ve farklı rijitlik değerine sahip temel zeminleri üzerinde yer alması durumunda üst tabaka kalınlıklarına bağlı olarak oluşan toplam deplasman değerleri sunulmuştur. Çizelge incelendiğinde üst tabakada sert kil olması durumunda oluşan deplasman değerlerinin üstte yumuşak kil olmasına göre çok daha büyük olduğu ve bu durumun MCC model hariç tüm malzeme modellerinde geçerli olduğu söylenebilmektedir. Üst tabakanın yumuşak kil olması durumunda artan tabaka kalınlığı ile birlikte HS malzeme modelinde en fazla deplasman değeri elde edilirken MC malzeme modelinde artan tabaka kalınlığı ile doğrusal artım yapan deplasman değerleri görülmektedir. SS ve MCC malzeme modellerinde meydana gelen deplasman değerlerinde ise 6 metreden fazla kalınlıkta yumuşak kil olması durumunda deplasmanların artmadığı görülmektedir. Üstte sert kil bulunması durumu incelendiğinde ise HS model en büyük deplasman değerlerini sunarken tüm malzeme modelleri benzer bir davranış sergilemektedir. 18 metre tabaka kalınlığına kadar artan deplasman değerleri bu değerden fazla sert tabaka kalınlığında, azalmaya başlamaktadır. Görüldüğü üzere gerek temel zemini gerekse dolgu malzemesi olarak farklı malzeme modellerinin kullanılması, dolgu-zemin davranışının tanımlanmasında hem taşıma gücü hem de deformasyonlar açısından ciddi farklılıklar oluşmaktadır. Bu bağlamda, [9]’da farklı tür zeminlere, farklı tip yapısal uygulamalara, farklı yükleme koşullarına göre malzeme modellerinin uygulanabilirlikleri denetleyen çizelgeler düzenlenmiştir.



**Şekil 3.** Üst tabakanın yumuşak veya sert olması durumunda tabaka kalınlığının ve malzeme modelinin dolgu 1 için hesaplanan kritik yükseklik değeri üzerindeki etkisi

Bu çizelgelere göre analizlerdeki yumuşak kil tabakası SS, sert kil tabakası HS\_SS ve dolgu HS\_SS malzeme modeli parametreleriyle tanımlanarak Profil 1 ve Profil 2 için 1-6-18 metre değişken üst temel kalınlıkları ile analizler tekrarlanmış ve kritik yükseklik, toplam ( $u$ ) –yatay ( $u_x$ ) -düşey deplasman ( $u_y$ ) değerleri elde edilmiştir (Çizelge 7).

Analiz sonuçları değerlendirildiğinde; yumuşak kilin üstte bulunması durumunda temel zemini üst tabaka kalınlığının, ulaşılabilecek kritik yükseklik değeri üzerinde etkisinin olmadığı ancak yatay deformasyonları arttırdığı; sert kilin üstte bulunması durumunda ise temel zemini üst tabaka kalınlığı arttıkça elde edilebilecek kritik dolgu yüksekliğinin de ciddi oranda arttığı ancak oluşan toplam deplasmanların da tabaka kalınlığı ile birlikte fazlaştığı görülmektedir. Söz konusu durum Şekil 5’de kritik yükseklikler için elde edilen toplam deformasyon ağı şekilleri ile vurgulanmıştır. Üst temel tabakasında yumuşak kil bulunması durumunda, tabaka kalınlığı ile orantılı olacak şekilde sert tabakaya ininceye kadar deformasyonlar tabaka içerisinde dağılarak sönümlenmektedir.

Şekillerden dolgu-temel zemini etkileşimi davranışı net bir şekilde seçilebilmekte ve temel zemininin deformasyonlarından ziyade dolgunun

şevlerinde meydana gelen stabilite problemlerinden dolayı göçmelerin yaşandığı söylenebilmektedir. Üst temel tabakasında sert kil bulunması durumunda ise küçük üst tabaka kalınlıklarında, dolgu yüklemesi sebebi ile oluşan gerilmelerin tamamının alt tabakada bulunan yumuşak zemine nakledildiği ve elde olunan yüksek deformasyon değerlerinin yumuşak zeminden kaynaklandığı görülmektedir. Artan sert üst tabaka kalınlığı ile birlikte alt temel zemini tabakasında bulunan yumuşak kile nakledilen gerilmeler azalmakta, yükler sert kil tabakası tarafından karşılanmakta ve bu yolla yumuşak zeminden kaynaklanan deformasyonların sistem stabilitesini etkileme durumu ortadan kalkmaktadır. Artan üst sert tabaka kalınlığı ile beraber sistem stabilitesi dolgu deformasyonları ve davranışı tarafından yönlendirilmektedir.

#### 4. SONUÇLAR

Bu makalede, farklı malzeme modelleri ile tanımlanan dolgu-tabakalanmış temel zemini ortamının etkileşimli davranışı, yapılan sonlu elemanlar analizleri ile parametrik olarak araştırılmıştır. Analizlerde kullanılan temel zemini için iki farklı rijitlik değerinde kil zeminin değişik sızlanmalardaki ve kalınlıklardaki kombinasyonları kullanılmıştır.

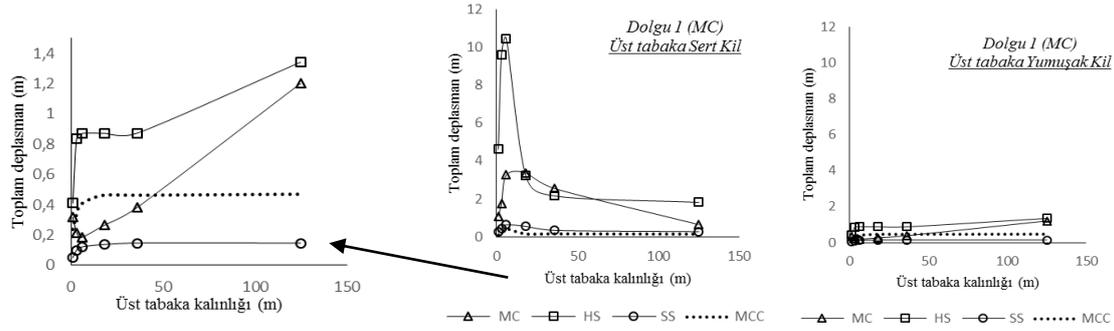


**Çizelge 5.** Farklı malzeme modellerine ve tabakalanma durumlarına sahip temel zeminleri üzerinde yer alan MC, HS, HS\_SS malzeme modelleri ile tanımlanan Dolgu 1-2-3-4-5 için kritik yükseklik değerleri

<b>D 1</b>											
Dolgu Malzeme Modeli	Temel Zemini Malzeme Modeli	MC		HS		HS_SS		SS		MCC	
		YK	SK	YK	SK	YK	SK	YK	SK	YK	SK
		$h_{cr}(m)$		$h_{cr}(m)$		$h_{cr}(m)$		$h_{cr}(m)$		$h_{cr}(m)$	
MC	1	13	5	1,5	4,5	2	4,5	1,5	3,5	1	1,5
	18	5,5	8	1,5	14,5	2	15	1,5	11	1	2
HS	1	12	5	1,5	4	2	4,5	1	3,5	1	1
	18	5,5	8	1,5	12	1,5	15	1	10,5	0,5	2
HS_SS	1	12	5	1	3	1,5	4	1,5	3,5	1	1,5
	18	5,5	8	1	9,5	1,5	16	1,5	10,5	0,5	1,5
<b>D 2</b>											
MC	1	13	5,5	3,5	7	3,5	7	4,5	6,5	2	3
	18	6,5	8	3	20,5	2,5	14,5	3	22	1,5	6
HS	1	12,5	5	4	6	4,5	6	4	6	1,5	3
	18	5,5	7,5	3	15	3	16	2,5	11	1,5	4
HS_SS	1	12	5	3,5	3,5	3,5	4,5	3,5	4	1,5	2
	18	5,5	8	2,5	11	2,5	15	2,5	11	1,5	4
<b>D 3</b>											
MC	1	11,5	6	1,5	4,5	1,5	5	2	4,5	1	1,5
	18	6	9	1,5	15,5	1,5	16	2	10,5	1	1,5
HS	1	10,5	5,5	1,5	4,5	1,5	5	1,5	4	0,5	1,5
	18	6	9	1,5	12	1,5	16	1,5	10	0,5	1,5
HS_SS	1	10	5,5	1	3	1,5	4	1,5	3,5	1	1
	18	6	9	1	13	1,5	16	1,5	10	0,5	1,5
<b>D 4</b>											
MC	1	7,5	5	1	4	1	4	1	3,5	0,5	1
	18	5	8,5	1	8	1	11,5	1	7	0,5	1
HS	1	7	5	1	4	1	4	1	3,5	0,5	1
	18	5	7,5	1	6,5	1	10	1	7	0,5	1
HS_SS	1	7	5	1	3	1	4	1	3	0,5	1
	18	5	8	0,5	6	1	10	1	7	0,5	1
<b>D 5</b>											
MC	1	8	5	1,5	4,5	1,5	4,5	1,5	3,5	0,5	1
	18	5	7,5	1,5	12	1,5	12	1,5	7,5	0,5	1
HS	1	8,5	5	1,5	4	1,5	4	1,5	3,5	0,5	1,5
	18	5	7,5	1,5	10,5	1,5	12	1,5	7,5	0,5	1,5
HS_SS	1	8	5	1	3	1,5	4	1,5	3,5	0,5	1,5
	18	5	7,5	1	9	1,5	11,5	1,5	7,5	0,5	1,5

**Çizelge 6.** Dolgu 1'in farklı malzeme modellerine ve farklı rijitlik değerine sahip temel zeminleri üzerinde yer alması durumunda üst tabaka kalınlıklarına bağlı olarak oluşan toplam deplasman değerleri

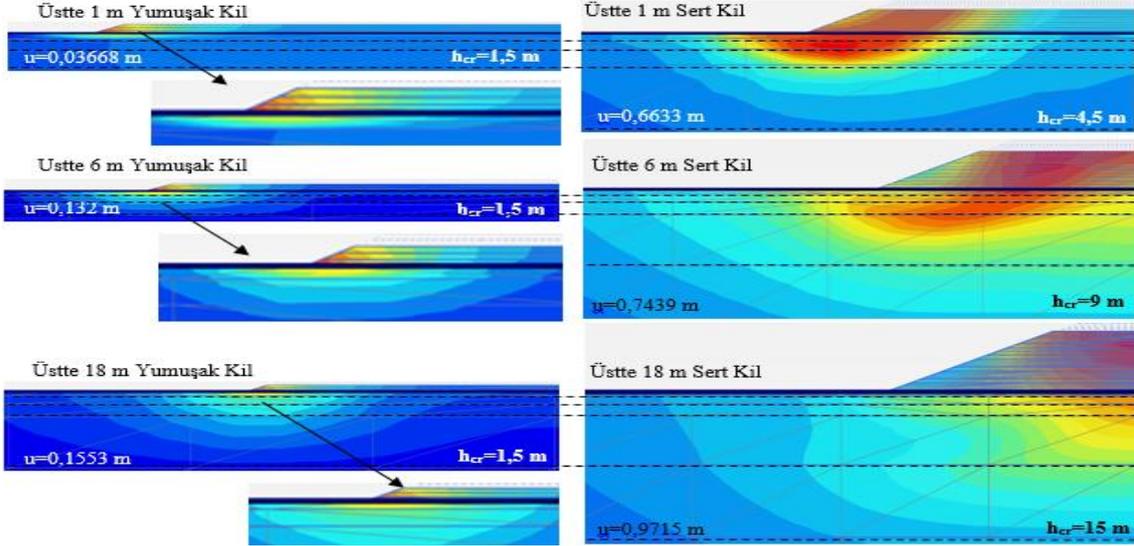
DOLGU 1 (MC)	Temel Zemin Malzeme Modeli									
	MC		HS		SS		MCC		HS_SS	
	YK	SK	YK	SK	YK	SK	YK	SK	YK	SK
Üst tabaka kalınlığı(m)	u(m)	u(m)	u(m)	u(m)	u(m)	u(m)	u(m)	u(m)	u(m)	u(m)
1	0,3195	1,078	0,4107	4,621	0,05075	0,249	0,24	0,1	0,5952	0,7285
3	0,2141	1,75	0,8365	9,588	0,1	0,4307	0,3369	0,2604	0,8818	2,327
6	0,1866	3,252	0,8712	10,43	0,1218	0,628	0,4073	0,4073	0,1	1,775
18	0,2645	3,362	0,8726	3,213	0,1373	0,5455	0,4617	0,1523	2,766	1,804
36	0,3824	2,537	0,8732	2,148	0,147	0,3358	0,4609	0,1566	2,463	0,5406



**Şekil 4.** Dolgu 1 için toplam deplasman değerlerinin üst tabaka kalınlığına bağlı değişimi

**Çizelge 7.** Dolgunun HS\_SS, yumuşak kilin SS ve sert kilin HS\_SS malzeme modelleri ile tanımlanması durumunda elde edilen kritik yükseklik, toplam-yatay-düşey deplasman değerleri

Üst Tabakadaki Zemin Türü	Üst Tabaka Kalınlığı (m)	$h_{cr}$ (m)	u(m)	$u_x$ (m)	$u_y$ (m)
YK	1	1,5	0,03668	0,03663	2,49E-03
	6	1,5	0,132	0,132	0,02028
	18	1,5	0,1553	0,1553	0,03114
SK	1	4,5	0,6633	0,6249	0,2554
	6	9	0,7439	0,6185	0,2321
	18	15	0,9715	0,4935	0,1359



**Şekil 5.** Dolgunun HS\_SS, yumuşak kilin SS ve sert kilin HS\_SS malzeme modelleri ile tanımlanması durumunda elde edilen deformasyon ağı

Seçilen dolgu malzemesinin ve güçlendirmenin sistem davranışına etkisini belirlemek için birim hacim ağırlık ve kayma mukavemeti parametreleri değerlerinde yapılan değişiklikler ile analizler tekrarlanmıştır. Tüm analizlerde drenajsız koşullarda dolgunun göçmeden inşa edilebileceği maksimum yükseklik değerleri elde edilmiştir. Seçilen bazı özel durumlar için ise göçme mekanizmaları ve deplasman değerleri incelenmiş ve bu analizler ışığında aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

(Yapılan değerlendirmeler sadece seçilen çalışma koşullarına ve Plaxis programında yapılan analizlere bağlıdır). Dolgu-temel sisteminin tanımlanmasında kullanılan malzeme modellerinin seçimi ve malzeme modellerine göre kullanılacak geoteknik parametrelerin hesaplanması makalenin odak noktasıdır. Yapılan analizler sonucunda söz konusu model ve parametre farklılıklarının etkisi belirgin bir şekilde görülmüştür. Kullanılan malzeme modellerinden MC, zemin davranışını tanımlamakta kullandığı mukavemet ve rijitlik parametreleriyle gerilme ve deformasyona dayalı bir analiz modeli değildir ve bu yapıyla daha basit ve genel bir yaklaşım seviyesindedir.

Dolgu-temel zemini etkileşimi gibi zemin-yapı etkileşiminin söz konusu olduğu geoteknik uygulamalarında gerilme ve deformasyon davranışını gerçekçi bir şekilde takip etmek için daha gelişmiş seviyedeki modeller kullanılmalıdır. Kullanılacak olan malzeme modelinin seçilmesinde en önemli parametre, kullanılan yapısal elemanın (dolgu-zemin vb.) türüne uygunluktur. Bunun yanı sıra malzeme modelinin kullanım amacına ve yükleme koşullarına uygunluğu da denetlenmesi gereken önemli olgulardandır. HS modelin her türlü malzemenin modellenmesinde uygun olduğu ve kullanmış olduğu üç adet rijitlik parametresi ile gerçeğe daha uygun davranış sergileyeceği, HS\_SS malzeme modelinin ise dolgu malzemesi gibi granüler yapıda olan veya aşırı konsolide olan malzemelerde kullanımının daha uygun olduğu yapılan analizler sonucunda görülmüştür. SS model yumuşak veya organik zeminlerin tanımlanmasında tercih edilmesi gereken üst düzey bir modeldir.

Model, makale kapsamında kullanılan yumuşak kil zeminin tanımlanmasında uygundur, sert zeminlerin bu model ile tanımlanması diğer

modellere göre daha az kritik dolgu yüksekliği elde edilmesine neden olmuştur. MCC model SS model ile aynı disiplinde çalışmakta ancak normal konsolide killeri dışındaki zeminlerin tanımlanmasında kullanılmaları durumunda çok büyük kayma gerilmelerinin oluşmasına neden olarak daha düşük yüklemeye seviyelerinde göçme davranışı sergilemektedirler ve bu yolla inşa edilebilecek dolgu yüksekliğini az hesaplayarak dolgu-temel zemini davranışını gerçekçi bir şekilde yansıtamamaktadır. Makalenin diğer bir odak noktası ise dolgunun farklı malzeme parametreleri ve değişik uygulamalar ile inşasının, kritik yükseklik üzerindeki etkisinin değerlendirilmesidir. Dolgunun gerek mukavemet parametreleri gerekse şev eğimi açısından kendi stabilitesini sağlayabilecek yeterlilikte olması durumunda, dolgu-temel zemini ortamının davranışını yönlendiren temel etken yumuşak zemin sebebi ile meydana gelen deformasyonlar olmaktadır. Dolgu kayma mukavemeti parametrelerinin azaltılması sonucunda, sistem davranışı sadece yumuşak temel zemininin deformasyonlarından etkilenmeyip, özellikle dolgu şev başlığında biriken deplasmanlar, sistemi göçmeye götürebilmektedir. Dolgu birim hacim ağırlığının azaltılması durumunda ise temel zeminine etkileyen yüklerin azalması sonucu yumuşak zemin içerisinde meydana gelen yer değiştirmeler azalmakta ve elde edilebilen kritik dolgu yüksekliği değeri ile birlikte sistemin güvenlik sayısı da artmaktadır. Dolgu-zemin ara yüzüne güçlendirme amacı ile serilen geotekstil malzeme, karşıladığı çekme gerilmeleri ile sistem dayanımını arttırmakta ve bu yolla ulaşılabilecek olan kritik dolgu yüksekliği değeri de (MC malzeme modeli hariç) ciddi oranda artmaktadır.

## 5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma 56243 ve 46366 nolu UDP ve 20589 nolu doktora tez projeleri ile İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir, teşekkür ederiz.

## 6. KAYNAKLAR

1. Wen, Y., Zhou, J., Jia, M., 2007. Critical Edge Pressure of Soft Clay Foundation Considering

Closure Effect, Rock and Soil Mechanics, 28(8).

2. Deb, K., Dey, A., Chandra, S., 2007. Modeling of Layered Soil System, FIYGEC.
3. Akbay Arama, Z., Yaramış, M., Çinicioğlu, S.F., 2013. Tabakalaşmış Zeminler Üzerinde Yer Alan Genişletilmiş Yol Dolgularının Nümerik Analizi, 5. Geoteknik Sempozyumu.
4. Akbay Arama, Z., Çinicioğlu, S. F., 2014. Analysis of the Influence of Embankment Widening on Layered Foundation Soils, XV (DECGE).
5. Akbay Arama, Z., Çinicioğlu, S.F., Öser, C., 2015. Analysis of Embankment Widening Problems, XVI European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering.
6. Akbay Arama, Z., Çinicioğlu, S. F., 2015. Tabakalanmış Killi Zeminler Üzerinde Yer Alan Dolgularda Kritik Yükseklik, 6. Geoteknik Sempozyumu.
7. Australia Queensland Government Department of Transport and Main Roads, 2015. Manual Geotechnical Design Standart.
8. Surarak, C., 2010. Geotechnical Aspects of the Bangkok MRT Blue Line Project, GU School of Engineering, PhD thesis.
9. Brinkgreve, R. B. J., Kumarswamy, S., Swolfs, W. M., 2011. Plaxis Material Models Manual.
10. Brinkgreve, R. B. J., Engin, E., Engin, H. K., 2010. Validation of Empirical Formulas to Derive Model Parameters for Sands, Numerical Methods in Geotechnical Engineering, London.
11. Boogert, T.D., Duijnen, P.V., Eekelen, S.V., 2012. Numerical Analysis of Geosynthetic Reinforced Piled Embankment Scale Model Tests, Delft.
12. Surarak, C., Likitlersuang, S., Wanatowski, D., Balasubramaniam, A., Oh, E., Guan, H., 2012. Stiffness and Strength Parameters for Hardening Soil Model of Soft and Stiff Bangkok Clays, Soils and Foundations, 52(4), 682-697.

## Estimation of Moist Air Thermodynamic Properties using Artificial Neural Network

Arif OZBEK\*<sup>1</sup>

Çukurova Üniversitesi, Ceyhan Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 04.01.2016

Kabul tarihi: 09.03.2016

### Abstract

In this study, the equations obtained non-iteratively are presented for moist air thermodynamic properties as a function of dry-bulb temperature and relative humidity. In this regard, an artificial neural network (ANN) was performed by using MATLAB software. In the ANN, dry-bulb temperature and relative humidity were specified as inputs, and water vapor saturation and partial pressures, wet-bulb and dew-point temperatures were determined as outputs. The sensitivity of the neural network performance was also controlled, and acceptable accuracy was obtained for all estimations for practical applications. The moist air thermodynamic properties can be alternatively estimated with the mean absolute percentage error (MAPE) of less than 0,5% by using the developed model. With respect to the acquired results, this model supplies simple and correct predictions to specify moist air thermodynamic properties non-iteratively. Determination of moist air thermodynamic properties using ANN approach is a good alternative to some other mathematical models.

**Keywords:** Air thermodynamic properties; Dry-bulb temperature; Wet-bulb temperature; Relative humidity; Artificial Neural Network (ANN)

### Yapay Sinir Ağları Kullanarak Nemli Havanın Termodinamik Özelliklerinin Tahmini

#### Özet

Bu çalışmada, nemli havanın termodinamik özellikleri kuru termometre sıcaklığı ve bağıl nemin bir fonksiyonu olarak iterasyona gerek olmadan eşitlikler ile sunulmuştur. Bu amaçla, MATLAB programı kullanılarak yapay sinir ağları metodu uygulanmıştır. Bu metotta kuru termometre sıcaklığı ve bağıl nem girdi verisi olarak kullanılırken; su buharının doyma ve kısmi basınçları ile yağ termometre ve çığ noktası sıcaklıkları da çıktı olarak hesaplanmıştır. Yapay sinir ağları hassasiyeti ile beraber hesaplamalardaki doğruluklar da kontrol edilmiştir. Kullanılan model ile nemli havanın termodinamik özellikleri 0,5'ten daha düşük ortalama mutlak yüzde hata değeri ile hesaplanmıştır. Elde edilen değerlere göre bu model iterasyona gerek olmadan nemli havanın termodinamik özelliklerini belirlemede basit ve doğru tahminler

---

\* Yazışmanın yapılacağı yazar: Arif OZBEK. Çukurova Üniversitesi Ceyhan Müh. Fakültesi, Makine Müh. Bölümü, Adana. arozbe@cu.edu.tr

sunmaktadır. Yapay sinir ağıları kullanarak nemli havanın termodinamik özelliklerinin tespiti diğer matematik modellere iyi bir alternatif oluşturmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Havanın termodinamik özellikleri; Kuru termometre sıcaklığı; Yaş termometre sıcaklığı; Bağıl nem, Yapay sinir ağıları.

## 1. INTRODUCTION

Psychrometry is related to the determination of physical and thermodynamic properties of gas-vapor mixtures. Psychrometric calculations are often necessary in a number of engineering and agricultural applications such as humidification, dehumidification, heating, ventilating, air-conditioning, meteorology, drying of food and agricultural products and grain storage. In some chemical and food industries, other systems such as air-toluene and air-benzene systems are also found [1].

The psychrometric chart shows the thermodynamic parameters of moist air at constant pressure. Knowledge of any two variables defines the state point from which all the other variables could be acquired in this chart. Even though analytical expressions have been improved for all the psychrometric parameters, calculation of the psychrometric variables cannot always be simple since some expressions are implicit in their nature. In such cases, an iterative technique should be performed in order to identify the psychrometric properties, which is very time consuming. Another popular approximation is the application of a psychrometric chart, which runs the risk of major human errors [1]. Therefore, application of the ANN approach, which is presented in this study, may be a reliable and accurate method of obtaining the output data quickly.

There are many studies using Artificial Neural Network (ANN) for the applications of air forecast and air thermodynamic properties [1-8]. In general, the psychrometric chart is used for obtaining the values of moist air thermodynamic properties. Some errors may occur when reading the parameters from the psychrometric chart. Mathematical models are developed to improve calculation accuracy. However, some equations are

implicit in nature. In particular, the analytical solution of wet-bulb temperature is very difficult. On the other hand, there is no analytical solution for obtaining the wet-bulb temperature except for the trial or secant method, which is cumbersome [9]. The aim of the current study is to predict the moist air thermodynamic properties by means of a developed non-iterative method. For this purpose, an ANN model was carried out using MATLAB software. In the ANN model, relative humidity ( $\phi$ ) and dry-bulb temperature ( $T_{db}$ ) were inputs, and wet-bulb temperature ( $T_{wb}$ ), dew-point temperature ( $T_{dp}$ ), partial pressure of water vapor ( $P_w$ ) and water vapor saturation pressure ( $P_{ws}$ ) were outputs. The developed ANN models offer various advantages over conventional deterministic analytical models including their simplicity and lack of need for iteration.

## 2. METHODOLOGY

### 2.1. Psychrometric Equations

Usually,  $\phi$  and  $T_{db}$  are available from instrumental measurements. Knowing the values of  $\phi$  and  $T_{db}$ , the moist air thermodynamic properties such as  $P_{ws}$ ,  $P_w$ ,  $T_{dp}$ , and  $T_{wb}$  can be calculated in the psychrometric chart. They can also be calculated with some known equations at various atmospheric pressures.  $P_{ws}$  at a temperature of  $T_{db}$  can be calculated by [7]:

$$\text{for } -50^\circ\text{C} \leq T_{db} < 0^\circ\text{C} \\ T = 273,15 + T_{db} \quad (1)$$

$$\ln(P_{ws}) = -5.6745 \times 10^3 / T - 0.5152 - 9.6778 \times 10^{-3} \times T \\ + 6.2216 \times 10^{-7} \times T^2 + 2.0748 \times 10^{-9} \times T^3 \\ - 9.484 \times 10^{-3} \times T^4 + 4.1635 \times \ln(T) \quad (2)$$

$$\text{for } 0^\circ\text{C} \leq T_{db} \leq 200^\circ\text{C}$$

$$\ln(P_{ws}) = -5.8002 \times 10^3 / T - 5.5163 - 4.864 \times 10^{-2} \times T + 4.1765 \times 10^{-5} \times T^2 - 1.4452 \times 10^{-8} \times T^3 + 6.546 \times \ln(T) \quad (3)$$

$P_w$ ,  $T_{dp}$  and  $T_{wb}$  can be calculated by the following equations;

$$P_w = \phi P_{ws} \quad (4)$$

$$W = \frac{0.62198 P_w}{P_{atm} - P_w} \quad (5)$$

$$B = \ln(P_w) \quad (6)$$

if  $T_{dp} < 0^\circ\text{C}$

$$T_{dp} = 6.09 + 12.608B + 0.4959B^2 \quad (7)$$

if  $0^\circ\text{C} \leq T_{dp} \leq 93^\circ\text{C}$

$$T_{dp} = 6.54 + 14.526B + 0.7389B^2 + 0.09486B^3 + 0.4569P_w^{0.1984} \quad (8)$$

$$T_{wb} = \frac{1.006T + W(2501 + 1.805.T) - 2501W_s}{4.186W - 2.381W_s + 1.006} \quad (9)$$

where  $P_{atm}$  is the atmospheric pressure (kPa),  $W$  is the humidity ratio (kg/kg) and  $W_s$  is the saturation humidity ratio at  $T_{wb}$  [10].

### 2.2. Data Generation and Analysis

The monthly average values of meteorological parameters used in the study were obtained at the measuring station of Adana. Meteorological data observed between 2000 and 2009 were provided by the Turkish State Meteorological Service (TSMS). This measuring station is placed at 36°59” North latitude and 35°18” East longitude geographical coordinates. The station is situated at an altitude of 28 m above sea level and is located in the Eastern Mediterranean region of Turkey. The observed meteorological parameters are  $\phi$ ,  $T_{db}$  and  $P_{atm}$ . The main statistical characteristics of these variables are given in Table 1. It is shown that the mean monthly  $P_{atm}$  varies between 100.1 and 102,1 kPa with an average value of 101 kPa.  $T_{db}$  varies strongly between 6,7 and 29,8 m/s with a mean value of 19,2 °C. The mean monthly  $\phi$  is between 56,1% and 80,7%. By taking the values of  $\phi$ ,  $T_{db}$  and  $P_{atm}$ , the psychrometric properties such as  $P_{ws}$ ,  $P_w$ ,  $T_{dp}$ , and  $T_{wb}$  were generated using Eqs. (1-9). Table 1 also includes the important statistical properties of these variables.

**Table 1.** The monthly statistical properties of observed meteorological data and moist air thermodynamic properties

Variable	Unit	Minimum	Maximum	Mean	Standard deviation
$T_{db}$	°C	6,7	29,8	19,2	7,3
$\phi$	%	56,1	80,7	68,9	5,7
$P_{atm}$	kPa	100,1	102,1	101,0	0,48
$P_{ws}$	kPa	0,98	4,20	2,43	1,04
$P_w$	kPa	0,59	3,29	1,69	0,78
$T_{dp}$	°C	-0,5	25,6	13,4	7,3
$T_{wb}$	°C	3,7	26,7	15,6	6,8

### 2.3. Artificial Neural Networks

Artificial Neural Networks (ANNs) generate a number of very simple interconnected processing elements [11]. It can be described as a system which occurs with many nonlinear artificial neurons running in parallel, which may be created as one layer or multiple layers. In recent years

there has been increased interest in ANNs. The ANN models have been applied successfully in different fields of engineering, mathematics, meteorology, medicine, neurology, psychology and economics, in adaptive and robotic control, in thermal and electrical load estimations and many other areas [12,13].

Neuron is a primary processing element of an ANN. The network generally includes an input layer, the output layer and hidden layers [14,15]. A neuron  $j$  can be depicted mathematically with the following equations [16];

$$u_j = \sum_{i=0}^p w_{ji} y_i \quad (10)$$

and

$$y_j = \varphi(u_j - \theta_j) \quad (11)$$

The ANN collects a set of inputs or signals ( $y$ ) with weight ( $w$ ), calculates a weighted mean of them ( $u$ ) using the summation function and then uses some activation function ( $\varphi$ ) to generate an output ( $y$ ). The utilizing of threshold ( $\theta$ ) has the effect of performing an affine transformation to the output ( $u$ ) of the linear combiner. The following equation shows the sigmoid logistic non-linear function expressed as follows [12]:

$$\varphi(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (12)$$

#### 2.4. Parameters used for Error Analysis

The performances of the models were evaluated by using coefficient of determination ( $R^2$ ), the mean absolute error (MAE) and the mean absolute percentage error (MAPE). MAE and MAPE are defined as [12]:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n abs|p_i - m_i| \quad (13)$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|p_i - m_i|}{p_i} \cdot 100 \quad (14)$$

where  $n$  is the total number of data,  $p$  is the predicted value and  $m$  is the measured value.

### 3. RESULTS AND DISCUSSIONS

The moist air thermodynamic properties can be directly simulated as a function of the dry-bulb

temperature, relative humidity, atmospheric pressure and the following non-linear equation is considered:

$$(P_{ws}, P_w, T_{dp}, T_{wb}) = f(T_{db}, \varphi, P_{atm}) \quad (15)$$

In the ANN method, the most important point is to choose the predictor variables that supply the best estimation equation for modeling of the dependent variable. In order to find out  $P_{ws}$ , it is sufficient to know the value of the  $T_{db}$  parameter. Therefore,  $T_{db}$  is selected as the independent variable in modeling of  $P_{ws}$ . As can be seen from Eq. (4),  $P_w$  value depends on the parameters of  $\varphi$  and  $P_{ws}$  (hence  $T_{db}$ ). Therefore,  $\varphi$  and the derived  $P_{ws}$  equation were used in modeling of  $P_w$ . Furthermore,  $T_{dp}$  and  $T_{wb}$  values indirectly depend on the parameters of  $\varphi$ ,  $T_{db}$  and  $P_{atm}$ . In particular,  $T_{wb}$  is very difficult to solve analytically. As seen in Table 1,  $P_{atm}$  the value changes between 100,1 kPa and 102,1 kPa and it is not selected as an independent variable because its value does not change too much. In addition,  $\varphi$  and  $T_{db}$  are the two most important meteorological parameters which are measured easily throughout the world including Turkey. The moist air thermodynamic properties can be calculated easily with a high level of accuracy depending on only two variables ( $\varphi$  and  $T_{db}$ ). As mentioned earlier, the purpose of this study is the prediction of thermodynamic properties of moist air by using the equations, which are uncomplicated, and do not require too many variables and iterations. For instance,  $\varphi$  and  $T_{db}$  were selected as predictor variables to acquire the predictive equation for modeling of the moist air thermodynamic properties.

A total of 120 data records were used for the modeling of moist air thermodynamic properties. This data set was divided into two parts: the training and testing data sets. The measured data between 2000 and 2007 were applied for training and the 24 months of data of 2008 and 2009 were used for testing. After different training algorithms were used, Levenberg–Marquardt (LM) learning algorithm was used in the network of the present study. The input layer does not include any transfer function. Linear transfer function (purelin)



and Logistic sigmoid transfer function (logsig) were applied in the output and hidden layers of the network. The number of hidden layers was chosen as small to avoid very complex equations which will be obtained from the simulations. Therefore, the number of hidden layers was chosen as 1 to find  $P_{ws}$  and as 2 in order to find  $T_{dp}$  and  $T_{wb}$  parameters. The models were tested by testing data set, which was not used during the training

process. Finally, the moist air thermodynamic properties were modeled. For  $55\% \leq \varphi \leq 80\%$  and  $5^\circ\text{C} \leq T_{db} \leq 30^\circ\text{C}$ , the new equations for the outputs are given with Eqs. (16-19). These equations can be used for the prediction of the water vapor saturation pressure, partial pressure of water vapor, dew-point temperature and wet-bulb temperature.

$$P_{ws} = 39.52098 - \frac{39.66352}{1 + \exp(0.06228T_{db} - 3.95283)} \quad (16)$$

$$P_w = \frac{\varphi}{100} \left[ 39.52098 - \frac{39.66352}{1 + \exp(0.06228T_{db} - 3.95283)} \right] \quad (17)$$

$$T_{dp} = -147.41387 - \frac{21.35108}{1 + \exp(-0.03933\varphi + 0.01954T_{db} + 3.38298)} + \frac{352.47471}{1 + \exp(-0.00438\varphi - 0.00997T_{db} + 0.60604)} \quad (18)$$

$$T_{wb} = 131.42789 + \frac{39.90177}{1 + \exp(0.01827\varphi - 0.03291T_{db} - 1.69131)} - \frac{206.98595}{1 + \exp(0.0061\varphi + 0.01505T_{db} - 1.57084)} \quad (19)$$

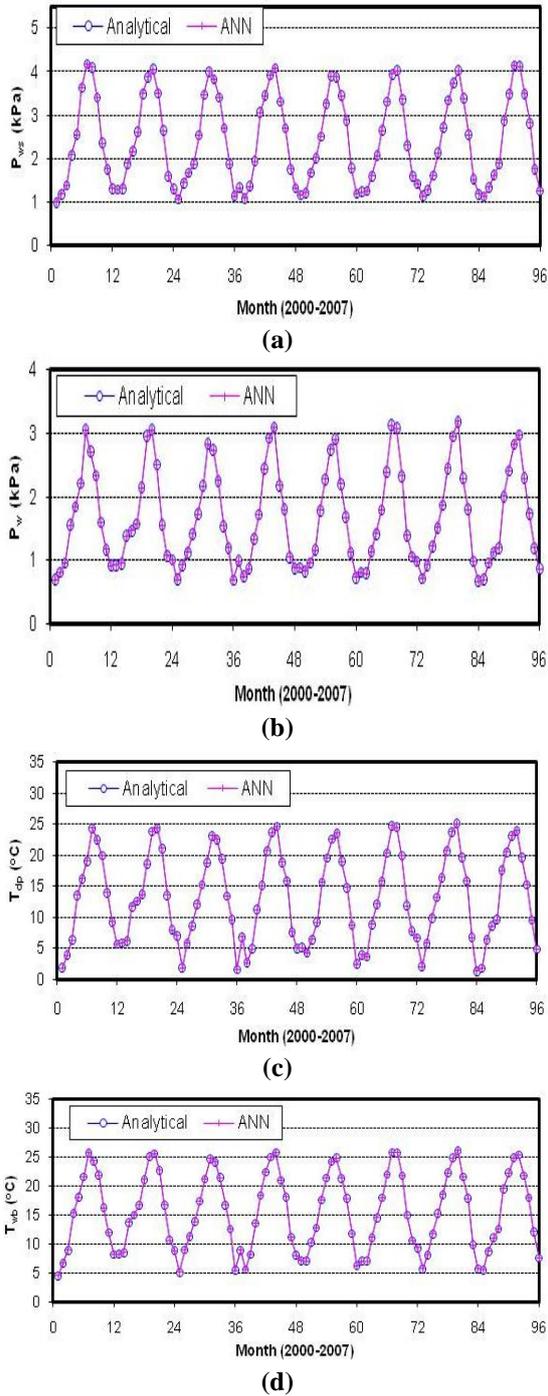
For the ANN models, training and testing results are given in Table 2. As can be seen from this table, errors are within acceptable limits. For the testing data set, the MAPE ranged from 0.01038% to 0,42516%.

The maximum MAE was calculated to be 0,01052 °C for  $T_{dp}$ . Otherwise; the best result was calculated to be 0,00020 kPa for  $P_w$ .

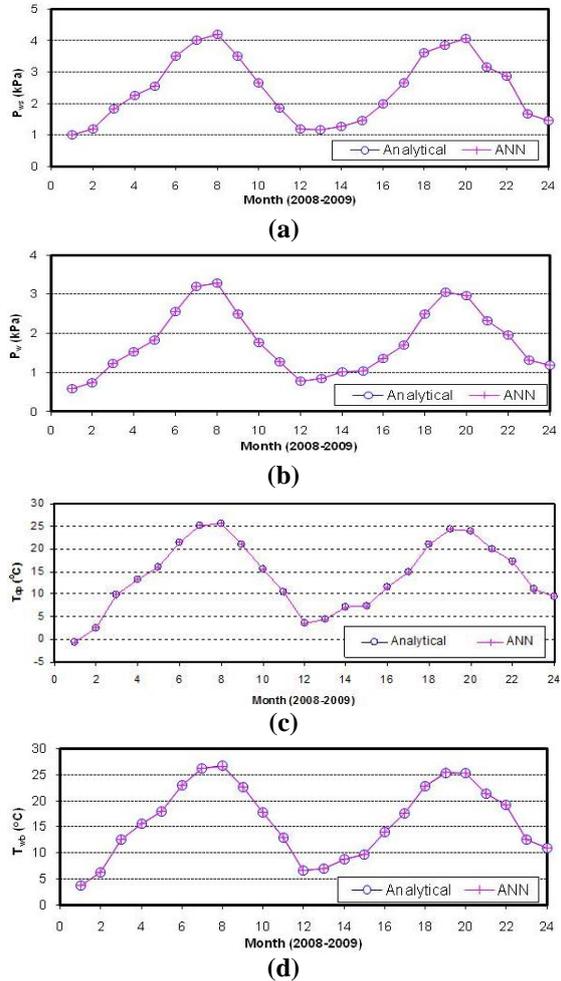
Figures 1 and 2 present comparisons between analytical data and ANN predictions for the training data set and testing data set, respectively. As observed from the figures, the prediction results agree quite closely with the corresponding analytical data. According to the results derived, the developed ANN models provide a simple and accurate prediction to determine moist air thermodynamic properties in a non-iterative method.

**Table 2.** Performance values of ANN models

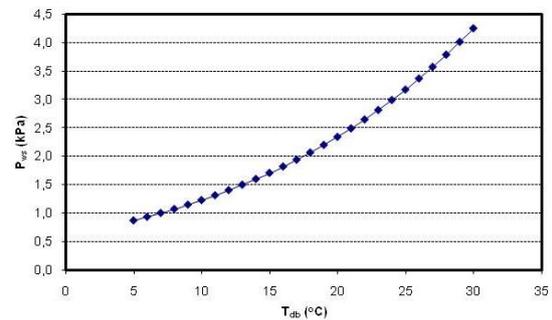
Output	Training data set		Testing data set	
	MAE	MAPE	MAE	MAPE
$P_{ws}$ (kPa)	0,0001	0,0092	0,0002	0,0104
$P_w$ (kPa)	0,0001	0,0113	0,0002	0,0126
$T_{dp}$ (°C)	0,0037	0,0521	0,0105	0,4252
$T_{wb}$ (°C)	0,0058	0,0525	0,0068	0,0614



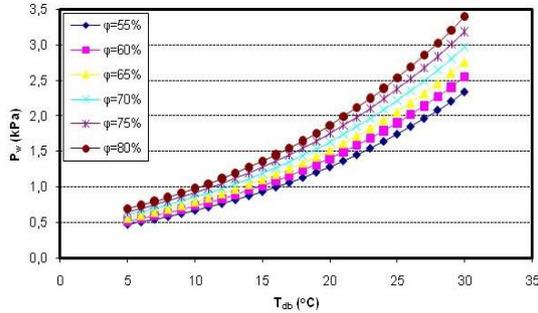
**Figure 1.** Comparison between prediction of ANN and analytical results for training data set (a)  $P_{ws}$ , (b)  $P_w$ , (c)  $T_{dp}$ , (d)  $T_{wb}$



**Figure 2.** Comparison between prediction of ANN and analytical results for testing data set (a)  $P_{ws}$ , (b)  $P_w$ , (c)  $T_{dp}$ , (d)  $T_{wb}$

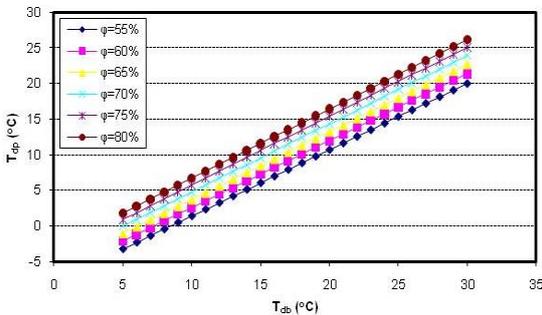


**Figure 3.** The variation of  $P_{ws}$  obtained from Eq. (16)

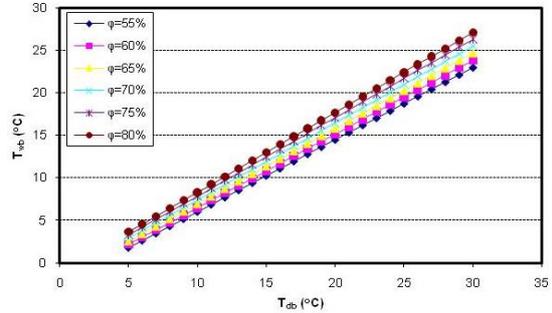


**Figure 4.** The variation of  $P_w$  obtained from Eq. (17)

$P_{ws}$  was estimated with 0,01% error and Eq. (16) was obtained for  $P_{ws}$ . The variation of  $P_{ws}$  between 5 °C and 30 °C is illustrated in Figure 3. It can be seen from the figures that  $P_{ws}$  value depends only on  $T_{db}$  and it increases linearly with  $T_{db}$ . After obtaining the  $P_{ws}$  equation, Eq. (17) was achieved by using the  $P_w = \phi.P_{ws}$  equation.  $P_w$  can be estimated with approximately 0,01% error with Eq. (17). The variation of  $P_w$  between the values  $5^{\circ}\text{C} \leq T_{db} \leq 30^{\circ}\text{C}$  and  $55\% \leq \phi \leq 80\%$  is presented in Figure 4. As can be seen from the figure,  $P_w$  value increases linearly with the values of  $\phi$  and  $T_{db}$ .  $T_{dp}$  can be estimated with approximately 0.04% error by using Eq. (18). The variation of  $T_{dp}$  between the values  $5^{\circ}\text{C} \leq T_{db} \leq 30^{\circ}\text{C}$  and  $55\% \leq \phi \leq 80\%$  is demonstrated in Figure 5. It can be seen from the figure that the value of  $T_{dp}$  increases linearly with the values of  $\phi$  and  $T_{db}$ . In order to calculate  $T_{wb}$  mathematically, iteration must be done. But,  $T_{wb}$  can be calculated with approximately 0.4% error by using Eq. (19). The variation of  $T_{wb}$  between the values  $5^{\circ}\text{C} \leq T_{db} \leq 30^{\circ}\text{C}$  and  $55\% \leq \phi \leq 80\%$  is shown in Figure 6.



**Figure 5.** The variation of  $T_{dp}$  obtained from Eq. (18)



**Figure 6.** The variation of  $T_{wb}$  obtained from Eq. (19)

#### 4. CONCLUSION

In this study, artificial neural network (ANN) models were presented for the prediction of moist air thermodynamic properties. The new equations were developed to predict  $P_{ws}$ ,  $P_w$ ,  $T_{dp}$  and  $T_{wb}$  as a function of  $\phi$  and  $T_{db}$ . These equations are valid for relative humidities between 55% and 80% and for dry bulb temperatures between 5°C and 30°C. Over the valid range, the obtained equations generally resulted in a good statistical performance with MAPEs in the range of 0,01038–0,42516%. This study reveals that, as an alternative to mathematical models, the moist air thermodynamic properties can be modeled accurately using the ANN approach. The advantage of this approach is that having  $\phi$  and  $T_{db}$  variables,  $P_{ws}$ ,  $P_w$ ,  $T_{dp}$  and  $T_{wb}$  can be predicted quickly and satisfactorily. This approach can help manufacturers further in order to reduce time and engineering efforts.

#### 5. REFERENCES

1. Sreekanth, S., Ramaswamy, H.S., Sablani, S. 1998. Prediction of Psychrometric Parameters Using Neural Networks, *Drying Technology: An International J.* 16: 825-837.
2. Bialobrzeski, I. 2008. Neural Modeling of Relative Air Humidity. *Computers and Electronics in Agric.* 60: 1-7.
3. De, S.S., Debnath, A. 2009. Artificial Neural Network Based Prediction of Maximum and Minimum Temperature in the Summer Monsoon Months Over India. *Applied Physics Research* 1: 37-44.

4. Joshi, P., Ganju, A. 2012. Maximum and Minimum Temperature Prediction Over Western Himalaya Using Artificial Neural Network. *Mausam*. 63: 283-290.
5. Kisi, O., Kim, S., Shiri, J. 2013. Estimation of Dew Point Temperature Using Neuro-Fuzzy and Neural Network Techniques. *Theoretical and Applied Climatology* 114: 365-373.
6. Kuligowski. R.J., Barros, A.P. 1998. Localized Precipitation Forecasts from a Numerical Weather Prediction Model Using Artificial Neural Networks. *Weather and Forecasting* 13: 1194-1204.
7. Mittal, G.S. 2003. Zhang J Artificial Neural Network-Based Psychrometric Predictor. *Biosystems Engineering* 85: 283-289.
8. Wilhelm, L.R. 1976. Numerical Calculation of Psychrometric Properties in SI units. *Transactions of the ASAE* 19: 318-321.
9. Singh, A.K., Singh, H., Singh, S.P., Sawhney, R.L. 2002. Numerical Calculation of Psychrometric Properties on a Calculator. *Building and Environment* 37: 415-419.
10. ASHRAE. 1993. *ASHRAE Handbook Fundamentals*. ASHRAE. Atlanta.
11. Tabari, H., Kisi, O., Ezani, A., Talaei, P.H. 2012. SVM, ANFIS, Regression and Climate Based Models for Reference Evapotranspiration Modeling Using Limited Climatic Data in a Semi-Arid Highland Environment. *Journal of Hydrology* 444-445:78-89.
12. Bilgili, M. 2010. Prediction of Soil Temperature Using Regression and Artificial Neural Network Models. *Meteorology and Atmospheric Physics* 110: 59-70.
13. Hosoz, M., Ertunc, H.M., Bulgurcu, H. 2007. Performance Prediction of a Cooling Tower Using Artificial Neural Network. *Energy Conversion and Management* 48: 1349-1359.
14. Senkal, O., Yildiz, B.Y., Sahin, M., Pestemalci, V. 2012. Precipitable Water Modelling Using Artificial Neural Network in Çukurova Region. *Environmental Monitoring and Assessment* 184: 141-147.

## Determining Process Capability Indices for Shirting Fabric

Serap AKCAN\*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Aksaray

Geliş tarihi: 05.01.2016

Kabul tarihi: 31.03.2016

### Abstract

Organizations use process capability analysis to produce their products within specification limits for regular manufacturing. Process capability indices,  $C_p$  (process potential indices) and  $C_{pk}$  (process capability indices), are used as capability measures. In this study, process capability analysis and process capability indices are discussed in the context of a textile factory that produces shirting fabrics in Turkey. In this factory, it is desired that the amount of wastage fabric does not exceed the upper limit that identified from production manager. If the amount of wastage fabric increases, the number of unsatisfied customers will also increase. And, this situation is caused increasing cost and decreasing competitiveness for factory. For these reasons,  $C_p$  and  $C_{pk}$  indices were calculated for the textile factory. As a consequence of this study, we discovered that the process was inadequate precautions must be undertaken to decrease the amount of wastage fabric. Furthermore, the fabric faults which cause wastage fabric and the reasons for the process' inadequacies were also investigated.

**Keywords:** Process capability analysis, Process capability indices, Textile, Fabric faults, Case study

## Gömlük Kumaş için Proses Yeterlilik İndekslerinin Belirlenmesi

### Özet

Şirketler düzenli üretim yapabilmek için ürettikleri ürünlerin spesifikasyon limitleri dahilinde üretilmesini arzu ederler. Proses yeterlilik indeksleri  $C_p$  (proses potansiyel indeksi) ve  $C_{pk}$  (proses yeterlilik indeksi) yeterlilik ölçümleri için kullanılır. Bu çalışmada, Türkiye'de gömlük kumaşlar üreten bir tekstil fabrikasında proses yeterlilik analizi ve proses yeterlilik indeksleri tartışılmıştır. Bu fabrikada, fire kumaş miktarının üretim yöneticisi tarafından belirlenen üst sınırı aşmaması arzu edilmektedir. Eğer fire kumaş miktarı artarsa, memnun olmayan müşteri sayısında da artış olacaktır. Ve bu durum, fabrika için artan maliyete ve azalan rekabet gücüne sebep olacaktır. Bu sebeple, bu tekstil fabrikası için  $C_p$  ve  $C_{pk}$  indeksleri hesaplanmıştır. Çalışmanın sonucunda, incelenen tekstil fabrikasında prosesin yetersiz olduğu

---

\* Yazışmaların yapılacağı yazar: Serap AKCAN, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Aksaray. serapakcan@aksaray.edu.tr

ve fire kumaş miktarının azaltılması için bazı önlemlerin alınması gerektiği görülmüştür. Ayrıca, fire kumaşa sebep olan kumaş hataları ve sürecin yetersizliği sebepleri de araştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Proses yeterlilik analizi, Proses yeterlilik indeksleri, Tekstil, kumaş hataları, Örnek olay çalışması.

## 1. INTRODUCTION

Nowadays, competitiveness is very important for organizations to continue one's existence. To compete with other organizations it is not enough to produce quality product. Now, customers desire to buy quality product at a cheaper price. For this reason, organizations must put emphasis on both quality and cost. Process capability analysis (PCA) provides opportunity for organizations to improve their product's quality and decrease costs.

In the manufacturing sector, products must be produced within specification limits; process capability analysis can help reach this goal. The first step to measure process capability is to define the process, and the second step is to define the specification limits. In process capability analysis, data obtained from the process are compared with the specification limits to decide whether a process is adequate.  $C_p$  and  $C_{pk}$ , known as process capability indices, are used to evaluate the process capability.

Some studies of PCA can be seen in the literature. The base studies of  $C_p$  and  $C_{pk}$  are by Kotz and Johnson (1993) [1] and Kotz and Lovelace (1998) [2]. A pragmatic view of process capability studies and the advantages and disadvantages of PCA were reported by Deleryd (1999) [3]. Some advantages of PCA presented in this paper are the method provides a lot of knowledge of the processes, the method helps identifying improvement priorities. Some disadvantages are it might be hard to motivate co-workers, the method is resource consuming and that it involves some relatively difficult theory. A bibliography of process capability studies was presented by Spiring et al. (2003) [4]. Motorcu and Güllü (2006) [5] presented a case study for machine tool capability

and process capability. They detected the machine tool and process capability for the whole process was inadequate and mass production was unstable. Owing to this study, faults were eliminated, quality was improved and productions costs were reduced. Akcan and Kahraman (2008) [6] presented PCA for a machining company. Delaney and Phelan (2009) [7] used process capability data to predict product performance variation early in the design process. In this study, a method by which process capability data can be applied to predict product performance variation early in the design process was presented. Therefore, redesign costs were reduced.

Ozyazgan (2014) [8] presented FMEA analysis and implementation in a textile factory producing woven fabric. In this study some fault types were determined. These were foreign fiber in weft, weft ladder, warp breaks, mesh, oil stains, reed marks, foot ladder, weft ladder and double weft.

This paper shows how PCA can be used in a textile production process by presenting a case study that uses real data from a textile factory that produces shirting fabrics and an outline for performing PCA of manufacturing processes.

The remainder of this paper is organized as follows: Section 2 presents PCA, Section 3 presents goodness-of-fit (GOF) tests, Section 4 presents case study, Section 5 presents results and discussion and conclusions are given in Section 6.

## 2. PROCESS CAPABILITY ANALYSIS

Process capability analysis is a well-defined tool within statistical process control techniques that continuously improves quality and productivity

[9]. The first aim for using PCA is to obtain information about the process and to determine if the process can be improved [3]. To improve the process,  $C_p$ , the process potential indices, and  $C_{pk}$ , the process capability indices, are calculated, which were defined by Juran (1974) [10] and Kane (1986) [11], respectively.

$C_p$  and  $C_{pk}$  are used to evaluate the process capability for data which fit a normal distribution. While  $C_p$  controls only the dispersion of the process,  $C_{pk}$  controls both the dispersion of the process and the variation between the mean and target values of the process. These capability indices have been described as:

$$C_p = (USL - LSL) / 6\sigma \quad \dots \quad (1)$$

$$C_{pu} = (USL - \mu) / 3\sigma \quad \dots \quad (2)$$

$$C_{pl} = (\mu - LSL) / 3\sigma \quad \dots \quad (3)$$

$$C_{pk} = \min\{C_{pu}, C_{pl}\} \quad \dots \quad (4)$$

Here;  $USL$  and  $LSL$  are the upper and lower specification limits,  $\mu$  is the process mean, and  $\sigma$  is the process' standard deviation. To decide whether a process is adequate according to  $C_p$  and  $C_{pk}$  indices, see Table 1.

**Table 1.**  $C_p$ ,  $C_{pk}$  indices and process capability decisions [12]

$C_p, C_{pk}$ indices	Process capability decisions
$C_p \geq 1.33$	Adequate
$1 < C_p \leq 1.33$	Satisfactory, but must be closely monitored
$C_p \leq 1$	Inadequate
$C_{pk} \geq 1.33$	Adequate
$1 < C_{pk} \leq 1.33$	Satisfactory, but; if $\mu$ go far from the process target, percentage of error can increase
$C_{pk} \leq 1$	Inadequate

### 3. GOODNESS OF FIT TESTS

A GOF test is a statistical hypothesis test used to describe how well the model fits a set observation.

A GOF test outlines the statistical discrepancy between the observed values and the values expected under the model. To decide GOF, different tests are used for different statistical models.

#### 3.1. Chi-square Test

The chi-square test is the oldest GOF test. A chi-square test, also referred to as a  $\chi^2$  test, is any statistical hypothesis test in which the sampling distribution of the test statistic is a chi-squared distribution when the null hypothesis is true.

To calculate the chi-square test statistic, the sample must be divided into the entire range of the fitted distribution in  $k$  adjacent intervals  $[a_0, a_1), [a_1, a_2), \dots, [a_{k-1}, a_k)$ , where it could be that  $a_0 = -\infty$ , in which case the first interval is  $(-\infty, a_1)$ ,  $a_k = +\infty$ , or both.  $N_j =$  number of  $x_i$ 's in the  $j$ th interval  $[a_{j-1}, a_j)$  for  $j = 1, 2, \dots, k$ . Next, the expected proportion  $p_j$  should be calculated. In the continuous case,

$$p_j = \int_{a_{j-1}}^{a_j} \hat{f}(x) dx \quad \dots \quad (5)$$

where  $\hat{f}$  is the density of the fitted distribution. For discrete data,

$$p_j = \sum_{a_{j-1} \leq x_i < a_j} \hat{p}(x_i) \quad \dots \quad (6)$$

where  $\hat{P}$  is the mass function of the fitted distribution. Finally, the test statistic is

$$\chi^2 = \sum_{j=1}^k \frac{(N_j - np_j)^2}{np_j} \quad \dots \quad (7)$$

If  $H_0$  is true, it will be expected  $\chi^2$  will be small if the fit is good (see [13]) for more information).

### 3.2. Kolmogorov–Smirnov (K-S) Test

If a sample comes from a hypothesized continuous distribution, the Kolmogorov-Smirnov (K-S) test is used to decide GOF. The K-S test is based on the empirical cumulative distribution function (ECDF). Assume that we have a random sample  $x_1, x_2, \dots, x_n$  from some continuous distribution with a CDF  $\hat{F}(x)$ . The ECDF is denoted by

$$F_n(x) = \frac{\text{number of observations} \leq x}{n} \dots \quad (8)$$

The K-S test statistic ( $D_n$ ) is the largest (vertical) distance between  $\hat{F}(x)$  and  $F_n(x)$ , defined as

$$D_n = \sup_x \left\{ |F_n(x) - \hat{F}(x)| \right\} \dots \quad (9)$$

If the test statistic ( $D_n$ ) is greater than the critical value obtained from a table, the null hypothesis is rejected at the chosen significance level (see [13] for more information).

### 3.3. Anderson-Darling Test

The Anderson-Darling test is designed to detect discrepancies in the tails. With the standard normal CDF ( $F$ ), the Anderson-Darling statistic ( $A^2$ ) is defined as

$$A^2 = -n - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (2i-1) \left[ \ln F(X_i) + \ln(1-F(X_{n-i+1})) \right] \quad (10)$$

An approximate adjustment  $A^{2*}$  for sample size is calculated using:

$$A^{2*} = A^2 \left( 1 + \frac{0.75}{n} + \frac{2.25}{n^2} \right) \dots \quad (11)$$

If the test statistic,  $A^{2*}$ , is greater than the critical value obtained from a table, the null hypothesis (the data follow the normal distribution) is rejected at the chosen significance level [14].

## 4. CASE STUDY

A medium-sized textile factory in Turkey that has produced shirting fabrics was investigated via PCA in this study. To meet customer satisfaction, the factory desires to produce faultless fabrics, decreasing the total cost and making more competitive prices feasible. For faultless manufacturing, it must be investigated whether the produced fabrics are within specification limits or not. Therefore, PCA was done for this factory. Figure 1 shows a flowchart for PCA.

1193 data points from wastage fabrics were collected for one year. The K-S test was performed to test for normality. The normal probability graph of these data is presented in Figure 2. As seen in Figure 2, since the *P-value* (0.071) is bigger than 0.05, we can say that with 95% confidence that these data come from a normal distribution.

We determined the data scatter within the specification limits using histograms, and the  $C_p$  and  $C_{pk}$  indices were calculated using a trial version of the statistics software package MINITAB 14 (www.minitab.com), as seen in Figure 3.

## 5. RESULTS and DISCUSSION

### 5.1. Results of Process Capability for Wastage Fabric Amount

As seen in Figure 3, capability indices were examined for both overall capability (long-term performance) and potential (within) capability (short-term performance).  $C_p$  was 0,37 and  $C_{pk}$  was 0,07, as seen in Figure 3. Because these values were smaller than 1, it can be said that the process was inadequate. It is desired that  $C_p$  and  $C_{pk}$  indices should be greater than or equal to 1,33. As seen in Figure 3, the sample mean of the process is close to the upper limit, meaning that skewness is shown at the upper limit of the process.



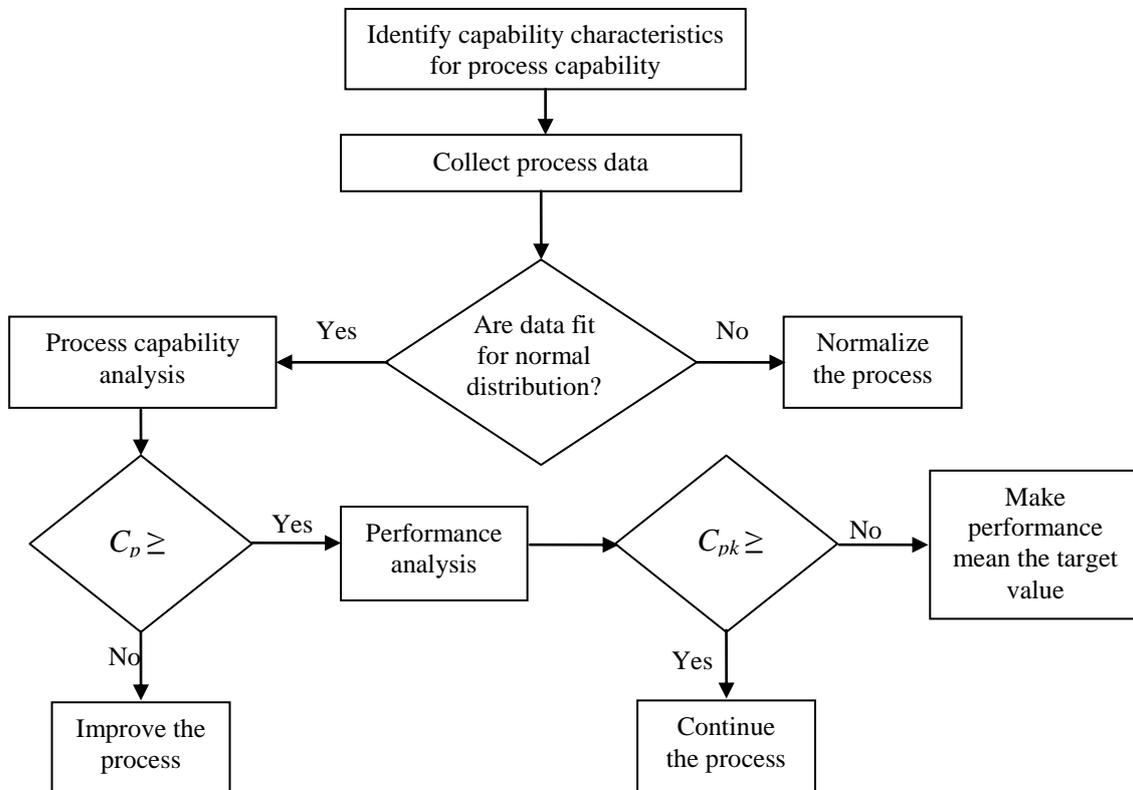


Figure 1. Flowchart of process capability analysis [15]

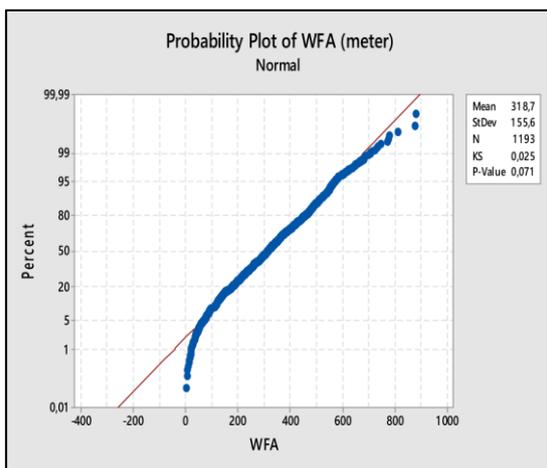


Figure 2. Normal probability plot of wastage fabric amount (WFA)

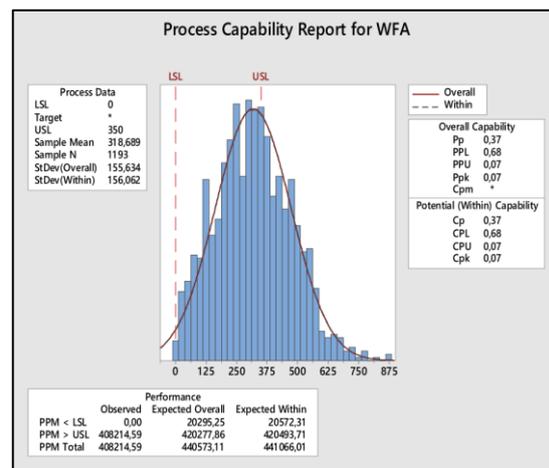


Figure 3. Process capability report for wastage fabric amount (WFA)

To improve the process, firstly, skewness should be investigated (please see [16] for more information about skewed processes).

The expected overall value shows how many data points are out of the limits in the long term and the expected within value shows how many data points are out of the limits in the short term. As seen in Figure 3, approximately 42 % of the data were above the upper limit and approximately 44 % of data were out of the limits.

### **5.2. Cause and Effect Diagram for Wastage Fabric**

Because the process which was investigated in this study was inadequate, cause and effect diagram was generated for investigating the reasons of inadequacy of the process (Figure 4). As seen in Figure 4, eight fault types (stain, broken, yellowing, seam slippage, foreign fiber in weft, weft ladder, warp breaks and reed marks) which are caused for wastage fabric were determined and the reasons of faults were investigated. It was seen that the most of faults resulted from personnel and machine. To resolve these faults; personnel should be trained, the lack of knowledge of personnel should be completed, the motivation of personnel should be increased, training about knowledge of the machine specifications should be given and it should be avoid from work overtime. Furthermore, outdated machine and machine parts should be changed, machine maintenance should be at the right time and the adjustment of reed should be controlled. The external environmental conditions are also important for resolve the faults. Therefore, it should be taken care on temperature and cleanliness of environment for preventing the insects and dusts stick with on fabric.

### **5.3. Investigating the Connection between Wastage Fabric and Months**

When we investigate the connection between wastage fabric amount and months seen in Figure 5, it can be seen that most of wastage fabrics occur in spring and summer months. It was observed that, the motivation and care of personnel are low and the dirtiness of environment is high in

summer months. Therefore, the faults are increase and correspondingly the amount of wastage fabric is increase, too. It is also seen in Figure 5 that the first three faults are broken, stain and yellowing, respectively.

### **5.4. The Effect of Pattern Difficulty on Wastage Fabric**

To see the effect of pattern difficulty on wastage fabric, the difficulty level was separated into four groups (1-very difficult, 2-difficult, 3-average and 4-not difficult). As seen in Figure 6, the textile factory investigated in this study produces mostly the fabrics which have not difficult patterns. The faults which are caused wastage fabric were seen mostly in group 4. Then, group 3, group 1 and group 2, respectively. Therefore, it can be said that the pattern difficulty is not affect the amount of wastage fabric. It can also be seen in Figure 6 that the first three faults are stain, broken and yellowing respectively.

## **6. CONCLUSIONS**

In this study, PCA was performed for a medium-sized textile factory in Turkey that produces shirting fabrics. As a result of this analysis, it was seen that the process was inadequate. Because the process was inadequate, the reasons for the process' inadequacies were also investigated.

To improve the process and decrease the amount of wastage fabric, some precautions have to be taken. For example, operators have to be trained, machines have to be maintained regularly. If these precautions are taken, the amount of wastage fabric will decrease, increasing customer satisfaction and decreasing costs. PCA analysis of data that are not normally distributed will be investigated in a future study.

## **7. ACKNOWLEDGEMENTS**

The author would like to thank the staffs of the textile factory, and the reviewers for their contributions to the paper.

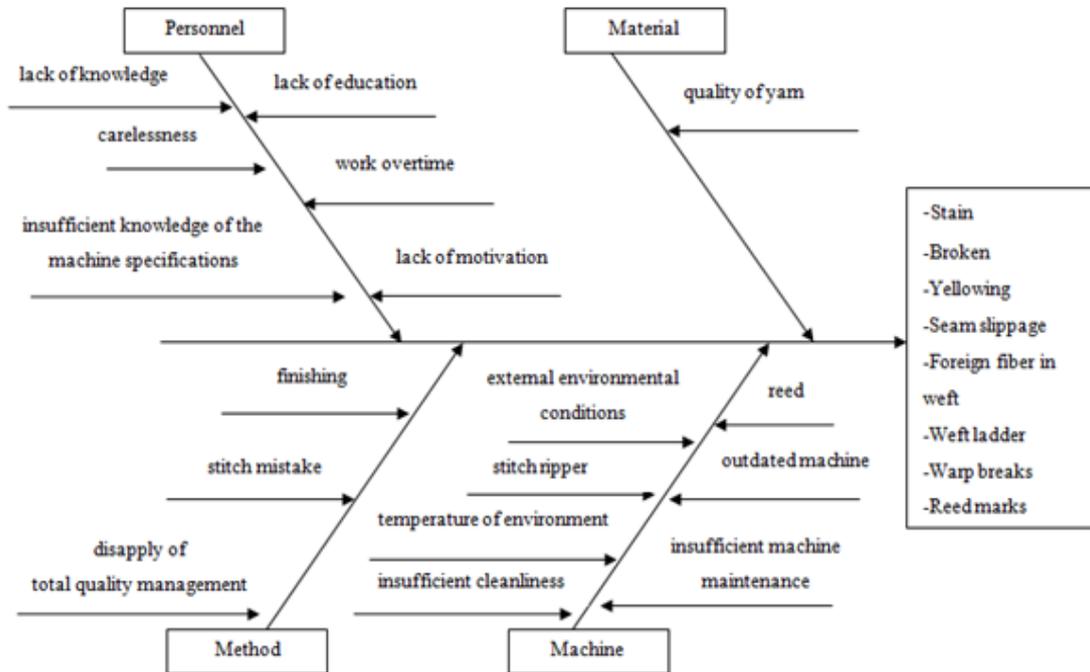


Figure 4. Cause and effect diagram for wastage fabric

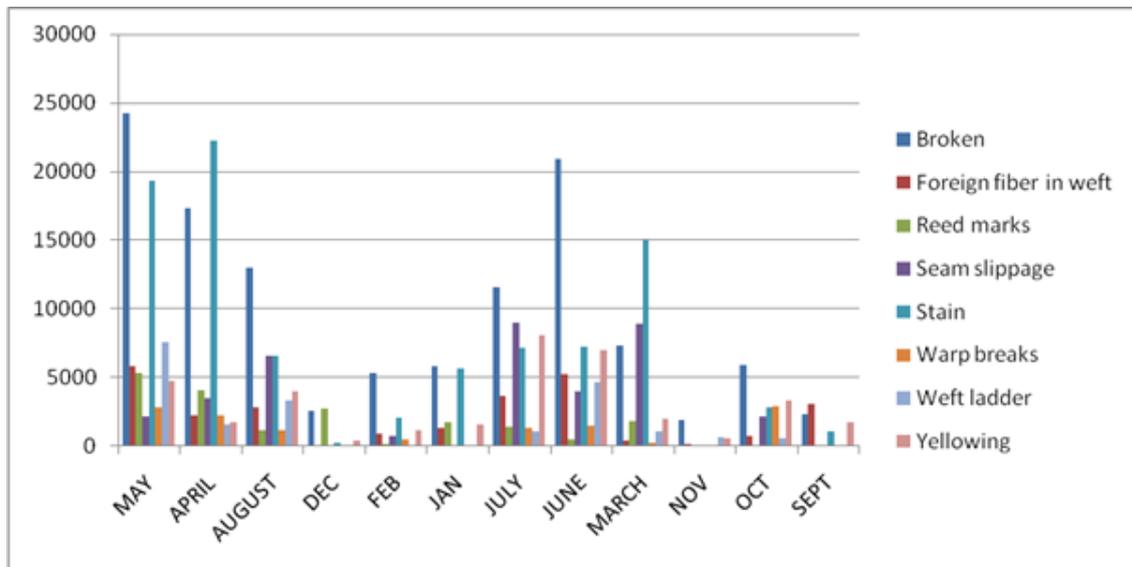
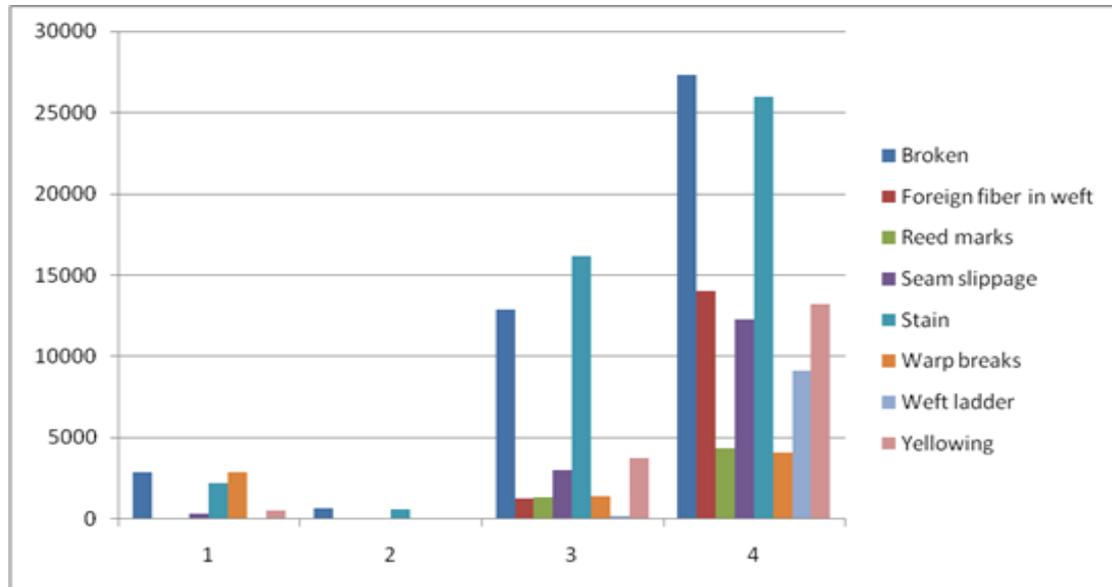


Figure 5. Investigating the connection between wastage fabric and months



**Figure 6.** The effect of pattern difficulty on wastage fabric

## 8. REFERENCES

- Kotz, S. and Johnson, N. L., 1993. Process Capability Indices, London: Chapman and Hall.
- Kotz, S., Lovelace, C., 1998. Process Capability Indices in Theory and Practice, London: Arnold.
- Deleryd, M., 1999. A Pragmatic View on Process Capability Studies, International Journal of Production Economics, 58: 319-330.
- Spiring, F. A., Leung, B., Cheng, S. W., Yeung, A., 2003. A Bibliography of Process Capability Papers, Quality and Reliability Engineering International, 19 (5): 445-460.
- Motorcu, A. R., Gullu, A., 2006. Statistical Process Control in Machining, A Case Study for Machine Tool Capability and Process Capability, Materials and Design, 27: 364-372.
- Akcan, S., Kahraman, F., 2008. Process Capability Analysis in a Machining Company, Çukurova University Journal of Faculty of Engineering and Architecture, 23:1, 359- 367.
- Delaney, K.D., Phelan, P., 2009. Design Improvement Using Process Capability Data, Journal of Materials Processing Technology, 209: 619-624.
- Ozyazgan, V., 2014. FMEA Analysis and Implementation in a Textile Factory Producing Woven Fabric, Journal of Textile and Apparel, 24 (3): 303- 308.
- Wu, C. W., Pearn, W. L., Kotz, S., 2009. An Overview of Theory and Practice on Process Capability Indices for Quality Assurance, International Journal of Production Economics, 117: 338-359.
- Juran, J. M., 1974. Juran's Quality Control Handbooks, 3rd ed. New York: McGraw-Hill.
- Kane, V. E., 1986. Process capability indices, Journal of Quality Technology, 18 (1): 41-52.
- Montgomery, D. C., 2005. Introduction to Statistical Quality Control, 5th ed. New York: John Wiley & Sons Inc.
- Law, A. M., 2007. Simulation Modeling and Analysis, 4th ed. New York: McGraw-Hill.
- Haridy, S., Wu, Z., Castagliola, P., 2011. Univariate and Multivariate Approaches for Evaluating the Capability of Dynamic-Behavior Process (case study), Statistical Methodology, 8: 185-203.

- 15.** Bircan, H., 2003. Excel Uygulamali Kalite Kontrol, Sivas: Yargi Yayınevi (in Turkish).
- 16.** Kao, S. C., 2012. Monitoring Turnaround Time Using an Average Control Chart in the Laboratory, International Journal of Industrial Engineering: Theory, Applications and Practice 19 (12): 476- 487.



## Kömürlerin Kimyasal Özelliklerinin Kendiliğinden Yanma Yatkınlığı Üzerindeki Etkisinin Araştırılması

Özer ÖREN<sup>1</sup>, Cem ŞENSÖĞÜT\*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya

Geliş tarihi: 05.01.2016

Kabul tarihi: 11.05.2016

### Özet

Yapılan bu çalışma ile 16 haftalık depolama süresi boyunca farklı koşullar altında depo edilen iki ayrı boyuttaki (35 ve 200 meş) kömür örneğinin kimyasal özelliklerinde (nem, uçucu madde, sabit karbon, kalori vs.) meydana gelen değişimlerin, kömürlerin kendiliğinden yanma yatkınlığı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Kömür örnekleri sırası ile azot tankı, derin dondurucu ve etüvde -25, 18 ve 30°C sabit sıcaklıklar altında depo edilmiştir. Kömürlerin kendiliğinden yanma yatkınlığının tespitinde “Kesişim Noktası Metodu” kullanılmış olup, deneyler sonucunda elde edilen yatkınlık indeksi ( $I_{FCC}$ ) değerleri ile kömür örneklerinin kimyasal özellikleri arasında anlamlı sonuçların olduğu ortaya konulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Kömür, Kendiliğinden yanma, Kesişim noktası metodu, Kimyasal analiz

### Investigation of Chemical Properties of Coals on the Tendency of Spontaneous Combustion

#### Abstract

Variations taking place in the chemical specifications (moisture, volatile matter, fixed carbon, calorific value etc.) of the coal samples with two different particle sizes (35 and 200 mesh) on the effect of the self ignition liability were examined. The coal samples in concern were preserved under different storing conditions for a period of 16 weeks. These samples of coal were upheld in different mediums such as nitrogen tank, deep freezer and oven under the pre-determined constant temperatures of -25, 18 and 30°C respectively. In order to determine the tendency of spontaneous combustion for the coal samples, the method of crossing point was used. As a concluding remark, it may be stated that there is an expressive relation between the liability index ( $I_{FCC}$ ) and the chemical features of the coal samples.

**Keywords:** Coal, Spontaneous combustion, Crossing point method, Chemical analysis

\* Yazışmaların yapılacağı yazar: Cem ŞENSÖĞÜT, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya. [sensogut@dpu.edu.tr](mailto:sensogut@dpu.edu.tr)

## 1. GİRİŞ

Kömürlerin kendiliğinden yanması, günümüz dünyasında hem yarattığı ekonomik kayıplar ele alındığında hem de meydana gelen ölümlü kazaların büyüklüğü düşünüldüğünde araştırmacılar için hala çok önemli ve çözümlenmesi gereken bir doğa olayı olarak karşımıza çıkmaktadır. Kömür havanın oksijeni ile teması geçtiğinde, oksijen molekülleri kömüre ilk olarak fiziksel daha sonra ise kimyasal olarak adsorbe olmakta ve bu süreç kimyasal bir reaksiyon olarak sonuçlanmaktadır. Bu reaksiyon neticesinde açığa çıkan ısı ortamdan uzaklaştırılmaz ise; biriken ısı kömürün kendiliğinden yanmasına neden olmakta ve uygun şartlar sağlandığında açık alevli yangına dönüşebilmektedir. Kendiliğinden yanma olayı kömürün karmaşık yapısından dolayı birden fazla faktörün etkisinde gerçekleşen bir süreçtir. Kendiliğinden yanmayı etkileyen faktörler Çizelge 1’de görüldüğü üzere iç ve dış faktörler olarak ikiye ayrılmaktadır [1]. Bu faktörlerin kendiliğinden yanma ve kömür oksidasyonu üzerindeki etkileri farklı araştırmacılar tarafından incelenmiş olup özellikle kömür özelliklerinin bu olay üzerindeki değişimleri yapılan çalışmaların merkezini oluşturmaktadır [2-8].

Yapılan bu çalışma ile kömür ve oksijen arasında gerçekleşen reaksiyonun minimuma indirilmesi ve laboratuvar ortamındaki en uygun depolama şartının ortaya konulması adına 3 farklı saklama koşulunda 16 hafta boyunca muhafaza edilen kömürlerin kendiliğinden yanma yatkinlık değişimleri gözlemlenmiştir. Kesişim Noktası Metodu (KNM) ile tutuşma sıcaklıkları ve yanma risk indeksleri belirlenmiş ve açığa çıkan sonuçlar irdelenmeye çalışılmıştır. Ayrıca, numunelerin süreç boyunca belirlenen kısa ve elementel analiz değerleri ile kendiliğinden yanmaya yatkinlik arasındaki ilişkiler araştırılmıştır.

## 2. MATERYAL VE METOT

Çalışma için kullanılan kömür örnekleri Garp Linyitleri İşletmesi Tunçbilek Bölgesi Y4 panosu açık ocaklarından temin edilmiştir. Kömür

oksidasyonunu engellemek için alüminyum folyo ve streç film ile kaplanarak Dumlupınar Üniversitesi Maden Mühendisliği Laboratuvarlarına getirilen kömür örnekleri, burada 35 ve 200 meş tane boyutlarına indirgenmiştir. Daha sonra bu kömür örnekleri kilitli poşetlerin içerisine konulmuş ve 8 hafta boyunca azot tankı (at), derin dondurucu (dd) ve etüv (et) ortamında depo edilmiştir.

Oksidasyonun ve kömür özelliklerinin net etkilerini görebilmek adına, poşetlerden çıkarılan kömürler tepsilerde aynı depolama koşulları sabit kalacak şekilde 8 hafta daha depo edilmiştir. Depolama sıcaklıkları sırası ile azot tankı, derin dondurucu ve etüv için -25, 18 ve 30°C olarak belirlenmiştir. 16 haftalık süreç boyunca kömürlerin her iki haftada bir kimyasal analizleri gerçekleştirilirken aynı dönemde kömürlerin kendiliğinden yanma yatkinlikleri de tespit edilmiştir [9]. KNM deneyleri için Şekil 1’de gösterilen düzenek yardımı ile gerçekleştirilmiştir. Buna göre; kömür reaktörüne konulan yaklaşık 30 gr ağırlığındaki numuneler, yaklaşık 5 saat boyunca 100 cc/dk hava akışına maruz kalacak şekilde doğrusal olarak ısıtılan fırın içerisine yerleştirilmiş ve gerek fırın gerekse de numune sıcaklığı 10 dakikada bir kaydedilmiştir. Söz konusu fırın 18°C’de sabitlenen ortam sıcaklığından itibaren 0,5°C’lik artışlar ile 300°C’ye kadar ısıtılmıştır. Deney esnasında, kömürlerin 110 ve 220°C sıcaklığa ulaştıkları süre dakika cinsinden kaydedilirken aynı zamanda kömürün fırın sıcaklığına kestigi noktadaki sıcaklık değeri yani tutuşma sıcaklığı da yapılan deneysel gözlemlerde belirlenmiştir. Kömürlerin ortalama sıcaklık artışı (OSA) ve kendiliğinden yanma indekslerinin ( $I_{FCC}$ ) hesaplamasında Eşitlik (1) ve Eşitlik (2)’deki denklemlerden yararlanılmıştır.

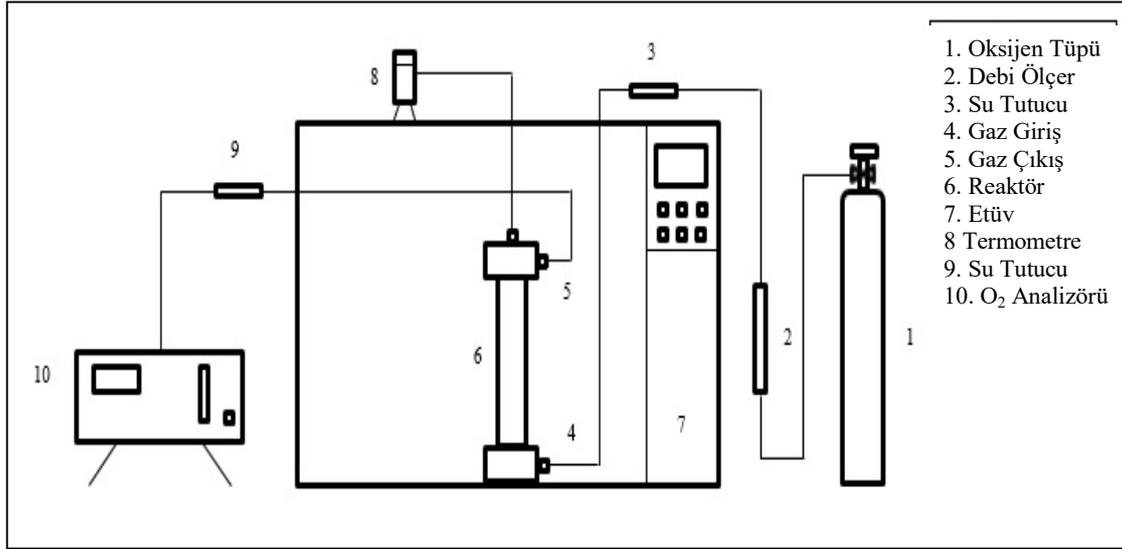
$$Ort. Sic. Artışı (OSA) = \frac{110}{t_2 - t_1} \quad (1)$$

$$I_{(FCC)} = \frac{Ort. Sic. Artışı (OSA)}{Tutuşma Sıcaklığı} \quad (2)$$



**Çizelge 1.** Kendiliğinden yanmayı etkileyen faktörler

Kömür özellikleri	Jeolojik özellikler	Dış (ekzojen) faktörler	
		Atmosferik koşullar	Madencilik ile ilgili faktörler
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kömürleşme derecesi</li> <li>• Petrografik yapı</li> <li>• Nem içeriği</li> <li>• Mineral madde içeriği</li> <li>• Tane boyutu</li> <li>• Pirit içeriği</li> <li>• Fiziksel özellikler</li> <li>• Bakteriler</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Damar kalınlığı</li> <li>• Damar eğimi</li> <li>• Göçme özelliği</li> <li>• Fay ve arızalar</li> <li>• Derinlik</li> <li>• Jeotermik gradyan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sıcaklık</li> <li>• Nem</li> <li>• Oksijen derişimi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Üretim yöntemi</li> <li>• İlerleme hızı</li> <li>• Topuk koşulları</li> <li>• Tavan koşulları</li> <li>• Tabanyolu koşulları</li> <li>• Hava kaçakları</li> <li>• Kömür kayıpları</li> <li>• Çalışılmış sahalar</li> <li>• Dolgu</li> <li>• Havalandırma basıncı</li> <li>• Hava nemliliği</li> </ul>



**Şekil 1.** Kendiliğinden yanma deney düzeneği

### 3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Kömür örneklerinin kısa ve elementel analizi Garp Linyitleri İşletmesi Kömür Analiz Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. 35 ve 200 meş tane boyutuna sahip tüvenan kömür örneklerine ait kısa ve elementel analiz değerleri Çizelge 2 ve Çizelge 3'te verilmiştir.

Yapılan değerlendirmelerde orijinal kömüre ait analiz değerleri kullanılırken; tüm kömür örneklerine ait 16 haftalık süreçteki kısa ve elementel analiz verileri Çizelge 4 ve Çizelge 5'te gösterilmiştir. Ayrıca kendiliğinden yanma yatkınlık deneylerinde elde edilen sonuçlar da Çizelge 6'da belirtilmiştir.

**Çizelge 2.** 200 meş boyuta sahip tüvenan kömür örneğinin kısa ve elementel analiz değerleri

<b>Analizler</b>	<b>Orijinal Kömür</b>	<b>Kuru Kömür</b>	<b>Metot</b>
Nem (%)	11,69		TS 690 ISO 589 Metot C
Kül (%)	8,68	9,83	ASTM D 7582
Uçucu madde (%)	37,82	42,83	ASTM D 7582
Sabit karbon (%)	41,81	47,34	Hesap
Toplam (%)	100	100	Hesap
Kükürt (%)	1,6	1,81	ASTM D 4239
Alt kalorifik değer (kcal/kg)	5475	6273	TS EN ISO 1928
Üst kalorifik değer (kcal/kg)	5753	6515	ASTM D 5865
Hidrojen (%)	5,46	4,7	ASTM D 5373
Karbon (%)	59,09	66,91	
Nitrojen (%)	1,48	1,67	
Oksijen (%)	23,69	15,07	Hesap

**Çizelge 3.** 35 meş boyuta sahip tüvenan kömür örneğinin kısa ve elementel analiz değerleri

<b>Analizler</b>	<b>Orijinal Kömür</b>	<b>Kuru Kömür</b>	<b>Metot</b>
Nem (%)	13,33		TS 690 ISO 589 Metot C
Kül (%)	8,12	9,37	ASTM D 7582
Uçucu madde (%)	37,96	43,8	ASTM D 7582
Sabit karbon (%)	40,59	46,83	Hesap
Toplam (%)	100	100	Hesap
Kükürt (%)	1,52	1,75	ASTM D 4239
Alt kalorifik değer (kcal/kg)	5372	6283	TS EN ISO 1928
Üst kalorifik değer (kcal/kg)	5658	6528	ASTM D 5865
Hidrojen (%)	5,71	4,87	ASTM D 5373
Karbon (%)	58,67	67,7	
Nitrojen (%)	1,41	1,63	
Oksijen (%)	24,57	14,69	Hesap

**Çizelge 4.** 200 meş boyutuna sahip kömür örneğine ait 16 haftalık süreçte farklı depo şartları altındaki kısa ve elementel analiz değerleri

Depolama şartı	Depolama süresi (hafta)	Nem (%)	Kül (%)	Uçuşu Madde (%)	Sabit karbon (%)	Kükürt (%)	Alt kalorifik değer (kcal/kg)	Ust kalorifik değer (kcal/kg)	Hidrojen (%)	Karbon (%)	Nitrojen (%)	Oksijen (%)
Azot tankı (18 °C)	2	12,06	8,59	37,95	41,39	1,69	5483	5765	5,48	58,63	1,46	24,15
	4	12,01	9,82	38,72	39,45	1,60	5395	5678	5,46	58,87	1,43	22,82
	6	12,26	9,58	37,56	40,60	1,60	5431	5713	5,37	58,18	1,47	23,79
	8	12,07	9,59	37,40	40,94	1,62	5447	5727	5,19	59,42	1,41	22,76
	10	12,32	9,53	37,16	40,99	1,65	5449	5730	5,48	69,78	1,38	12,18
	12	12,00	9,78	37,76	40,46	1,61	5417	5697	6,08	63,25	1,56	17,72
	14	11,76	9,93	38,77	39,54	1,70	5478	5762	5,53	60,84	2,06	19,95
	16	10,88	9,69	37,93	41,50	1,67	5491	5766	5,09	62,76	1,79	19,00
Derin dondurucu (-25 °C)	2	10,94	8,63	38,33	42,10	1,72	5565	5843	5,47	60,47	1,46	22,25
	4	11,96	9,81	38,32	39,92	1,68	5479	5763	5,42	59,01	1,45	22,63
	6	12,56	9,38	37,20	40,86	1,69	5412	5694	5,38	58,22	1,51	23,82
	8	12,02	9,45	37,37	41,16	1,65	5487	5768	5,26	59,29	1,44	22,91
	10	12,20	9,10	37,10	41,61	1,59	5505	5786	5,95	62,28	1,53	19,56
	12	12,25	9,19	38,00	40,57	1,57	5454	5737	5,71	61,30	1,51	20,72
	14	12,06	9,40	38,33	40,21	1,67	5480	5764	5,62	60,57	2,05	20,68
	16	11,70	9,30	37,43	41,57	1,65	5510	5789	5,07	61,68	1,83	20,48
Ertiv (30 °C)	2	11,65	8,67	37,88	41,81	1,67	5429	5706	5,46	59,04	1,47	23,71
	4	11,94	9,95	38,77	39,34	1,63	5411	5694	5,46	58,32	1,43	23,21
	6	12,44	9,76	37,34	40,46	1,58	5409	5690	5,39	57,87	1,46	23,94
	8	12,25	9,64	37,12	40,99	1,55	5470	5752	5,23	58,87	1,40	23,31
	10	8,25	9,88	38,92	42,95	1,57	5708	5975	5,80	65,05	1,55	16,16
	12	7,92	10,21	39,47	42,39	1,59	5658	5924	5,76	66,84	1,61	13,99
	14	6,90	10,38	40,79	41,93	1,66	5754	6021	5,09	63,45	2,12	17,30
	16	6,50	10,18	39,82	43,50	1,68	5766	6027	4,73	64,51	1,88	17,02

**Çizelge 5.** 35 meş boyutuna sahip kömür örneğine ait 16 haftalık süreçte farklı depo şartları altındaki kısa ve elementel analiz değerleri

Depolama şartı	Depolama süresi (hafta)	Nem (%)	Kül (%)	Uçuşu Madde (%)	Sabit karbon (%)	Kükürt (%)	Alt kalorifik değer (kcal/kg)	Ust kalorifik değer (kcal/kg)	Hidrojen (%)	Karbon (%)	Nitrojen (%)	Oksijen (%)
Azot tankı (18 °C)	2	12,74	8,75	38,14	40,37	1,58	5363	5647	5,60	58,47	1,48	24,12
	4	13,04	9,29	39,09	38,58	1,53	5413	5704	5,50	57,23	1,43	25,02
	6	13,42	8,87	37,77	39,93	1,45	5380	5668	5,39	58,39	1,44	24,46
	8	14,02	8,75	37,07	40,15	1,45	5374	5663	5,34	57,71	1,46	25,28
	10	13,00	9,07	37,56	40,38	1,51	5415	5700	6,23	62,82	1,55	18,82
	12	13,36	9,07	38,01	39,56	1,45	5374	5662	6,05	62,58	1,50	19,34
Derin dondurucu (-25 °C)	14	12,20	9,36	38,97	39,47	1,57	5503	5791	5,93	60,75	2,02	20,37
	16	12,00	8,60	37,89	41,51	1,47	5582	5867	5,25	62,17	1,78	20,74
	2	13,24	9,60	38,03	39,14	1,70	5353	5640	5,61	58,17	1,53	23,40
	4	12,56	9,53	38,74	39,16	1,80	5467	5756	5,54	58,22	1,48	23,44
	6	13,63	9,13	37,44	39,80	1,62	5360	5648	5,35	58,23	1,44	24,23
	8	13,66	9,12	37,09	40,13	1,53	5433	5722	5,41	58,41	1,45	24,09
Etkiv (30 °C)	10	13,37	9,05	37,29	40,28	1,53	5393	5679	5,97	61,76	1,52	20,16
	12	13,43	9,09	38,59	38,89	1,50	5381	5672	6,14	63,31	1,51	18,45
	14	12,43	9,21	39,10	39,26	1,58	5512	5803	5,69	60,72	2,01	20,80
	16	12,93	8,80	37,54	40,73	1,50	5491	5778	5,38	61,63	1,75	20,94
	2	12,98	9,74	38,36	38,92	1,61	5382	5670	5,58	57,73	1,47	23,88
	4	12,61	9,53	38,72	39,14	1,58	5450	5739	5,51	58,27	1,45	23,67
Etkiv (30 °C)	6	12,68	9,14	37,66	40,52	1,51	5454	5739	4,94	58,00	1,52	24,90
	8	13,04	8,90	37,39	40,67	1,52	5474	5761	5,28	58,84	1,49	23,98
	10	8,87	9,02	39,25	42,86	1,49	5717	5990	6,04	68,06	1,61	13,77
	12	7,39	9,70	40,63	42,29	1,53	5760	6029	5,43	65,30	1,59	16,45
	14	6,50	10,23	41,68	41,59	1,70	5818	6088	5,29	62,54	2,10	18,13
	16	5,31	9,36	40,77	44,56	1,59	5988	6251	4,70	65,79	1,87	16,69

**Çizelge 6.** Tüm kömür örneklerine ait kendiliğinden yanma deney sonuçları

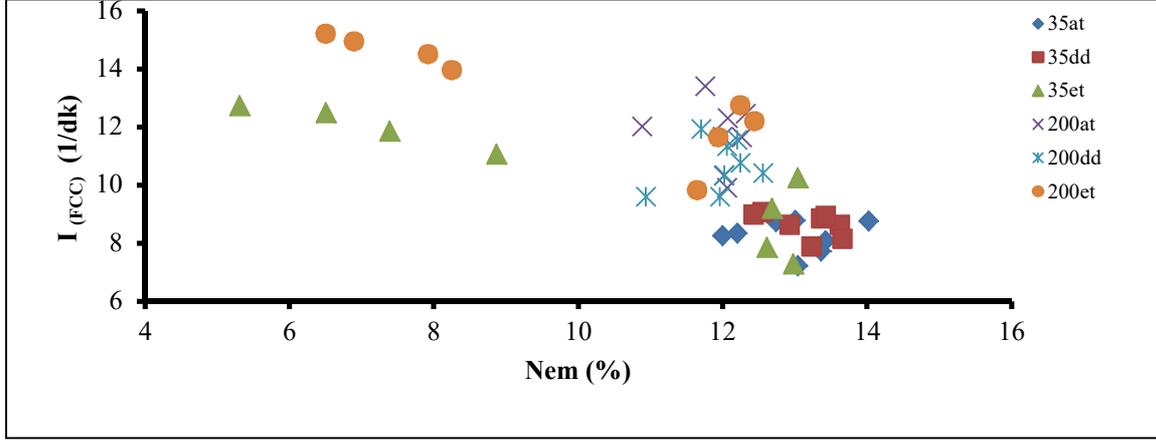
Depolama şartı	Depolama zamanı (hafta)	200 meş			35 meş		
		Tutuşma sıcaklığı (°C)	Ort. Sıc. Artışı (°C/dk)	Yatkınlık indeksi (1/dk)	Tutuşma sıcaklığı (°C)	Ort. Sıc. Artışı (°C/dk)	Yatkınlık indeksi (1/dk)
Azot tankı (18 °C)	2	148	1,46	9,90	148	1,29	8,74
	4	146	1,50	10,32	154	1,11	7,21
	6	139	1,61	11,63	145	1,17	8,07
	8	142	1,74	12,29	146	1,27	8,76
	10	136	1,69	12,44	144	1,26	8,78
	12	143	1,66	11,65	147	1,13	7,71
	14	144	1,92	13,40	142	1,18	8,32
Derin dondurucu (-25 °C)	2	149	1,42	9,58	147	1,15	7,87
	4	147	1,41	9,59	141	1,27	9,07
	6	143	1,48	10,39	145	1,25	8,62
	8	140	1,44	10,33	152	1,23	8,13
	10	138	1,59	11,55	143	1,26	8,84
	12	144	1,54	10,75	150	1,34	8,94
	14	145	1,64	11,32	146	1,30	8,96
Fırın (30 °C)	2	140	1,37	9,82	151	1,1	7,28
	4	135	1,37	11,64	149	1,17	7,85
	6	139	1,69	12,17	144	1,32	9,20
	8	144	1,83	12,73	143	1,46	10,25
	10	136	1,89	13,94	140	1,54	11,06
	12	138	2,00	14,49	145	1,71	11,85
	14	139	2,07	14,93	142	1,77	12,49
16	134	2,03	15,20	144	1,83	12,73	

#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

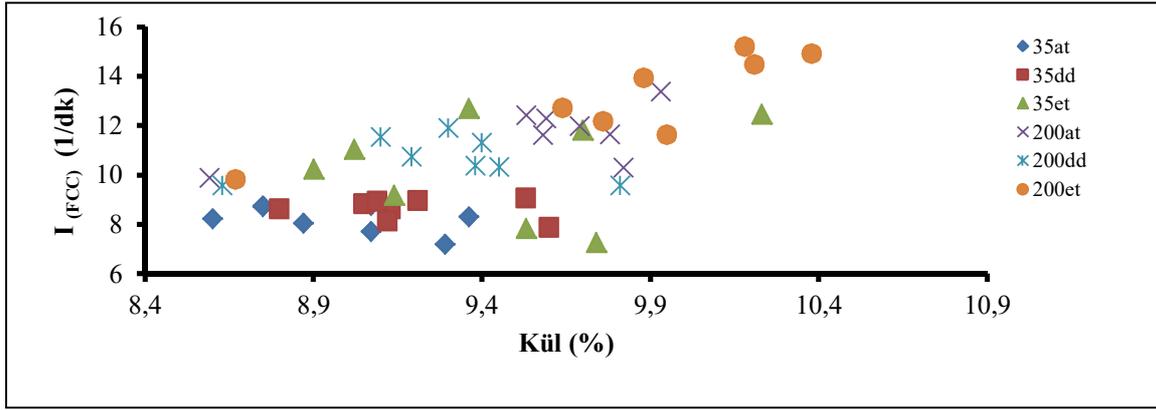
Depolama süresi boyunca kömürlerin kimyasal analiz değerlerinde özellikle sıcaklığa bağlı olarak değişimler yaşandığı görülmektedir. Kömürdeki nem oranının artması kendiliğinden yanma indeksinin azalmasına neden olmuştur. Nem içeriği yüksek kömürlerin söz konusu grafikten hareketle kendiliğinden yanma açısından daha az risk taşıdığı rahatlıkla söylenebilir (Şekil 2).

Genel olarak kömür örneklerinin kül oranlarında ciddi değişimler yaşanmasa da, sadece etüv de depo edilen ince tane için belirgin farklılıkların olduğu ifade edilebilmektedir. Kömürde meydana

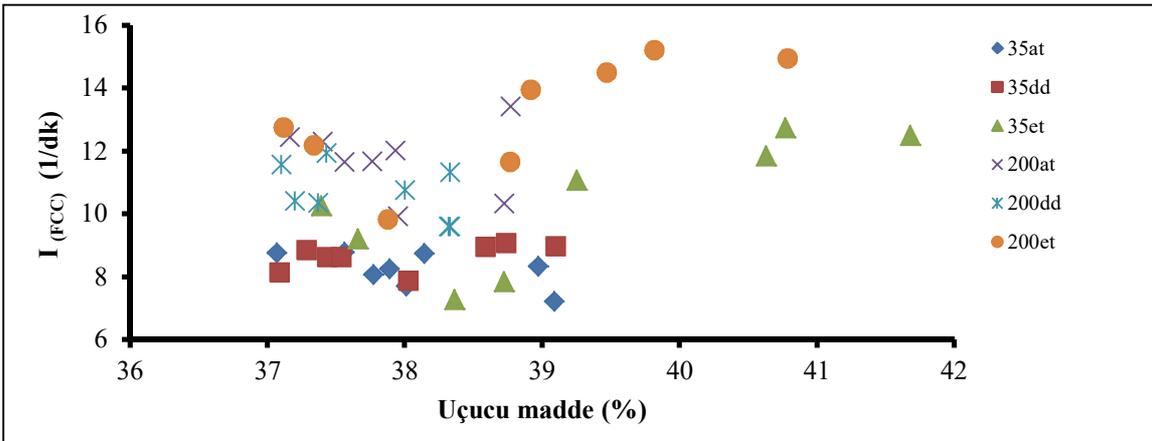
gelen oksidasyonun etkileri, kül yüzdelerinde meydana gelen artıştan açıkça görülebilmektedir. Özellikle ince taneli örnekler iri taneye oranla fark edilir biçimde yüksek değerler almıştır (Şekil 3). Şekil 4'te uçucu madde miktarlarındaki değişimin kendiliğinden yanma risk indeksi üzerindeki etkileri gösterilmektedir. Depolama süresi boyunca uçucu madde yüzdelerinde çok net değişimlerin olduğunu söylemek zordur. Dağınık bir görüntü sergilemesine rağmen özellikle etüv de depo edilen örneklerde uçucu madde ile yanma risk indeksi açısından doğru orantılı bir ilişkinin olduğu söylenebilir.



Şekil 2. Tüm kömür örnekleri için 16 haftalık yatknlık indeksi - nem ilişkisi



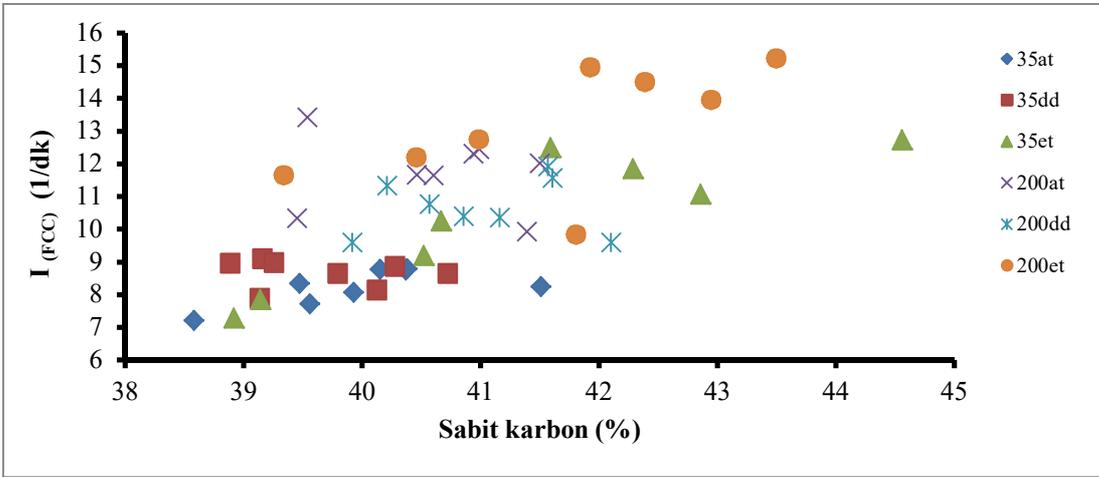
Şekil 3. Tüm kömür örnekleri için 16 haftalık yatknlık indeksi - kül ilişkisi



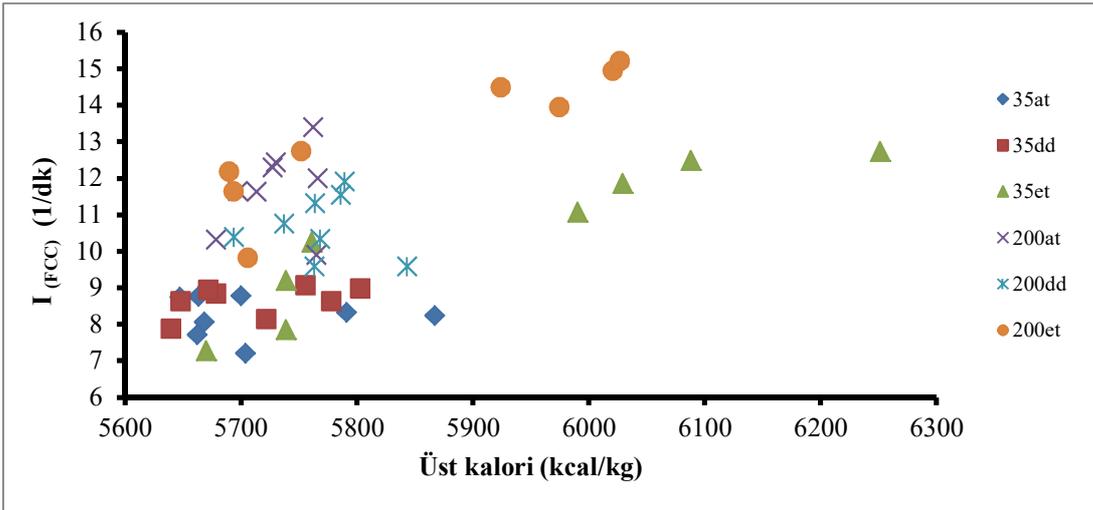
Şekil 4. Tüm kömür örnekleri için 16 haftalık yatknlık indeksi- uçucu madde ilişkisi

Kömürlerin sabit karbon miktarlarında depolama süresince genel olarak bir artış meydana gelmiştir. Yapılan değerlendirmelerde, bu artışın izafi bir artış olduğu tespit edilmiş ve kömürdeki nem miktarının azalması ile birlikte yapılan hesaplamalarda karbon değerlerinde yükselmelerin yaşandığı düşünülmektedir (Şekil 5). Depo sürecinin başlangıcından tamamlanmasına kadar hem alt hem de üst kalorifik değer açısından

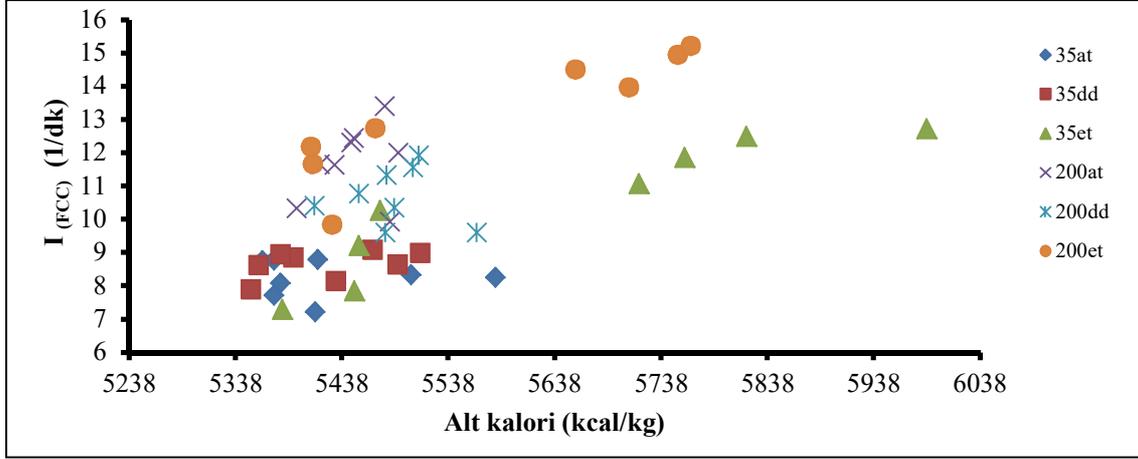
bakıldığında etiv örneğinde artışların olduğu görülmektedir (Şekil 6). Var olan kalorifik değişimlerin kömür oksidasyonundan ziyade kömürdeki nem içeriğinden etkilendiğini söylemek mümkündür. Özellikle kömürde başlangıçta yaklaşık %11-12 olarak belirlenen nem değerleri, depolama sürecinin sonlarına doğru yaklaşık %5-6 gibi değerlere gerilemiştir.



Şekil 5. Tüm kömür örnekleri için 16 haftalık yatkınlık indeksi – sabit karbon ilişkisi



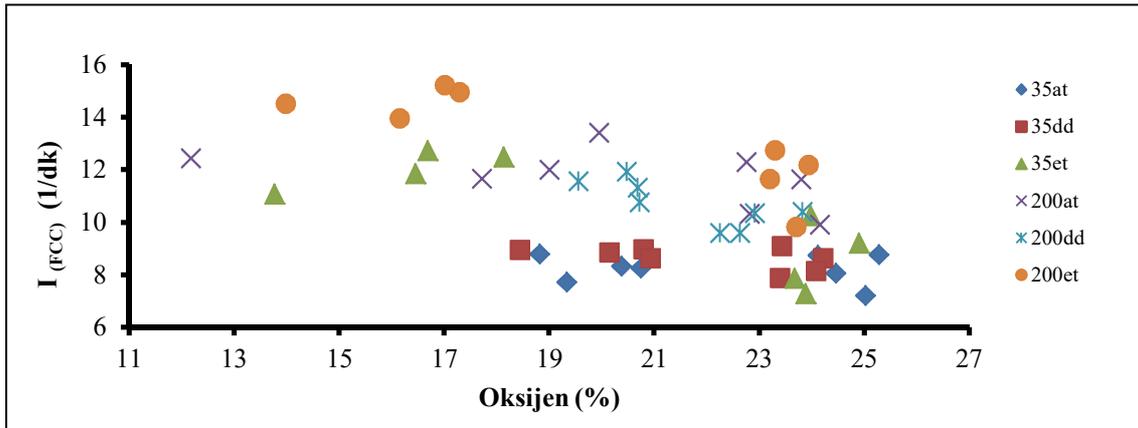
Şekil 6. Tüm kömür örnekleri için 16 haftalık yatkınlık indeksi – üst kalori ilişkisi



Şekil 7. Tüm kömür örnekleri için 16 haftalık yatkinlık indeksi – alt kalori ilişkisi

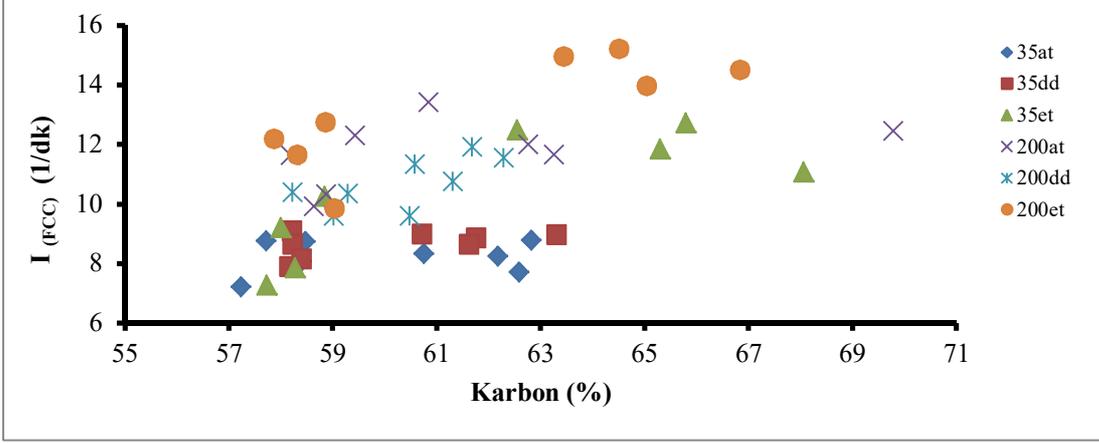
Alt kalori değerlerindeki değişimlerin gösterildiği grafikler incelendiğinde (Şekil 7), azot tankı ve derin dondurucu örnekleri ile kapalı depo şartlarında saklanan etüv örnekleri için değerlerin birbirine çok yakın olduğu gözükmemektedir. Kömürler açık olarak depo edilmeye başlandıktan sonraki süreçte, etüv örneklerine ait numunelerde belirgin bir artışın meydana geldiği görülmektedir. Söz konusu kömür örneklerinin elementel analizleri ile kendiliğinden yanma yatkinlıkları arasında ilişkiler Şekil 8-12 'de gösterilmiştir. Grafikler incelendiğinde, anlamlı değişimlerin sadece karbon ve oksijen yüzdesinde olduğunu söylemek mümkündür. Yapılan analizlerde azot tankı ve derin dondurucu numunelerinde depolama

sürecinin başlangıcından itibaren oksijen yüzdesinde az miktarda değişime rastlanılmıştır. Özellikle 8. ve 10. haftalar arasındaki süreç diliminde oksijen yüzdesinde önemli düşüşler meydana gelmiştir. Bu süreçte kömür bünyesindeki oksijenin aktif hale geçerek kömür içerisindeki mikro gözeneklere adsorbe olduğu anlaşılmaktadır. Süreç içerisinde oksijen yüzdesinde meydana gelen çarpıcı düşüşlerin kaynağının özellikle oksijenin kömür bünyesindeki karbon ve hidrojen ile bağ yapması sonucu oluşan katı ürünlerden ileri geldiği düşünülmektedir. Oluşan CO, CO<sub>2</sub>, karbonil ve karboksil türündeki bileşimlerin buna bağlı olarak ta karbon miktarını arttırdığı tahmin edilmektedir.

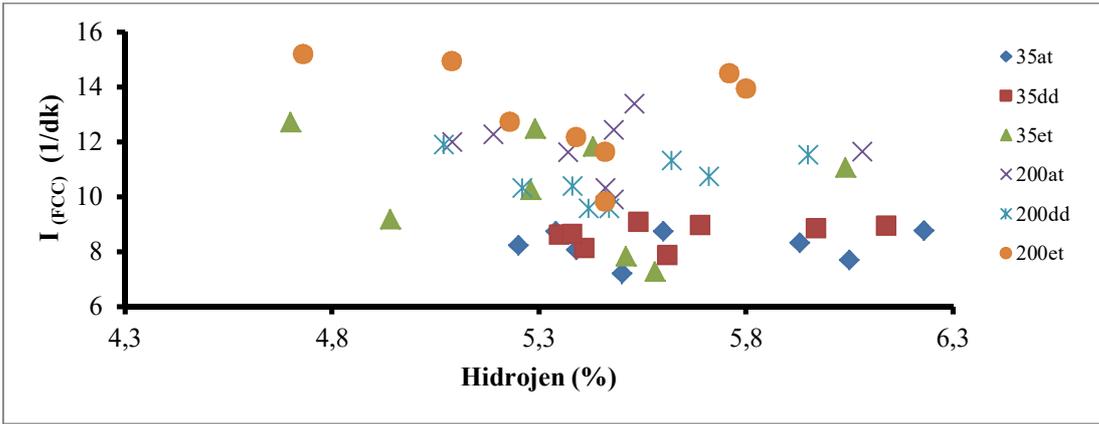


Şekil 8. Tüm kömür örnekleri için 16 haftalık yatkinlık indeksi – oksijen ilişkisi

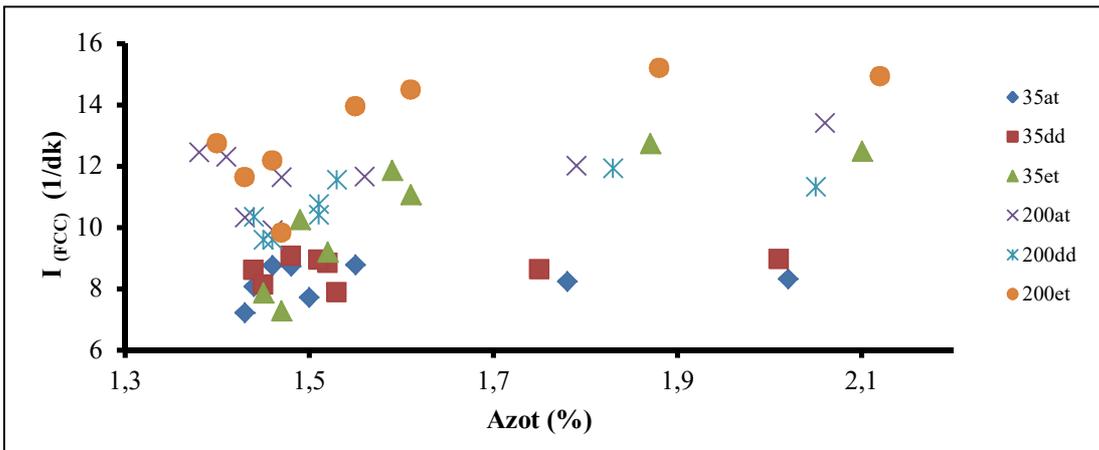




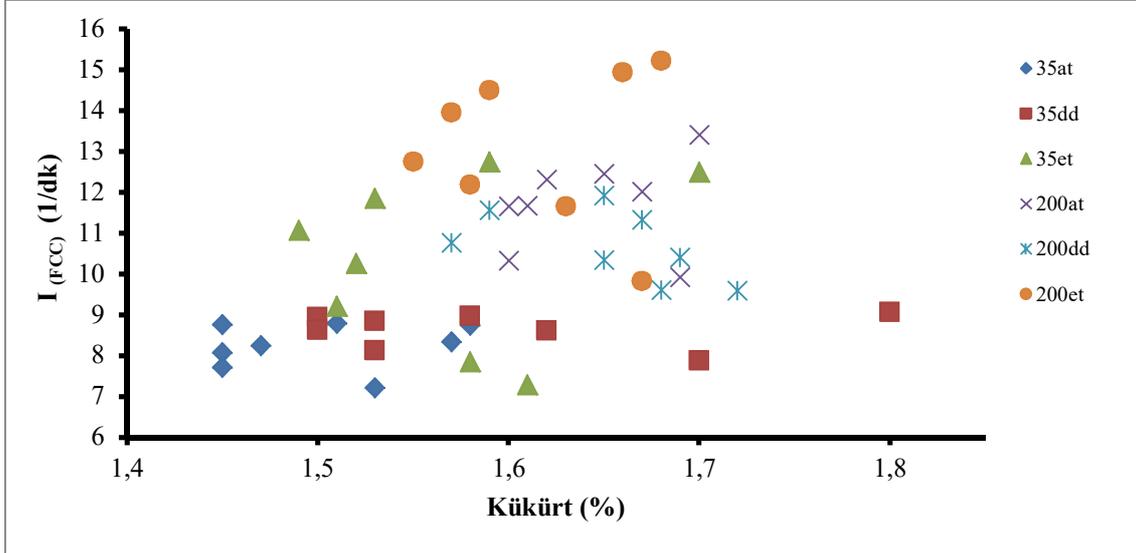
Şekil 9. Tüm kömür örnekleri için 16 haftalık yatkinlik indeksi – karbon ilişkisi



Şekil 10. Tüm kömür örnekleri için 16 haftalık yatkinlik indeksi – hidrojen ilişkisi



Şekil 11. Tüm kömür örnekleri için 16 haftalık yatkinlik indeksi – azot ilişkisi



Şekil 12. Tüm kömür örnekleri için 16 haftalık yatknılık indeksi – kükürt ilişkisi

## 5. SONUÇLAR

Yapılan bu çalışma ile kömüre ait kısa ve elementel analiz sonuçları ile kömürün kendiliğinden yanma yatknılığı arasındaki ilişki incelenmiştir. Buna göre özellikle kömürün neminin kendiliğinden yanma davranışında ve oksidasyonda etkin bir rol üstlendiği gözlenmiştir. Artan nem içeriğinin yatknılık indeksini azalttığı görülmüştür. Kimyasal analiz sonuçlarında dikkat çekici en önemli noktanın, kömürdeki sabit karbon yüzdesinin süreç sonunda artması olarak söylenebilir. Geçmiş dönemlerde, oksidasyon sonucu kömürdeki karbon yüzdesinde azalmanın meydana geldiği araştırmacılar tarafından ifade edilmiştir [10]. Bunun sebebinin, ilerleyen süreç ile birlikte kömürdeki nemin azalması ve bu azalmanın da hesaplamalarda % karbon değerlerinin yükselmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca oksijen yüzdesi değerlerinde de tam tersine bir azalma söz konusu olmuştur. Bu azalmaya kömür ile oksijenin reaksiyona girmesi sonucu oluşan gaz ürünlerin (CO<sub>2</sub> ve CO) neden olduğu tahmin edilmektedir. Kömürün külü ve uçucu maddesinin ise sürece direk etkisinin olduğunu söylemek zordur. Genel olarak yatknılık indeksi değerleri ile uçucu madde yüzdesi arasında doğru orantılı bir ilişki olduğu

ifade edilebilmektedir. Depolama süresi içerisinde kömürlerde oksidasyonun meydana geldiği ve bu durumun kül değerlerinde artışa neden olduğu da görülmüştür. Kömürün hem alt kalori hem de üst kalori miktarında ise etüv numunesi haricinde pek fazla bir değişim gözlenmezken, etüvde depo edilen örneklerde azalan nem ile birlikte kalori değerlerinde artış meydana gelmiştir. Bunların haricinde kömürdeki hidrojen (%), kükürt (%), azot (%) gibi diğer elementel analiz verilerinde süreç boyunca çok fazla bir değişim yaşanmazken, söz konusu verilerin kömürün yanma değerleri üzerinde çarpıcı bir etkisinin olduğu da söylenememektedir.

## 6. KAYNAKLAR

1. Uludağ, S., 2001. Assessing Spontaneous Combustion Risk in South African Coal Mines Using a GIS Tool, M.Sc Dissertation, University of Witwatersrand, South Africa.
2. Giroux, L., Koliijn, C.J., Pichler, F.S., 2006. Storage of Small Samples of Coking Coal for Thermal Rheological Tests, Fuel Processing Technology, 87, 547-561
3. Küçükbayrak, S., Haykırı-Açma, H., Ersoy-Meriçboyu, A., Yaman, S., 2001. Effect of Lignite Properties on Reactivity of Lignite,

- Energy Conversion and Management, 42, 613-626.
4. Qi, X., Wang, D., Milke, J.A., Zhong, X., 2011. Crossing Point Temperature of Coal, Mining Science and Technology, 21, 255 -260.
  5. Kadioglu, Y., Varamaz, M., 2003. The effect of Moisture Content and Air-Drying on Spontaneous Combustion Characteristics of two Turkish Lignites, Fuel, 82, 1685 – 1693.
  6. Nugroho, Y.S., McIntosh, A.C., Gibbs, B.M., 2000. Low temperature Oxidation of Single and Blended Coals, Fuel, 79, 1951-1961.
  7. Küçük, A., Kadioğlu, Y., Gülaboğlu, M.Ş., 2003. A Study of Spontaneous Combustion Characteristics of a Turkish Lignite: Particle Size, Moisture of Coal, Humidity of Air, Combustion and Flame, 133, 255-261.
  8. Beamish, B., Arısoy, A., 2008. Effect of Mineral Matter on Coal Self-Heating Rate, Fuel, 87, 125-130.
  9. Ören, Ö., 2015. Farklı Saklama Koşullarında Depo Edilen Kömürlerin Kendiliğinden Yanma Davranışlarının Termogravimetrik ve Yüzey Adsorpsiyon Mekanizmaları Açısından İncelenmesi-Tunçbilek Linyitleri Örneği, Doktora Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, 336 p.
  10. Liotta R., Brons G., Isaacs J., 1983. Oxidative Weathering of Illinois No. 6 coal, Fuel, 62, 781–791.



## N-Tipi SnS<sub>2</sub> Yarıiletken İnce Filmlerin Hazırlanması ve Karakterizasyonu

Cebrail GÜMÜŞ<sup>\*1</sup>, Gülay ALTINDEMİR<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Çukurova Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 05.01.2016

Kabul tarihi: 16.05.2016

### Özet

SnS<sub>2</sub> yarıiletken ince filmleri, kimyasal depolama yöntemi (KDY) kullanılarak 50-80°C'de cam alttabanlar üzerine elde edildi. X-ışını kırınım spektrumu filmlerin amorf yapıda olduklarını göstermiştir. SnS<sub>2</sub> filmlerin optik özelliklerini belirlemek için UV-vis spektrofotometresi kullanılmıştır. Filmlerin oda sıcaklığındaki optik geçirgenlik (%T) ve optik soğurma (A) değerleri 400-1100 nm dalga boyu aralığında belirlenmiştir. Elde edilen veriler ile filmlerin optik parametreleri olan soğurma katsayısı ( $\alpha$ ), kırılma indisi ( $n$ ), sönüm katsayısı ( $k$ ), reel, imajiner dielektrik sabitleri ( $\mathcal{E}_1$ ,  $\mathcal{E}_2$ ) ve enerji bant aralığı ( $E_g$ ) değerleri hesaplandı. Hall etkisi ölçümlerinden SnS<sub>2</sub> filmleri n-tipi iletkenliğe sahip olduğu bulunmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** KDY, SnS<sub>2</sub> ince film, Yapısal özellikler, Optiksel özellikler

### Preparation and Characterization of N-Type SnS<sub>2</sub> Semiconductor Thin Films

#### Abstract

SnS<sub>2</sub> semiconductor thin films were prepared by the chemical bath deposition (CBD) technique onto glass substrates deposited at 50–80°C. X-ray diffraction spectra of the films have shown that the films are amorphous in structure. To determine the optical properties of the SnS<sub>2</sub> films UV-vis spectrophotometer was used. Optical transmittance (%T) and optical absorption (A) values of the films were determined in the wavelength range 400-1100 nm at room temperature. The obtained data with optical parameters of the films absorption coefficient ( $\alpha$ ), refractive index ( $n$ ), extinction coefficient ( $k$ ), real, imaginary dielectric constants ( $\mathcal{E}_1$ ,  $\mathcal{E}_2$ ) and the energy band gap ( $E_g$ ) values were calculated. From the Hall effect measurement, it was found that SnS<sub>2</sub> thin films exhibits n-type conduction.

**Keywords:** CBD, SnS<sub>2</sub> thin film, Structural properties, Optical properties

\*Yazışmaların yapılacağı yazar: Cebrail GÜMÜŞ, Çukurova Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Adana. cgumus@cu.edu.tr

## 1. GİRİŞ

Yarıiletkenler, elektrik-elektronik mühendisliğinde yaygınca kullanılan malzemelerdir. Yarıiletken malzeme olan SnS<sub>2</sub> ince filmleri, iyi optiksel özelliklere sahip olmaları, 0.8–2.88 eV kadar değişen enerji bant aralığı değerleri alması ve n veya p-tipi elektriksel özellik göstermelerinden dolayı güneş pillerinde soğurucu ve pencere tabakası olarak kullanılmaktadır [1–3]. S-Sn-S sandwich katmanları kristal yapıda, kimyasal anlamda doygun, iki boyutlu kovalent bağlı olarak oluşur. Tek tek katmanlar arasında zayıf van der Waals bağı vardır. Bunun sonucunda film katmanlarına yerleşen ideal atomlar sayesinde bu katmanları düzgün yüzeyli olarak ikiye ayırır. Bundan dolayı SnS<sub>2</sub> de oluşan arayüzler üzerine yapılacak kontaklar için çok iyi elektronik geçişler yapmasına olanak sağlar [4]. Kalay ve kükürdün doğada bol olması ve toksik olmaması da önemli avantajlarından [5,6]. SnS<sub>2</sub> ince filmleri fotodetektörlerde [7], gaz sensörlerinde [8], güneş pillerinde [9], lityum iyon bataryalar için elektrot olarak [10], transistörlerde [11], diyotlarda [12] süperiletken aygıtlarda [13] vs. gibi birçok alanda kullanılmaktadır.

SnS<sub>2</sub> yarıiletken ince filmleri birçok yöntemle elde edilebilmektedir bu yöntemler arasında hidrotermal [14], ardışık iyonik tabaka adsorpsiyon ve reaksiyon yöntemi (SILAR) [15], plazma destekli kimyasal buhar biriktirme (PECVD) [16], spray pyrolysis tekniği [17], fiziksel buhar biriktirme yöntemi [18], sol-jel tekniği [19] ve kimyasal depolama yöntemi [20] sayılabilir. Kimyasal depolama yöntemi bu yöntemler arasında en basit ve ekonomik olması nedeniyle diğer yöntemlere göre daha avantajlıdır. Bu yöntem ile polikristal yada amorf malzeme üretilebilmektedir. Depo edilen ince filmin fiziksel özellikleri; çözeltilerin molaritesi, pH ve sıcaklığa bağlı olarak değiştirilebilmektedir. Ayrıca bu parametrelerin rahatça kontrol edilebilmesi açısından son yıllarda kimyasal depolama yöntemi en çok tercih edilen yöntemlerden biri olmuştur. Dahası düşük sıcaklıklarda farklı alttabanlar üzerine depolama yapılmasına olanak vermesi ve hazırlanan çözeltinin içine daldırılan alttaban

yüzeyinin her yerinde film oluşması yönüyle bu yöntemle geniş bir yüzeye film oluşturulur.

Bu çalışmada, film üretim sıcaklığının kimyasal depolama yöntemi ile cam alttabanlar üzerinde elde edilen SnS<sub>2</sub> ince filmlerin yapısal, optiksel ve morfolojik özelliklerine etkisi araştırıldı.

## 2. MATERYAL VE METOD

### 2.1. Deneysel Kısım

SnS<sub>2</sub> ince filmleri değişen sıcaklıklarda (50–80°C) 4 saat de 76 mm × 26 mm × 1 mm boyutlarındaki ticari cam alttabanlar üzerine kimyasal depolama yöntemiyle hazırlanıldı. Depolama öncesinde, cam alttabanlar deterjanla yıkandı sonra çeşme suyu ile durulandı daha sonrada kromik asitten geçirildi tekrar çeşme suyu ile durulandı ve son olarak da etil alkolden geçirilip saf suyla durulandı. Alttabanların temizlik işlemleri bittikten sonra etüvde 1 saat 100°C de kurutuldu. SnS<sub>2</sub> ince filmleri, 1 M'lık 5 ml SnCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O, 3,75 M 15 ml lik trietanolamin, pH=10,7 tampon (amonyak /amonyum klorür), 1 M 5 ml tioasetamid, 0,66 M 0,8 ml trisodyum sitrat ve son olarak 70 ml saf su eklenerek kimyasal çözelti banyosu hazırlandı. Toplam çözelti hacmi 100 ml dir. Hazırlanan çözelti içerisine daldırılan filmler etüvde farklı sıcaklıklarda 4 saat bekletildi. Daha sonra çözeltilerden dışarı alınıp saf suyla yıkandı ve hava ortamında kurutuldu. Cam alttabanın iki yüzeyinde oluşan filmler kromik asitle temizlendi. Saf suyla yıkandı ve hava ortamında kurutuldu. Oluşan filmlerin açık kahverengi olduğu gözlemlendi. Çözelti içinde iyon-iyon veya kümeleşme yada kompleks mekanizması şeklinde reaksiyon gerçekleşme ihtimalleri vardır. Çözelti içerisinde büyük olasılıkla iyon iyon reaksiyonu gerçekleşmektedir. SnS<sub>2</sub> filmleri oluşurken çözelti içindeki sulu alkalin kalay tuzları ve kompleks öncüler bağlı olarak Sn<sup>+2</sup> yoğunluğu çözelti içerisinde yayılır. TEA ve TSS, Sn<sup>+4</sup> için kompleks öncü ve S<sup>-2</sup> için ise amonyak kompleks öncü olarak davranır. Kompleks öncüler yardımı ile Sn<sup>+4</sup> ve S<sup>-2</sup> iyonlarını yavaş yavaş sulu ortama bırakılmasını sağlar. Bu da çözelti içindeki cam üzerine dengeli bir şekilde iyon-iyon veya

kümeleşme yada kompleks mekanizması yoluyla SnS<sub>2</sub> ince filminin oluşmasını sağlar. Çözelti içindeki kimyasal reaksiyonun aşağıdaki gibi gerçekleştiği düşünülebilir.



Depolamanın ilk aşamasında Sn<sup>4+</sup> iyon ile TEA arasında Sn[TEA]<sub>x</sub> bağı olduğu kabul edilmektedir. Daha sonra diğer aşamalarda bozunarak Sn<sup>4+</sup> iyonun dönüşür ve SnS<sub>2</sub> filmini oluşturur [21,22].

## 2.2. SnS<sub>2</sub> İnce Filmlerin Karakterizasyonu

Elde edilen filmlerin X-ışını analizleri Rigaku RadB difraktometre sistemi (CuKα<sub>1</sub>, 1.5405 Å, 30 kV, 15 mA, tarama hızı 6 derece/dakika) ile otomatik veri hafızası kullanılarak 2θ=10°–80° aralığında yapıldı.

Filmlerin elektriksel özelliklerinin belirlenmesi için Hall Effect Measurement System HS-3000 Manual Ver 3,5 sistemi kullanıldı. Omik kontaklar, kare şeklinde kesilen örneklerin dört köşesine indiyum lehimleyerek yapıldı.

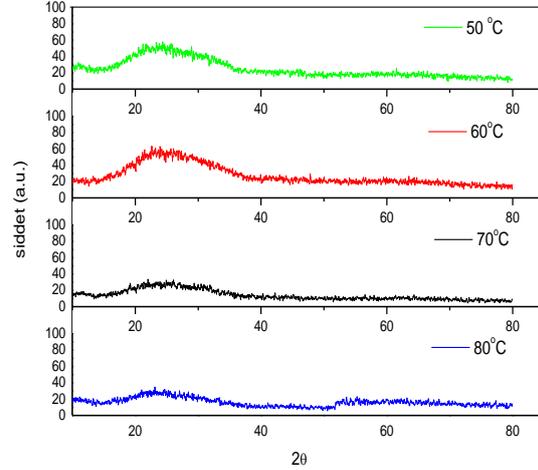
SnS<sub>2</sub> ince filmlerin optik karakterizasyonunu belirlemek için oda sıcaklığındaki optik geçirgenlik spektrum ölçümleri Perkin Elmer UV/VIS Lamda 2S spektrofotometresi kullanılarak λ=190–1100 nm dalga boyu arasında alındı.

Örneklerin SEM görüntüleri LEO440 bilgisayar kontrollü taramalı elektron mikroskobu kullanılarak yapıldı.

## 3. ARAŞTIRMA BULGULARI

### 3.1. Yapısal Özellikler

Kimyasal depolama yöntemiyle elde edilen SnS<sub>2</sub> ince filmlerin yapısal özellikleri X-ışını kırınım deseninden yararlanarak yapıldı.



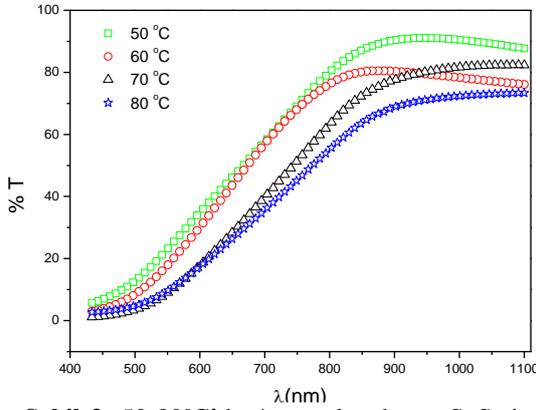
Şekil 1. Farklı sıcaklıklarda 4 saat depolanan SnS<sub>2</sub> ince filmlerin kırınım deseni

Farklı sıcaklıklarda elde edilen filmlerin XRD kırınım deseni Şekil 1’de görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi geniş tepe yaklaşık 2θ=20° ve 2θ=40° arasında ve filmlerin amorf olduğu görülmektedir bu tepenin oluşmasında cam alttabanında katkısı olduğu literatürde belirtilmiştir [23]. 50°C ve 60°C de kırınım şiddetinin bir miktar yükseldiği ve 70°C ve 80°C düştüğü görülmüştür. Sıcaklık artışı ile filmlerin hızlı bir şekilde oluşması buda filmlerin düzensiz yığılmalar şeklinde oluşmasına neden olduğu ve bundan dolayı filmlerin amorf yapıda oluştuğu görülmektedir.

### 3.2. Optik Özellikler

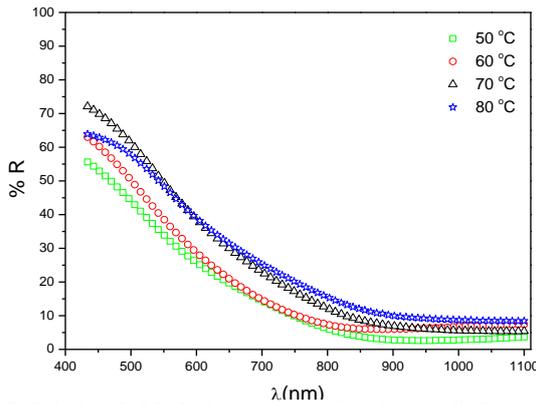
İnce filmlerin optik karakterizasyonu, geçirgenlik, yansımaya, enerji bant aralık ve bant yapısı gibi fiziksel özellikleri hakkında bilgi verir. Kimyasal depolama yöntemi ile amorf cam alttabanlar üzerine depo edilen katkısız SnS<sub>2</sub> yarıiletken ince filmlerin optiksel karakterizasyonu oda sıcaklığında spektrofotometre yardımı ile yapıldı. İnce filmlerin oda sıcaklığındaki geçirgenlik katsayısı değerleri (%T) aşağıdaki eşitlik yardımı ile hesaplandı. Burada R yansımaya katsayısı (% R), A ise soğurmadır.

$$T = (1 - R^2) \exp(-A) \quad (1)$$



Şekil 2. 50-80°C'de 4 saat depolanan SnS<sub>2</sub> ince filmlerin oda sıcaklığındaki optik geçirgenlik eğrisi

Şekil 2'de 50°C, 60°C, 70°C ve 80°C'de 4 saatte depolanan SnS<sub>2</sub> ince filmlerin oda sıcaklığındaki optik geçirgenliklerinin dalga boyuna bağlı değişimi görülmektedir. Şekle göre depolama sıcaklığı arttıkça filmlerin görünür bölgedeki oda sıcaklığındaki optik geçirgenliği azalmaktadır. Bu azalmanın sebebi olarak depolama sıcaklığının artmasıyla birlikte tepkime hızının artması ve alt tabana tutunan tanecik sayısının artması dolayısıyla film kalınlığındaki artış gösterilebilir. 60°C'deki oda sıcaklığındaki optik geçirgenlik değeri litaretürle uyumludur [24].



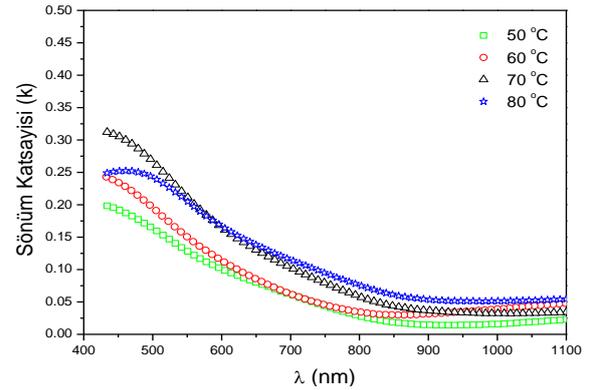
Şekil 3. 50-80°C'de 4 saatte depolanan SnS<sub>2</sub> ince filmlerin optik yansımaya eğrisi

Şekil 3'de 50°C, 60°C, 70°C ve 80°C'de 4 saatte depolanan SnS<sub>2</sub> ince filmlerin optik yansımalarının oda sıcaklığında dalga boyuna bağlı değişimi

verilmiştir. Burada da depolama sıcaklığı arttıkça filmlerde yansımaların arttığı tespit edildi.

Sönüm katsayısının, soğurma katsayısı ve fotonun dalgaboyuna bağlı eşitliği aşağıda verilmiştir [25].

$$k = \frac{\alpha\lambda}{4\pi} \quad (2)$$



Şekil 4. 50-80 °C'de 4 saat depolanan SnS<sub>2</sub> ince filmlerin sönüm katsayısı eğrileri

Şekil 4'te 50°C, 60°C, 70°C ve 80°C'de 4 saatte depolanan SnS<sub>2</sub> ince filmlerinin sönüm katsayısı değerinin artan dalgaboyuna karşı azaldığı görülmüştür. 550 nm'de sıcaklığa bağlı olarak (50-80°C) sönüm katsayısı değerleri 0,13-0,22 aralığında değiştiği görülmüştür.

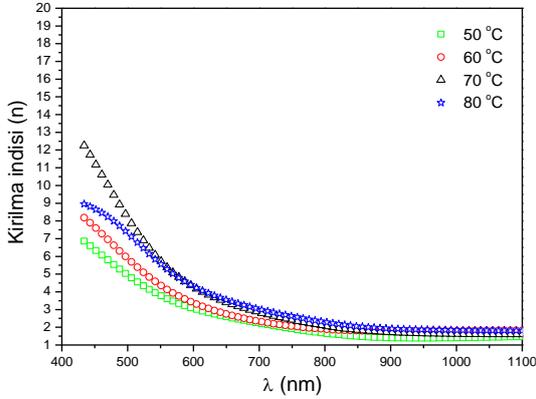
Kırılma indisinin, yansımaya ve sönüm katsayısına bağlı olarak hesaplanması Eşitlik-3'te verilmiştir [26].

$$n = \frac{1+R}{1-R} + \sqrt{\frac{4R}{(1+R)^2} - k^2} \quad (3)$$

Şekil 5'te 50-80°C'de 4 saatte depolanan SnS<sub>2</sub> ince filmlerin kırılma indisinin (n) foton dalga boyuna (nm) göre değişimi Şekil 5'te görülmektedir. Filmlerin kırılma indisi değeri filmin sıcaklığı ve kalınlık değerleri ile arttığı görülmektedir.

Real (ε<sub>1</sub>) ve imajiner dielektrik (ε<sub>2</sub>) sabitlerinin sönüm katsayısına ve kırılma indisine bağlı eşitlikleri aşağıda görülmektedir.

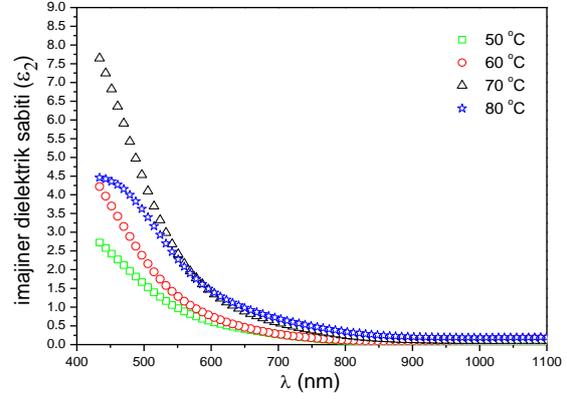




Şekil 5. 50-80°C'de 4 saatte depolanan SnS<sub>2</sub> ince filmlerin kırılma indisinin eğrileri

$$\varepsilon_1 = n^2 - k^2 \quad (4)$$

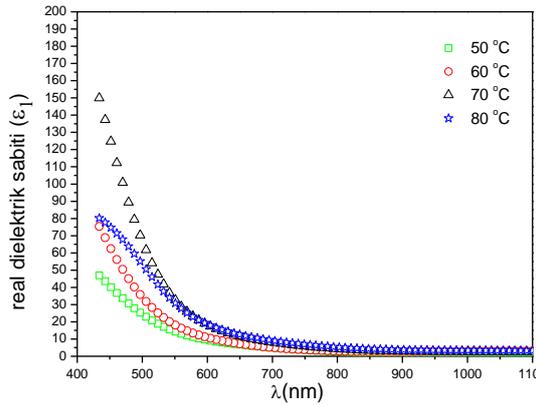
$$\varepsilon_2 = 2nk \quad (5)$$



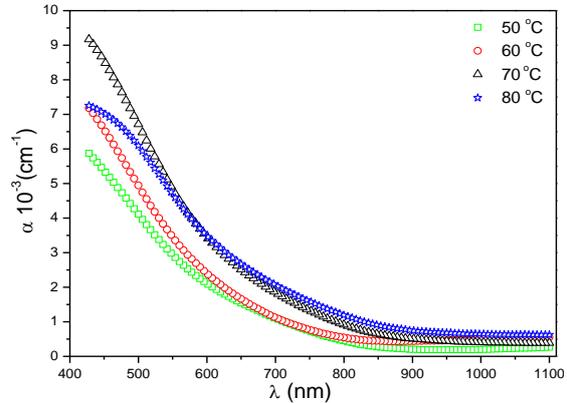
Şekil 7. 50-80°C'de 4 saatte depolanan SnS<sub>2</sub> ince filmlerin imajiner dielektrik sabiti eğrileri

$$\alpha = -\frac{1}{t} \ln(T) \quad (6)$$

Burada,  $T$  optik geçirgenlik,  $t$  film kalınlığıdır.



Şekil 6. 50-80°C'de 4 saatte depolanan SnS<sub>2</sub> ince filmlerin real dielektrik sabiti eğrileri



Şekil 8. 50-80 °C'de 4 saatte depolanan SnS<sub>2</sub> ince filmlerin optik soğurma eğrileri

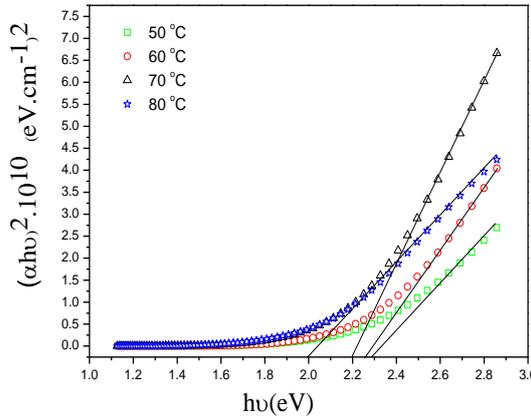
Şekil 6 ve Şekil 7'de 50-80°C aralığında 4 saatte depolanan SnS<sub>2</sub> ince filmlerin real ( $\varepsilon_1$ ) ve imajiner dielektrik ( $\varepsilon_2$ ) sabitlerinin foton dalgaboyuna göre değişimi verilmiştir. Her iki grafikte de depolama sıcaklığı arttıkça reel ve imajiner sabit değerlerinin arttığı görülmektedir. SnS<sub>2</sub> filmlerinin 550 nm de real dielektrik sabitleri 16-37 ve imajiner dielektrik sabitleri 1,1-2,7 bulunmuştur. SnS<sub>2</sub> ince filmlerinin oda sıcaklığındaki soğurma katsayısının hesaplanması Eşitlik 6 ile yapılmıştır.

Şekil 8 incelendiğinde depolama sıcaklığı arttıkça filmlerin soğurma kenarının kısa dalga boylarına doğru kaydığı görülebilir. Mor ötesi bölgede soğurma kenarı artış gösterirken kızılötesi bölgede düşüş göstermiştir.

SnS<sub>2</sub> ince filmlerin yasak enerji aralığını bulmak için aşağıdaki temel eşitlik göz önüne alınmıştır [27]

$$\alpha h\nu = K(h\nu - E_g)^{n/2} \quad (7)$$

Burada,  $\alpha$  soğurma katsayısı,  $K$  sabit bir sayı,  $h\nu$  foton enerjisi,  $E_g$  yarıiletkenin enerji bant aralığı ve  $n$  sabit bir sayıdır. Doğrudan bant aralıklı yarıiletkenler için  $n=1$ , dolaylı bant aralıklı yarıiletkenler için  $n=4$ 'tür.

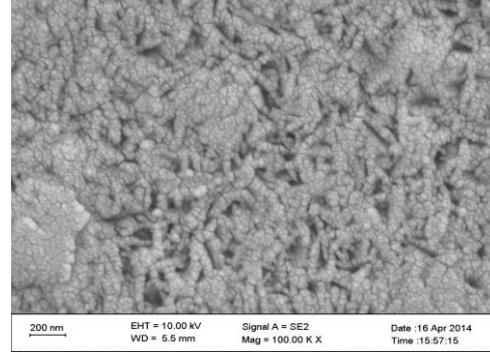


Şekil 9. 50-80°C'de 4 saat depolanan SnS<sub>2</sub> ince filmlerin  $(\alpha h\nu)^2$  ifadesinin foton enerjisine ( $h\nu$ ) göre değişimi

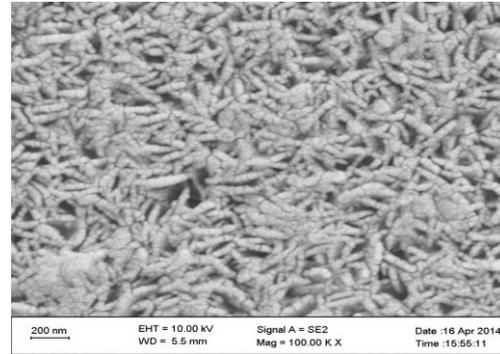
50°C, 60°C, 70°C ve 80°C'de 4 saatte depolanan SnS<sub>2</sub> ince filmlerin  $(\alpha h\nu)^2$  ifadesinin foton enerjisine ( $h\nu$ ) göre değişimi Şekil 9'da gösterildi. Eğrilere yapılan lineer fitler sonucunda filmlerin direk enerji bant aralığı değerinin sıcaklık artıka 2,29 eV tan 1,99 eV ta azaldığı hesaplanmıştır. Bulunan bu değerler literatürde verilen değerlerle uyum içinde bulunmuştur [28–30].

### 3.3. Morfolojik Özellikler

Elde edilen SnS<sub>2</sub> filmlerin SEM görüntülerinin incelenmesi sonucu; yüzey görünümü, tabana tutunması, homojenliği ve yüzey kusurları hakkında bilgilere ulaşılabilir. 50°C'de 4 saatte depolanan SnS<sub>2</sub> ince filmin SEM görüntüsü Şekil 10'da görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi tanecikler iğneli yapıda biraz daha düzensiz yapıda oluşmasına rağmen 60°C'de üretilen filmin tanecik yapısı iğneli bir dokuya sahip olup daha düzenli bir yapıda oluşmuştur (Şekil 11).

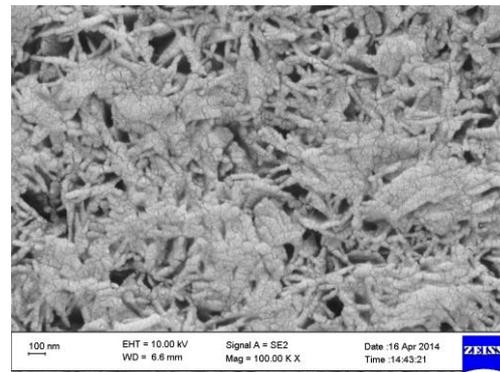


Şekil 10. 50°C'de 4 saat depolanmış SnS<sub>2</sub> ince filmin SEM görüntüsü

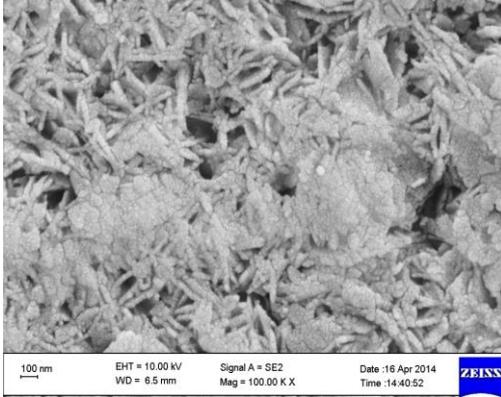


Şekil 11. 60°C'de 4 saat depolanmış SnS<sub>2</sub> ince filmin SEM görüntüsü

70 ve 80 °C'de 4 saatte depolanmış SnS<sub>2</sub> ince filmin SEM görüntüsü Şekil 12-13'de verilmiştir.



Şekil 12. 70°C'de 4 saat depolanmış SnS<sub>2</sub> ince filmin SEM görüntüsü



**Şekil 13.** 80°C’de 4 saat depolanmış SnS<sub>2</sub> ince filmin SEM görüntüsü.

Bu filmlerin tanecik şekli ve alttabana tutunma biçimi 50°C ve 60°C’de depolanmış SnS<sub>2</sub> ince filmlerin SEM görüntüleriyle benzerlik göstermektedir. Üretim sıcaklığı arttıkça filmlerin hızlı oluşması nedeni ile düzensiz büyük kümeler şeklinde alttaban üzerine yığılmalar gerçekleşir ve filmlerin amorf yapıya dönüşmesine neden olur. Bu benzerlik filmlerin XRD kırınım desenleriyle de uyumludur.

#### 4. SONUÇLAR

SnS<sub>2</sub> ince filmlerinin 50, 60, 70 ve 80°C’deki X-ışını kırınım desenleri 2θ=10°-80° arasında alındı. Elde edilen filmlerin amorf yapıda büyüdüğü gözlemlendi. Hall ölçümleri sonucunda filmlerin n-tipi iletkenliğe sahip olduğu bulundu. SnS<sub>2</sub> ince filmlerinin geçirgenliği %70-90 arasında bulundu. Geçirgenlik değerlerinin yüksek olması nedeni ile güneş pillerinde pencere tabakası olarak kullanımı uygundur. SnS<sub>2</sub> ince filmlerin enerji bant aralığı değerleri 1,99–2,29 eV bulundu.

#### 5. KAYNAKLAR

1. Shi C, Yang P, Yao M, Dai X, Chen Zhu., 2013. Preparation of SnS<sub>2</sub> Thin Films by Close-Spaced Sublimation at Different Source Temperatures. *Thin Solid Films*, 534, 28–31.
2. Kiruthigaa G, Manoharan C, Raju C, Dhanapandian S, Thanikachalam V., 2014. Synthesis and Spectroscopic Analysis of Undoped and Zn doped SnS<sub>2</sub> Nanostructure by Solid State Reaction Method. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 26, 533–539.
3. Khelia C, K. Boubaker, T. Ben Nasrallah, M. Amlouk, Belgacem S., 2009. Morphological and Thermal Properties of β-SnS<sub>2</sub> Sprayed Thin Films Using Boubaker Polynomials Expansion. *Journal of Alloys and Compounds*, 477, 461–467.
4. Schlaf R, Armstrong N. R, Parkinson B. A, Pettenkofer C, Jaegermann W., 1997. Van der Waals Epitaxy of the Layered Semiconductors SnSe<sub>2</sub> and SnS<sub>2</sub>: Morphology and Growth Modes. *Surface Science*, 385, 1–14.
5. Reddy, N. K, Reddy, K. T. R., 1998. Growth of Polycrystalline SnS Films by Spray Pyrolysis. *Thin Solid Films*, 325,4–6.
6. Koteswara Reddy N, Ramakrishna Reddy K T, Fisher G, Best R, Dutta P K., 1999. The Structural Behaviour of Layers of SnS Grown by Spray Pyrolysis. *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 32, 988–990.
7. Sokolov I. A., 2000. Adaptive Photodetectors: Novel Approach for Vibration Measurements. *Measurement*, 27, 13–9.
8. Shi W, Huo L, Wang H, Zhang H, Yang J, Wei P., 2006. Hydrothermal Growth and Gas Sensing Property of Flower Shaped SnS<sub>2</sub> Nanostructures. *Nanotechnology*, 17, 2918–2924.
9. Tan F, Qu S, Zeng X, Zhang C, Shi M, Wang Z, Jin L, Bi Y, Cao J, Wang Z, Hou Y, Teng F, Feng Z., 2010. Photovoltaic Effect of Tin Disulfide with Nanocrystalline/ Amorphous Blended Phases. *Solid State Communications*, 150, 58–61.
10. Seo J-W, Jang J-T, Park S-W, Kim C, Park B, Cheon J., 2008. Two-Dimensional SnS<sub>2</sub> Nanoplates with Extraordinary High Discharge Capacity for Lithium Ion Batteries. *Advanced Materials*, 20, 4269–4273.
11. De D, Manongdo J, See S, Zhang V, Guloy A., 2013. Haibing Peng. High on/off Ratio Field Effect Transistors Based on Exfoliated Crystalline SnS<sub>2</sub> Nano-membranes. *Nanotechnology* 24-025202 (6pp).
12. Sanchez-Juarez A, Tiburcio-Silver A, Ortiz A., 2005. Fabrication of SnS<sub>2</sub>/SnS

- Heterojunction Thin Film Diodes by Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition. *Thin Solid Films* 480–481:452 – 456.
13. Kutchinsky J, Taboryski R, Sorensen C. B, Hansen J. B, Lindelof P. E., 2001. Experimental Investigation of Supercurrent Enhancement in S-N-S Junctions by Non-Equilibrium Injection into Supercurrent-Carrying Bound Andreev States. *Physica C*, 352- 4–10.
  14. Gajendiran J, Rajendran V., 2011. Synthesis of SnS<sub>2</sub> Nanoparticles by a Surfactant-Mediated Hydrothermal Method and their Characterization. *Nanosci. Nanotechnol.* 2 - 015001 (4pp).
  15. Deshpande N.G, Sagade A. A, Gudage Y. G, Lokhande C. D., 2007. Ramphal Sharma. Growth and Characterization of Tin Disulfide (SnS<sub>2</sub>) Thin Film Deposited by Successive Ionic Layer Adsorption and Reaction (SILAR) technique. *Journal of Alloys and Compounds*, 436, 421–426.
  16. Cheng L. L, Liu M H , Wang S. C, Wang M. X, Wang G. D, Zhou Q. Y, Chen Z. Q., 2013. Nano-flower and Nano-wall SnS<sub>2</sub> Films Fabricated with Controllable Shape and Size by the PECVD Method. *Semicond. Sci. Technol.* 28-015020 (8pp).
  17. Khelia C, Boubaker K, Ben Nasrallah T., Amlouk M, Belgacem S, Saadallah F, Yacoubi N., 2009. Morphological and Thermal Properties of b-SnS<sub>2</sub> Crystals Grown by Spray Pyrolysis Technique. *Journal of Crystal Growth*, 311, 1032–1035.
  18. George J, Valsala Kumari C. K., 1983. Growth and Characterization of Tin Disulphide Crystals Grown by Physical Vapour Transport Method. *Journal of Crystal Growth*, 63, 233-238.
  19. Gupta R. K, Yakuphanoglu F., 2012. Photoconductive Schottky Diode Based on Al/p-Si/SnS<sub>2</sub>/Ag for Optical Sensör Applications. *Solar Energy*, 86, 1539–1545.
  20. Sreedevi G, Ramakrishna Reddy K. T., 2013. Dependence of Optical Properties of Chemical Bath Deposited SnS<sub>2</sub> Films on Deposition Time. *Solid State Physics*, 1512, 688–689.
  21. Guneri E, Ulutas C, Kirmizigul F, Altindemir G, Gode F, Gumus C., 2010. Effect of Deposition Time on Structural, Electrical, and Optical Properties of SnS Thin Films Deposited by Chemical Bath Deposition. *Applied Surface Science*, 257, 1189–1195.
  22. Bar M, Ennaoui A, Klaer J, Saez-Araoz R, Kropp T, Weinhardt L, Heske C, Schock H. W, Fischer C. H, Lux-Steiner M. C., 2006. The Electronic Structure of the [Zn(S,O)/ZnS]/CuInS<sub>2</sub> Heterointerface- Impact of Post-Annealing. *Chemical Physics Letters*, 433, 71–74.
  23. Panda A, Antonakos E, Liarokapis S, Bhattacharya S. Chaudhuri. S., 2007. Optical Properties of Nanocrystalline SnS<sub>2</sub> Thin Films. *S.K. Materials Research Bulletin*, 42, 576–583.
  24. Ramakrishna Reddy K. T, Sreedevi G, Ramyaan K , Miles R.W., 2012. Physical Properties of Nano-Crystalline SnS<sub>2</sub> Layers Grown by Chemical Bath Deposition. *Energy Procedia*, 15, 340 – 346.
  25. Kariper A, Güneri E, Göde F, Gümüş C, Özpozan T., 2011. The Structural, Electrical and Optical Properties of CdS Thin Films as a Function of pH. *Materials Chemistry and Physics*, 129, 183–188.
  26. Kırmızıgül F, Güneri E, Gümüş C., 2012. Effects of different deposition conditions on the Properties of Cu<sub>2</sub>S thin films, 93,511-523.
  27. Gümüş C, Ulutaş C, Esen R, Özkendir O. M, Ufuktepe Y., 2005. Preparation and Characterization of Crystalline Mns thin Films by Chemical Bath Deposition. *Thin Solid Films*, 492, 1–5.
  28. Schlaf R, Armstrong N. R, Parkinson B. A, Pettenkofer C, Jaegermann W., 2007. Vander Waals Epitaxy of the Layered Semiconductors SnSe<sub>2</sub> and SnS<sub>2</sub>: Morphology and Growth Modes. *Journal of Alloys and Compounds*, 436, 421–426.
  29. Zhang Y. C, Du Z. N, Li S. Y, Zhang M., 2010. Novel Synthesis and High Visible Light Photocatalytic Activity of SnS<sub>2</sub> Nanoflakes from SnCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O and S powders. *Applied Catalysis B: Environmental*, 95, 153–159.
  30. Geng H, Su Y, Wei H, Xu M, Wei L, Yang Z, Zhang Y., 2013. Controllable Synthesis and Photoelectric Property of Hexagonal SnS<sub>2</sub> Nanoflakes by Triton X–100 Assisted

Hydrothermal Method. *Materials Letters*, 111,  
204-207.



## Eksik Akım Verilerinin Tahmin Modelinin Oluşturulmasında Yapay Sinir Ağlarının Kullanımı: Asi Nehri-Demirköprü Akım Gözlem İstasyonu Örneği

Evren TURHAN\*<sup>1</sup>, Hatice Özmen ÇAĞATAY<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Adana Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana

<sup>2</sup>Çukurova Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 06.01.2016

Kabul tarihi: 22.04.2016

### Özet

Hidrolojik planlamalarda eksik olan akım verilerinin tahmin edilmesi su yapılarının tasarım süreçlerinin çok önemli bir aşaması olmaktadır. Bu çalışmada Ülkemizin en önemli sel havzalarından biri olarak kabul edilen Hatay suları havzası'nda bulunan 1907 numaralı Asi nehri-Demirköprü AGİ'ye ait eksik aylık akım verileri havzadaki yakın diğer istasyonların akım verileri kullanılarak, İleri beslemeli geri yayınlı yapay sinir ağları (İBGYSA) yöntemi yardımıyla ayrı ayrı modellenmiştir. Her bir model sonucu çoklu doğrusal regresyon (ÇDR) ve çoklu doğrusal olmayan regresyon (ÇDOR) yöntemleri ile karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda İBGYSA yönteminin ÇDR ve ÇDOR yöntemlerine göre az da olsa daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Yapay sinir ağları (YSA), Çoklu regresyon, Demirköprü.

### Using of Artificial Neural Network (ANN) for Setting Estimation Model of Missing Flow Data: Asi River-Demirköprü Flow Observation Station (FOS)

#### Abstract

Estimation of missing data in hidrological planning is a very important stage of design processes of water structures. In this study, missing monthly flow data of Asi River-Demirköprü Flow Observation Station (FOS) (No:1907) were estimated with using existed flow data of other flow stations which close to these stations in the same basin. By using Feed Forward Back Propagation Neural Network (FFBPNN) as the model of Artificial Neural Network (ANN) method, missing flow data was modelled. The results of each FFBPNNs were compared with Multiple Regression (MR) results. According to the results of this study, FFBPNN method produced mostly better results than MR.

**Keywords:** Artificial neural networks (ANN), Multiple regression, Demirköprü.

---

\* Yazışmaların yapılacağı yazar: Evren TURHAN, ABTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana.  
eturhan@adanabtu.edu.tr

## 1. GİRİŞ

Globalleşen dünyada, iklim değişiklikleri ile birlikte çevresel problemler artmakta, kullanılabilir su kaynaklarının azalmasının ciddi bir risk oluşturacağı öngörülmektedir. Sınırlı bir kaynak olan suyun kullanımına yönelik iyi bir plânlamanın yapılması çok önemli bir durum haline gelmiştir. Bu doğrultuda su yapılarının geliştirilmesinde daha kapsamlı araştırmaların yapılması gerekmektedir.

Su kaynakları açısından potansiyellerin belirlenmesinde; yönetsel stratejilerin oluşturulması çok önemli olmakta; plânlama, inşaat ve işletilme konularının da ele alınması su kaynakları mühendisliğinin temelini oluşturmaktadır. Yapılan bu çalışma sonucunda, su yapılarının tasarımında önemli bir etken olan eksik akım verilerinin tahmini konusu ele alınmaya çalışılmıştır.

Efektif bir planlama oluşturabilmek yeterli sayıda akım verilerini mecbur kılmaktadır. Bu doğrultuda havza sınırlarındaki su kaynaklarının mevcut akım verileri ile tahmin yapmak hidrolojik açıdan önemli olmaktadır. Fakat akım bilgi elde etme süreçlerinin genelde lineer olmayan özellikte olması hesaplamalara zorluk oluşturmaktadır. Bu sebeple YSA'nın lineer olmayan modellemelerinin mevcut gözlenmiş akım verilerinin analizinde kullanılması tahmin modelini kolaylaştırmaktadır [1].

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Literatürde havza modellemesi konularında YSA'nın ve birçok farklı modellerin kullanıldığı çeşitli çalışmalar bulunmaktadır.

Kişî [2], yaptığı çalışmada Göksudere Nehri üzerinde bulunan İsaköy AGİ'ye ait aylık akımları YSA ve değişik istatistiki yöntemler yardımı ile tahmin etmeye çalışmış ve çalışma sonucunda YSA yönteminin akım tahmininde rahatlıkla kullanılabileceği sonucunu elde etmiştir.

Önal [3], yaptığı çalışmada YSA metodu ile Kızılırmak Nehri üzerinde akım tahmin modellemesi üzerine çalışmış, sonuç olarak YSA

metodunun akım tahmin problemlerinde kullanılabilmesi sonucuna varmıştır.

Gümüş vd. [4], yaptığı çalışmada Orta Fırat Havzası'nda bulunan 2122 numaralı AGİ'ye ait aylık ortalama akım verileri ile 17099 numaralı Yağış Gözlem İstasyonuna (YAGİ) ait aylık toplam yağış verileri arasındaki ilişkiyi araştırmışlar, İBGYSA metodu ile elde edilen sonuçları ÇDR yöntemi ile karşılaştırmışlardır. Çalışma neticesinde İBGYSA yönteminin ÇDR yöntemine göre daha iyi sonuçlar verdiğini gözlemlemişlerdir.

Terzi ve Köse [5], yaptıkları çalışmada YSA yöntemi ile Göksu Nehri'nin akım tahminleri üzerine çalışarak eksik verileri tamamlama üzerine odaklanmışlardır. Çalışma neticesinde YSA yönteminin akım tahmininde kullanılabilir olduğunu belirtmişlerdir.

Kavşut ve Gümüş [6], yaptıkları çalışmada Seyhan Havzası'nda bulunan 1806 numaralı Zamantı Nehri-Ergenusağı AGİ'ye ait eksik aylık akım verilerinin tahminini ele almışlar ve çalışma sonucunda eksik veri tahmininde İBGYSA yönteminin eksik verilerin tamamlanmasında diğer yöntemlere göre daha iyi sonuç verdiği sonuca varmışlardır.

Turhan ve Çağatay [7], yaptıkları çalışmada Ceyhan Nehri Poskoflu AGİ'ye ait eksik aylık akım verilerini yine aynı havzada yer alan yakın diğer bir istasyon olan Kabağaç (Akçıl) AGİ'ye ait akım verileri yardımı ile tahmin etmeye çalışmışlar ve İBGYSA yönteminin ÇDR yöntemine göre daha iyi sonuçlar verdiğini gözlemlemişlerdir.

Bu çalışmada, ülkemizin sel rejimi yüksek havzalarından biri olan Hatay Suları Havzası'nda bulunan 1907 numaralı Ası Nehri-Demirköprü AGİ'ye ait eksik aylık akım verileri aynı havzada bulunan, mevcut akım verilerinin korelasyonunun uygun olduğu 1905 numaralı Karasu Nehri-Torun Köprüsü AGİ, 1906 numaralı Afrin Deresi-Müşrüflü AGİ ve 1908 numaralı Ası Nehri-Antakya AGİ'lerine ait akım verileri yardımıyla İBGYSA metodu kullanılarak ayrı ayrı



modellenecek tahmin edilmeye çalışılmıştır. Sonuçlar Çoklu Regresyon yöntemleri ile karşılaştırılarak YSA yönteminin güvenilirlik analizi yapılmıştır.

### 3. MATERYAL VE METOT

#### 3.1. İleri Beslemeli Geri Yayımlı Yapay Sinir Ağı (İBGYSA)

İBGYSA metodunda girdi, gizli ve çıkış birimleri şeklinde üç farklı adım yer almaktadır. Her kısım genelde birden fazla nörondan oluşmakta, adımlar birbirleri ile ağırlıklar vasıtası ile bağlanmaktadır.

Bağlanma durumu ve her kısımdaki nöron sayısı farklılık gösterebilmektedir [8].

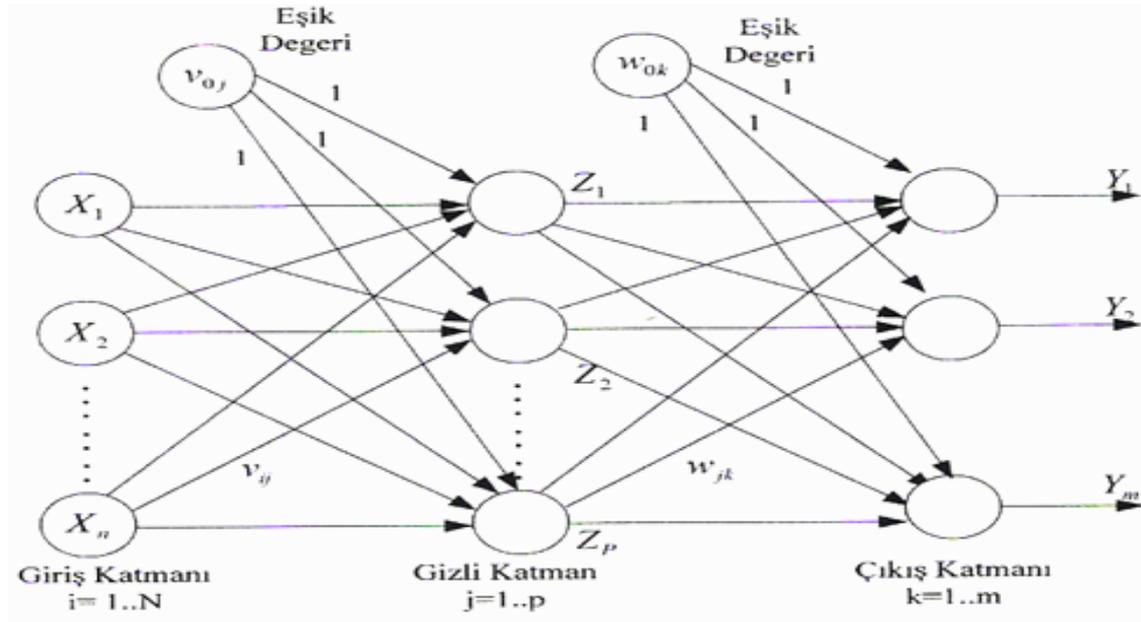
İBGYSA iki ana bölümden oluşmaktadır. Birinci kısım çıkış birimindeki verileri hesaplayabilmek için dış girdi verilerini ileriye doğru aktaran bir ileri doğru hesaplama adımı; ikinci kısım ise çıkış

birimindeki hesaplanan ve gözlenmiş verilerin arasındaki değişikliklere göre bağlantı İBGYSA modeli ile birer girdi, gizli ve çıkış birimlerinden oluşan üç adımlı bir öğrenme ağı kısmı şeklindedir [9].

Her bir kısmın girdi nöronlarında  $x_a$ ;  $a=1, \dots, k$  girdi değerlerini almakta ve çıkış nöronlarında ise;  $T_b$ ;  $b=1, \dots, m$  çıkış değerleri ile birlikte toplam  $N$  adet girdi grubunu oluşturmaktadır. Girdi değerleri gizli nöronlardaki ilk ara ağırlıkları,  $w_{aj}$ ;  $j=1, \dots, h$  ile çarpılmakta ve sonuçlar  $a$  endeksi boyunca toplanmakta ve gizli birimlerin girdilerini oluşturmaktadırlar. Şekil 1'de bir İBGYSA yapısı görülmektedir [10].

Örneğin;

$$H_j = \sum_{a=1}^k w_{aj} x_a \quad (j = 1, \dots, h, \dots) \quad (1)$$



Şekil 1. Bir İBGYSA yapısı [10].

Burada  $H_j$ ,  $j$  gizli nodunun girdisi,  $w_{aj}$  ise;  $a$  nöronundan  $j$  nöronuna doğru bağlantı ağırlığıdır.

Her gizli nöronun bir aktivasyon fonksiyonu ile türevi alınabilir bir fonksiyon olması sebebiyle

tercih edilen sigmoid fonksiyonu ile bir gizli nöron çıkışında,  $HR_j$  oluşmaktadır [11].

Dolayısı ile  $HR_j$ 'yi şu şekilde tanımlayabiliriz:

$$HR_j = f(H_j) = \frac{1}{1 + \exp[-(H_j + \beta_j)]} \quad (2)$$

$H_j$  nöronun girdisi,  $f(H_j)$  nöron çıkışı ve  $\beta_j$  başlangıç değeridir.  $HR_j$  çıkışı bir sonraki kısmın girdisi olarak ele alınmakta ve bu işlem çıkış kısmına kadar devam etmektedir.

$m$  adet çıktı nöronlarına ulaşan girdi şu şekilde bulunmaktadır:

$$LO_b = \sum_{j=1}^h w_{jb} HR_{jb} \quad (b = 1, \dots, m) \quad (3)$$

Bu girdi değerleri daha önce belirtilmiş olan logaritmik sigmoid fonksiyonu tarafından uygulanarak sinir ağı çıkış değerleri,  $R_b$  elde edilmektedir. Ağırlık düzenlemesi ya da öğrenme süreci geriye doğru ilerleme algoritması ile elde edilmektedir. Çıkış kısmındaki  $R_b$  hedef değeri  $T_b$  ile aynı olmamaktadır.

Her girdi grubu için hata karelerinin toplamı,  $e_s$ ,  $s$ 'nci girdi grubu için şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$e_s = \sum_{b=1}^m (T_b - R_b)^2 \quad (4)$$

Ortalama kare hatası (OKH),  $C$ , bütün girdi grupları için şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$C = \frac{1}{2N} \sum_{s=1}^N \sum_{b=1}^m (T_{sb} - R_{sb})^2 \quad (5)$$

Burada  $T_{sb}$ ,  $s$ 'nci grup için  $T_b$  hedef değeri;  $R_{sb}$  ise  $s$ 'nci grup için  $R_b$  çıkış değeridir. Geriye doğru ilerleme algoritmasının hedefi ortalama kare hatasının iterasyonla en azami seviyeye indirilmesidir [12]. Bu önce çıkış kısmındaki her nöron için  $\delta_b$  gradyanının hesaplanması ile

gerçekleştirilir:

$$\delta_b = R_b (1 - R_b) (T_b - R_b) \quad (6)$$

Hata gradyanı  $\delta_j$  daha sonra gizli birimler için bir önceki kısımda oluşan hataların ağırlıklı toplamının hesaplanması ile bulunmaktadır:

$$\delta_j = HR_j (1 - HR_j) \sum_{b=1}^m \delta_b w_{jb} \quad (7)$$

Hata gradyanları, ağ ağırlıklarını düzenlemek için kullanılmaktadır:

$$\Delta w_{aj}(z) = \lambda f_j x_a \quad (8)$$

$$w_{aj}(z + 1) = w_{ja}(z) + \Delta w_{ja}(z) \quad (9)$$

$b$ 'inci veri sunumundan sonraki ağırlık değişimi şu şekildedir:

$$\Delta w_{ja}(z) = \lambda f_j x_a + \phi \Delta w_j(z - 1) \quad (10)$$

Burada  $\phi$ , sonuca hızlı ulaşılmasını sağlayan momentum oran terimi;  $\lambda$ , etap boyutunu ayarlayan öğrenme oranı;  $z$  ise iterasyon numarasıdır [1].

### 3.2. Çoklu Doğrusal Regresyon (ÇDR)

Bu çalışmada akım tahmininde YSA ile elde edilen sonuçları karşılaştırmak için ÇDR analizinden faydalanılmıştır. Regresyon analizinin yapılmasının sebebi ise; değişkenler arasında anlamsal düzeyde bir ilişki olup olmadığını belirlemek, ilişki varsa bu ilişkiyi ifade eden regresyon denklemini elde etmek, bu denklemi kullanarak da tahmin yapabilmek ve sonucunda bu tahminlerin güven aralıklarını hesaplayabilmektir. İki değişken arasında anlamsal düzeyde bir ilişki olup olmadığına karar verebilmek amacı ile korelasyon katsayısına bakılır. Eğer korelasyon katsayısının mutlak değeri 1'e yakın bir değer ise; iki değişken arasında bağımlılığın güçlenerek deterministik bir ilişkiye yaklaştığı öngörülmektedir. ÇDR analizi MATLAB programı, ÇDOR analizi ise Excel programı yardımı ile yapılmıştır.

ÇDR analizinde bağımlı değişken  $y$ ; bağımsız değişkenler  $x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_s$  ile ifade edildiğinde aralarındaki ilişki:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_i x_i + \dots + \beta_s x_s + \varphi \quad (11)$$

(11) denklemindeki  $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_i, \dots, \beta_s$  bilinmeyenlerine 'Regresyon Katsayıları' denilmektedir. Herhangi bir  $\beta_i$  katsayısı, diğer değişken ifadeleri sabit olarak alındığında  $x_i$  ifadesindeki bir birim değişme sonucunda  $y$  değişkeninde meydana gelecek değişim miktarını göstermektedir.  $\beta_i$  ( $i=1,2,\dots,s$ ) parametreleri ise 'Kısmi Regresyon Katsayıları' olarak ifade edilmektedir.  $\beta_0$ 'a sabit denmekte ve tüm  $x_i$  değişkenleri sıfıra eşit olduğunda elde edilen değeri göstermektedir.  $\varphi$  ise hata sabiti olmaktadır [6].

Regresyon için veriler sürekli halde reel sayı olduğu ve eksik veri sayısı tahmin yapmayı etkileyecek kadar çok olmadığı için regresyona uygun olduğu düşünülmüştür.

### 3.3. Çoklu Doğrusal Olmayan Regresyon (ÇDOR)

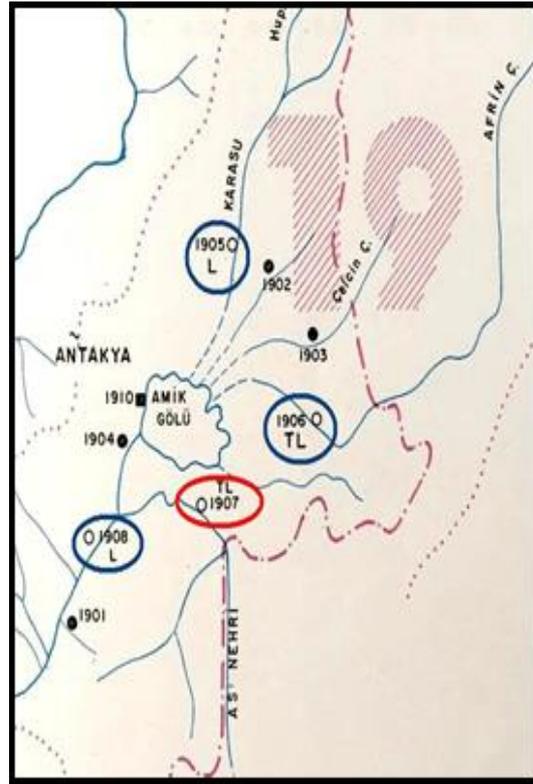
Lineer regresyon ile temelde benzer olmakla beraber lineer olmayan regresyonda da ulaşılmak istenen hedef bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında lineer olmayan bir ilişkinin var olup olmadığıdır. Lineer olmayan regresyonda lojistik, üstel ve polinom denklemleri genelde kullanılmaktadır. Bu tip denklemlerde, üzerinde ilişki olup olmadığı irdelenen değişken ve bağımlı parametreler ele alınarak bulunması gereken, bir kaç bilinmeyen parametre mevcut olmaktadır. Örneğin P bağımlı değişkeni ile denklem (12)'de verilen bağımsız değişkenler arasında üstel bir fonksiyon düşünülerek lineer olmayan regresyon analizi gerçekleştirilmiştir.

$$P = v a_1^{\beta_1} a_2^{\beta_2} a_3^{\beta_3} \dots a_n^{\beta_n} \quad (12)$$

Burada  $\beta_i$  i'nci model parametresi,  $v$  çarpımsal hata terimi, ve  $n$  değişken sayısını belirtmektedir [13].

## 4. BULGULAR

Çalışma dahilinde, Hatay-Reyhanlı karayolunun Hatay'dan itibaren 22. km'sindeki Demirköprü köyünde bulunan 1907 numaralı Ası Nehri-Demirköprü AGİ'ye ait 1960 yılı eksik aylık akım verileri tahmin edilmeye çalışılmıştır. Eksik aylık akım verileri aynı havzada yakında yer alan 1905 numaralı Karasu-Torun Köprüsü AGİ; 1906 numaralı Afrin Deresi-Müşröflü AGİ ve 1908 numaralı Ası Nehri- Antakya AGİ verileri yardımı ile ayrı ayrı İBGYSA yöntemi ile MATLAB programında modellenmiştir. Ayrıca ÇDR ve ÇDOR yöntemleri de kullanılarak İBGYSA sonuçlarının karşılaştırılması amaçlanmıştır. Şekil 2'de Hatay Suları Havzası'nın Genel Haritası ve AGİ'ler gösterilmektedir [14].



Şekil 2. Hatay suları havzası AGİ'leri [14].

1907 numaralı Ası Nehri-Demirköprü AGİ'nin 1960 yılı eksik verilerinin tahminine yönelik

İBGYSA, ÇDR ve ÇDOR modellemeleri 1905, 1906 ve 1908 numaralı AGİ'lerinin verileri yardımı ile ayrı ayrı ele alınmıştır. Her bir modellemede dört farklı deneme yapılmıştır. İstasyonlar arasında oluşturulan YSA mimari yapıları Çizelge 1'de görülmektedir. Çalışmada 1905 numaralı AGİ'lere ait 105 verinin 73'ü eğitim, 32'si test kısmında; 1906 numaralı AGİ'ye ait 67 verinin 47'si eğitim, 20'si test kısmında; 1908 numaralı AGİ'ye ait 94 verinin 66'sı eğitim, 28'i test kısmında sınanmıştır.

Çizelge 1'de görüldüğü üzere örnek olarak  $Q_{1905t}$  1905 numaralı AGİ'nin o aya ait;  $Q_{1905t+1}$  1905 numaralı AGİ'nin bir sonraki ayına ait;  $Q_{1905t+2}$  1905 numaralı AGİ'nin iki sonraki ayına ait;  $Q_{1905t+3}$  1905 numaralı AGİ'nin üç sonraki ayına ait akım değerlerini;  $Q_{1906t}$  1906 numaralı AGİ'nin o aya ait;  $Q_{1906t-1}$  1906 numaralı AGİ'nin bir önceki ayına ait;  $Q_{1906t-2}$  1906 numaralı AGİ'nin iki önceki ayına ait;  $Q_{1906t-3}$  1906 numaralı AGİ'nin üç önceki ayına ait akım değerlerini göstermektedir.  $Q_{1907t}$ 'nin t-1 ve t+1 olarak girdileri de mimarilere eklenmektedir.

Model oluşturulurken transfer fonksiyonu olarak

'Logaritmik Sigmoid Transfer Fonksiyonu' kullanılmakta ve çıkışlar (0,1) aralığında çıkış katmanı ise doğrusal fonksiyon şeklindedir.

Bu sebeple veriler ağ yapısına girmeden normalize edilmelidir. Normalizasyon yapıldığından çok yüksek veriler olduğu halde bir sorun oluşturmamaktadır. Denklem (13) kullanılarak normalize işlemi gerçekleştirilmektedir.

$$Q_{ne} = \psi \frac{Q_e - Q_{min}}{Q_{mak} - Q_{min}} + \rho \quad (13)$$

$Q_{min}$  ve  $Q_{max}$  her bir istasyonun minimum ve maksimum debisini;  $Q_e$  normalize edilmiş debi değerlerini göstermektedir. Denklemdeki  $\Psi$  ve  $\rho$  değerleri sırası ile 0.6 ve 0.2 olarak sabit değerlendirilmiştir. Denklem ters işlem uygulanarak normalizasyon tamamlanmıştır. Ortalama Mutlak Göreceli Hata (OMGH) değerlerinin sıfıra,  $R^2$  değerinin de 1 değerine yakın olması iyi bir tahmin yapıldığını göstermektedir. Saklı tabaka ve ara katmanlarda farklı nöron değerleri yani hücre sayıları kullanılmıştır. Çıkış değeri 1 olarak belirtilmiştir.

Tahmin verileri OMGH ve Belirlilik Katsayısı ( $R^2$ ) baz alınarak  $Q_{ölçülen}$  gözlenmiş akım verilerini,  $Q_{hesaplanan}$  modelleme sonucu akım verilerini göstermektedir. Eldeki mevcut verilerin %70'i eğitim, %30'u test aşamasında kullanılmıştır.

Ayrı ayrı senaryolar, model yapısından görüldüğü üzere Eğitim ve Test aşamasında denenmiştir. OMGH ve Belirlilik Katsayıları ( $R^2$ ) değerlendirildiğinde;

N ifadesi toplam veri olarak değerlendirildiğinde,

$$OMGH = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N \left| \frac{Q_{ölçülen} - Q_{hesaplanan}}{Q_{ölçülen}} \right| \times 100 \quad (14)$$

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{ölçülen} - Q_{ortalama})^2 - \sum_{i=1}^N (Q_{ölçülen} - Q_{hesaplanan})^2}{\sum_{i=1}^N (Q_{ölçülen} - Q_{ortalama})^2} \quad (15)$$

Çizelge 1. İBGYSA, ÇDR ve ÇDOR modelleri için eğitim ve test sonuçları

ÇIKIŞ: Q1907 <sub>t</sub>		İBGYSA				ÇDR		ÇDOR	
		Eğitim		Test		Test		Test	
Deneme	Giriş Katmanı	R <sup>2</sup>	OMGH	R <sup>2</sup>	OMGH	R <sup>2</sup>	OMGH	R <sup>2</sup>	OMGH
1	Q1905 <sub>t</sub> , Q1905 <sub>t+1</sub> , Q1907 <sub>t+1</sub>	0,871	0,097	0,877	7,152	0,796	1,030	0,883	4,174
2	Q1905 <sub>t</sub> , Q1905 <sub>t+1</sub> , Q1905 <sub>t+2</sub> , Q1907 <sub>t+1</sub>	0,841	6,782	0,775	0,343	0,805	0,616	0,883	8,675
3	Q1905 <sub>t</sub> , Q1905 <sub>t+1</sub> , Q1905 <sub>t+2</sub> , Q1905 <sub>t+3</sub> , Q1907 <sub>t+1</sub>	0,880	1,830	0,892	8,386	0,772	4,950	0,890	29,09
4	Q1905 <sub>t</sub> , Q1905 <sub>t+1</sub> , Q1905 <sub>t+2</sub> , Q1905 <sub>t+3</sub> , Q1907 <sub>t+1</sub> , Q1907 <sub>t+2</sub>	0,876	0,052	0,900	9,957	0,870	2,876	0,897	15,942
5	Q1906 <sub>t</sub> , Q1906 <sub>t-1</sub> , Q1907 <sub>t-1</sub>	0,789	0,03	0,317	46,172	0,510	18,190	0,277	4,255
6	Q1906 <sub>t</sub> , Q1906 <sub>t-1</sub> , Q1906 <sub>t-2</sub> , Q1907 <sub>t-1</sub>	0,823	0,066	0,318	46,213	0,290	8,163	0,271	9,480
7	Q1906 <sub>t</sub> , Q1906 <sub>t-1</sub> , Q1906 <sub>t-2</sub> , Q1906 <sub>t-3</sub> , Q1907 <sub>t-1</sub>	0,879	0,214	0,615	2,340	0,525	9,577	0,708	6,145
8	Q1906 <sub>t</sub> , Q1906 <sub>t-1</sub> , Q1906 <sub>t-2</sub> , Q1906 <sub>t-3</sub> , Q1907 <sub>t-1</sub> , Q1907 <sub>t-2</sub>	0,908	0,005	0,669	3,979	0,734	7,844	0,755	7,052
9	Q1908 <sub>t</sub> , Q1908 <sub>t+1</sub> , Q1907 <sub>t+1</sub>	0,715	0,013	0,546	0,841	0,587	0,078	0,805	5,891

Çizelge 1. (devamı)

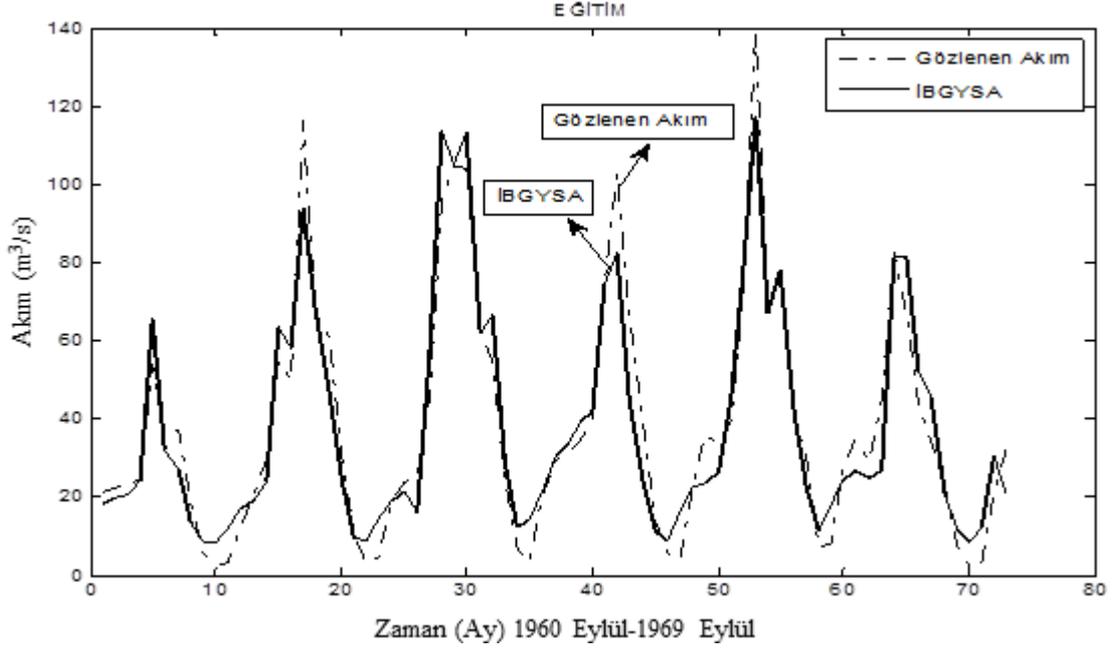
10	Q1908 <sub>t</sub> , Q1908 <sub>t+1</sub> , Q1908 <sub>t+2</sub> , Q1907 <sub>t+1</sub>	0,716	0,037	0,543	0,625	0,580	0,125	0,778	4,750
11	Q1908 <sub>t</sub> , Q1908 <sub>t+1</sub> , Q1908 <sub>t+2</sub> , Q1908 <sub>t+3</sub> , Q1907 <sub>t+1</sub>	0,718	0,023	0,774	8,847	0,797	2,652	0,752	3,561
12	Q1908 <sub>t</sub> , Q1908 <sub>t+1</sub> , Q1908 <sub>t+2</sub> , Q1908 <sub>t+3</sub> , Q1907 <sub>t+1</sub> , Q1907 <sub>t+2</sub>	0,718	0,016	0,771	9,177	0,795	5,612	0,708	5,235

test aşamasında İBGYSA yöntemi en yüksek R<sup>2</sup> ve en düşük OMGH değerlerini vermiştir. Genelde İBGYSA, ÇDR ve ÇDOR yöntemleri sonucu elde edilen değerlerin birbirine çok yakın olduğu görülmüştür. İBGYSA yönteminde test aşamasında R<sup>2</sup> değeri 0,892; OMGH değeri 8,386 olarak elde edilmiştir. ÇDR yönteminde test aşamasında R<sup>2</sup> değeri 0,772; OMGH değeri 4,950 olarak bulunmuştur. ÇDOR yönteminde test aşamasında R<sup>2</sup> değeri 0,890; OMGH değeri 29,09 olarak elde edilmiştir.

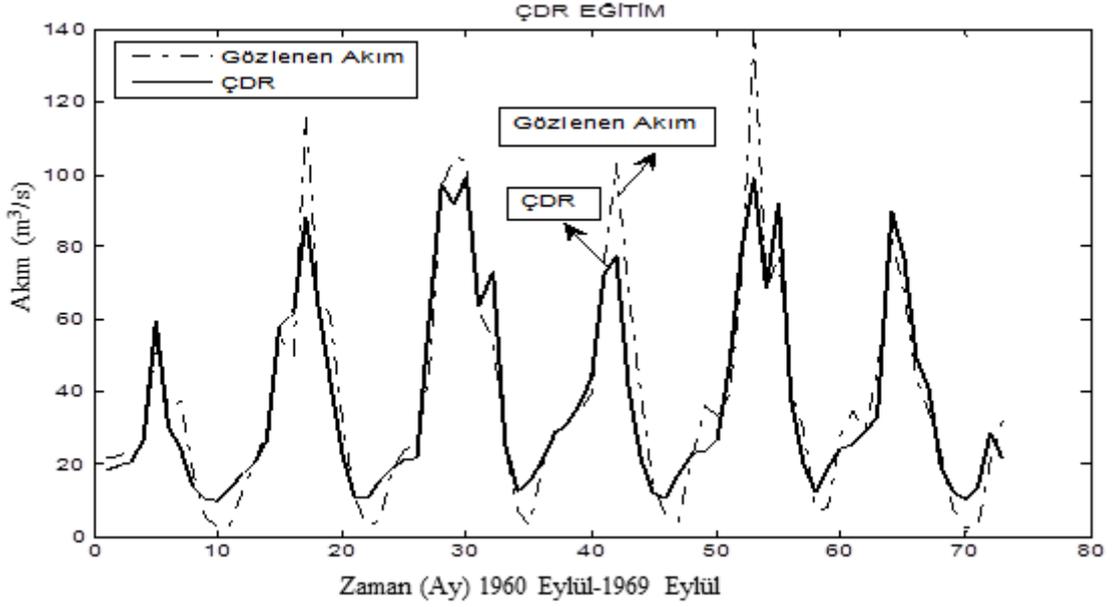
1905 No'lu istasyonun o aya ve sonraki üç aya ait değerlerinin bağımsız değişkenler ve 1907 No'lu istasyonun tahmin edilecek olan akım değerinin bir ve iki sonraki aylarının bağımlı değişkenler olarak kabul edildiği yapıda İBGYSA mimarisinin ÇDR ve ÇDOR değerleri ile yakın sonuçlar elde ettiği görülmekle beraber, az da olsa daha iyi sonuçlar verdiği anlaşılmıştır. Yapılan tahmin modelinde en iyi sonucu Deneme 3'ün sağladığı görülmüştür. 1906 no'lu istasyonun o aya ve önceki üç aya ait değerlerinin bağımsız değişkenler ve 1907 no'lu istasyonun tahmin edilecek olan akım değerinin bir ve iki sonraki aylarının bağımlı değişkenler olarak kabul edildiği yapıda ise genelde Test sonuçları R<sup>2</sup> değerlerinin çok düşük olduğu, aralarındaki anlamsal düzeydeki bağımlı zayıf olduğu görülmüştür. Eğitim sonuçları yüksek çıkmakla birlikte Test aşamasında korelasyon epey

düşmüştür. Bu noktada girilen veri sayısının az olmasının bir etken olduğu düşünülmektedir. 1908 no'lu istasyonun o aya ve sonraki üç aya ait değerlerinin bağımsız değişkenler ve 1907 No'lu istasyonun tahmin edilecek olan akım değerinin bir ve iki ay sonraki değerlerinin bağımlı değişkenler olarak kabul edildiği yapıda genelde test sonuçlarının birbirine çok yakın sonuçlar verdiği, genelde ÇDOR değerlerinin daha iyi tahmin sağladığı görülmüştür.

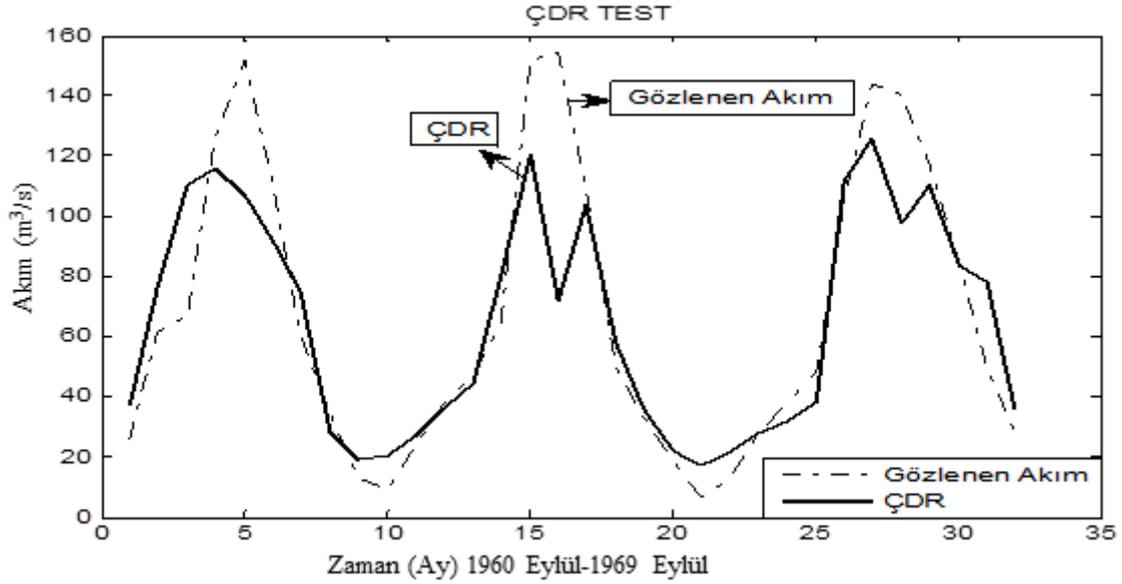
En iyi sonucu sağlayan YSA Mimari Yapısı (5,2,1) olarak belirlenmiş olup; Deneme 3'ün Eğitim Dönemi için İBGYSA yöntemi ile Tahmin Edilen ve Gözlenen Akım Değerleri grafiği Şekil 3'te; Deneme 3'ün Eğitim Dönemi için ÇDR yöntemi ile Tahmin Edilen ve Gözlenen Akım Değerleri Şekil 4'te; Deneme 3'ün Test Dönemi için ÇDR yöntemi ile Tahmin Edilen ve Gözlenen Akım Değerleri Şekil 5'te; Deneme 3'ün test dönemi için İBGYSA yöntemi ile Tahmin Edilen ve Gözlenen Akım Değerleri Şekil 6'da; Deneme 3'ün Eğitim ve Test Dönemi için ÇDOR yöntemi ile Tahmin Edilen ve Gözlenen Akım Değerleri Şekil 7 ve Şekil 8'de; Deneme 3'ün Test Dönemine ait İBGYSA, ÇDR ve ÇDOR yöntemleri ile Tahmin Edilen ve Gözlenen Akım Değerleri Belirlilik Katsayısı (R<sup>2</sup>) grafikleri Şekil 9, Şekil 10 ve Şekil 11'de gösterilmektedir.



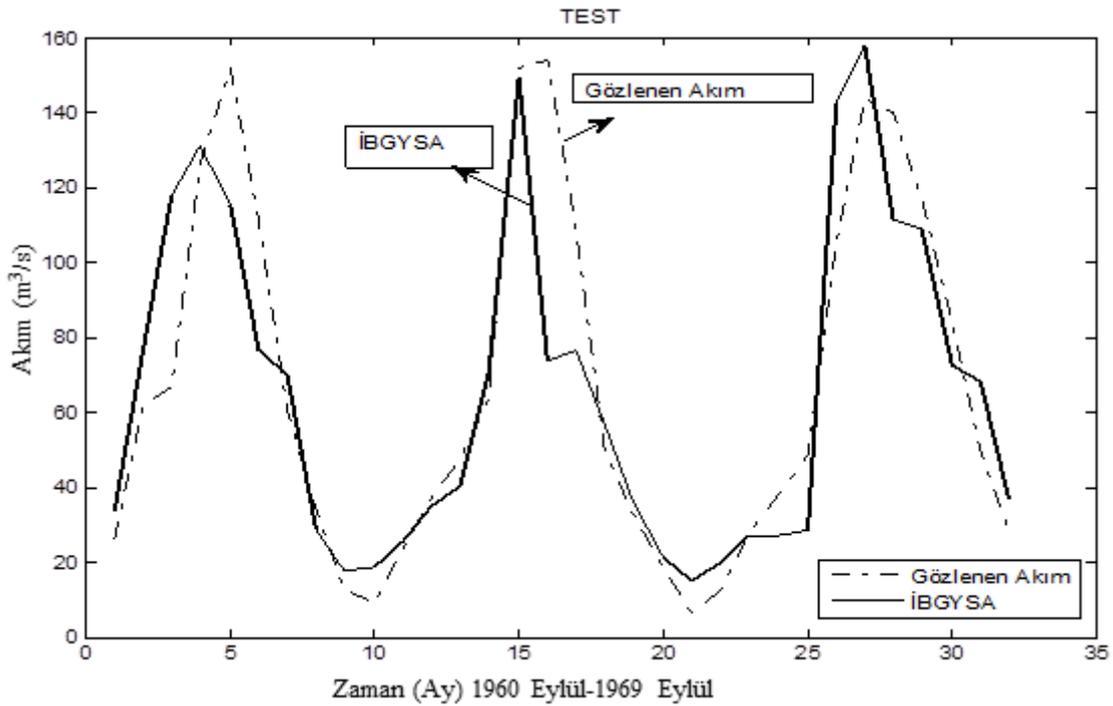
Şekil 3. Deneme 3'ün eğitim dönemi için İBGYSA Yöntemi ile tahmin edilen ve gözlenen akım değerleri



Şekil 4. Deneme 3'ün eğitim dönemi için ÇDR Yöntemi ile tahmin edilen ve gözlenen akım değerleri

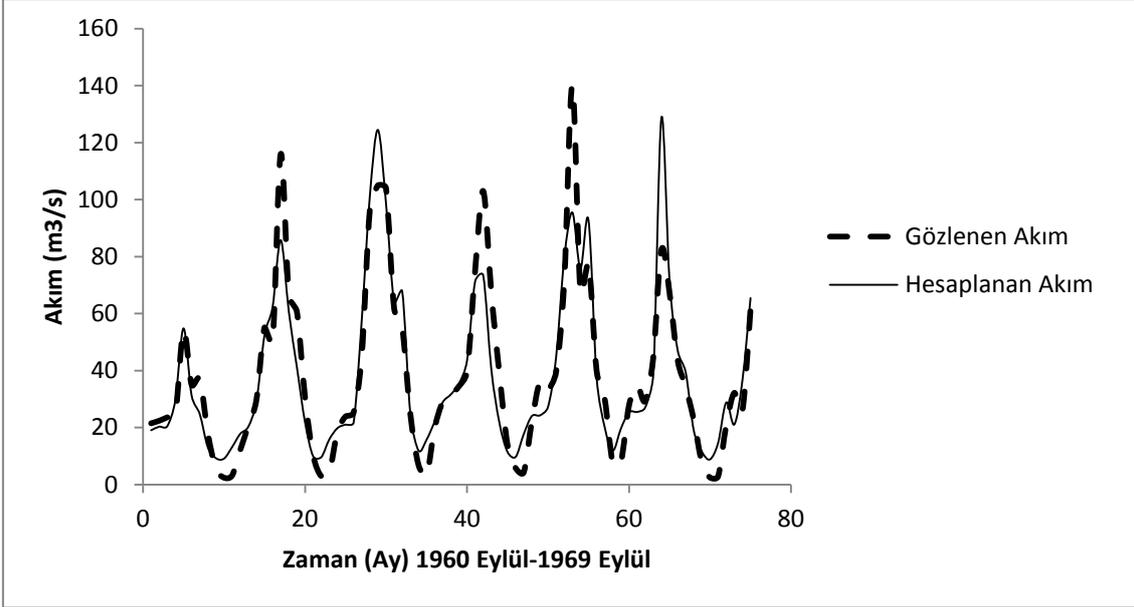


Şekil 5. Deneme 3'ün test dönemi için ÇDR Yöntemi ile tahmin edilen ve gözlenen akım değerleri

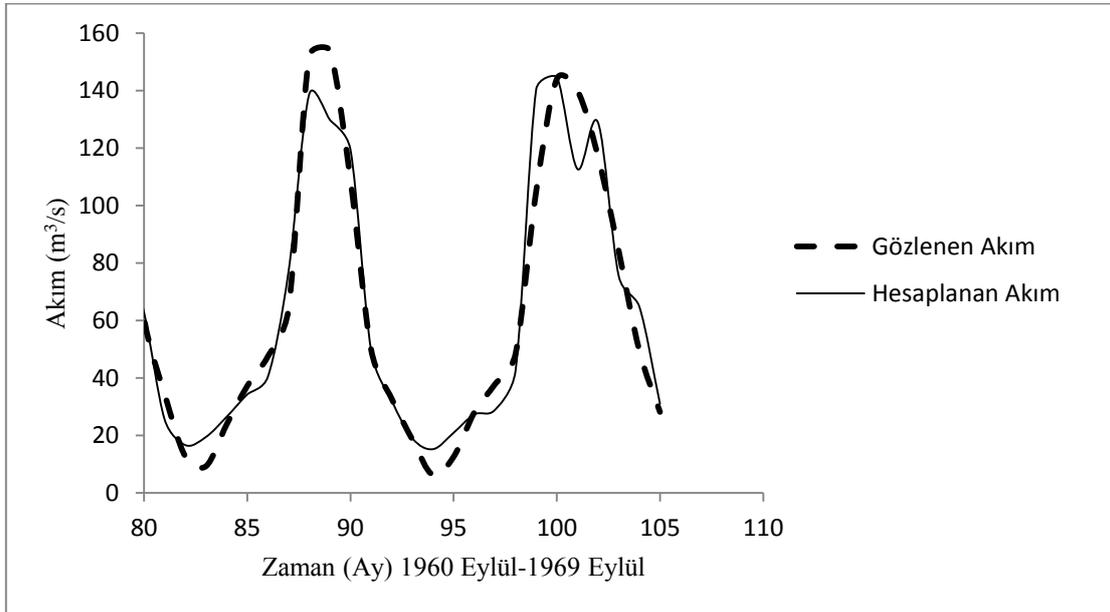


Şekil 6. Deneme 3'ün test dönemi için İBGYSA Yöntemi ile tahmin edilen ve gözlenen akım değerleri



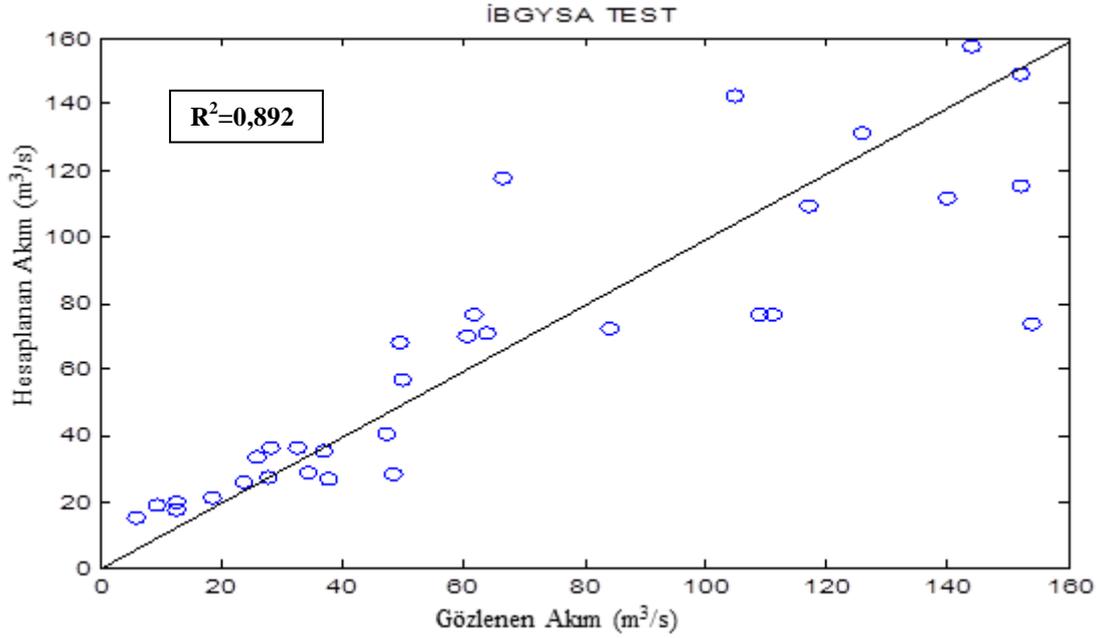


Şekil 7. Deneme 3'ün eğitim dönemi için ÇDOR Yöntemi ile tahmin edilen ve gözlenen akım değerleri

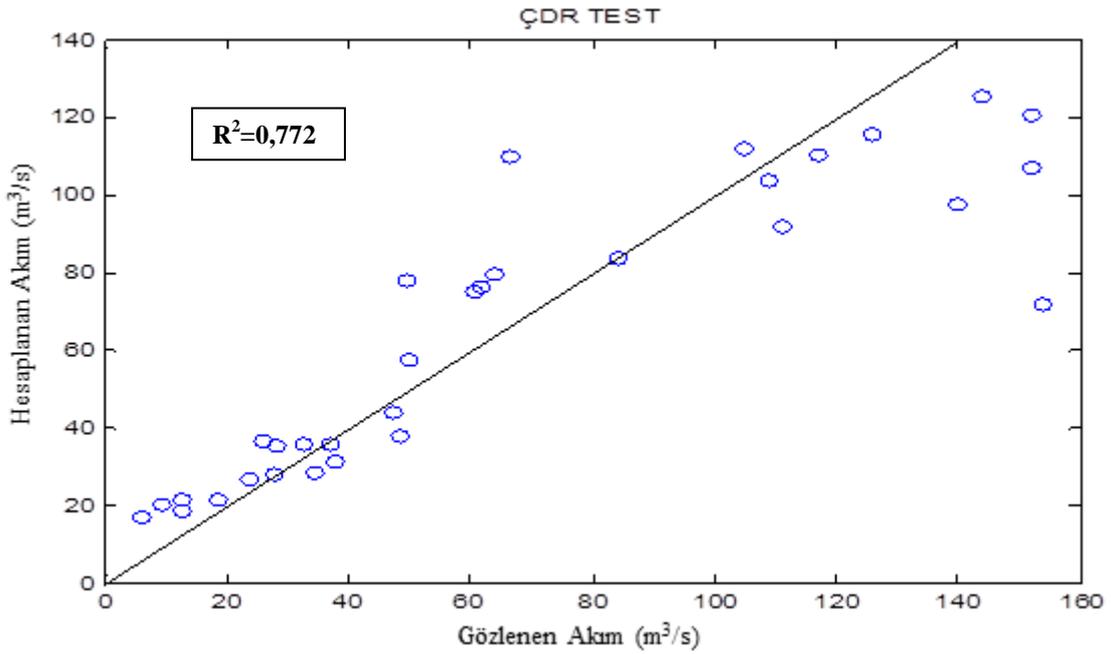


Şekil 8. Deneme 3'ün test dönemi için ÇDOR Yöntemi ile tahmin edilen ve gözlenen akım değerleri

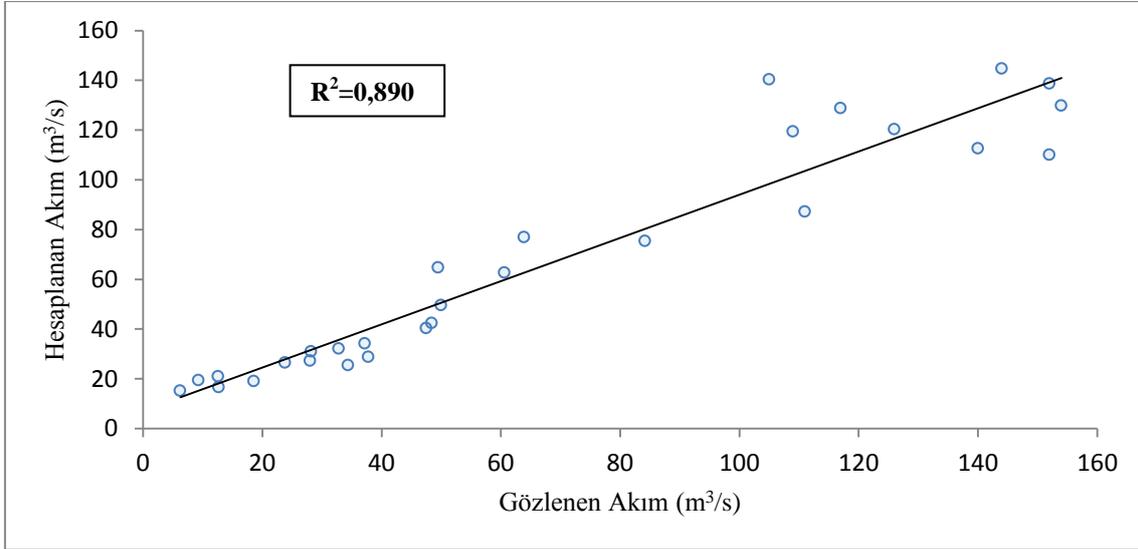
*Eksik Akım Verilerinin Tahmin Modelinin Oluşturulmasında Yapay Sinir Ağlarının (YSA) Kullanımı: Asi Nehri-Demirköprü Akım Gözlem İstasyonu (AGİ) Örneği*



**Şekil 9.** Deneme 3'ün test dönemine ait İBGYSA Yöntemi ile tahmin edilen ve gözlenen akım değerleri belirlilik katsayısı ( $R^2$ )



**Şekil 10.** Deneme 3'ün test dönemine ait ÇDR Yöntemi ile tahmin edilen ve gözlenen akım değerleri belirlilik katsayısı ( $R^2$ )



Şekil 11. Deneme 3'ün test dönemine ait ÇDOR Yöntemi ile tahmin edilen ve gözlenen akım değerleri belirlilik katsayısı ( $R^2$ )

## 5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, ülkemizin sel rejimi yüksek havzalarından biri olan Hatay Suları Havzası'nda bulunan 1907 numaralı Asi Nehri-Demirköprü AGİ'ye ait eksik aylık akım verileri aynı havzada bulunan, mevcut akım verilerinin korelasyonunun uygun olduğu 1905 numaralı Karasu Nehri-Torun Köprüsü AGİ, 1906 numaralı Afrin Deresi-Müşröflü AGİ ve 1908 numaralı Asi Nehri-Antakya AGİ'lerine ait akım verileri yardımıyla İBGYSA metodu kullanılarak ayrı ayrı modellenerek tahmin edilmeye çalışılmıştır. Sonuçlar ÇDR ve ÇDOR yöntemleri ile karşılaştırılarak YSA yönteminin güvenilirlik analizi yapılmıştır.

Çalışmada; akım verilerinin giriş değerleri olarak alındığı, önceki ve sonraki zaman akım değerlerinden faydalanılarak YSA, ÇDR ve ÇDOR yöntemleri ile modellenmesi şeklinde ele alınmıştır. Eksik olan akım değerlerinin tahmin modellemesinde yakındaki istasyonun değerleri baz alınarak mimari ağ yapısı kurulmaya çalışılmıştır. Akım değerlerinin önceki ve sonraki

aya ait akım değerleri ile ilişkili olduğu gözden kaçırılmaması gereken bir ayrıntı durumundadır. YSA'dan beklenen aslında en iyi yakınsamayı yapabilesidir. YSA'nın Eğitim aşamasında verilen değerlerin sistemi en iyi şekilde ortaya çıkarabilecek özellikte olması da önemli bir nokta olmaktadır. Sonuç olarak yapılan çalışma ile İBGYSA yönteminin eksik akımların türetilmesi problemlerinde bir tahmin modeli oluşturulması yönünden ÇDR ve ÇDOR yöntemleri gibi kullanılabilmesi anlaşılmıştır.

Model denemelerinden elde edilen sonuçlara bakıldığında; İBGYSA model sonuçlarının her ne kadar istenilen yüksek başarı düzeyini yakalayamadığı öngörülse bile tatminkar sonuçlar elde edildiği düşünülmektedir. En iyi sonuçları elde etmek bakımından çok fazla sayıda deneme yapılması gerekmektedir. Yapılan çalışmada kullanılan girdi verileri haricinde yeni girdiler kullanılarak oluşturulacak daha farklı modellemeler veri girişi açısından yaşanan zorlukları minimize edebilecektir. Geliştirilen tahmin modelinin su kaynaklarının doğru ve sürdürülebilir işletilmesi hususunda gerek duyulan

karar mekanizmalarında belirli kolaylıkları sağlayacağı aşikardır. Yapılacak girdi eklemeleri ile modelin eksik yanları görülecek ve gerekli değişikliklerle geliştirme olanağı her zaman için mevcut olacaktır.

## 6. KAYNAKLAR

1. Turhan, E., 2012. Seyhan Havzası'nın Yağış-Akış İlişkisinin Yapay Sinir Ağları Yöntemi ile Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Adana.
2. Kişi, Ö., 2004. River Flow Modelling Using Artificial Neural Networks, J. Hydrol.Eng., Vol.9, No:1, pp:60-63.
3. Önal, S., 2009. Yapay Sinir Ağları Metodu ile Kızılırmak Nehri'nin Akım Tahmini, Yüksek Lisans Tezi, pp:73-75, Isparta.
4. Gümüş, V., Kavşut, M.E., Yenigün, K., 2010. Yağış-Akış İlişkisinin Modellenmesinde Orta Fırat Havzası Uygulaması, 2.Su Yapıları Sempozyumu, 14-16 Ekim, Diyarbakır.
5. Terzi, Ö., Köse, M., 2012. Yapay Sinir Ağları Yöntemi ile Göksu Nehri'nin Akım Tahmini, SDU International Technologic Science, Vol. 4, No:3, pp:1-7, Isparta.
6. Kavşut, M. E., Gümüş, V., 2013. Zamantı Nehri-Ergenusağı İstasyonu Eksik Aylık Akım Verilerinin Tahmini, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, Part:C, Tasarım ve Teknoloji, GU J Sci Part:c, Vol.1, No:2, pp:81-91, Ankara.
7. Turhan, E., Çağatay, H.Ö., 2015. Yapay Sinir Ağları (YSA) Yöntemi ile Göksun Nehri-Poskoflu Akım Gözlem İstasyonu (AGİ) Eksik Akım Verilerinin Tahmin Edilmesi, VIII. Ulusal Hidroloji Kongresi, 08-10 Ekim, Şanlıurfa.
8. Eberhart and Dobbins, 1990. Neural Networks for PC Tools: A Practical Guide.
9. Öztemel, E., 2003. Yapay Sinir Ağları Kitabı, Papatya Yayıncılık Eğitim Bilgisayar Sistemleri, İstanbul.
10. Kaynar, O., Taştan, S., Demirkoparan, F., 2010. Ham Petrol Fiyatlarının Yapay Sinir Ağları ile Tahmini, Ege Akademik Bakış/Ege Academic Review, Vol.10, No:2, pp: 561-575, İzmir.
11. Efe, Ö. M., Kaynak, O., 2000. Yapay Sinir Ağları ve Uygulamaları, Boğaziçi Üniversitesi Yayınları, İstanbul.
12. Kızılaslan, M.A., Sağın F., Doğan E., Sönmez, O., 2014. Aşağı Sakarya Nehri Akımlarının Yapay Sinir Ağları ile Tahmin Edilmesi, SAÜ Fen Bilimleri Dergisi, Vol.18, No:2, pp: 99-103, Sakarya.
13. Seçkin, N., Güven A. ve Yurtal R., 2010. Taşkın Debilerinin Yapay Sinir Ağları ile Modellenmesi: Örnek Bölge Çalışması-Batı Karadeniz Havzası, Ç.Ü. Müh. Mim. Fak. Dergisi, Vol.25, No:1-2, pp:45-57, Adana.
14. EİEİ, 2005. Su Akımları Yıllığı Kitabı, Ankara.

## Dairesel Temel Altındaki Kum Zeminlerde Donatı Tabakasının Optimum Derinliğinin Belirlenmesi

Baki BAĞRIAÇIK\*<sup>1</sup>

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

Geliş tarihi: 06.01.2016

Kabul tarihi: 11.05.2016

### Özet

Bu çalışmada, dairesel temel altında, donatı ile güçlendirilmiş zeminlerdeki ilk donatı tabakasının optimum derinliği, yükleme ve gerilme açısından deneysel olarak belirlenmiştir. Zemin içerisinde belirlenen derinliklere geogrid donatı yerleştirilerek, meydana gelen ilave düşey gerilme değerleri basınç algılayıcıları yardımıyla ölçülmüştür. Deneylerde, sabit bir derinlikte kum tabakası hazırlanarak, temelden dolayı oluşan donatılı durumlarda,  $Z=2,0D$  derinlikte meydana gelen gerilme değerleri ölçülmüştür. Literatürde mevcut donatısız durumda ölçülmüş gerilme değerleri, bu çalışmada temel tabanından itibaren farklı derinliklere ( $U=0,10D$ ,  $U=0,15D$ ,  $U=0,20D$ ,  $U=0,25D$ ,  $U=0,30D$ ,  $U=0,35D$ ,  $U=0,40D$ ,  $U=0,45D$  ve  $U=0,50D$ ) ( $U$ =geogridin temel tabanından itibaren derinliği,  $D$ =temelin çapı,  $Z$ =kum tabakası derinliği) yerleştirilen tek sıra geogrid donatı kullanılması durumunda, ölçülen gerilme değerleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuçta, temel tabanından itibaren yaklaşık  $U=0,35D$  derinliğe kadar gerilme değerlerinde belirli oranlarda azalmalar meydana gelirken,  $U=0,35D$ 'den daha derinlerde kaydedeğer bir ilave gerilme azalması meydana gelmediği görülmüştür. Buna bağlı olarak ilk donatı tabakasının optimum derinliği yaklaşık  $U=0,35D$  olarak belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Model deney, Donatı tabakası optimum derinliği, İlave düşey gerilme, Basınç algılayıcı, Dairesel temel

### Determination the Optimum Depth of Reinforcement Layer under Circular Footing on Sandy Soils

### Abstract

In this study, additional vertical stresses, which occur in a soil as a result of uniformly loaded circular footing, resting on sandy soils reinforced by geogrids, have been investigated by laboratory model tests. Additional vertical stress values that occur on a horizontal planes of particular specified depths, have been measured with pressure transducers. In all tests, a sandy soil layer has been prepared at fixed depth ( $Z=2,0D$ ). The additional vertical stresses have been measured in the fixed depth, by replacing the

\* Yazışmaların yapılacağı yazar: Baki BAĞRIAÇIK, Ç.Ü., Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana. bbagriacik@cu.edu.tr

geogrid's depth. Geogrid, which placed into the depths of  $U=0,10D$ ,  $U=0,15D$ ,  $U=0,20D$ ,  $U=0,25D$ ,  $U=0,30D$ ,  $U=0,35D$ ,  $U=0,40D$ ,  $U=0,45D$  and  $U=0,50D$  ( $U$ =depth of geogrid from foundation,  $D$ =radius of footing,  $Z$ =depth of sandy soil ) at soil, have been used in the tests. Finally, the geogrid's optimum depth has been determined in terms of stress and loading. According to test results, it has seen that the geogrid's optimum depth is approximately  $U=0,35D$ .

**Keywords:** Model tests, Reinforcement layer's optimum depth, Additional soil stress, Stress transducer, Circular footing

## 1. GİRİŞ

Zeminler, mühendislik bakış açısıyla, homojen ve izotrop olmamakla birlikte, özellikleri çevre koşullarına, jeolojik tarihçesine ve zamana bağlı olarak büyük değişiklikler göstermektedir. Birçok inşaat malzemesi için, tasarım ve uygulama problemlerinin çözümünde genel olarak malzeme davranışının tam olarak kavranması gerekmeden sabit katsayıların kullanılması yeterli olurken, zeminlerin mühendislik davranışlarını tanımlayan sabit malzeme katsayılarının ve genel analitik modellerin belirlenmesi mümkün olamamaktadır. Zemin davranışlarının, her proje sahası için ayrı ayrı belirlenmesi ve bu yapılırken de arazide geçerli olacak koşulların dikkatli bir şekilde incelenmesi gerekmektedir. Ayrıca, zemin davranışını etkileyen faktörlerin iyi anlaşılması, elde edilen sonuçların birçok durumda yanıltıcı olmasına yol açabilmektedir [1]. Bu yüzden, zemin ile ilgili problemlerde, kullanılacak malzeme özelliklerinin hangi koşullarda belirlendiği ve geçerliliğini koruduğunu anlayarak, güvenli ve ekonomik mühendislik çözümleri elde etmek mümkün olabilmektedir [2].

Zeminler, çok karmaşık bir malzeme olmaları nedeni ile zemin içerisinde gerçekçi gerilme-deformasyon analizleri yapmak da oldukça zordur.

Bu nedenle Elastisite Teorisi kullanılırken şu kabuller yapılır:

- ❖ Zemin, elastik olup, gerilme-deformasyon ilişkisi doğrusaldır.
- ❖ Zemin ortam homojendir. Diğer bir deyişle, elastik sabitler, elastisite modülü,  $E$  ve poisson oranı,  $\mu$  her noktada aynıdır.

- ❖ Zemin ortamı izotropdur; özellikleri bir noktadan, her yönde aynıdır.
- ❖ Zemin ortam yarı sonsuzdur; bir düzlemin altında, her yönde, sonsuz mesafeye uzanır [2].

Elastisite teorisinden yararlanarak elde edilen bu çözümlerde, düşey gerilme dağılımları zeminin malzeme özelliklerinden bağımsızdır. Ayrıca zeminin türü ve sıklık gibi parametreleri dikkate alınamamakta, her cins zemin için aynı gerilme dağılımları elde edilmektedir [3]. Fakat, zeminler için gerilme analizinde, zemin cinsinin ve onun aktaracağı gerilmelerin çok büyük önemi vardır. Bu yüzden, zeminlerde ilave yüklerden dolayı oluşan düşey gerilme değerlerinin deneysel yollarla bulunması zorunluluğu ortaya çıkmaktadır.

Son yıllarda hızla artış gösteren dünya nüfusu ve buna paralel olarak artan barınma ihtiyacı, yerleşim alanı gereksiniminin de hızla artmasına neden olmuştur [4].

Bu durumun yansıması olarak arsa sıkıntısı ve yüksek maliyetler ortaya çıkmış, taşıma gücü ve oturma özellikleri açısından sorunlu zeminlerde yapılaşma ve mevcut yerleşim alanlarının en iyi şekilde değerlendirilmesi zorunlu hale gelmiştir. Bu durumda, ya derin temel uygulamasına geçilmeli ya da temel zemininde, zemin iyileştirme yöntemi uygulanabilir. Alternatif olması ve özellikle ekonomik olması sebebiyle, zemin iyileştirme yöntemlerinden, donatılı zemin kullanımı sürekli yaygınlaşmaktadır [4].

Zeminlerde donatı ile güçlendirme sağlanırken ise, dikkat edilmesi gereken hususlardan birisi de,

donatının temel tabanından itibaren hangi derinliğe yerleştirileceğidir.

Bu çalışmada, donatı ile güçlendirilmiş kumlu zeminler üzerine oturan dairesel bir temelden dolayı zemin içinde oluşan ilave düşey gerilme değerleri laboratuvar model deneyleri yapılarak araştırılmış ve ilk donatı tabakasının optimum derinliği, yükleme ve gerilme açısından belirlenmiştir.

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Terzaghi [5], kum ve kil numunelerde düşey yüklerden dolayı oluşan yatay ve düşey gerilmeleri üretmiş olduğu deney düzeneğiyle ölçmüştür. Sonuçta, Donath [6] tarafından yatay gerilmenin düşey gerilmeye oranı şeklinde tarif edilen sükunetteki yanal zemin basınç katsayısı,  $K_0$  değerlerini elde etmiş ve kaba kum için  $K_0=0,42$  değerini belirlemiştir [7].

Scheidig ve Kögler [8], bir kum dolgusuna yük uygulayarak, belirli derinliklerde bulunan yatay düzlemlerin çeşitli noktalarında meydana getirdiği basınçları ölçmüşlerdir. Hendron [9], tarafından özel bir ödometre ile oluşturulan deney düzeneğinde, yanal basınçlar, ödometre ringine yapııştırılan ötelenme ölçerlerle ölçülmüştür.

Hanna ve Ghaly, farklı sıklıklarda kum zeminlerde yatay ve düşey gerilmeleri, basınç algılayıcı kullanarak ölçmüşlerdir. Ölçülen sonuçlar ile Jaky [10] tarafından verilen  $K_0=1-\sin \phi$  değerleri ile karşılaştırılarak, sıklığın artmasına bağlı olarak deneysel ve teorik  $K_0$  değerlerinin azaldığını belirlemiştir. Ayrıca, ölçülen ilave gerilmelerin teorik değerlerden daha büyük değerler olduğu görülmüştür [7].

Hanna ve Soliman-Saad [11], kompaksiyonun gerilme değerlerine etkisini belirleyebilmek amacıyla kumlu zeminlerde yatay ve düşey gerilmeleri ölçmek için basınç algılayıcıları kullanmışlardır. Ölçülen yatay gerilmelerin düşey gerilmelere oranlanmasıyla bulunan  $K_0$  değerlerini,  $K_0=1-\sin \phi$  formülü ile karşılaştırmışlardır. Sonuçta,  $\phi$  açısı arttıkça  $1-\sin \phi$  formülü ile

hesaplanan  $K_0$  değerlerinin azaldığını, yatay gerilmelerin düşey gerilmelere oranı olarak bulunan  $K_0$  değerlerinin ise arttığını belirlemiştir [11].

Laman ve arkadaşları [12], kumun sıklık oranının ve temel genişliğinin gerilme üzerindeki etkilerini belirleyebilmek amacıyla, kumlu zeminlere oturan dairesel temellerden dolayı zemin içinde oluşan düşey ve yatay gerilme değerlerini model deneyler yaparak incelemiştir. Sonuçta, kum numunelerin sıklık oranının arttırılmasıyla, aynı yükler altında daha büyük gerilme değerlerinin olduğu gözlenmiştir. Temel genişliğinin artmasıyla da benzer durumun olduğu görülmüştür. Ayrıca, ölçüm derinliğinin artmasıyla temel plakası merkezinin altındaki basıncın da azaldığı ve kum numunenin herhangi bir noktasındaki gerilme değerinin uygulanan yük ile orantılı olarak arttığı görülmüştür [12].

Keskin ve arkadaşları [13], kumlu zeminlere oturan düşey yüklü kare temellerin merkezi altında oluşan ilave düşey gerilme değerlerini deneysel ve sayısal olarak araştırmışlardır. Ayrıca, elde edilen değerler Boussinesq yöntemi sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Sayısal çalışmada, zemin lineer elastik ve non-lineer elasto-plastik malzeme olarak modellenmiş ve analizlerde kullanılan bu modellerin ilave düşey gerilme değerlerine etkisi araştırılmıştır. Çalışma sonunda deneysel, sayısal ve teorik sonuçlar arasında belli derinliklerde genel bir uyum gözlenmiştir [13].

Bağrıçık ve Laman [14], temel boyut etkisini araştırabilmek amacıyla, kumlu zeminler üzerine oturan farklı boyutlardaki dairesel temellerden dolayı, zemin içerisinde oluşan ilave düşey gerilme davranışlarını laboratuvar model deneyler ile belirlemiştir. Sonuç olarak, kumlu zeminlerde boyut etkisinin önemli mertebelerde olmadığını belirtmişlerdir [14].

Bağrıçık ve Laman [15], temellerin şekil etkisini araştırabilmek amacıyla, kumlu zeminler üzerine oturan farklı geometrilere sahip yüzeysel temellerden dolayı, zemin içinde oluşan ilave düşey gerilme davranışlarını laboratuvar model deneyleri ile belirlemiştir. Sonuçta, farklı

geometrilere göre temellerde şekil etkisinin önemli mertebelerde olduğu görülmüştür [15].

Bağrıaçık ve Laman [16], donatısız ve donatılı kumlu zeminler üzerine oturan yüzeysel temellerden dolayı zemin içinde oluşan ilave düşey gerilme davranışlarını, laboratuvar model deneyleri yapılarak araştırmıştır. Sonuçta, geogrid donatılı kumlu zeminler üzerine oturan yüzeysel temellerden dolayı zemin içinde oluşan ilave düşey gerilmelerin, donatısız duruma göre, %27 mertebelerinde fazladan azaldığı görülmüştür [16].

Bağrıaçık ve arkadaşları [17], dairesel temellerden dolayı zemin içinde oluşan ilave düşey gerilme davranışlarını laboratuvar model deneyleri yaparak araştırmışlar ve literatürdeki teorik yöntemlerle karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, Boussinesq çözümünün, deney sonuçları ile uyumlu görülmüştür [17].

Bağrıaçık ve arkadaşları [18], yatay gerilmelerin düşey gerilmelere oranlanmasıyla bulunan  $K_0$  değerlerinin, derinlik ve zemin sıklığı ile değişimini belirleyebilmek amacıyla, kumlu zeminler üzerine oturan dairesel temellerden dolayı zemin içerisinde oluşan ilave yatay ve düşey gerilme değerleri laboratuvar model deneyleri ile belirlemişlerdir. Sonuçta,  $K_0$  değerlerinin, derinlik arttıkça azaldığı ve sıklık arttıkça  $K_0$  değerlerinin azaldığı belirlenmiştir [18].

Bağrıaçık ve arkadaşları [19], donatı ile güçlendirilmiş kare bir temel altındaki zeminlerde optimum ilk donatı tabakası derinliğini, yüklemeye ve gerilme açısından belirleyebilmek amacıyla laboratuvar model deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Sonuçta, kare temel tabanından itibaren, temel genişliğinin 0,40 katı derinliğe kadar gerilme değerlerinde belirli oranlarda azalmalar meydana gelirken, temel genişliğinin 0,40 katından daha derinlerde ilave herhangi bir gerilme azalması meydana gelmediği görülmüştür. Buna bağlı olarak, kare temellerde ilk donatı tabakasının optimum derinliği, kare temel genişliğinin 0,40 katı olarak belirlenmiştir [19].

Örnek ve arkadaşları [20], kumlu zeminlere oturan eksantrik yüklü şerit temellerin davranışlarını belirleyebilmek amacıyla laboratuvar model deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Sonuçta, yük eksantrisitesi arttıkça nihai taşıma gücünün azaldığı görülmüştür [20].

Türedi ve Örnek [21], dikdörtgen temelin farklı yüklemeye koşullarında zemine oturması sonucunda meydana gelen düşey gerilmeleri belirleyebilmek amacıyla model deneyler gerçekleştirmişlerdir. Ayrıca, deney sonuçlarını literatürdeki teorik yöntemlerle (Boussinesq, Westergaard ve 2:1 Yöntemi vb.) karşılaştırmışlardır. Sonuçta, eksantrisite arttıkça taşıma gücü değerlerinin azaldığı, temel merkezinden uzaklaştıkça da gerilme değerlerinde azalmalar tespit edilmiş ve model deney sonuçları ile teorik sonuçların da birbirleri ile uyumlu oldukları belirlenmiştir [21].

### 3. MATERYAL METOD

Çalışmalarda, Çakıt nehir yatağından çıkarılan kum numuneler kullanılmıştır. Kum numune, TS 1500'e göre 0,074 mm çaplı ve 1 mm çaplı eleklerden yıkanarak elenmiştir. Çukurova Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Zemin Mekaniği Laboratuvarında, No. 18 ile No. 200 arasında kalan kumlar, endeks ve kayma mukavemeti özelliklerinin belirlenmesi amacıyla deneyler yapılmıştır [22].

Deneysel çalışmada kullanılan kumun Türk standartlarına göre dane çapı dağılımı elde edilmiştir. Dane çapı dağılım eğrisinden deney kumunun, zemin sınıfı, TS 1500'e göre uniform temiz kum (SP) olarak belirlenmiştir. Elek analizi deney sonuçları Çizelge 1'de verilmiştir.

Deneysel çalışmalar, 50 cm genişliğinde kare kesitli kasa içerisinde gerçekleştirilmiştir. Deney kasası iskeleti çelik profillerden olup, ön ve arka yüzü cam, yan yüzeyler ile alt taban ise, ahşap malzemeden imal edilmiştir.



**Çizelge 1.** Zemin özellikleri [16]

Granülometri Parametreleri	Birim	Değer
Orta Kum Yüzdesi	%	46,40
İnce Kum Yüzdesi	%	53,60
Efektif Dane Çapı, $D_{10}$	mm	0,18
$D_{30}$	mm	0,30
$D_{60}$	mm	0,50
Üniformluk Katsayısı, $C_u$	-	2,78
Derecelenme Katsayısı, $C_c$	-	1,00
Zemin Sınıfı	-	SP
Maksimum Kuru Birim Hacim Ağırlık	$kN/m^3$	17,06
Minimum Kuru Birim Hacim Ağırlık	$kN/m^3$	15,03
Dane Birim Hacim Ağırlık	$kN/m^3$	26,80

DeneySEL çalışmada, çapı 9 cm olan dairesel temel kullanılmıştır.

Farklı yükleme hızlarında çekme ve basınç uygulayabilen özel bir yükleme düzeneği geliştirilerek deneyler gerçekleştirilmiştir.

Temel plakasına gelen yük değerlerini ölçebilmek amacıyla ESİT firması tarafından üretilen elektronik yük hücresi kullanılmıştır.

Zeminde meydana gelen gerilmeleri ölçmek için 200 kPa kapasiteli basınç algılayıcılar kullanılmıştır (Şekil 1).

**Şekil 1.** Basınç algılayıcılar

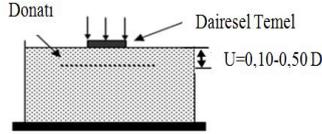
Kullanılan geogrid donatı, temel tabanından itibaren farklı derinliklere ( $U=0,10D$ ,  $U=0,15D$ ,  $U=0,20D$ ,  $U=0,25D$ ,  $U=0,30D$ ,  $U=0,35D$ ,  $U=0,40D$ ,  $U=0,45D$  ve  $U=0,50D$ ) Şekil 2'de görüldüğü gibi yerleştirilerek  $Z=2,0D$  derinlikte meydana gelen gerilme değerleri ölçülmüştür.

Çalışmada, Çizelge 2'de özellikleri bulunan Secugrid markalı geogridler kullanılmıştır.

**Çizelge 2.** Geogridlerin özellikleri [16]

Teknik Özellikler	Birim	60/60 Q <sub>1</sub>
Malzeme	-	Polipropilen
Maks. Çekme Dayanımı, md/cmd*	$kN/m$	$\geq 60/\geq 60$
%2 uzamada çekme dayanımı, md/cmd*	$kN/m$	22/22
%5 uzamada çekme dayanımı, md/cmd*	$kN/m$	48/48
Açıklık, md $\times$ cmd*	mm $\times$ mm	31 $\times$ 31
Rulo genişliği / uzunluğu	m $\times$ m	4,75 $\times$ 100
*md = machine direction, *cmd= cross mach.		

Geogrid donatının yerleşim düzeni Şekil 3'te gösterilmiştir.

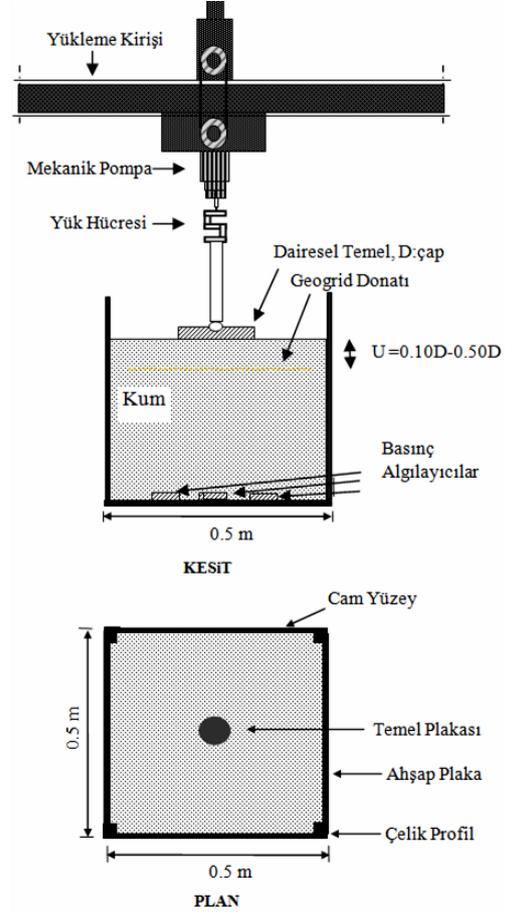


Şekil 2. Donatının yerleştirilmesi [16]

Uygulanan düşey yükler, yük hücresi yardımıyla 8 kanal girişli ADU (Autonomous Acquisition Data Unit) data logger cihazına aktarılmıştır. Bu veriler daha sonra bilgisayar ortamında DIALOG programı yardımıyla sayısal değerlere dönüştürülmüştür. Uygulanan düşey yüklerden dolayı meydana gelen düşey gerilmeler ise, basınç algılayıcıları yardımıyla, TML markalı TDS-301 modelindeki taşınabilir data loggerdan elde edilmiştir.

Deney düzeneği Şekil 3'te gösterilmiş ve deneyler aşağıda belirtilen hususlara dikkat edilerek gerçekleştirilmiştir.

- Basınç algılayıcıları deney kasasının içerisine deney esnasında hareket etmeyecek şekilde tabana yapıştırılarak sabitlenmiştir [22].
- Kum zemin, kasa içerisine tabakalar halinde ve birim hacim ağırlığı  $\gamma_k=15,03 \text{ kN/m}^3$  olacak şekilde sıkıştırılarak yerleştirilmiştir. Bu amaçla, her tabaka için gerekli kum ağırlığı önceden hesaplanarak kontrollü bir şekilde sıkıştırma yapılmıştır.
- Belirlenen tabakaya kadar sıkıştırma işlemi yapılmış, daha sonra geogrid donatı yerleştirilmiş ve sonra da kalan tabakalarda yerleştirilmiştir.
- Sıkıştırma işlemi tamamlandıktan sonra zemin yüzeyinin düzgünlüğü su terazisi ile her seferinde kontrol edilmiştir. Daha sonra temel plakası zemin yüzeyine yerleştirilmiştir. Bu aşamada temel plakasının, basınç algılayıcılarına göre, konumunun uygun yerleştirilmesine dikkat edilmiştir.
- Uygulanan yükün, temel plakası merkezine uniform ve düşey yönde olacak şekilde etki ettirilmesine dikkat edilmiştir.
- Deney sırasında, yükleme hızı her kademede sabit tutularak, kademeli olarak yüklemeye devam edilmiştir.

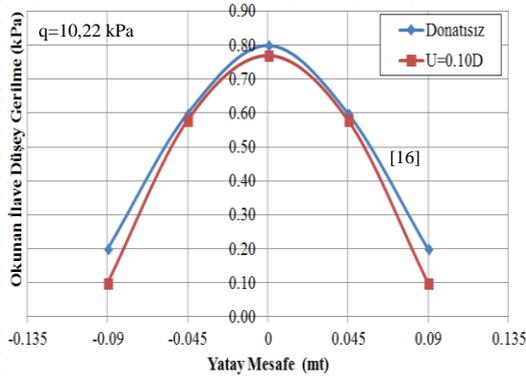


Şekil 3. Deney düzeneği [22]

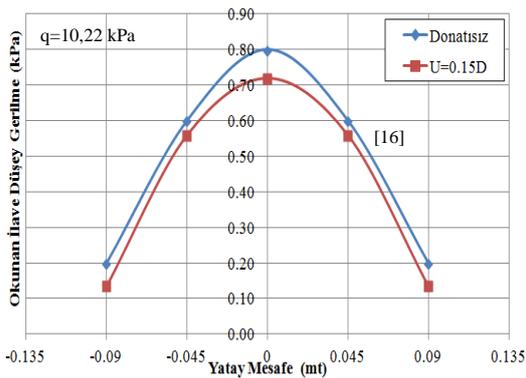
#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, donatı kullanılarak sabit bir derinlikte hazırlanan kum tabakasında, temelden dolayı oluşan,  $Z=2,0D$  derinlikte meydana gelen gerilme değerleri ile Bağrıcaık ve Laman [16] tarafından aynı şartlarda hazırlanan donatısız kumlu zemin durumlarında ölçülen gerilme değerleri karşılaştırılmıştır ( $U$ =geogridin temel tabanından itibaren derinliği,  $D$ =temelin çapı,  $Z$ =kum tabakası derinliği,  $X$ =temel merkezinden olan yatay mesafe). Deney sonuçları Şekil 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 ve 14'te sunulmuştur.

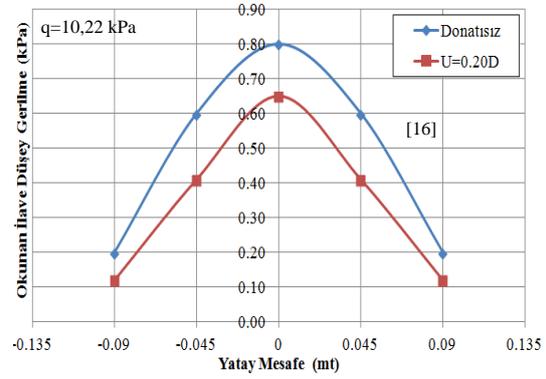
Şekil 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12'den  $q=10,22$  kPa değerinde uygulanan düşey yüke karşı,  $Z=2,0D$ 'de, donatılı ve donatısız durumlardaki gerilme değerlerinin değişimleri görülmektedir. Buradan, farklı derinliklere  $U=0,10D$ ,  $U=0,15D$ ,  $U=0,20D$ ,  $U=0,25D$ ,  $U=0,30D$ ,  $U=0,35D$ ,  $U=0,40D$ ,  $U=0,45D$  ve  $U=0,50D$  donatı yerleştirilmesi durumunda, donatısız duruma göre temel merkezinde sırasıyla yaklaşık %3,7, %10,0, %18,8, %31,2, %37,5, %50,0, %50,6, %51,0 ve %52,5 oranlarında ilave gerilme azalmaları meydana geldiği belirlenmiştir. Bu oranlar, aynı derinlikler için temel merkezinden yatay mesafede uzaklaştıkça da temel merkezindeki oranlarla benzer davranış göstermektedir.



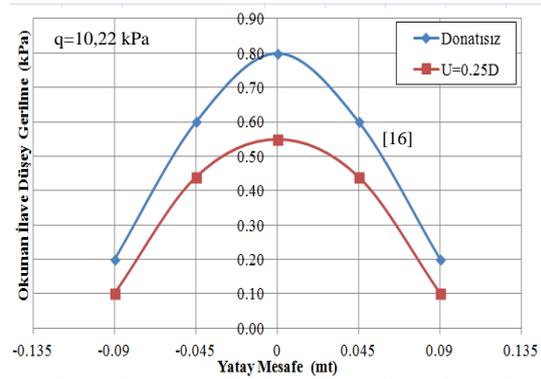
Şekil 4. Donatısız durumdaki gerilme değerlerinin  $U=0,10D$  donatı derinliğindeki gerilmelerle karşılaştırılması



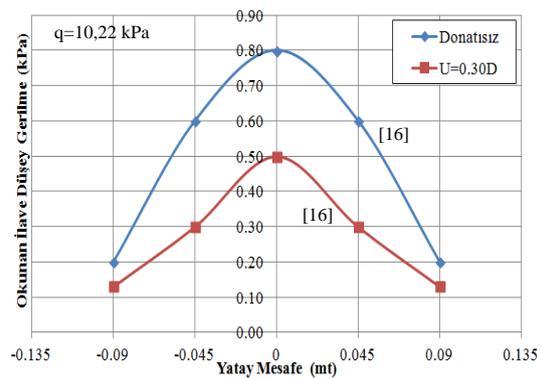
Şekil 5. Donatısız Durumdaki gerilme değerlerinin  $U=0,15D$  donatı derinliğindeki gerilmelerle karşılaştırılması



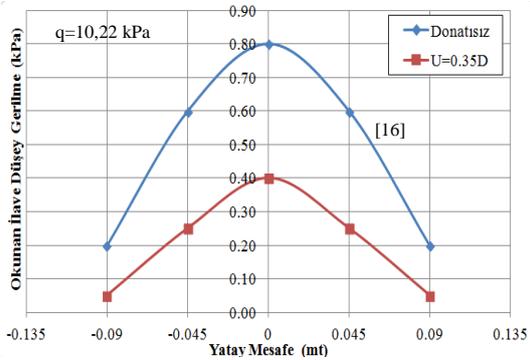
Şekil 6. Donatısız durumdaki gerilme değerlerinin  $U=0,20D$  donatı derinliğindeki gerilmelerle karşılaştırılması



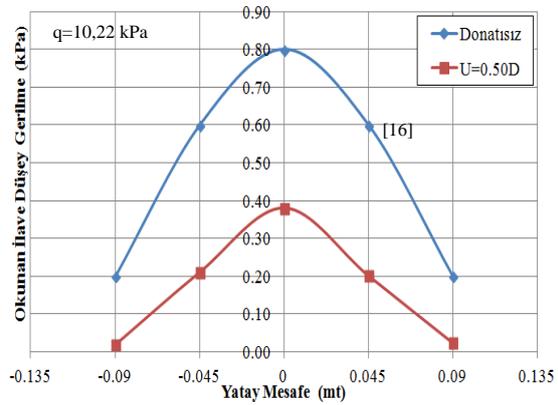
Şekil 7. Donatısız durumdaki gerilme değerlerinin  $U=0,25D$  donatı derinliğindeki gerilmelerle karşılaştırılması



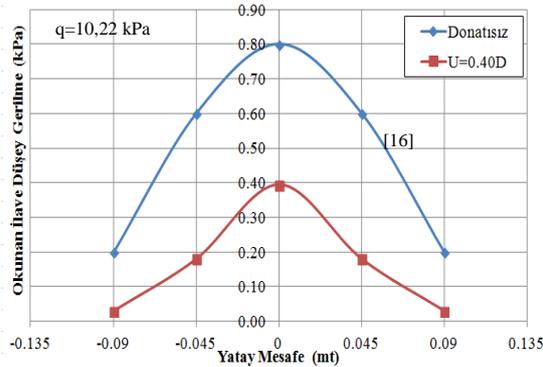
Şekil 8. Donatısız durumdaki gerilme değerlerinin  $U=0,30D$  donatı derinliğindeki gerilmelerle karşılaştırılması [16]



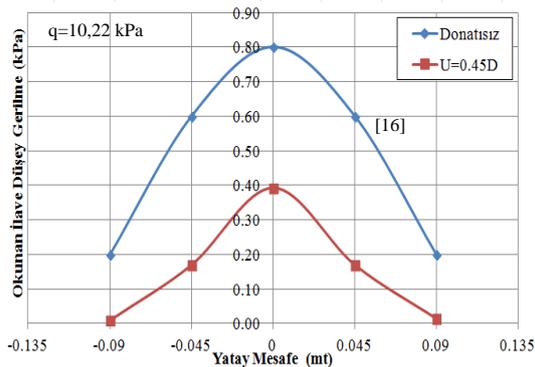
Şekil 9. Donatısız Durumdaki gerilme değerlerinin U=0,35D donatı derinliğindeki gerilmelerle karşılaştırılması



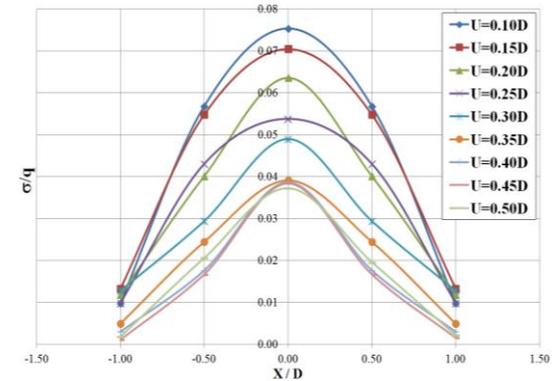
Şekil 12. Donatısız durumdaki gerilme değerlerinin U=0,50D donatı derinliğindeki gerilmelerle karşılaştırılması



Şekil 10. Donatısız durumdaki gerilme değerlerinin U=0,40D donatı derinliğindeki gerilmelerle karşılaştırılması



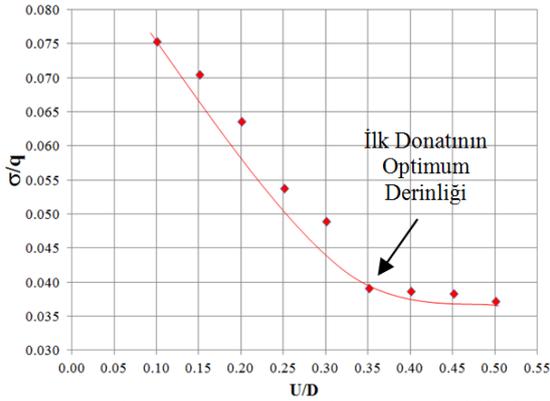
Şekil 11. Donatısız durumdaki gerilme değerlerinin U=0,45D donatı derinliğindeki gerilmelerle karşılaştırılması



Şekil 13. Farklı donatı derinliğindeki gerilmelerin karşılaştırılması

Şekil 14'te,  $\sigma/q$  değerlerine karşılık  $U/D$  oranları görülmektedir. Sonuçta, temel merkezinde  $U/D=0,35$ 'e kadar ölçülen gerilme değerlerinde azalmalar meydana geldiği,  $U/D=0,35$ 'ten daha derinde bu azalmaların sabit kaldığı görülmüştür.

Buna bağlı olarak, optimum ilk donatı derinliği  $U/D=0,35$  olarak belirlenmiştir.



Şekil 14. Optimum donatı derinliğinin belirlenmesi

## 5. SONUÇLAR

Uygulanan düşey yük etkisinde, farklı derinliklere donatı yerleştirilmesi durumunda, donatısız duruma göre temel merkezinde sırasıyla yaklaşık %3,7; %10,0; %18,8; %31,2; %37,5; %50,0; %50,6; %51,0 ve %52,5 oranlarında ilave gerilme azalmaları meydana geldiği belirlenmiştir. Bu oranların, aynı derinlikler için temel merkezinden yatay mesafede uzaklaştıkça da temel merkezindeki oranlarla benzer davranış gösterdiği belirlenmiştir.

Temel merkezinden itibaren donatı derinliği arttıkça, gerilme değerlerinin, belirli bir donatı derinliğine kadar azaldığı ( $U/D=0,35$ ), bu derinlikten itibaren ise kayda değer bir azalmanın meydana gelmediği belirlenmiştir.

Buna bağlı olarak ise optimum ilk donatı derinliği  $U/D=0,35$  olarak belirlenmiştir ( $U$ =geogridin temel tabanından itibaren derinliği,  $D$ =temelin çapı).

## 6. KAYNAKLAR

1. Kumbasar, V., Kip, F., 1984. İnşaat Mühendisliğinde Zemin Mekaniği. Çağlayan Kitabevi, İstanbul, 350s.
2. Uzuner, B.A., 1998. Çözümlü Problemlerle Temel Zemin Mekaniği, Teknik Yayınevi, Ankara.
3. Sağlamer, A., 1972. Kohezyonsuz Zeminlerde Sükunetteki Toprak Basıncı Katsayısının Zemin Parametreleri Cinsinden İfadesi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
4. Demir, A., 2011. Yumuşak Kil Zemin Üzerinde Güçlendirilmiş Stabilize Dolguya Oturan Yüzeysel Temellerin Analizi, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.
5. Terzaghi, K., 1920. Old Earth Pressure Theories and New Test Results, Engrg. News-Rec., 85 (14), 632-637.
6. Donath, A.D., 1891. Untersuchungen Veber den Erddruck auf Stuetzwaende. Zeitschrift fuer Bauwesen, Berlin, Germany.
7. Hanna, A., and Ghaly, A., 1992. Effects of K0 and Overconsolidation on Uplift Capacity. Journal of Geotechnical Engineering, 118 (9), 1449-1469.
8. Scheidig, Kogler, 1926. Die Verteilung Senkrechter Drücke in Schüttungen, Dissertation, Freiberg.
9. Hendron, A.J., 1963. The Behaviour of Sand in One Dimensional Compression. Ph. D. Thesis, University of Illinois, USA.
10. Jaky, J., 1948. Pressure in Soils. Proc. 2nd Conf. On Soil Mech. and Found. Engrg., A. A. Balkema, Rotterdam, the Netherlands, 1, 103-107.
11. Hanna, A.M., Solıman-Saad, N., 2001. Effect of Compaction Duration on the Induced Stress Levels in a Laboratory Prepared Sand Bed. Geotechnical Testing Journal, 24 (4), 430-438.
12. Laman, M., Keskin, M.S., Yıldız, A.A., 2004. Farklı Sıklıktaki Kumlu Zeminlere Oturan Dairesel Temeller Altında Gerilme Analizi, Türkiye İnşaat Mühendisliği 17. Teknik Kongre ve Sergisi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
13. Keskin, M.S., Laman, M., Baran, T., 2008. Kuma Oturan Kare Temeller Altında Oluşan Düşey Gerilmelerin Deneysel Tespiti ve Sayısal Analizi, İMO Teknik Dergi, pp. 4521-4538, No 299.
14. Bağrıçık, B., Laman M., 2010. Yüzeysel Temel Geometrisinin Zeminlerde Oluşan

- Gerilmelere Etkisinin Araştırılması. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, pp. 155-166, No 1-2, Cilt 25.
15. Bağrıaçık, B., Laman M., 2011. Investigation of the Shape Effect at Different Geometries on Stress Distribution of Sandy Soils pp. 78, International Balkans Conference on Challenges of Civil Engineering, BCCCE, 19-21 May 2011, EPOKA University, Tirana, ALBANIA.
  16. Bağrıaçık, B., Laman M., 2011. Donatısız ve Donatılı Kumlu Zeminlere Oturan Dairesel Temeller Altında Gerilmelerin Değişimi. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Ankara, Vol:26, No:4, 787-800, 2011-(SCI).
  17. Bağrıaçık, B., Laman M., Demir A., 2011. Kum Zeminlerde Sükunetteki Toprak Basıncı Katsayısının Deneysel Olarak Belirlenmesi, 4. Geoteknik Sempozyumu, Çukurova Üniversitesi, Adana.
  18. Bağrıaçık, B., Laman M., Demir A., 2011. Dairesel Temeller Altında Farklı Sıkılıklarda Oluşan Düşey Gerilmelerin Karşılaştırılması, 4. Geoteknik Sempozyumu, Çukurova Üniversitesi, Adana.
  19. Bağrıaçık, B., Laman, M., Demir, A., 2012. Kare Temel Altındaki Zeminlerde Optimum Donatı Tabakası Derinliğinin Gerilme Yönünden İncelenmesi, 5. Ulusal Geosentetikler Konferansı, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul.
  20. Örnek M., Türedi Y., Dal, K., 2014. Kum Zemine Oturan Eksantrik Yüklü Şerit Temellerin Analizi, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 2. Özel Konulu Sempozyumu, 24-25 Nisan 2014, Antalya.
  21. Türedi Y., Örnek M., 2015. Dikdörtgen Temel Altında Gerilme ve Taşıma Gücü Analizi, Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, pp. 1-11, Cilt 30, No 2.
  22. Bağrıaçık, B., 2010. Zeminlerdeki Gerilme Durumlarının Deneysel ve Teorik Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.

## An Overview of Micro-Hydropower Technologies and Design Characteristics of Waterwheel Systems

Mehmet BİLGİLİ<sup>1</sup>, Arif OZBEK<sup>\*1</sup>

<sup>1</sup>Çukurova Üniversitesi, Ceyhan Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 13.01.2016 Kabul tarihi: 09.03.2016

### Abstract

In recent years, the global warming and efficient usage of energy sources are become most attractive issues. Furthermore, renewable energy technologies play an important role in addressing global energy and environmental challenges. Among the renewable energy technologies, hydropower is considered to be the most advanced and mature, providing some level of electricity generation in more than 160 countries worldwide. Micro-hydropower plant is in the category of small-scale hydropower projects, and it provides an affordable, reliable, economically viable, socially acceptable and environmentally energy alternative for rural area. In this article, micro-hydropower technologies, design and performance characteristics, power losses, mechanical powers and efficiencies for the waterwheel systems such as breastshot, overshot and undershot are reviewed in detail and compared each other. In addition, the development of worldwide hydropower capacity is discussed, and the top countries in terms of total installed capacity are reported and investigated.

**Keywords:** Micro-hydropower, Waterwheels systems, Breastshot, Overshot, Undershot.

### Mikro-Hidroelektrik Teknolojileri ve Su Çarkı Sistemlerinin Tasarım Özelliklerine Genel Bir Bakış

### Özet

Son yıllarda, küresel ısınma ve enerji kaynaklarının verimli kullanılması en cazip konular haline gelmiştir. Ayrıca, yenilenebilir enerji teknolojileri, küresel enerji ve çevre sorunları açısından önemli bir rol oynamaktadır. Yenilenebilir enerji teknolojileri arasında, hidroelektrik dünya çapında 160'tan fazla ülkede elektrik üretimini belli bir düzeyde sağlayarak, en gelişmiş ve olgun olarak kabul edilmektedir. Mikro hidroelektrik santrali küçük ölçekli hidroelektrik projelerin kategorisindedir ve kırsal alan için uygun fiyatlı, güvenilir, sosyal açıdan kabul edilebilir, ekonomik ve çevre açısından duyarlı bir enerji alternatifi olarak sunulmaktadır. Bu makalede, gövde çarpmalı, üstten çarpmalı ve alttan çarpmalı gibi su çarkı sistemleri için mikro hidroelektrik teknolojilerinin tasarım ve performans özellikleri, güç kayıpları,

---

\* Yazışmanın yapılacağı yazar: Arif OZBEK, Çukurova Üniversitesi Ceyhan Müh. Fakültesi, Makine Müh. Bölümü, Adana. arozbek@cu.edu.tr

mekanik güçler ve verimliliği ayrıntılı olarak gözden geçirilmiş ve birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Buna ek olarak, tüm dünyada hidroelektrik kapasitesinin gelişmesi tartışılmış ve toplam kurulu güç açısından başta gelen ülkeler detaylı olarak incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Mikro-hidroelektrik, Su çarkı sistemleri, Gövde çarpmalı, Üstten çarpmalı, Alttan çarpmalı.

## 1. INTRODUCTION

Fossil fuel resources are rapidly dwindling and over the last decade energy demand has doubled [1]. Without decisive action, energy related greenhouse gas emissions may become doubled by 2050, and increased oil demand will heighten concerns over the security of supplies. For this reason, an energy revolution is needed to achieve a 50% reduction of global CO<sub>2</sub> emissions relative to current levels by 2050. In this revolution, energy efficiency, sustainable and low-carbon energy technologies play a crucial role. In addition, renewable energy technologies (biomass, wind, solar, hydro and geo-thermal) play an important role in addressing global energy and environmental challenges [2,3]. They are offering clean and reliable energy to reduce greenhouse gas emission that lead to global warming while saving money and creating jobs. Furthermore, they provide a cost-effective source of electricity in rural areas where distances are large, populations are small, and demand for energy is low [4].

Hydropower is a good example of renewable energy [5], and it is the single largest share of renewable electricity worldwide. In rural areas and particularly in mountainous regions, which are usually economically passive and not easily accessible, small power plants up to 10 MW appear as a cost effective energy production technology [6]. In addition, it is the most advanced and mature renewable energy technology and provides some level of electricity generation in more than 160 countries worldwide [7]. Today, hydropower plays a key role in the green energy production, avoiding the combustion of 4.4 million barrels of oil equivalent daily, only 33% of potential hydro resources has been developed and the remaining technical potential is estimated to be very high (14,576 TWh/year).

Hydropower does not only remain a backbone of the power sector, but is also one of the most ambitious emission reduction paths for low-carbon and sustainable energy system [8]. It plays an important role in the global renewable energy supply. Hydropower potential on large scale has been exploited in almost every part of the world. However, large hydropower plants suffers from several problems like long gestation period, ecological changes, loss due to long transmission lines, submergence of valuable forest and underground mineral resources etc. Due to all these factors, large hydropower plants are becoming unfavourable in the current era. On the other hand, small/micro/mini/pico hydropower projects are free from these aspects. The mini hydro energy source is available in almost every country of the world [9]. Small hydropower is a kind of renewable energy with no pollution, mature in development, reliable and flexible in operation, easy to maintain and financially competitive. In addition, it has gained the highest attraction due to its environment friendly operation, and it can be the best economical option for rural electrification in developing countries. With these advantages, small hydropower plant becomes a favorable energy source for rural and mountainous areas to get access to electricity [9]. The very low head water technology is an innovation in renewable-energy technology in view of the fact that it uses a completely different approach to equip low-head sites such as locks, canals, old mills or existing weirs. It has become more widely implemented over the past few years due to minimal environmental impact. Although this technology represents one of the best current options for decentralized power generation, development has been hindered by significant implementation costs, of which civil work generally constitutes 40–50% of the total initial



cost [10]. Alternative approaches and new designs in implementations of the very low head water technology with conventional hydraulic, electrical equipment's and controllers would reduce the overall cost of mini hydro system and would help in making it a cost effective technology. Furthermore, these innovations will also help developing countries to provide electricity to rural areas or remote regions where interconnection of transmission line from the electrical grid is uneconomical [9].

Today, there are many regions with very low head below 2,5 m in the irrigation canals, old mill sites, or weirs in the river. Many of these hydropower regions still remain unexploited. But, the need for harnessing these regions for electrical power production has been ever increasing because of the growing interest towards renewable energy. Therefore, there exists a great potential of producing hydropower from those regions using appropriate technology [11]. Research shows that waterwheel technologies are technically and economically favourable alternatives for low head sites with an efficiency of 75-85% over a wide range of flow. Slow speed of rotation and large sized cells of the water wheel can reduce the risk

to aquatic life as well as allow better sediment transport and tolerance to floating debris [11].

## 2. HYDROPOWER IN THE WORLD

Energy shares of global electricity production are presented in Figure 1. As seen from the figure that renewable energy sources have accounted for an ever-growing share of electric capacity added worldwide each year. While renewable energy capacity continues to rise at a rapid rate from year to year, renewable electricity's share of global production is increasing at a slower pace. During the years 2010 through 2014, installed capacity as well as output of most renewable energy technologies grew at rapid rates, particularly in the power sector. Over this period, solar photovoltaics (PV) experienced the fastest capacity growth rates of any energy technology, while wind saw the most power capacity added of any renewable technology. On the other hand, hydropower is being used increasingly to balance systems with high shares of variable renewables. By the end of 2014, renewable energy sources supplied an estimated 22,8% of global electricity, with 16,6% of total electricity provided by hydropower [12].

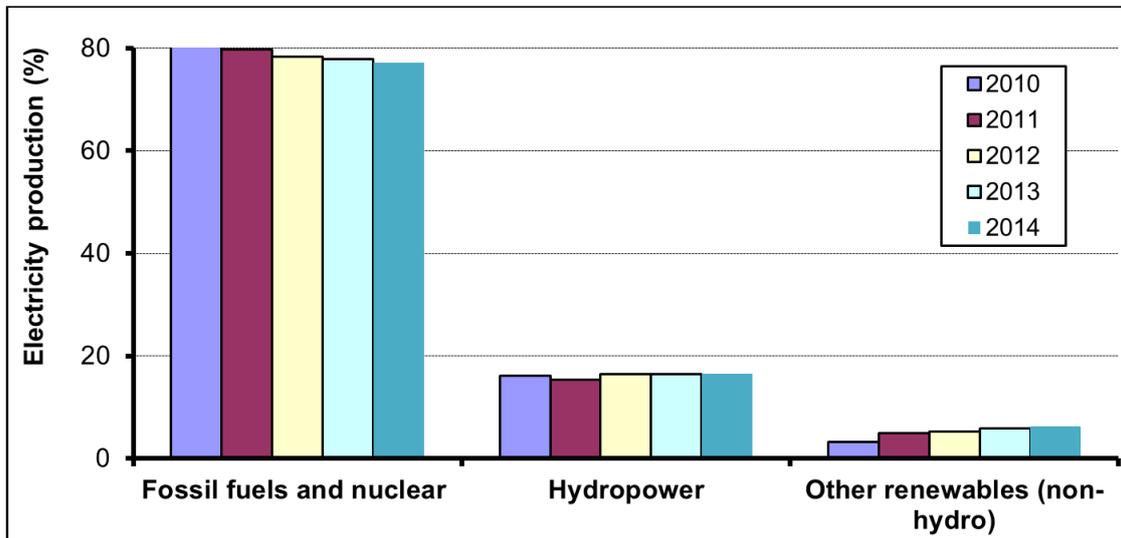
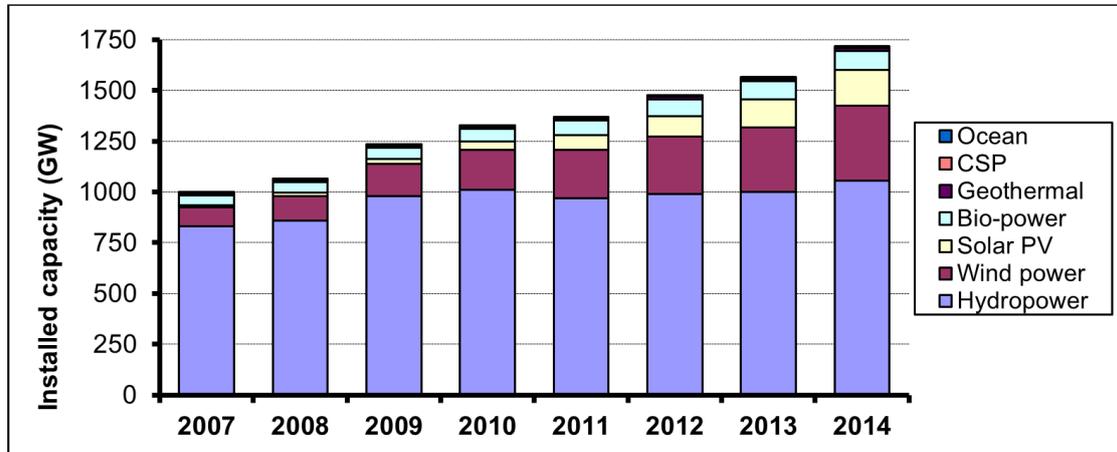


Figure 1. Energy shares of global electricity production



**Figure 2.** The cumulative installed renewable electric power capacity in the world between 2007 and 2014.

Hydropower has been utilized for more than a hundred years, and it is the most widely used renewable energy source worldwide [9]. The cumulative installed renewable electric power capacity in the world between 2007 and 2014 is presented in Figure 2. During this period, installed capacity of many renewable electric power technologies grew very rapidly. In 2007, there was 1,000 GW of renewable electric power capacity installed in the world. On the other hand, total renewable electric power capacity worldwide had reached to 1,712 GW in 2014. As seen from Figure 2, hydropower rose to an estimated 1,055 GW.

Top 6 countries in hydropower global capacity and additions are given in Table 1. As seen, an estimated 37 GW of new hydropower capacity was commissioned in 2014, increasing total global capacity by 3.6% to approximately 1,055 GW. Global hydropower production, which varies each year with hydrological conditions, was estimated at 3,900 TWh in 2014. The top countries for hydropower capacity remained China (280 GW), Brazil (89 GW), the United States (79 GW), Canada (77 GW) and Russia (48 GW), India (45 GW) [12]. The lion's share of all new capacity in 2014 was installed by China, with significant additions by Brazil, Canada, Turkey, India, and Russia. China commissioned a record 22 GW, for a total of 280 GW of hydropower capacity at year's end. Brazil added 3,3 GW in 2014,

including 138 MW of small-scale hydro (<30 MW) capacity, for a year-end total of at least 89 GW. Third for new installations was Canada, which completed 1,7 GW of new hydropower capacity in 2014, raising its total generating stock to 77,4 GW. Turkey added 1,35 GW of hydropower capacity in 2014, for a total of 23,6 GW. Hydropower generated 40,1 TWh during the year, representing a 32% decline from 2013, and the result of drought in recent years. India added about 1,2 GW of capacity in 2014, 228 MW of which was classified as small-scale hydro (<25 MW per facility), bringing the country's total capacity to 44,9 GW. Annual generation was estimated at 144 TWh. In Russia, net capacity additions in 2014 were 1,1 GW, increasing installed capacity to 47,7 GW. Even as capacity rose, hydropower generation (164 TWh) declined 4,4% from the previous year [12].

### 3. HYDROPOWER SYSTEMS

Hydropower plants are very different in terms of size and type of generating unit, size and type of plant, the height of the water fall (head), their functions (electricity generation, capacity or multi-purpose) and sizes. They are extremely site specific and tailor-made to local conditions. For example, a classification by hydraulic head refers to the difference between the upstream and the downstream water levels. The classifications of

low head (less than 30 m) and high head (above 300 m) technologies vary widely from country to country, and there are no generally accepted scales. Head determines the water pressure

on the turbines. Together, head and discharge are the most important parameters for deciding the type of hydraulic turbine to be used [13].

**Table 1.** Top 6 countries in hydropower global capacity and additions [12]

Country	Net Added 2013 GW	Total End-2013 GW
<b>Top Countries by Total Capacity</b>		
China	22	280
Brazil	3,3	89
US	0,0	79
Canada	1,7	77
Russia	1,1	48
India	1,2	45
<b>Top Countries by Net Additions</b>		
China	22	280
Brazil	3,3	89
Canada	1,7	77
Turkey	1,4	24
India	1,2	45
Russia	1,1	48
<b>World Total</b>	<b>37</b>	<b>1055</b>

Hydropower plants can also be classified in three functional categories such as storage, run-of-river and pumped storage plants [13]. In storage plants, dam impounds water in a reservoir that feeds the turbine and generator, which is usually located within the dam itself. Run-of-river plants use the natural flow of a river, where a weir can enhance the continuity of the flow [14]. They are considered to be more environment friendly mainly due to small/no reservoir impoundment and quite less displacement of natives as compared to their reservoir based counterparts. Both storage and run-of-river schemes can be diversion plants,

where water is channelled from a river, lake or dammed reservoir to a remote powerhouse, containing the turbine and generator. Pumped storage incorporates two reservoirs. At times of low demand, generally at night, electricity helps pump water from the lower to the upper basin. This water is then released to create power at a time when demand, and therefore price, is high. Although not strictly a renewable energy (because of its reliance on electricity), pumped storage is very good for improving overall energy efficiency [14].

**Table 2.** Hydropower systems according to their installation power production capacity [14]

Category	Output/unit	Storage	Power use (load)
Small	< 10 MW	run-of-river	base load
Medium	10-100 MW	run-of-river	base load
Medium	100-300 MW	dam and reservoir	base and peak
Large	> 300 MW	dam and reservoir	base and peak

Hydropower systems are classified as small-scale, medium and large according to their installation power production capacity. Table 2 gives

hydropower systems according to their installation power production capacity [14]. Small-scale hydropower is a kind of hydropower systems, and

it is one of the most economical and environmentally friendly technologies to be considered for rural electrification projects. It can be a very good complement to a solar power system, as it produces electricity for 24 h a day as long as the running water is available. It is a much more concentrated energy resource than either wind or solar power. Different categorisation of small-scale hydropower systems in terms of

installed capacity is given in Table 3. As seen from the table, the size of a small hydro-power project is about 10 MW or less. However, the definition and categorization of small-scale hydropower varies from country to country and may vary from time to time. There is no consensus on the upper limit for the definition of small-scale hydropower systems [15].

**Table 3.** Different categorisation of small-scale hydropower systems in terms of installed capacity [15]

<b>Small-scale hydropower categorisation</b>	<b>Installed capacity</b>
Picohydro	Less than 5 kW
	Less than 10 kW
Microhydro	Below 20 kW
	Greater than 5 kW but less than 100 kW
	Up to 100 kW
	Between 10 kW and 200 kW
	Below 500 kW
Mini hydro	Greater than 500 kW but less than 2 MW
Small hydro	Less than 10 MW
	100 to 10 MW
	2,5 MW to 25 MW

#### 4. MICRO-HYDROPOWER SYSTEMS

Micro-hydropower plant is in the category of small-scale hydropower projects. Micro-hydropower provides an affordable, reliable, economically viable, socially acceptable and environmentally sound energy alternative for rural area [16]. Fundamental components of a typical micro-hydropower system are mainly civil works components (headwork, intake, headrace canal, fore bay, penstock/pipe and tailrace) and powerhouse components (turbines, generators, drive systems and controllers). In case of powerhouse components turbine or waterwheel is the most essential part. The turbine is connected either directly to the generator or is connected by means of gears or belts and pulleys, depending on the speed required for the generator.

There is no consensus on the upper limit for the definition of micro-hydropower plants. However, the installed capacity of 100 kW seems to be the

common upper limit referred in the definition [15]. In micro-hydropower plants, the most common sources of potential are specific location(s) on the course of the river from that have head and flow suitable for the scale of the micro-hydropower projects. Therefore, location of the river and identifying the potential sites is one of the important exercises in micro-hydropower development [15].

Generally, micro-hydropower systems can be generated energy using turbines and waterwheels. Turbine is one of the key and costly elements of micro-hydropower systems depending on the particular requirements of any given site. It converts hydraulic power into mechanical power, and it is made up of a rotating and stationary elements. Energy conversion process takes place in the runner that is made up of an assembly of blades on a disc. The select of turbine for hydropower plant depends upon the head and discharge from the available site [9]. In addition to these, turbine technical efficiency is one of the factors to look for

when selecting a turbine for the particular micro-hydropower site. Turbine efficiency is evaluated as the ratio of extracted mechanical power to input hydraulic power at the turbine inlet. The turbine efficiency depends mainly on four factors, namely: flow leakage, disc friction, bearing friction and hydraulic loss. Efficiency levels for micro-hydropower systems range from 60% to around 85% while large-scale hydro-power projects, have efficiency levels of over 90% [15]. There are several examples of turbines used in micro-hydropower projects. They are classified according to their principles of operation. Depending on site characteristics, such as available head and flow rate, and on the selected running speed of the generator, different turbine types with different operating range and performance characteristics, they can be divided into impulse, reaction and archimedes screw turbines [15].

In reaction turbines, both pressure and velocity energies are extracted from the flowing water and then converted into shaft- power by the runner. Common examples of reaction turbines used in micro-hydropower plants are Kaplan, Francis, Propeller and Pump-as-turbine. In impulse turbines, hydraulic energy is first converted into kinetic energy in form of free water jet by nozzles. The water jet impacts the runner blades and due to change of momentum of the jet, a force is created on the runner blades that makes the turbine rotate. Common examples of impulse turbines applied in micro-hydropower plants include Turgo, Pelton and Crossflow [15]. In an archimedes screw, water falls through the screw and turns it. The turning screw turns the gearbox and the generator so that electricity can be generated. Archimedes screw is excellent for hydroelectric systems with low heads (2-10 m) and large flow, and it is manufactured as bespoke installation [17].

Environmental effects of run-of-river type hydroelectric power plants have many dimensions associated with both construction and operational phases. The issues that are expected to occur during the construction phase include air pollution, dust emissions, noise, landslide, erosion and excavation debris. The topics related to the amount and the timing of water to be released back to the

river, efficiency of fish passages, sediment passages, access roads and energy transmission lines are the main considerations of the operational phase. Aquatic life may be adversely affected in the diversion reach if sufficient amount of water is not kept in the river for sustaining a healthy aquatic habitat. Moreover, chemical composition and physical characteristics of the water (pH, temperature, suspended solids, etc.) might change and migration of fish may also be disturbed. In addition to such ecological, environmental and aesthetic impacts, run-of-river plants have major social effects on the local people. Local people usually use rivers for their social and economic needs such as fishing, irrigation, recreation, swimming, transportation, etc. [18].

## 5. WATERWHEELS SYSTEMS

Waterwheel is one of the oldest hydraulic machines known to humankind, and it was introduced more than 2000 years ago as a source of mechanical power to grind cereals and to pump water [19]. It is a simple machine generally made of wood or steel with blades fixed at regular interval around their circumference. The blades are pushed by the water tangentially around the wheel. The thrust produced by the water on the blades produces torque on the shaft and as a result the wheel revolves [20]. If waterwheels are well designed, they can reach a high and constant efficiency for a wide range of external conditions, but, turning at slow rotation speeds (6-10 rpm), they need high gearbox for generating alternate electricity [21].

Water wheels are a sustainable and economic technology, since their construction is simpler over turbines, their environmental impact is lower, the payback periods are faster and practically there is no public resistance to their installation. They may also improve the local economy by promoting tourism and cultural activities, in addition to crop grinding and electrical production [19]. Waterwheels may not be a strategical solution for large scale renewable energy generation, but they may be a suitable method for decentralized electricity generation and for a smart land use. Wide variety of waterwheel models has been



depth in the conveying channel and accelerates the water flow in the headrace. According to Quaranta and Revelli [21], the gross and net heads available for the wheel are expressed by:

$$H_{gr} = (H_U - H_D) = \left[ \left( z_u + h_u + \frac{v_u^2}{2g} \right) - \left( z_d + h_d + \frac{v_d^2}{2g} \right) \right] \quad (1)$$

$$H_{net} = (H_e - H_D) = \left[ \left( z_e + h_e + \frac{v_e^2}{2g} \right) - \left( z_d + h_d + \frac{v_d^2}{2g} \right) \right] \quad (2)$$

where  $H_U$  is the energy head before the sluice,  $H_e$  the flow energy head just before the wheel and  $H_D$  the downstream one (that at the tailrace). The generic head  $H_x$  is the sum of the bed channel elevation  $z_x$ , the water depth  $h_x$  and kinetic term  $v_x^2/2g$ , where  $g=9.81 \text{ m/s}^2$  is the acceleration of gravity. The input power for the wheel and the input power for the laboratory hydroelectric plant are found by:

$$P_{gr} = \rho g \cdot Q_{gr} \cdot H_{gr} \quad (3)$$

$$P_{net} = \rho g \cdot Q \cdot H_{net} \quad (4)$$

where  $Q_{gr}$  is the total flow rate,  $Q=Q_{gr}-Q_U$  and  $Q_U$  is the discharge lost before the wheel, through leakages and slits. The mechanical output power  $P_{out}$  at the wheel axle is still lower than  $P_{gr}$  and  $P_{net}$ , because different power losses occur in the wheel and headrace between the sluice gate and the wheel. Quaranta and Revelli [21] stated that six main kinds of power losses may occur in the wheel and headrace: (1) impact losses include the impact of the entry water on the blades ( $L_{imp}$ ) and the impact of the blades on the tailrace ( $L_t$ ), (2) leakage losses are water losses through the slits between the buckets and the channel ( $L_Q$ ), (3) friction losses are due to mechanical friction at the shaft supports ( $L_g$ ) and to drag effect of the water (contained in the buckets) on the channel bed ( $L_{bed}$ ), (4) hydraulic losses may occur when the residual power of the water in the last bucket is lost in the tailrace ( $L_h$ ) and (5-6) there are the hydraulic ( $L_c$ ) and leakage ( $L_{Qu}$ ) losses in the

headrace between the sluice gate and the wheel.

$P_{out}$  can be calculated by:

$$P_{out} = P_{gr} - \sum \text{Losses} = P_{gr} - (L_c + L_{Qu} + L_{imp} + L_Q + L_g + L_{bed} + L_t + L_h) \quad (5)$$

The wheel efficiency is defined as:

$$\eta_w = \frac{P_{out}}{P_{net}} = 1 - \frac{(L_{imp}+L_Q+L_g+L_{bed}+L_t+L_h)}{P_{net}} \quad (6)$$

The conveying channel efficiency is expressed as:

$$\eta_c = \frac{P_{net}}{P_{gr}} = 1 - \frac{(L_c+L_{Qu})}{P_{gr}} \quad (7)$$

The global efficiency of the installed hydroelectric plant is defined as:

$$\eta = \eta_c \cdot \eta_w = \frac{P_{out}}{P_{gr}} = 1 - \frac{(L_c+L_{Qu}+L_{imp}+L_Q+L_g+L_{bed}+L_t+L_h)}{P_{gr}} \quad (8)$$

The experimental power can be determined by:

$$P_{exp} = C \cdot w \quad (9)$$

where  $C$  and  $w$  are torque and angular velocity, respectively.

From the experimental and theoretical analyses studied by Quaranta and Revelli [21], as seen in Figure 4, the average error between the theoretical and experimental analyses is obtained as 9%, and various concluding remarks can be summarized as follows:

- The maximum power losses occur in the impact loss ( $L_{imp}$ ) on the blades and hydraulic ( $L_c$ ) loss in the headrace.
- Friction loss ( $L_{bed}$ ) due to drag effect of the water on the channel bed is always negligible, because it is two orders lower than other terms (even if it increases with angular velocity and flow rate).
- Figure 5 presents the magnitude of the power losses respect to the input power. The biggest dimensionless power losses are  $L_Q/P_{net}=0,32$

(which occurs at low flowrates, when the dimension of the slits is comparable with the water depth in the headrace and in the buckets), and  $L_{imp}/P_{net}=0,43$  (for the highest entry velocity).

- When  $L_h < 0$  it means that the water at the tailrace has more energy than the water in the last bucket and the mechanical output power increases, since the hydraulic loss in the headrace becomes a recovery of energy.
- The efficiency increases with the flowrate and, after a maximum value, it remains quite constant, or it slightly decreases.
- The torque increases with the flowrate and with the decrease in angular velocity.
- The mechanical output power increases with the flowrate. It reaches its maximum value for  $w \cong (0,6 \div 0,7)v_e$  and then decreases.
- The maximum efficiency of the wheel is obtained as 96% for  $Q=0,09 \text{ m}^3/\text{s}$ .
- A correct future blade and inlet design may allow to reduce the impact loss on the blades and hydraulic loss in the headrace.

## 5.2. Overshot Waterwheels

Overshot waterwheels are driven by the potential energy created by the accumulated water in the buckets of the wheel. As seen from Figure 6, water

flows at the top of the wheel and fills into the buckets attached on the periphery of the wheel [20]. During rotation, the water acts on the blades by its weight, up to the lowest point of the wheel, where the buckets completely empty. Overshot waterwheels are suitable in sites with heads of 2,5-10 m and small flowrates (unit width flowrates  $Q < 0,1 - 0,2 \text{ m}^2/\text{s}$ ) and they can reach constant efficiency of about 80-90% for a wide range of flowrates [20].

Although a large number of overshot water wheels were in operation in the last century, only few series of tests were performed. Most of the test results were never published in hydraulic engineering textbooks or journals and they are only available in not widely known reports and articles. However, Quaranta and Revelli [19] developed a theoretical model in order to calculate the different kinds of power losses occurring inside an overshot water wheel. In their study, the theoretical results are validated on experimental ones. According to Quaranta and Revelli [19], the total input power depends on the hydraulic and geometric boundary conditions and it is calculated as:

$$P = \gamma \cdot Q \cdot \Delta H = \gamma \cdot Q \cdot \left( \Delta H_g + \frac{v_u^2 - v_d^2}{2g} \right) \quad (10)$$

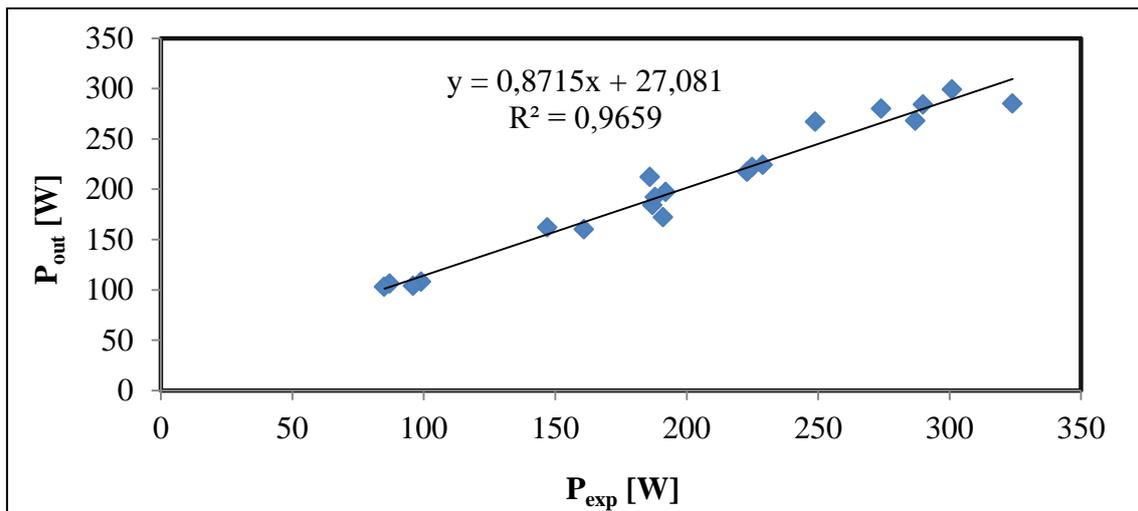


Figure 4. The experimental and theoretical power output results



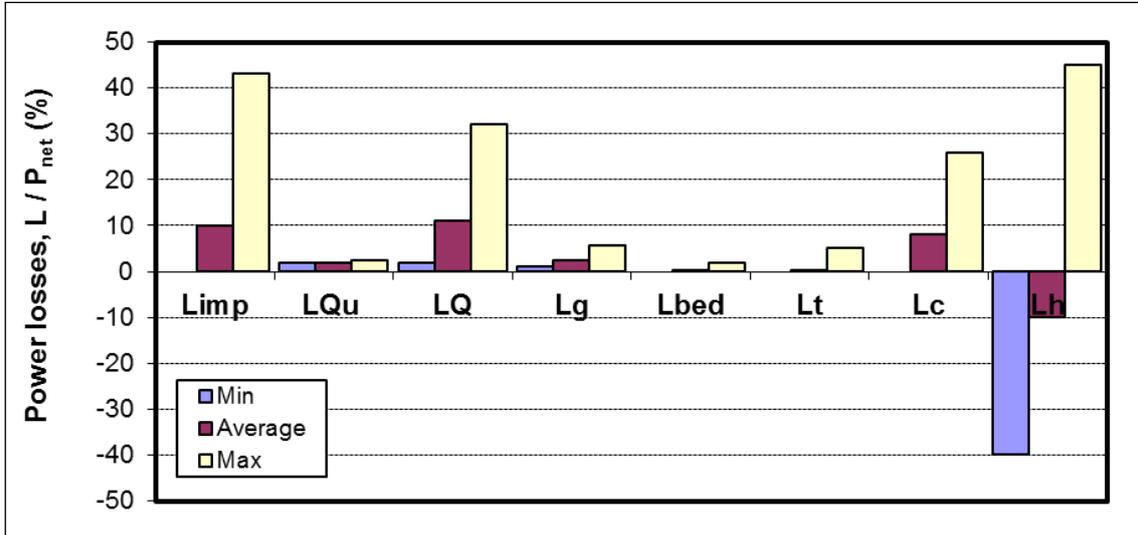


Figure 5. The magnitude of the power losses respect to the input power

where  $Q$  is the incoming flowrate,  $\gamma = 9810 \text{ N/m}^3$  the water specific weight,  $\Delta Hg$  the geometric distance between the free surfaces,  $v_u^2$  and  $v_d^2$  the upstream and downstream water velocity, respectively, and  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$  the gravity acceleration.

The mechanical output power in overshoot waterwheel is defined as:

$$P_{out} = P - \sum Losses = P - (L_{imp} + L_t + L_g + L_{Qu} + L_{Qr}) \quad (11)$$

where  $L_{imp}$  is the power loss occurring in the impact,  $L_t$  the impact loss generated when the blades impact against the tailrace (if the blades are submerged in the tailrace),  $L_g$  the mechanical friction loss at the shaft supports,  $L_{Qu}$  the volumetric loss at the top of the wheel and  $L_{Qr}$  the volumetric loss during rotation. The efficiency is calculated as:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P} = 1 - \frac{\sum Losses}{P} \quad (12)$$

From experimental analysis studied by Quaranta and Revelli [19], it is showed that theoretical power results is very good agreement with experimental ones for assuming  $L_{Qu} = 0$  and for

small flowrates ( $Q < 0,04 \text{ m}^3/\text{s}$ ). In their study, various concluding remarks can be summarized as follows:

- Two different limit rotational speeds are identified: the runaway velocity  $w_r$ , in correspondence to which the output power tends to become null ( $w_r \cong 4,2 \div 4,3 \text{ rad/s}$ ) and the critical velocity  $w_{cr}$ , where the output power begins to decrease brusquely ( $w_{cr} \cong 2,7 \text{ rad/s}$ ).
- The power losses, as a percentage of the input power, are presented in Figure 7. As seen, the volumetric loss at the top of the wheel is the most important loss for  $w > w_{cr}$ , while the volumetric loss during rotation, the mechanical friction loss at the shaft supports and the power loss occurring in the impact have a maximum values of 32%, 7% and 12%, respectively.
- The mechanical friction loss at the shaft supports is the smallest one and all the power losses depend strictly on the rotational speed.
- As the rotational speed increases the parameters  $L_{Qu}$  and  $L_g$  also increase, and the parameters  $L_{Qr}$  and  $L_{imp}$  take their maximum values at the value of  $w = w_{cr} = 2,7 \text{ rad/s}$ .
- The increase in the discharge  $Q$  makes all the power losses enhance.

- The tailrace loss is considered to be  $L_r=0$ , since the wheel is uplift on the tailrace.
- The output power decreases with the increase in the rotation speed of the wheel. For higher flowrate and tangential velocity, most of the water cannot fill into the buckets, it slips around the external part of the blades and the volumetric loss at the top of the wheel increases.
- The efficiency (80%) remains constant up to angular wheel speed of 2,7 rad/s. Then, the efficiency tends to decrease as a consequence of the increase in  $L_{Qu}$  mainly.
- The new recovery systems and the blades geometry should be investigated in order to reduce the power losses and to increase the performance of the wheel.
- The maximum efficiency is 85% for  $Q=0,05$  m<sup>3</sup>/s and then it decreases, due to the increase in the volumetric losses, mainly those at the top of the wheel.

### 5.3. Undershot Waterwheels

In undershot waterwheels, the stream impacts the blades at the bottom of the wheel. Undershot waterwheels are suitable in sites with small heads and high flow rates. They operate with very small head differences of less than 2 m head [20]. In the early undershot wheels the most of the stream kinetic energy was lost in the impact against the flat blades, making the efficiency quite low (30%). Then, efficiency was improved with increasing up to 70%. Few model experiments have been described on undershot waterwheels nowadays. A literature review shows that the most advanced design method was carried out by Denny [22] and Senior et al. [23].

#### \*Conventional Undershot Design

Denny [22] presented a simple model of conventional undershot waterwheels, as seen in Figure 8. According to the Denny's study, the mass of water that presses against each vane per unit time can be calculated as:

$$\dot{m} = \rho A(v - v') \quad (13)$$

where  $A$  is the vane area.  $v$  and  $v'$  are the mean water speed before transferring momentum to the waterwheel and the mean water speed afterwards, respectively.  $v'$  is can be found as:

$$v' = wR = cv \quad (0 < c < 1) \quad (14)$$

The force exerted by the water against the vanes is expressed as:

$$F = \frac{d}{dt} [m(v - v')] = \rho Av^2(1 - c)^2 \quad (15)$$

The output power of the waterwheel, resulting from this force, is

$$P_{out} = Fv' \quad (16)$$

This is the applied force multiplied by the distance moved by the vanes per unit time. Thus,

$$P_{out} = \rho Av^3 c(1 - c)^2 \quad (17)$$

The input power and the waterwheel efficiency are calculated as:

$$P_{in} = \frac{1}{2} \rho Av^3 \quad (18)$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = 2c(1 - c)^2 \quad (19)$$

This peaks for  $c = 1/3$  so that the waterwheel vanes move at a third of the initial water speed in the millrace. Hence the maximum efficiency of the undershot waterwheel is about 30%.

#### \*Poncelet Modification

Denny [22] states that the efficiency of undershot waterwheel can be significantly improved by the Poncelet modification. In the Poncelet type, a gravitational component of torque is provided, and more of the mill race water momentum is transferred to the wheel, as seen in Figure 9. The analysis is as for conventional undershot design except that now the force exerted by water pressing against the vanes is given by

$$F = \rho Av^2(1 - c) \quad (20)$$

since here the speed difference of the water, resulting from interaction with the vane, is approximately  $v$ , and not  $v - v'$ . Calculating input and output powers as before leads to the following expression for Poncelet waterwheel efficiency:

$$\eta = 2c(1 - c) \tag{21}$$

As seen, efficiency peaks for  $c=1/2$  at  $\eta=50\%$ . This is a significant improvement.

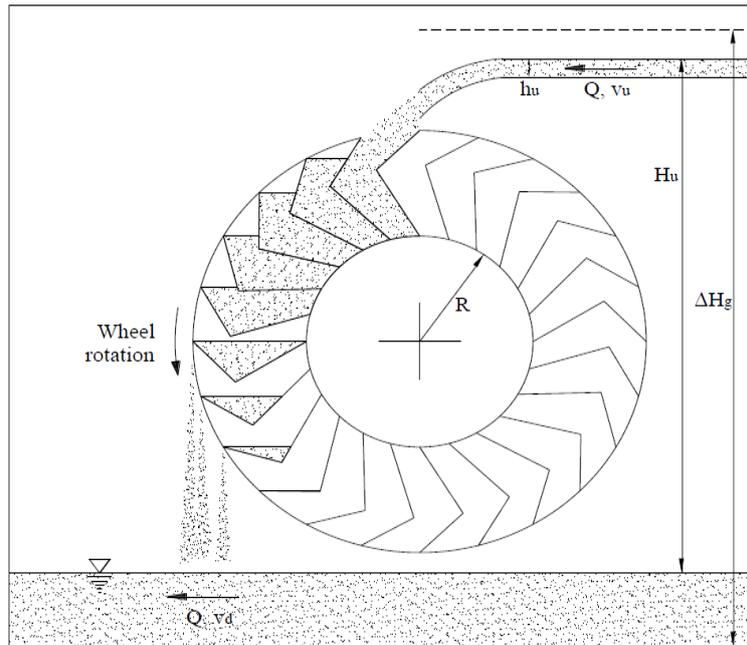


Figure 6. Overshot waterwheel technology [20]

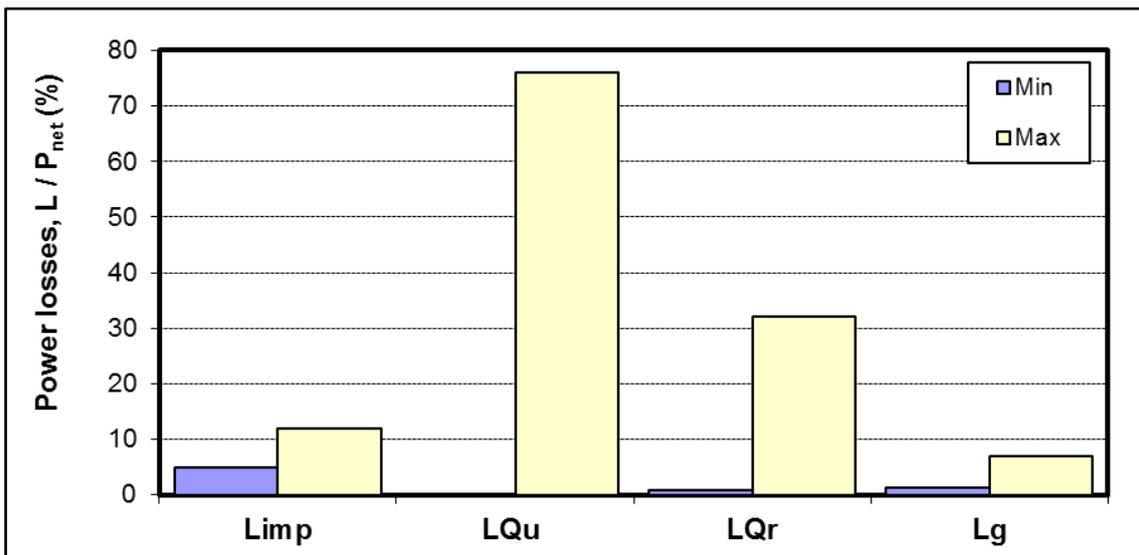


Figure 7. The power losses as a percentage of the input power

**\*Hydrostatic Pressure Wheel (HPW)**

The theoretical and experimental analyses of the hydrostatic pressure wheel for head differences between 0,2 and 1 m were presented by Senior et al. [23]. According to this, the available hydraulic power is calculated for the wheel of unit width as:

$$P_{hyd} = \rho g v_1 h_1 (h_1 - h_2) \quad (22)$$

where  $v_1$  is the upstream flow velocity,  $h_1$  is upstream water depth and  $h_2$  is downstream water depth, as seen Figure 10. The resultant hydrostatic force can be defined as:

$$F = F_1 - F_2 = \rho g \frac{h_1^2 - h_2^2}{2} \quad (23)$$

Assuming an infinite wheel radius, the mechanical power at the blade is found as:

$$P = F v_1 = \rho g \frac{h_1^2 - h_2^2}{2} v_1 \quad (24)$$

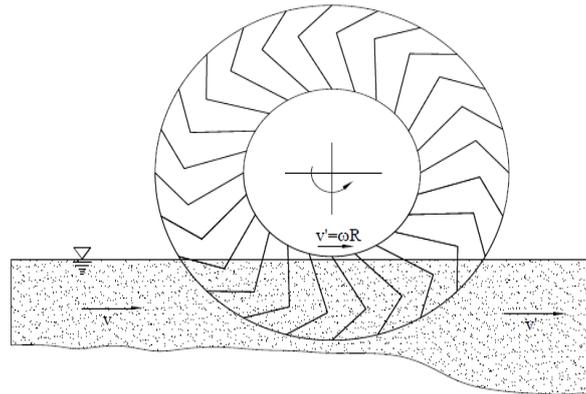
Efficiency without losses is calculated as:

$$\eta = \frac{P}{P_{hyd}} = \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{h_2}{h_1} \right) \quad \text{if } 0 \leq \frac{h_2}{h_1} \leq 1 \quad (25)$$

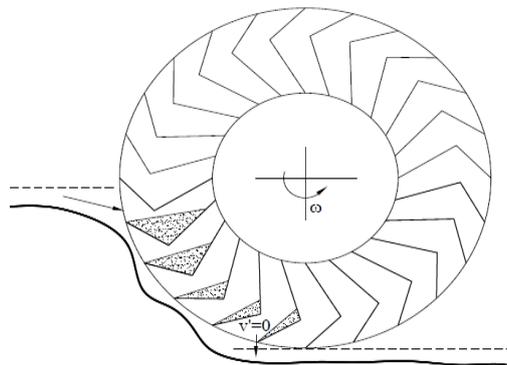
For a wheel of finite radius, the mechanical power and efficiency are defined as:

$$P = F_1 v_1 \frac{R - \frac{h_1}{3}}{R - \frac{h_1}{2}} - F_2 v_1 \frac{R - \frac{h_2}{3}}{R - \frac{h_1}{2}} \quad (26)$$

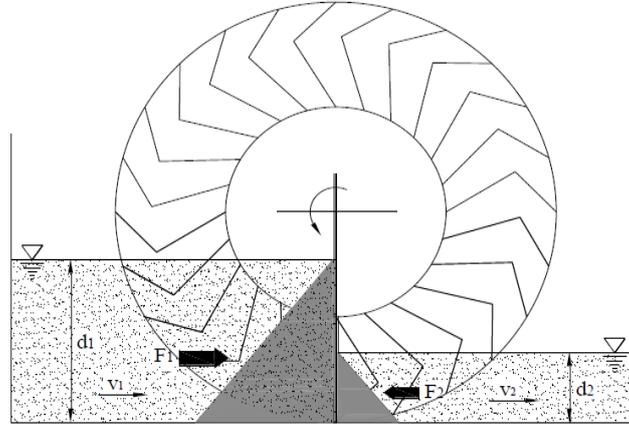
$$\eta = \frac{F_1 v_1 \frac{R - \frac{h_1}{3}}{R - \frac{h_1}{2}} - F_2 v_1 \frac{R - \frac{h_2}{3}}{R - \frac{h_1}{2}}}{v_1 d_1 (h_1 - h_2)} \quad (27)$$



**Figure 8.** Conventional undershot waterwheel technology [22]



**Figure 9.** Poncelet type waterwheel technology [22]



**Figure 10.** Hydrostatic pressure wheel technology [23]

Figure 11 shows the efficiencies for  $R/h_1 = \infty$ , and  $R/h_1 = 2$ . Note that the maximum theoretical efficiencies for a finite radius exceed these for an infinite radius by up to 6,5% if  $h_2/h_1 = 0,5$ . However, turbulent energy and leakage losses occur in the wheel. The reduction in the theoretical efficiency  $\eta_{th}$  due to leakage discharge  $Q_L$  is expressed for a given  $Q$  as:

$$\eta = \eta_{th} \left(1 - \frac{Q_L}{Q}\right) \quad (28)$$

The leakage discharge was in the range of 6.7–13% at the maximum efficiency/power output [23]. In hydrostatic pressure wheel, the turbulence energy loss is created by the blade entry, with trailing vortices forming at the blade tip. The machine resistance of width  $b$ , with a wetted blade area  $A$ , was expressed with  $C_D$  as a force counteracting the hydrostatic force thereby reducing the actual power as:

$$P_a = \rho g (F_1 v_1 - F_2 v_2) b - \frac{\rho}{2} C_D A v_b^3 \quad (29)$$

Figure 12 shows efficiency with leakage and with leakage and turbulence adjusted. As seen, the turbulent losses increase for higher wheel speeds.

#### \*Hydrostatic Pressure Machine

The theoretical and experimental analyses of the hydrostatic machine wheel for head differences

between 1 and 2,5 m were presented by Senior et al. [23]. According to this, the available hydraulic power is calculated for the wheel of unit width as:

$$P_{hyd} = \rho g v_1 h_1 (h_1 - h_2) \quad (30)$$

The resultant hydrostatic force can be defined as:

$$F = F_1 - F_2 = h_2 (p_1 - p_2) = \rho g d_2 (h_1 - \Delta h - h_2) \quad (31)$$

$$\Delta h = \frac{v_2^2}{2g} - \frac{v_1^2}{2g} = \frac{v_1^2}{2g} \left(\frac{h_1^2}{h_2^2} - 1\right) \quad (32)$$

where  $v_2 = v_1 (h_1/h_2)$  is the downstream flow velocity,  $p_1$  and  $p_2$  are hydrostatic pressures, as seen Figure 13. The mechanical power and efficiency of the ideal machine can be defined as:

$$P = v_2 (F_1 - F_2) = \rho g h_2 v_2 \left[ h_1 - h_2 - \frac{v_1^2}{2g} \left(\frac{h_1^2}{h_2^2} - 1\right) \right] \quad (33)$$

$$\eta = \frac{d_1 - d_2 - \frac{v_1^2}{2g} \left(\frac{h_1^2}{h_2^2} - 1\right)}{h_1 - h_2} \quad (34)$$

However, turbulent energy and leakage losses occur in the wheel. With the effect of turbulent loss, the maximum power output is reduced further to 69% of  $P_{max}$ , for  $Q/Q_{max} = 0,41$  [23]. The blades leave gaps between a curved bottom section and

the channel side walls. Because of the head difference, leakage discharge  $Q_L$  leads to leakage losses. Unlike hydrostatic pressure wheel, leakage for hydrostatic pressure machine is not constant, but a function of the effective head difference. The

reduction in the theoretical efficiency  $\eta_{th}$  due to reduced leakage discharge  $Q'_L$  is expressed as:

$$\eta = \eta_{th} \left(1 - \frac{Q'_L}{Q_{max}}\right) \quad (35)$$

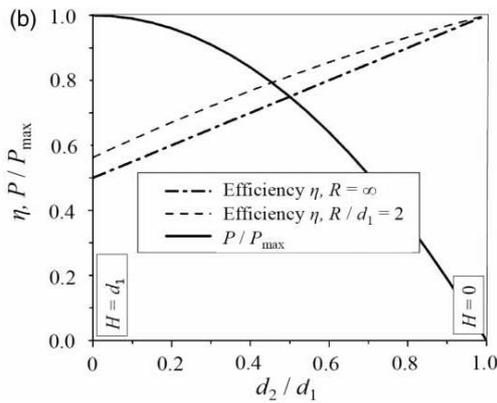


Figure 11. Hydrostatic pressure wheel efficiencies for  $R/h_1=\infty$  [23]

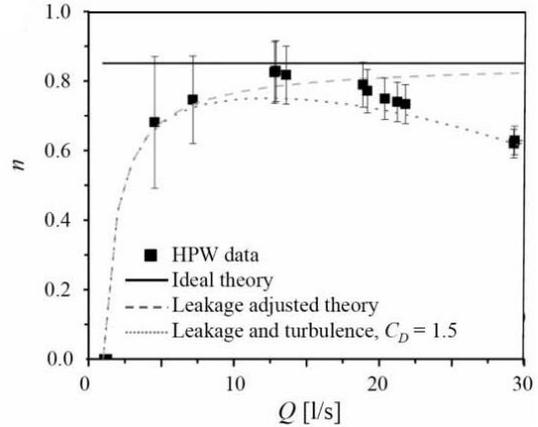


Figure 12. Hydrostatic pressure wheel efficiencies with leakage and with leakage and turbulence adjusted [23]

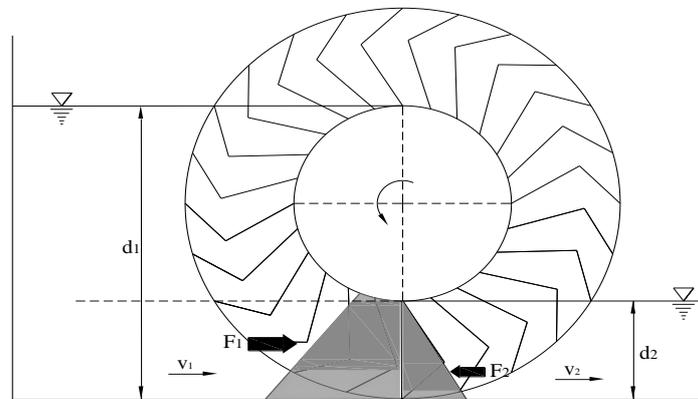


Figure 13. Hydrostatic pressure machine [23]

where  $Q'_L$  is reduced leakage discharge which takes into account that the hydrostatic pressure, which drives leakage discharge.  $Q'_L$  can be calculated as:

$$Q'_L = Q_L(1 - \Delta h/H) \quad (36)$$

$Q_{max}$  is maximum discharge and it is determined using the maximum upstream flow velocity  $v_{max}$  for  $P=0$ , i.e.  $h_1 - h_2 - \Delta h = 0$ , namely;

$$v_{max} = \sqrt{2g \frac{h_1 - h_2}{h_1^2/h_2^2 - 1}} \quad (37)$$

$$Q_{max} = v_{max}h_1 \quad (38)$$

Effects of turbulent energy and leakage losses on the wheel are illustrated in Figure 14. As a result, hydrostatic pressure wheel and machine are particularly useful for small hydropower sites

where the ratio of water depths upstream and downstream is higher than 0,5 m, with head differences between 0,2 and 1 m, and with power outputs of 1,5 to some 25 kW/m. Otherwise, efficiency becomes too low or the wheel too large [23].

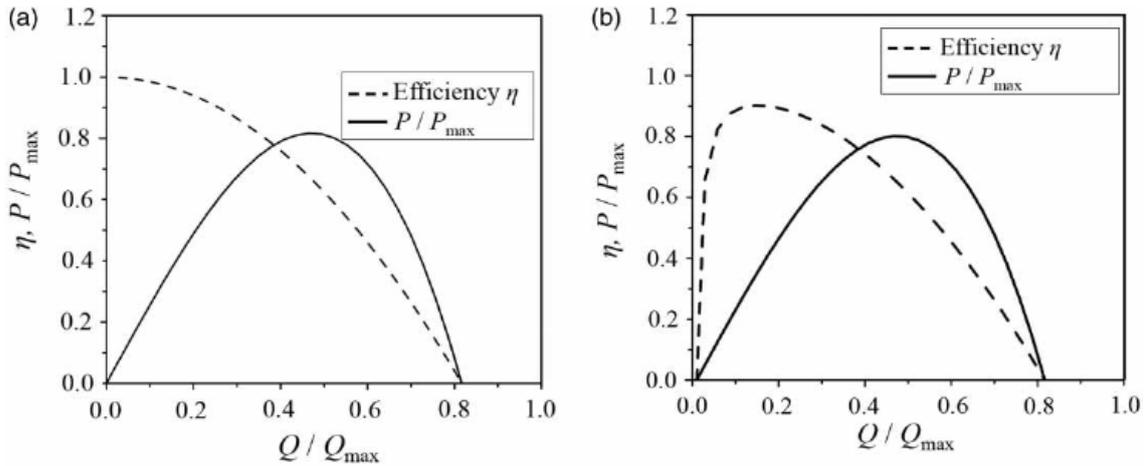


Figure 14. Effects of turbulent energy and leakage losses on the wheel [23]

## 6. CONCLUSION

The contribution of renewable energies to the world's total energy demand has increased particularly during the last two decades, and they will continue gaining market share. Among all renewable energy sources, hydropower is the single largest share of renewable electricity worldwide, and it is the most advanced and mature renewable energy technology and provides some level of electricity generation in more than 160 countries worldwide. Micro-hydropower, very low head and run-of-the-river hydroelectric technologies have become more widely implemented over the past few years due to minimal environmental impacts, ease in operation, cheaper and easier installations, its simplicity in design and no requirement of heavy construction in comparison to large hydro-power schemes. However, run-of-river type hydroelectric power plants may have ecological, social, environmental and aesthetic impacts. The use of waterwheel technologies in the run-of-river type hydroelectric power plants can be a sustainable and economic

system, since their construction is simpler over turbines, their environmental impact is lower, the payback periods are faster and practically there is no public resistance to their installation. They can also provide electricity to rural areas or remote regions where interconnection of transmission line from the electrical grid is uneconomical.

## 7. REFERENCES

1. Goričanec, D., Pozeb, V., Tomšič, L., Trop, P., 2014. Exploitation of the Waste-Heat from Hydro Power Plants. *Energy*, 77:220-225.
2. Bilgili, M., Ozbek, A., Sahin, B., Kahraman, A., 2015. An Overview of Renewable Electric Power Capacity and Progress in New Technologies in the World. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49:323-334.
3. El-Askary, W.A., Nasef, M.H., AbdEL-hamid, A.A., Gad, H.E., 2015. Harvesting Wind Energy for Improving Performance of Savonius Rotor. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 139:8-15.

4. Vermaak, H.J., Kusakana, K., Koko, S.P., 2014. Status of Micro-Hydrokinetic River Technology in Rural Applications: A Review of Literature. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 29:625-633.
5. Date, A., Akbarzadeh, A., 2009. Design and Cost Analysis of Low Head Simple Reaction Hydro Turbine for Remote Area Power Supply. *Renewable Energy*, 34:409-415.
6. Panić, M., Urošev, M., Pešić, A.M., Brankov, J., Bjeljic, Z., 2013. Small Hydropower Plants in Serbia: Hydropower Potential, Current State and Perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 23:341-349.
7. Bahadori, A., Zahedi, G., Zendejboudi, S., 2013. An Overview of Australia's Hydropower Energy: Status and Future Prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 20:565-569.
8. Xu, J., Ni, T., Zheng, B., 2015. Hydropower Development Trends from a Technological Paradigm Perspective. *Energy Conversion and Management*, 90:195-206.
9. Laghari, J.A., Mokhlis, H., Bakar, A.H.A., Mohammad, H., 2013. A Comprehensive Overview of New Designs in the Hydraulic, Electrical Equipments and Controllers of Mini Hydro Power Plants Making it Cost Effective Technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 20:279-293.
10. Fernando, J.N., Rival, D.E., 2014. Characterizing the Influence of Upstream Obstacles on Very Low Head Water-Turbine Performance *Journal of Hydraulic Research*, 52:644-652.
11. Paudel, S., Linton, N., Zanke, U.C.E., Saenger, N., 2013. Experimental Investigation on the Effect of Channel Width on Flexible Rubber Blade Water Wheel Performance. *Renewable Energy*, 52:1-7.
12. REN21, Renewable Energy Policy Network for the 21<sup>st</sup> Century, *Renewables 2015 Global Status Report*, 2015, <http://www.ren21.net>.
13. IEA, International Energy Agency, *Technology Roadmap, Hydropower*, <http://www.iea.org/>
14. IEA, International Energy Agency, *Renewable Energy Essentials, Hydropower*, <http://www.iea.org/>
15. Kaunda, C.S., Kimambo, C.Z., Nielsen, T.K., 2014. A Technical Discussion on Microhydropower Technology and its Turbines. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 35:445-459.
16. Nasir, B.A., 2014. Design Considerations of Micro-Hydro-Electric Power Plant, *Energy Procedia* 50:19-29.
17. Okot, D.K., 2013. Review of Small Hydropower Technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 26:515-520.
18. Kentel, E., Alp, E., 2013. Hydropower in Turkey: Economical, Social and Environmental Aspects and Legal Challenges. *Environmental Science and Policy*, 31:34-43.
19. Quaranta, E., Revelli, R., 2015. Output Power and Power Losses Estimation for an Overshot Water Wheel. *Renewable Energy*, 83:979-987.
20. Paudel, S., Linton, N., Zanke, U.C.E., Saenger N., 2013. Experimental Investigation on the Effect of Channel width on Flexible Rubber Blade Water Wheel Performance. *Renewable Energy*, 52:1-7.
21. Quaranta, E., Revelli, R., 2015. Performance Characteristics, Power Losses and Mechanical Power Estimation for a Breastshot Water Wheel. *Energy*, 87:315-325.
22. Denny, M., 2004. The Efficiency of Overshot and Undershot Waterwheels. *European Journal of Physics*, 25:193-202.
23. Senior, J., Saenger, N., Müller, G., 2010. New Hydropower Converters for Very Low-Head Differences. *Journal of Hydraulic Research*, 48(6):703-714.



## İş Tatmininin Çalışan Motivasyonu Üzerine Etkileri: Türk İnşaat Sektöründe bir Araştırma

Sarbast MOSLEM<sup>1</sup>, Gözde TANTEKİN ÇELİK<sup>\*2</sup>

<sup>1</sup>Lincoln Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mersin

<sup>2</sup>Çukurova Üniversitesi, Mühendislik -Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 15.01.2016

Kabul tarihi: 28.03.2016

### Özet

Bu çalışmada, Türk inşaat sektörü çalışanlarının iş tatminlerinin motivasyonları üzerine etkisinin araştırılması amacıyla mimar, inşaat mühendisi ve teknik elemanlara anket uygulanmıştır. Türk inşaat sektörü çalışanlarının motivasyonunu etkileyen faktörler “yönetim politikası”, “kurum içi iletişim”, “denetim” ve “yönetici” alt faktörleri olarak belirlenmiştir. Uygulanan korelasyon analizi sonucunda iş tatmini ve motivasyon alt boyutlarının kendi aralarında pozitif ilişki bulunmuş fakat iş tatmini ve motivasyon arasında anlamlı ilişki bulunmamıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Motivasyon, İş tatmini, İnşaat mühendisi, Mimar, Türk inşaat sektörü

## Impact of Job Satisfaction on Worker's Motivation: A Research in Turkish Construction Industry

### Abstract

In this study, a questionnaire survey has been conducted to civil engineers, architects and technical workers, in order to investigate the impact of job satisfaction on motivation of Turkish construction industry professionals. The factors that impact workers motivation in Turkish construction industry are determined to be “management policy”, “internal communication”, “control” and “manager”. As a result of correlation analysis, a positive relationship between the subscales of job satisfaction and motivation was found, but no meaningful relationship was found between job satisfaction and motivation.

**Keywords:** Motivation, Job satisfaction, Civil engineer, Architect, Turkish construction sector

---

\* Yazışmaların yapılacağı yazar: Gözde TANTEKİN ÇELİK, Ç.Ü., Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana. [gtantekin@cu.edu.tr](mailto:gtantekin@cu.edu.tr)

## 1. GİRİŞ

İş, çalışanın hayatını devam ettirebilmesi için gereken parayı kazanması amacıyla düzenli olarak gerçekleştirdiği faaliyetler bütünüdür ve çalışanın hayatının büyük bir bölümünü kapsamakta ve psikolojik açıdan etkilenmesine sebep olmaktadır.

Firmalar için çalışanlarının performanslarını optimum seviyeye çıkarmak ve bunu sürdürülebilir kılmak, para, zaman ve kalite üçgeninde ideali yakalayabilmek için en önemli unsurlardan birini oluşturmaktadır. Son yıllarda yapılan çalışmalar, çalışan psikolojisine yönelmiş, iş tatmini ve motivasyon kavramlarının performans ile beraber anılmasına sebep olmuştur [1, 2, 3, 4].

İş tatmini, çalışanların iş ile ilgili yaşadığı olumlu deneyimler sonucunda işini isteyerek yapmasını sağlayan olumlu psikolojik durumu ifade ederken [5], motivasyon ise, güdüleme, isteklendirme kavramıyla açıklanmaktadır. Bu isteklendirmeyi yaratabilmek için ise kişinin fizyolojik ya da psikolojik bir ihtiyacının karşılanması gerekmektedir. Yapılan araştırmalarda iş tatmini ile motivasyon arasında pozitif ilişki bulunmuştur [6]. Bu doğrultuda iş tatminini sağlayan unsurların bilinmesi, yöneticilere ipuçları vermekte ve isabetli motivasyon stratejileri geliştirmelerini olanak sağlamaktadır. Bu çalışmanın amacı, Türk inşaat sektörü çalışanlarının motivasyon faktörlerini belirlemek, iş tatmini ve motivasyon arasındaki ilişkiyi sorgulayarak firmalara önerilerde bulunmaktır.

## 2. MATERYAL VE METOT

### 2.1. Materyal

Çalışmanın örneklemini Türkiye genelinde çalışan mimar, inşaat mühendisi ve teknik elemanlar oluşturmaktadır. Veri toplamak amacıyla www.google.com.form sitesinde online anket oluşturulmuş ve Nisan 2015 tarihinde YEM (Yapı Endüstri Merkezi) aracılığı ile 20.000 kişiye ulaştırılmıştır. Çalışmanın sonucunda 332 anket değerlendirilmeye uygun bulunmuştur.

### 2.2. Metot

Çalışmanın temelini oluşturan iş tatmini ve motivasyonu ölçmek amacıyla 3 bölümden oluşan bir anket hazırlanmıştır. Birinci bölüm demografik özellikler, ikinci bölüm iş tatmini ve üçüncü bölüm de motivasyon sorularından oluşmaktadır.

Anketin birinci bölümünde çalışanların meslek, cinsiyet, yaş, medeni durum, eğitim, gelir ve mesleki deneyim gibi demografik özellikleri ile ilgili veri toplanması hedeflenmiştir. İkinci bölümde, Weiss ve arkadaşlarının [7] iş tatminini ölçmek amacıyla oluşturdukları, iç tatmin, dış tatmin ve genel tatmin (her iki boyutu da kapsamaktadır) alt boyutlarından oluşan Minnesota İş Tatmini Anketi'nin (Minnesota Satisfaction Questionnaire) 20 soruluk kısa hali kullanılmıştır. Minnesota İş Tatmini Anketi'ne ait soruların boyutlar altındaki dağılımı Çizelge 1'de verilmiştir.

**Çizelge 1.** Çalışmada kullanılan Minnesota iş tatmini anketi ve boyutları tanımlayan soru grupları

İş Tatmini Soru Grupları	
Boyut	Soru Numarası
İç Tatmin	1, 2, 3, 4, 7, 8, 9, 10, 11, 15, 16, 20
Dış Tatmin	5, 6, 12, 13, 14, 17, 18, 19
Genel Tatmin	1-20 Soruların Bütünü

Araştırmanın üçüncü bölümünde çalışanların motivasyonunu ölçmek amacıyla temeli İncir'in [8] oluşturduğu iş tatmini anketine dayanan,

Öztürk ve Dündar'ın [9] geliştirdikleri 30 soruluk motivasyon anketi kullanılmıştır. Çalışmanın temelini oluşturan iş tatmini ve motivasyon

soruları 5'li Likert tipi ölçeğe göre cevaplandırılacak şekilde oluşturulmuştur. Ankete katılanların boyut puanları hesaplanırken verdikleri cevaplara ait puanlar toplanmış ve soru sayısına bölünerek her bir boyuta ait ortalama değerler bulunmuştur. Böylece iş tatmini ve motivasyon ölçeklerinin her bir boyutunun altında bulunan

soru sayısı farklı olmasına rağmen tüm boyut puanları standardize edilerek 1-5 arasında ifade edilmiştir.

Anketin değerlendirilmesinde kullanılan puan aralıkları ve değerlendirme kriterleri Çizelge 2'de verilmiştir [10].

**Çizelge 2.** Anketlerin değerlendirilmesinde kullanılan puan aralıkları

Likert Ölçeği	Anketler		Puan Aralıkları	Değerlendirme Kriterleri
	Motivasyon	İş Tatmini		
1	Hiç katılmıyorum	Beni Hiç Tatmin Etmiyor	1,00-1,79	Çok az düzeyde
2	Katılmıyorum	Beni Pek Tatmin Etmiyor	1,80-2,59	Az düzeyde
3	Kararsızım	Kararsızım	2,60-3,39	Orta düzeyde
4	Katılıyorum	Beni Oldukça Tatmin Ediyor	3,40-4,19	Yüksek düzeyde
5	Tamamen katılıyorum	Beni Tamamıyla Tatmin Ediyor	4,20-5,00	Çok yüksek düzeyde

Çalışma kapsamında ölçeklerin güvenilirliği Cronbach Alpha ( $\alpha$ ) katsayıları hesaplanarak, veri setinin normal dağılıma uygunluğu ise Kolmogrov-Smirnov testine bakılarak incelenmiştir. Motivasyon ölçeğine açılımlı faktör analizi uygulanmış ve motivasyon ölçeği alt boyutları isimlendirilmiştir. Örneklemin iş tatmini ve motivasyon alt boyutlarına ait ortalamaları hesaplanmış ve değerlendirme kriterlerine göre yorumlanmıştır. İş tatmini ve motivasyon arasındaki ilişkiler ise Spearman-korelasyon testi kullanılarak incelenmiştir.

Analizler için Microsoft Office Excel 2007 ve SPSS 18 (The Statistical Packet for The Social

Sciences) paket programları kullanılmıştır. Veri toplamak amacıyla hazırlanan anket 159 mimar, 157 inşaat mühendisi ve 16 teknik elemana uygulanmış ve toplanan veriler istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.

### 3. BULGULAR

İş tatmini ve motivasyon anketi için hesaplanan Cronbach Alpha değerleri Çizelge 3'de verilmiştir. Cronbach Alpha değerlerinin 0.6'dan büyük olması, anketlerin "oldukça güvenilir" olduğunu göstermektedir.

**Çizelge 3.** Kullanılan anketlerin güvenilirlikleri

Anket	Cronbach Alpha Katsayısı
Motivasyon	0,861
İş Tatmini	0,948

Çalışma sonucunda toplanan verilere Kolmogrov-Smirnov Testi uygulanmış ve verilerin normal dağılıma uymadığı görülmüştür.

Türk inşaat sektörü çalışanlarının motivasyonlarını ölçmek amacıyla kullanılan 30 sorudan oluşan ölçeğe Temel Bileşenler Analizi (Principal

Component Analysis-PCA) yönetimi ile açıklayıcı faktör analizi uygulanmıştır. Yapılan analiz sonucunda; 13. Soru anti-image korelasyon matrisindeki değeri 0,5'ten küçük olduğu için [10]; 4, 10, 11, 14, ve 15. Sorular ise ortak varyans tablosundaki değerleri 0,32'den küçük olduğu için elenmiştir. Kalan 24 soru için Varimax döndürme yöntemi kullanılmış ve motivasyon ölçeğine ait sorular 4 faktör altında toplanmıştır. Faktör yükleri birinci faktör için 0,785-0,575 arasında; ikinci faktör için 0,713-0,476 arasında; üçüncü faktör için 0,803-0,559 arasında ve dördüncü faktör için ise 0,663-0,651 arasında değişmektedir. Faktörlerin toplam varyansa yaptıkları katkının, birinci faktör için %23,278, ikinci faktör için % 14,337, üçüncü faktör için %8,771 ve dördüncü

faktör için %7,836 olduğu görülmüştür. Belirlenen dört faktörün varyansa yaptıkları toplam katkı %54,222'dir. Motivasyon ölçeğine yapılan açıklayıcı faktör analizi sonucunda birinci faktör adaletli terfi imkanları; adaletli ücret dağılımı, takdir edilme, ödüller gibi unsurlar içermekte olduğu için "yönetim politikası" olarak; ikinci faktör kurum içi insan ilişkilerini ve şeffaf iletişim gibi unsurları içerdiği için "kurum içi iletişim" olarak; üçüncü faktör kurum içi denetim ile ilgili unsurları içerdiği için "denetim" olarak; dördüncü faktör ise yöneticinin yönetici vasfı ve astlara olan davranışı ile ilgili olduğu için "yönetici" olarak isimlendirilmiştir (Çizelge 4).

**Çizelge 4.** Motivasyon ölçeğinin faktör deseni

Anket Soruları	Motivasyon Sorularının Faktör Yükleri			
	Yönetim politikası	Kurum içi iletişim	Denetim	Yönetici
20	0,785	0,269	0,055	-0,089
19	0,764	0,199	-0,038	-0,148
17	0,712	0,116	0,044	-0,026
21	0,640	0,403	0,095	-0,091
22	0,678	0,414	0,034	-0,052
16	0,655	0,244	-0,111	-0,030
23	0,640	0,428	0,129	-0,085
12	0,625	0,187	0,002	-0,066
25	0,600	0,578	0,048	-0,091
7	0,580	0,110	-0,055	0,176
18	0,575	0,006	-0,197	0,206
26	0,326	0,713	-0,128	-0,009
24	0,111	0,691	-0,214	0,067
27	0,199	0,672	0,029	0,070
29	0,207	0,605	0,126	-0,016
28	0,504	0,547	0,109	0,019
30	0,381	0,476	-0,033	-0,220
2	-0,008	-0,074	0,803	0,150
3	0,118	0,071	0,673	0,050
5	0-,074	0,012	0,607	0,426
8	-0,237	-0,095	0,559	-0,425
9	-0,031	0,002	0,061	0,663
6	-0,070	0,022	-0,007	0,660
1	0,004	-0,085	0,376	0,651

KMO = 0,884 Bartlett Küresellik Testi sig. = 0,000

Çizelge 5'te inşaat sektörü çalışanlarının motivasyon sonuçları verilmiştir. Türk inşaat sektörü çalışanlarının motivasyonlarını etkileyen faktörler incelendiğinde yönetim politikaları ( $\bar{x}=4,41$ ) ve kurum içi iletişim faktörü ( $\bar{x}=4,23$ ) "çok yüksek" düzeyde ( $4,19 < \bar{x} < 5,00$ ); denetim faktörünün ( $\bar{x}=3,09$ ) "orta" düzeyde ( $2,59 < \bar{x} < 3,40$ ) ve yönetici faktörünün ( $\bar{x}=2,21$ ) "az" düzeyde ( $1,79 < \bar{x} < 2,60$ ) etkili olduğu görülmektedir. Çalışanlar mesleklerine göre

incelendiğinde ise etkili olan faktörlerin sıralamasının değişmediği ve adaletli terfi imkanları, iş bölümü, ücret, takdir edilme gibi etkenleri kapsayan yönetim politikaları faktörü ile ast-üst ilişkileri, firma içi sosyal ortam gibi etkenleri kapsayan kurum içi iletişim faktörünün öne çıktığı görülmektedir. Türk inşaat sektörü çalışanları için denetim de önemli olmakla birlikte yönetici faktörünün çok etkili olmadığı görülmüştür (Çizelge 5).

**Çizelge 5.** İnşaat sektörü çalışanlarının motivasyon sonuçları

Cevap Sayısı	Tüm Örneklem		İnşaat Mühendisi		Mimar		Diğer (teknik elaman)	
	332		157		159		16	
Motivasyon	$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x}$	$\sigma$
Yönetim Politikaları	4,41	0,50	4,37	0,52	4,45	0,48	4,38	0,48
Kurum İçi İletişim	4,23	0,58	4,18	0,61	4,27	0,55	4,26	0,61
Denetim	3,09	0,66	3,03	0,67	3,16	0,65	3,02	0,73
Yönetici	2,21	0,87	2,17	0,86	2,22	0,88	2,34	0,95

Çizelge 6'da inşaat sektörü çalışanlarının iş tatmini sonuçları verilmiştir. Türk inşaat sektörü çalışanlarının iç ( $\bar{x}=3,26$ ), dış ( $\bar{x}=3,03$ ) ve genel tatminlerinin ( $\bar{x}=3,17$ ) "orta" düzeyde ( $2,59 < \bar{x} < 3,40$ ) olduğu görülmektedir. Çalışanlar

mesleklerine göre incelendiğinde ise teknik elemanların, mimar ve inşaat mühendislerine göre iş tatminlerinin daha yüksek olduğu, inşaat mühendislerinin ise en düşük tatmine sahip olan grup olduğu görülmektedir (Çizelge 6).

**Çizelge 6.** İnşaat sektörü çalışanlarının iş tatmini sonuçları

Cevap Sayısı	Tüm Örneklem		İnşaat Mühendisi		Mimar		Diğer (teknik elaman)	
	332		157		159		16	
İş Tatmini	$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x}$	$\sigma$
İç Tatmin	3,26	0,92	3,23	0,93	3,26	0,92	3,67	0,74
Dış Tatmin	3,03	0,92	2,95	0,98	3,06	0,87	3,48	0,82
Genel Tatmin	3,17	0,89	3,11	0,92	3,18	0,86	3,59	0,74

İnşaat sektörü çalışanlarının motivasyon ve iş tatminleri arasındaki ilişkilerin incelenmesi

amacıyla Spearman Korelasyon Testi uygulanmış ve sonuçlar aşağıda özetlenmiştir (Çizelge 7).

**Çizelge 7.** Motivasyon ve iş tatmini alt boyutları arasındaki korelasyon değerleri

Değişkenler	1	2	3	4	5	6	7
1- Yönetim politikası	1						
2- Kurum içi iletişim	0,612**	1					
3-Denetim	-0,145**	-0,142**	1				
4- Yönetici	-0,191**	-0,182**	0,240**	1			
5- İç Tatmin	0,028	-0,044	0,008	0,018	1		
6- Dış Tatmin	-0,030	-0,095	-0,016	-0,015	0,839**	1	
7- Genel Tatmin	0,008	-0,069	-0,002	0,008	0,973**	0,938**	1

\*\* Korelasyon 0.01 düzeyinde anlamlıdır (2 kuyruklu)

Çizelge 7’teki sonuçlar incelendiğinde motivasyon ve iş tatmini arasında anlamlı ilişki bulunmazken, motivasyon alt boyutları incelendiğinde “yönetim politikası” ve “kurum içi iletişim” alt boyutları arasında orta düzeyde pozitif; “denetim” ve “yönetici” alt boyutları arasında ise çok düşük pozitif ilişki bulunmuştur. İş tatmini alt boyutları incelendiğinde “iç tatmin” ve “dış tatmin” boyutları arasında yüksek pozitif; “genel tatmin” ile “iç tatmin” ve “dış tatmin” arasında ise çok yüksek pozitif ilişki olduğu görülmektedir.

#### 4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Anket çalışmasına 159 mimar, 157 inşaat mühendisi ve 16 teknik eleman olmak üzere toplam 332 kişi katılmıştır. Türk inşaat sektörü çalışanlarının motivasyonlarını ölçmek amacıyla kullanılan ankete açılımlayıcı faktör analizi uygulanmış ve motivasyon “yönetim politikası”, “kurum içi iletişim”, “denetim” ve “yönetici” alt boyutları olarak isimlendiren dört faktör altında toplanmıştır. Kuruoğlu ve Polat [11] ise inşaat sektörü çalışanlarını motive eden faktörleri gayri maddi, maddi ve sosyal faktörler olmak üzere üç gruba ayırmışlardır.

Motivasyon anketine ait ortalama sonuçları incelendiğinde adaletli terfi imkanları, adaletli ücret dağılımı, takdir edilme ve ödüller gibi unsurları içeren “yönetim politikaları” ve kurum içi insan ilişkilerini içeren “kurum içi iletişim” faktörlerinin inşaat sektörü çalışanları için motivasyon faktörleri olarak ön plana çıktığı

görülmüştür [12].

Türk inşaat sektörü çalışanlarının tüm tatmin boyutlarının “orta” düzeyde olduğu görülmüştür. Varışlı 2010’da yaptığı çalışmada inşaat sektörü çalışanlarının iş tatmini düzeylerini “yüksek” bulmuştur [13]. Çelik [10] de inşaat sektörü çalışanların iç tatmin boyutunu “yüksek”, dış ve genel tatmin boyutunu ise “orta” düzeyde bulmuştur. Bu çalışma sonucunda son yıllarda inşaat sektörü çalışanlarının tatmin düzeylerinde azalma olduğu görülmektedir.

Yapılan korelasyon analizinde “yönetim politikası” ve “kurum içi iletişim” arasında pozitif ve “denetim” ile “yönetici” alt boyutları arasında da pozitif ilişki bulunmuştur. İş tatmini alt boyutlarının da birbiriyle aralarında “yüksek” pozitif ilişki bulunmuştur [10].

Son yıllarda yapılan çalışmaların genelinde iş tatmini ve motivasyon arasında pozitif ilişki bulunmuştur [6, 14]. Bu çalışmada ise literatürün aksine Türk inşaat sektörü çalışanlarının iş tatmini ve motivasyonları arasında anlamlı ilişki bulunamamıştır. Bu çalışmaya paralel olarak Pekel [15] de Antalya havaalanı çalışanları arasında yaptığı çalışmada iş tatmini ve motivasyon arasında ilişki bulunamamıştır.

#### 5. ÖNERİLER

Çalışma sonucunda literatür bulgularının aksine iş tatmini ve motivasyon arasında ilişki

bulunmamıştır. Bu sonuç doğrultusunda iş tatmininin motivasyonu direkt etkilemek yerine çalışanın motive edilmesini kolaylaştıran bir psikolojik durum olduğu söylenebilir. Bu çalışmanın sonucunun genel literatür bulgularından farklı çıkması sebebiyle benzer hedef kitlenin genişletilerek farklı iş tatmini ve motivasyon ölçekleri kullanılması ve/veya farklı değişkenler de eklenerek çalışmanın tekrar edilmesi önerilmektedir.

Çalışma sonucunda elde edilen genel bulgular doğrultusunda yöneticilere aşağıdaki öneriler sunulmuştur.

(1) Türk inşaat sektörü çalışanları için adaletli iş bölümü, adaletli terfi politikası gibi yönetim politikalarının motivasyonu sağlamada önemli olduğu ve yöneticilerin kurum içi “adalet” algısına dikkat etmesi gerektiği görülmüştür.

(2) Kurum içi iletişim çalışanlar için önemlidir ve firma içi yapılacak sosyal aktiviteler, çalışanların sosyal ihtiyaçlarını gidermelerine imkan sağlayabilir.

(3) Türk inşaat sektörü çalışanlarının iş tatminleri orta seviye çıkmıştır. Firma içinde çalışanların iyi gözlenmesi ve ihtiyaç düzeylerine göre belirlenen motivasyon araçlarının zamanında, yeterli miktarda, uygun ve adaletli bir şekilde uygulanması ile çalışanların iş tatmin düzeyleri yükseltilmeli ve bu bir seferlik bir strateji olarak değil yönetim tarzı olarak benimsenmeli ve yakalanan olumlu psikolojik durum sürdürülebilir kılınmalıdır.

## 6. TEŞEKKÜRLER

Çalışmalarımıza maddi destek veren Ç.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine (BAP), (Proje No: 3709) içten teşekkürlerimizi sunarız.

Araştırmalarımıza katkılarından dolayı Yapı Endüstri Merkezi'ne (YEM) ve Yurtdışı Türkler ve Akraba Topluluğu Başkanlığı'na (YTB) teşekkürlerimizi sunarız.

## 7. KAYNAKLAR

1. Özmutaf, N., M., 2007. Örgütlerde Bireysel Performans Unsurları ve Çatışma, Ç. Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, Cilt 8, Sayı:2, 41-60.
2. Tümgan, C., 2007. Kamu Örgütlerinde Motivasyon ve İş Tatmini, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Projesi, Kahramanmaraş, 46s.
3. Ertan, H., 2008. Örgütsel Bağlılık, İş Motivasyonu ve İş Performansı Arasındaki İlişki: Antalya'da Beş Yıldızlı Otel İşletmelerinde Bir İnceleme, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Doktora Tezi, Afyon, 192s.
4. Leung, M.Y., Chong, A., Cheung, M.C.K., 2004. Demystifying Stakeholders Commitment and It's Impact on Construction Projects, Construction Management and Economics, 22:7, 701-715.
5. Türk, M. S., 2003. Bir İletişim Sistemi Olan Örgüt Kültürünün İş Tatmini Üzerindeki Etkisi ve Önemi, Selçuk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Doktora Tezi, Konya.
6. Büyükdemirusta, H., 2007. Kamuda Çalışanların Motivasyonunu Etkileyen Unsurlar: Saü, Sedas ve Sakarya İl Emniyet Müdürlüğü Örneği, Sakarya Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kamu Yönetimi Anabilim Dalı, Sakarya.
7. Weiss, D.J., Davis, R.V., England, G.W., Lofquist, L.H., 1967. Manual for the Minnesota Satisfaction Questionnaire, Minnesota Studies Vocational Rehabilitations: xxii, Department of Health, Education and Welfare, Washington, 119s.
8. İncir, G., 1990. Çalışanların İş Tatmini Üzerine Bir İnceleme, Verimlilik Dergisi, No:401, Ankara.
9. Öztürk, Z., Dündar, H., 2003. Örgütsel Motivasyon ve Kamu Çalışanlarını Motive Eden Faktörler, C.Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, Cilt 4, Sayı 2.

10. Çelik, G., 2013. Türk İnşaat Sektörü Çalışanlarının Kişilik Özelliklerinin, Örgütsel Bağlılık ve İş Tatmini Etkisi. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Adana, 338s.
11. Kuruoğlu, M., Polat, G., 2002. İnşaat Sektöründe Çalışan Promosyonları Motive Eden Faktörler, TMH - Türkiye Mühendislik Haberleri Sayı 417 2002/1.
12. Moslem, S., 2015. İş Tatmininin Çalışan Motivasyonu Üzerine Etkileri: Türk İnşaat Sektöründe Bir Araştırma. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 77s.
13. Varışlı, Y., 2010. İnşaat Firmalarında Çalışanların İş Tatmini, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana, 70s.
14. Çankaya, İ.H., Töremen, F., Şanlı, Ö., 2011. Okul Güvenliğinin İlköğretim Okulu Öğretmenlerinin Kaygı, Motivasyon ve İş Doyumu Düzeyleri Üzerindeki Etkisi, Gümüşhane Üniversitesi, Sosyal Bilimler Elektronik Dergisi, Sayı 3, 80-98s.
15. Pekel, H., N., 2001. İşletmelerde Motivasyon Verimlilik İlişkisi Devlet Hava Meydanları İşletmesi Antalya Havalimanı Çalışanları Arasında Bir Örnek Olay Araştırması. Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Isparta, 219s.



## Denim Kumaşların Dikiş Performansları Üzerine Deneysel Bir Çalışma

Füsun DOBA KADEM<sup>\*1</sup>, Gamze GÜLŞEN BAKICI<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>Çukurova Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Tekstil-Giyim Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 15.01.2016 Kabul tarihi: 22.03.2016

### Özet

Bu çalışmada farklı konstrüksiyona sahip 4 denim kumaş, 110/18 numara dikiş iğnesi kullanılarak iki farklı dikiş ipliği ve iki farklı dikiş sıklığında standartlara uygun şekilde dikilmiş, dikiş mukavemeti testleri yapılmıştır. Aynı kumaşlara L&M dikilebilirlik testi yapılmış ve sonuçlar kıyaslanmıştır. Kumaşları oluşturan iplik sıklıkları ve kalınlıkları arttıkça dikilebilirlik kuvveti (gf) artmakta ve kumaşın dikilebilirliği zorlaşmaktadır. Atkı ve çözgü yönlerinde dikiş sıklığı arttıkça dikiş mukavemeti artmaktadır. Numunelerin dikiş mukavemetleri kıyaslandığında; Gral dikiş ipliğinin mukavemeti Epic dikiş ipliğinin mukavemetinden daha yüksek olduğu için; Gral dikiş ipliği ile dikilen tüm numunelerin dikiş mukavemetleri, Epic dikiş ipliği ile dikilenlere nazaran daha yüksek çıkmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Denim, Dikilebilirlik, Dikiş mukavemeti, İğne batış kuvveti

### An Experimental Study About Seam Performance of Denim Fabrics

#### Abstract

In this study, denim fabrics four different constructions were sewn with two different sewing thread and two different stitch densities per centimeter using sewing needle 110/18 number, seam strength tests were performed to the fabrics. L & M sewability tests were performed to the same fabrics. Results of seam performance tests were compared with each other. When yarn thickness and density per centimeter increase, needle penetration force increase so sewability of fabrics is getting difficult. When stitch density per centimeter of fabrics in weft and warp directions increases, seam strength increases, too. When seam strength of the samples are compared; due to strength of the sewing thread Gral is higher than the sewing thread Epic seam strength of all samples sewn with the sewing thread Gral were higher than seam strength of the samples sewn with sewing thread Epic.

**Keywords:** Denim, Sewability, Seam strength, Needle penetration force

---

\* Yazışmaların yapılacağı yazar: Füsun DOBA KADEM, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Adana, efsun72@cu.edu.tr

## 1. GİRİŞ

Giysilerin kullanım ve görünüm kalitesini belirleyen en önemli faktör kumasının kalitesidir. Ancak kumaş kalitesi tek başına, yüksek kalitede giysiler üretmek için gerekli tüm kriterleri karşılayamaz. Giysi oluşturma aşamasında kaliteyi etkileyen başka faktörler de vardır ve bu faktörlerin en önemlilerinden biri dikiş kalitesidir. Giysileri oluşturan dikişler hem estetik hem de fonksiyonel açıdan yeterli olmalıdır [1]. Bir tekstil ürününden beklenen performans değeri, mamulün kullanım yerine bağlı olarak farklılık göstermektedir. Kullanım yerine göre istenen performans değerlerini elde edebilmek için; ürünün yapısal özellikleri, kullanılan hammadde ve uygulanan fiziksel yada kimyasal işlem gibi parametreler üzerinde Ar-Ge çalışmalarının yapılması gerekmektedir. Yapılacak bu çalışmaların değerlendirilmesi ve yeni tasarlanan bir ürünün son kullanım özelliklerinin tahmin edilebilmesi için de çeşitli kuvvetler karşısındaki davranışın ele alındığı performans test ve analizlerin tekstil dokularına uygulanması gerekmektedir [2].

Dokuma kumaşlarda dikiş işlemi süresince iyi bir dikilebilirlik özelliği, dikiş iğnesinin kumaş içerisinden geçerken atkı ve çözgü ipliklerinin birbirinden ayrılması ve bu sayede dikişin kumaşa zarar vermeden gerçekleştirilmesi suretiyle elde edilebilir [3]. Dikiş mukavemeti, dikilmiş kumaşlarda dikiş yönüne dik olarak uygulanan bir kuvvet sonucunda dikiş yerlerinin kopmaya karşı gösterdiği dirençtir. Kopma uzaması da, dikişin koptuğu andaki % uzama değeridir [4]. Dikiş, bir veya daha fazla dikiş sıraları ile iki veya daha fazla kumaşın birleştirilmesi anlamına gelmektedir. Enine gerilmeye maruz kaldığında, dikiş bölgesinde dikiş kayması meydana gelebilir. Bazı deneysel araştırmaların sonuçlarına göre dikiş açılması; kumaş yapısına, iplik sistemlerinin kumaş içerisindeki karakterlerine, dikiş tipine, dikiş sıklığına ve dikiş ipliği gerilimine bağlıdır [5]. Dikiş iğnesi batış kuvveti, dikiş prosesinin bir sonucu olarak meydana gelen zararın kantitatif olarak ölçümüdür [6].

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Pamuk/elastan karışımı dokuma kumaşlarda yapılan deneysel bir çalışmada dikiş mukavemeti, dikiş açılması, iğne penetrasyon kuvveti, iğne hasar indeksi değerleri tayin edilmiştir. Çalışmada fikse ve bitim işleminin kumaşların dikiş performansı, iğne penetrasyon kuvveti ve elastan lif hasarı üzerinde etkili olduğu, elastan çekim oranındaki farklılıkların ise etkili olmadığı, kumaşlara silikon uygulamasının dikiş performansını iyileştirdiği ve elastan lif hasarını önlediği sonucuna varılmıştır. [7].

Gömlek üretiminde yaygın olarak kullanılan aynı konstrüksiyona fakat farklı gramajlara sahip 3 dokuma kumaş ile 4 tür dokuma telanın dikilebilirliğinin araştırıldığı bir çalışmada L&M Dikilebilirlik Test Cihazı kullanılarak farklı dokuma telalar ile işlem gören farklı dokuma kumaşların dikilebilirlik özellikleri incelenmiş, elde edilen bulgular iğne batış kuvveti, kumaş birim ağırlığı ve kumaş kalınlık değerleriyle ilişkilendirilmiştir. Kumaş birim ağırlığı ve kalınlığı arttıkça, kumaşın dikilebilirliğe karşı gösterdiği direncin arttığı ortaya konmuştur [8].

Denim kumaşlarda seçilmiş bazı dikiş parametrelerinin dikiş mukavemetine etkisinin incelendiği deneysel bir çalışmada regresyon analizi ile üretim öncesi atkı ve çözgü dikiş mukavemetinin tahminlenmesi yapılmıştır [9].

Farklı konstrüksiyona sahip %100 pamuklu denim kumaşların seçilmiş bazı fiziksel özelliklerinin kumaşın dikilebilirlik özelliği üzerindeki etkisinin L&M Dikilebilirlik Test Cihazı ile tespit edildiği bir araştırmada, numunelerin iplik sıklıkları, gramajları ve kalınlıkları azaldıkça ve kumaşı oluşturan iplikler incelidikçe dikilebilirlik özelliğinin iyileştiği gözlenmiştir [10].

Farklı konstrüksiyona sahip %100 pamuklu dokuma kumaşların dikilebilirlik ve eğilme dayanımı özelliği üzerindeki etkisini araştıran bir çalışmanın sonucunda kumaşın örgü yapısının ve atkı sıklığının kumaşın dikilebilirlik özelliğini etkileyen parametreler olduğu ortaya konmuştur.

Bezayağı, dimi (2/2) ve panama (2/2) olmak üzere üç farklı örgü yapısında, atkı ve çözgüde Ne 50 iplik numarasına sahip çözgü sıklığı 40 tel/cm, üç farklı atkı sıklığında (26-30-34 tel/cm) pamuklu kumaşların dikilebilirliği incelenmiştir [11].

Bu çalışmada L&M Dikilebilirlik Test Cihazı kullanılarak denim kumaşların iğne batış kuvvetleri gf cinsinden ölçülmüştür. Aynı kumaşların dikiş mukavemetleri de test edilmiş ve elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.

### 3. MATERYAL VE METOT

#### 3.1. Materyal

Çalışmada kullanılan %98 pamuk %2 elastan içeren dört farklı konstrüksiyona sahip 3/1 Z dimi örgü yapısında denim kumaşların fiziksel özellikleri Çizelge 1’de verilmiştir.

Dikiş mukavemeti testleri için kumaşların birleştirilmesinde sonsuz elyaf polyester (ticari adı GRAL) ve polyester kaplı polyester ilikli (ticari adı EPIC) olmak üzere iki farklı tipte dikiş ipliği kullanılmıştır. Alt ve üstü iplikler için ipliklerin numaraları değişmektedir. Kullanılan dikiş ipliklerinin özellikleri Çizelge 2’de [12] verilmiştir.

**Çizelge 1.** Denim kumaşların fiziksel özellikleri

Numune	Sıklık (tel/cm)	Numara (Nm)	Kalınlık (mm)	Gramaj (g/m <sup>2</sup> )
1	Atkı	20	0,722	380
	Çözgü	32		
2	Atkı	24	0,64	317
	Çözgü	32		
3	Atkı	40	0,496	220
	Çözgü	40		
4	Atkı	42	0,488	200
	Çözgü	40		

**Çizelge 2.** Kullanılan dikiş ipliklerinin özellikleri

No	Dikiş İpliği Türü	Kat Sayısı	İplik No (Nm)	İplik No (Tex)	Mukavemet (cN)
1	Sonsuz Elyaf Polyester (Üst İplik) (GRAL)	4	30	90	5635
	Sonsuz Elyaf Polyester (Alt İplik) (GRAL)	3	40	70	4228
2	Poly/poly core spun (Üst İplik) (EPIC)	2	30	105	4787
	Poly/poly core spun (Alt İplik) (EPIC)	2	50	60	3528

#### 3.2. Metot

Çalışmada kullanılan %98 pamuk %2 elastan içeren dört farklı konstrüksiyona sahip denim kumaşlara L&M dikilebilirlik ve dikiş mukavemeti testleri yapılmış ve sonuçları değerlendirilmiştir.

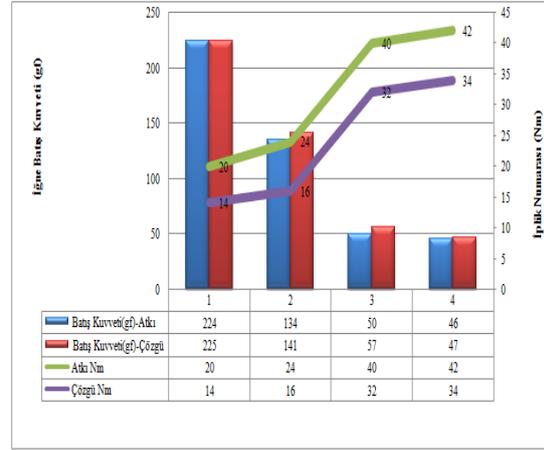
##### 3.2.1. Dikilebilirlik Testi

Kumaşların dikilebilirlik değerleri ve iğne batış kuvvetleri; Şekil 1’de görülen L&M Dikilebilirlik Test Cihazı kullanılarak tayin edilmiştir. Bu cihaz, dikiş ipliği kullanılmadan dikiş iğnesinin kumaşa batışı için gereken kuvveti gf cinsinden ölçmektedir. En düşük eşik değeri 25 gf olup giysilik kumaşlar için bu değer 150 gf’den fazla olmaması gerekmektedir [13].

Farklı konstrüksiyondaki her kumaş için 35 mm x 350 mm ebatlarında 5’er adet atkı ve çözgü numuneleri hazırlanmıştır. Her numune üzerinde 2’şer ölçüm yapılabildiğinden 1 numune için atkı ve çözgü yönündeki 10’ar adet ölçümün ortalaması alınmıştır. Çizelge 3’de dikilebilirlik testi için kullanılan test parametreleri verilmiştir.



Şekil 1. L&M dikilebilirlik test cihazı [13]



Şekil 2. İplik numaralarına göre dikilebilirlik test sonuçları

Çizelge 3. Dikilebilirlik test parametreleri

Maksimum Kuvvet Aralığı (gf)	500
İğne Batış Sayısı (adet)	100
İğne Numarası	110/18

İğne batış kuvvetinin (gf) yükselmesi, kumaşın dikilebilirlik özelliğinin kötüleştiği anlamına gelmektedir. Şekilden de anlaşılacağı gibi 1 ile 2 nolu numunelerin 3 ile 4 nolu numunelerin iplik sıklıkları birbirleri ile aynıdır. Bu numunelerin iplik numaraları değişmektedir. İplik numaraları şekilde metrik sisteme göre verildiği için iplik numaraları arttıkça iplikler incelmekte ve iğne batış kuvvetleri (gf) azalmaktadır.

### 3.2.2. Dikiş Mukavemeti Testi

TS 1619-2 EN ISO 13935-2 numaralı standarda göre test edilecek kumaşlar standarda [14] uygun kesildikten sonra iki farklı dikiş ipliği (düz dikiş) 301 dikişi ile birleştirilmiştir. Denim kumaş numunelerin 3 adım/cm ve 3,5 adım/cm dikiş sıklıklarında dikilmesi için Nm 110/18 numara dikiş iğnesi kullanılmıştır.

## 4. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

### 4.1. Dikilebilirlik Testi Bulguları

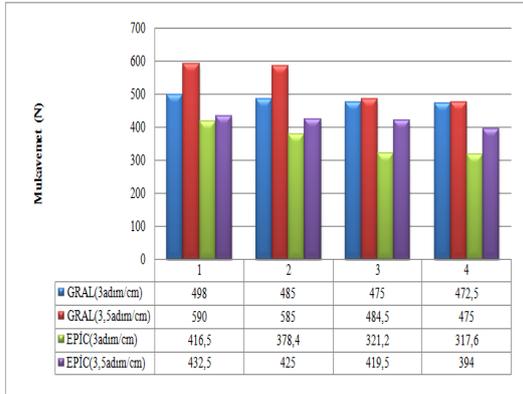
Çalışmada kullanılan dört farklı kumaşın iğne batış kuvvetleri ile iplik numaraları arasındaki ilişki Şekil 2’de gösterilmiştir.

### 4.2. Dikiş Mukavemeti

Dikiş mukavemeti testleri için kumaşların birleştirilmesinde sonsuz elyaf polyester (ticari adı GRAL) ve polyester kaplı polyester ilikli (ticari adı EPIC) olmak üzere iki farklı tipte dikiş ipliği kullanılmıştır. İki farklı dikiş ipliği ile iki farklı dikiş sıklığında dikilen numunelerin çözgü yönünde dikiş mukavemet değerleri Şekil 3’deki grafiklerde görülmektedir.

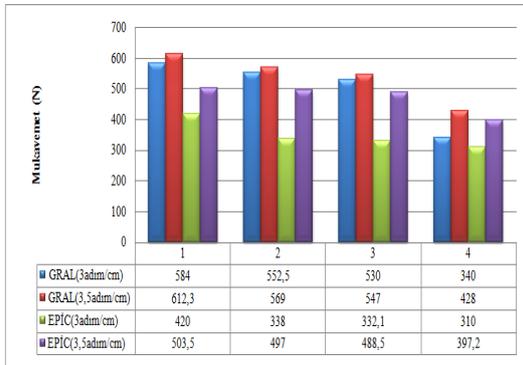
İki farklı dikiş sıklığında ve iki farklı dikiş ipliği kullanılarak dikilen numunelerin dikiş mukavemetleri kıyaslandığında; GRAL dikiş ipliğinin mukavemeti diğerinden daha yüksek olduğu için; GRAL dikiş ipliği ile dikilen tüm numunelerin dikiş mukavemetleri, EPIC ile dikilenlere nazaran daha yüksek çıkmıştır. Ayrıca

numunelerin dikiş sıklığı arttıkça dikiş mukavemetleri de artmaktadır.



Şekil 3. Çözgü yönünde dikiş mukavemeti test sonuçları

Numunelerin atkı yönünde dikiş mukavemet değerleri ise Şekil 4'deki grafiklerde görülmektedir.



Şekil 4. Atkı Yönünde Dikiş Mukavemeti Test Sonuçları

Atkı yönünde dikiş mukavemet testi sonuçları çözgü yönündeki sonuçlara benzer çıkmıştır. Burada da dikiş sıklığı arttıkça numunelerin dikiş mukavemetlerinin de arttığı görülmektedir.

## 5. SONUÇ

Kumaşları oluşturan iplik sıklıkları ve kalınlıkları arttıkça dikilebilirlik kuvveti (gf) artmakta böylece

kumaşın dikilebilirliği zorlaşmaktadır. Atkı ve çözgü yönlerinde dikiş sıklığının artmasıyla dikiş mukavemetinin arttığı söylenebilir. İki farklı dikiş sıklığında ve iki farklı dikiş ipliği kullanılarak dikilen numunelerin dikiş mukavemetleri kıyaslandığında; sonsuz elyaf polyester (GRAL) dikiş ipliğinin mukavemeti polyester kaplı polyester ilikli dikiş ipliğinden (EPIC) daha yüksek olduğu için GRAL dikiş ipliği ile dikilen tüm numunelerin dikiş mukavemetleri, EPIC ile dikilenlere nazaran daha yüksek çıkmıştır.

## 6. KAYNAKLAR

1. Bahar, S., 2006. Farklı Dikim ve Yıkama Türlerinin Dikim Performans Özelliklerine Etkisinin Araştırılması, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İzmir,
2. Köstem, A.M., 2005. Farklı Buruşmazlık Apre Maddeleri Uygulanan Kumaşlarda Dikiş Performansının İncelenmesi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Bursa.
3. Manich, A.M., Domingues, J.P., Sauri, R.M., Barella, A., 1998. Relationships between fabric sewability and structural, physical, and FAST properties of woven wool and wool-blend fabrics, Journal of the Textile Institute, Vol. 89, Part 1, No. 3, pp.579-589.
4. Akgün Kuyucu, Y., 2009. Astarlık Kumaşlarda Dikiş Parametrelerinin Dikiş Mukavemetine Etkilerinin İncelenmesi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Eğitimi Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
5. Yıldırım, K., 2010. Predicting seam opening behavior of woven seat fabrics, Textile Research Journal doi: 10.1177/0040517509355348
6. Saied, F., Abdel-Megeid, Z.M., Gabry, L.K., 2011. The Relation Between Fabric Construction, Treatments and Sewability, Journal of American Science, Vol. 7, No. 3, pp. 818-826.
7. Gürarda A., Meriç, B., 2005. Sewing Needle Penetration Forces and Elastane Fiber Damage

- During the Sewing Of Cotton/Elastane Woven Fabrics, *Textile Research Journal*, Vol.75, No.8, 628-633.
8. Yıldız, E.Z., Pamuk, O., Öndoğan, Z., 2011. A Study about the Effects of Interlinings to Sewability Properties of the Woven Fabrics. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 1, pp. 87-90.
  9. Zervent Ünal, B., 2012. The Prediction of Seam Strength of Denim Fabrics with Mathematical Equations. *The Journal of the Textile Institute*, 103 ( 7), pp. 744-751.
  10. Gülşen G., Doba Kadem F., 2014. Farklı Konstrüksiyonlu Denim Kumaşlarda Dikilebilirlik Üzerine bir Araştırma, 2.Uluslararası Tekstil Zirvesi (UTZ 2014), Kahramanmaraş.
  11. Gülşen Bakıcı G., Doba Kadem F., 2015. An Experimental Study about Sewability and Bending Strength Properties of Cotton Fabrics, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 30, Sayı 2, 177-172.
  12. <https://www.coatsindustrial.com/tr>
  13. The L&M Sewability Tester Catalogue
  14. TS 1619-2 EN ISO 13935-2: 2002. *Tekstil-Kumaş ve Hazır Giyim Ürünlerinin Dikiş Gerilme Özellikleri-Bölüm 2: En Büyük Dikiş Kopma Kuvvetinin Tayini-Kavrama Metodu*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

## Dinamik Teslim Zamanı Atama Problemi için Holonik Sistem Tasarımı

Cenk ŞAHİN\*<sup>1</sup>

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

Geliş tarihi: 15.01.2016

Kabul tarihi: 16.03.2016

### Özet

Teknolojide yaşanan hızlı ilerlemeler, müşteri isteklerindeki değişiklikler ve nispeten daha kısa ürün yaşam döngüsü üretim sistemlerini daha doğru teslim zamanları vermeye zorlamaktadır. Bu amaçla, üretim sistemlerinin performansını ve değişen müşteri isteklerine yanıt verme kalitesini geliştirmek için akademi ve endüstride birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, esnek bir üretim sistemi içerisinde gelen siparişlere teslim zamanı atayan etmen tabanlı holonik bir kontrol yapısı tasarımı önerilmiştir. Önerilen sistem dinamik bir ortamda çalışmaktadır ve atanan teslim zamanları etmenler arasındaki müzakereler sonucunda elde edilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Teslim zamanı atama problemi, Holonik üretim sistemi, Çoklu-etmen sistemi

### Holonik System Design for Dynamic Due Date Assignment Problem

### Abstract

Rapid advances in technology, changes in customer demand and relatively short product life cycles force production systems to give a more accurate due dates. For this purpose, many studies were carried out in academia and industry to improve the performance and the quality of production systems to respond to changing customer requirements. In this study, an agent-based holonic control structure design that assigns the due dates for incoming orders in a flexible production system is proposed. The proposed system is working under a dynamic environment and assigned due dates are obtained as a result of negotiations between the agents.

**Keywords:** Due-Date assignment problem, Holonic manufacturing system, Multi-agent system

---

\* Yazışmaların yapılacağı yazar: Cenk ŞAHİN, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Adana. [cenksahin@cu.edu.tr](mailto:cenksahin@cu.edu.tr)

## 1. GİRİŞ

Esnek üretim sistemleri, 20. Yüzyılın sonlarına doğru rekabet edebilirliği oldukça yüksek bir üretim stratejisi olarak ortaya çıkmış ve geleneksel üretim sistemlerine göre orta çeşitlilik ve büyüklükteki ürünlerin üretilebileceği en uygun yol olarak kendini göstermiştir [1-3]. Esnek üretim sistemlerinde üretilen ürünleri, müşteriye rekabetçi piyasa koşulları altında zamanında teslim etmek çok önemlidir. Zamanında tamamlanamayan işler müşterinin güvenini sarsma ve piyasadaki itibarı kaybetme gibi cezalara neden olur. Bu yüzden teslim zamanlarını karşılamak birçok üretim yöneticisinin ana problemidir. Farklı müşterilere ait, farklı spesifikasyonlara sahip ürün çeşitlerinin değişik miktarlarını içeren siparişlerin mevcut zaman ve kaynak koşullarıyla müşteriye teslim tarihlerine yetiştirilmesi problemi literatürde de sıklıkla ele alınan konulardan biridir. Özellikle üretim sistemlerinde ortaya çıkan tam zamanında üretim (JIT) vb. kavramlar bu konudaki çalışmalara ağırlık verilmesini sağlamıştır. İşlem süreleri, iş üzerinde yapılacak işlem sayısı, kuyrukta bekleyen iş sayısı ve işlem süreleri, atölyede bulunan iş sayıları ve makineler arasında bekleme süreleri gibi faktörler dikkate alınarak çok sayıda teslim zamanı belirleme kuralı geliştirilmiştir [4, 5, 6]. Ancak günümüzde geliştirilen yöntemlerin, sistemde meydana gelen herhangi bir olaya, hata toleransına ve donanım/yazılımın yeniden şekillendirilmesine gerçek zamanlı olarak hızlı bir şekilde cevap vermesi istenmektedir. Birçok imalat modeli, bu ihtiyaçları karşıladığını vaat etmektedir. Son zamanlarda, bu modeller içerisindeki dağıtık holonik üretim sistemleri ve akıllı üretim sistemleri (Etmen tabanlı üretim sistemleri) yaklaşımları akademide ve endüstride oldukça ilgi görmektedir.

Holonik üretim sistemi, gerçek zamanlı sistemlerin dinamik olarak kontrol etmek ve mevcut sistemlerde karşılaşılan birçok problemin üstesinden gelebilmek için üretim aktivitelerini organize eden nispeten yeni bir yaklaşımdır [7]. Holonik sistemlerin geliştirilmesinde etmen tabanlı sistemler çok önemli bir yer tutmaktadır. Daha genel bir bakış açısıyla değerlendirildiğinde, etmen

tabanlı sistemler holonik sistemlerin uygulanabilmesi için genel yazılım teknolojisini ifade edebilmektedir ve dinamik ortamdaki karmaşık problemler için bir çözüm yaklaşımı olarak görülebilir [8, 9]. Üretim sistemleri içerisinde dinamik teslim zamanı çizelgeleme problemi literatürde sıklıkla çalışılmaktadır [10-20] ancak holonik üretim sistemi yaklaşımı ile bu problemi çözmeye çalışan araştırma sayısı oldukça azdır. Bu konuda yapılan çalışmalardan bazıları şunlardır. Liu ve ark. [9] kalıp endüstrisinde yeni gelen siparişlerin teslim zamanının atanması için çoklu etmen tabanlı taslak modelini geliştirmişlerdir. Rajabinasab ve Mansour [21] stokastik iş gelişleri, belirsiz işlem süreleri ve beklenmeyen makine bozulmalarını göz önüne alarak esnek bir atölye problemi sunmuşlardır. Çözüm için çoklu etmen sistemi geliştirmişlerdir. Elde edilen çıktılara göre etmen tabanlı yöntem daha iyi sonuçlar vermiştir. Yin ve ark. [22] tek bir makinede atanabilir teslim zamanlarını ele almışlardır. İşlerin tamamlanma zamanları ve teslim tarihleri etmen tabanlı sistemler kullanılarak minimize edilmiştir.

Bu çalışmanın temel amacı, esnek bir üretim sistemi içerisinde dinamik olarak gelen siparişlere daha doğru bir teslim zamanı atayan etmen tabanlı holonik bir kontrol yapısı tasarımı geliştirmektir. Geliştirilecek olan sistemde yer alan her bir etmen, kendi kararlarını kendisi alabilecek özerklikte ve sistem içerisinde yer alan diğer etmenlerle işbirliği ve müzakere yapabilecek yetenekte olacaktır.

## 2. TESLİM ZAMANı ATAMA PROBLEMİ İÇİN ÖNERİLEN HOLONİK SİSTEM

Bir esnek üretim sisteminde yer alan makine ve malzeme taşıma sistemleri göz önüne alınarak belirlenecek olan teslim zamanı atama problemi için önerilecek olan holonik yapının tasarımı bu bölümde sunulacaktır.

### 2.1. Üretim Sistemi Açısından Holonik Yapı

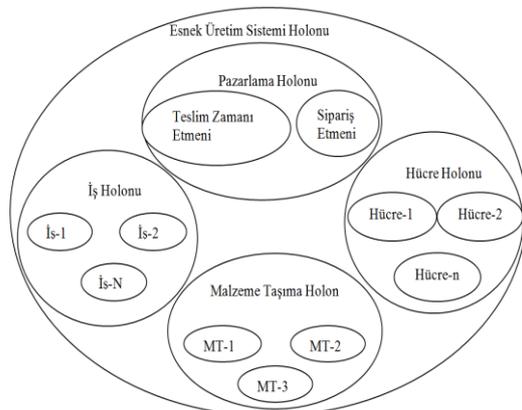
PROSA, üretim sistemleri için PMA/K.U. Leuven



de geliştirilmiş olan bir referans yapısıdır [23] ve birçok çalışmada holonik üretim sistemleri için referans yapı olarak alınmıştır. Bu referans yapısı üç adet temel holondan oluşmaktadır. Bu temel holonlar ürün (product), kaynak (resource), sipariş (order) holonlarıdır.

Bir kaynak holonu, bir üretim sistemindeki bir üretim kaynağı ya da o kaynağı yöneten bilgi işleme parçası gibi bir fiziksel parçadan oluşur. Kendisini çevreleyen holonlara üretim kapasitesini ve fonksiyonelliğini bildirir. Bir kaynak holonu fabrika, makineler, fırınlar, taşıyıcılar, boru hatları, paletler, parçalar, hammaddeler, takımlar, takım tutucular, hammadde stokları, personel gibi üretim metotlarının bir soyutlamasıdır. Bir ürün holonu, istenen kalitede ürünü üretebilmek için gerekli olan ürün ve süreç bilgisini bünyesinde barındırır. Bir ürün holonu, ürün yaşam döngüsü, kullanıcı istekleri, tasarım, süreç planları, kalite prosedürleri vb. ile ilgili güncel ve tutarlı bilgileri içerir. Bir ürün holonu, geleneksel olarak ürün dizaynı ile şekillenen fonksiyonellik, süreç planlama ve kalite güvenceyi kapsar.

Bir sipariş holonu ise bir üretim sistemindeki bir görevi temsil eder. Bir sipariş holonu atanmış işin zamanında ve doğru bir şekilde yerine getirilmesi ile sorumludur. Sipariş holonu genellikle fabrika boyunca gideceği yeri yönetebilecek bir davranışa sahip bir iş parçası olarak görülür (Örneğin; diğer parçalarla ve üretim yaptırılacak kaynaklarla müzakere etmek için).



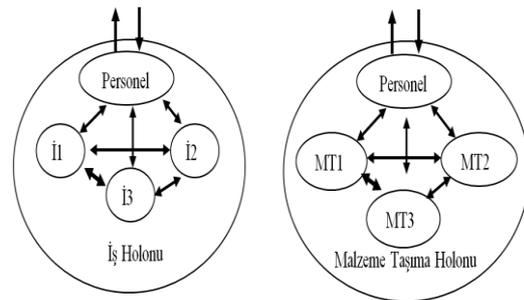
Şekil 1. Üretim sistemi açısından holonik yapı

Hücrel bir esnek üretim sisteminin kontrolü için önerilen holonik yapı, PROSA referans yapısındaki temel yapı blokları kullanılarak inşa edilmiştir. Bu önerilen yapı Şekil 1'de verilmiştir. Esnek üretim sisteminin tümü olarak bakıldığında sistemde iş, hücre, malzeme taşıma ve pazarlama holonlarından oluşmaktadır. Bu yapı fiziksel ve mantıksal holonlar diye ayrabileceğimiz iki parçadan oluşmaktadır. Bu holonlardan hücre holonu ve taşıma holonları fiziksel, iş ve pazarlama holonu ise mantıksal holonlardır. Holonun tanımı gereği her bir holon aynı zamanda bir alt holonun parçası da olabilmektedir. Esnek üretim sistemi en üst seviye holon olarak düşünüldüğünde pazarlama holonu, iş holonu, taşıma holonu ve hücre holonu esnek üretim sistemi holonunun bir alt parçasıdır ve aynı zamanda kendi içerisinde barındırdıkları holonların bütünüdür.

### 2.1.1. Üretim Sisteminde Yer Alan Holonlar

Önerilen sistemdeki hücre holonu, makine, stok ve personel holondan oluşmaktadır. Holonik üretim sistemlerinde bir biri ile etkileşimde olan heterojen holonlar için personel etmene arabulucu rol verilir ve bir grup halindeki holonlar arasındaki etkileşimi yönetmesi sağlanır.

Önerilen sistemde yer alan iş holon ve taşıma holonları benzer bir yapıya sahiptir (Şekil 2).

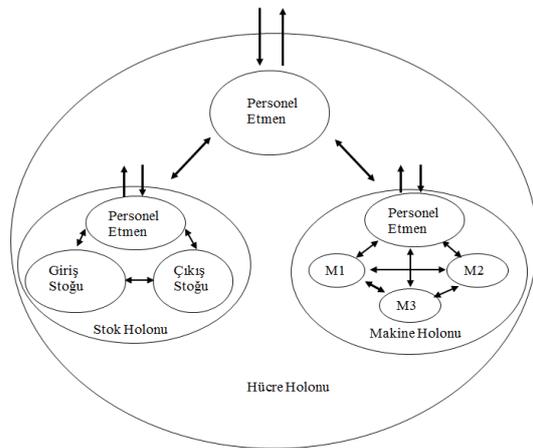


Şekil 2. İş ve malzeme taşıma holonun iç yapısı

Aralarındaki tek fark iş holonu mantıksal holon iken malzeme taşıma holonu fiziksel holondur. İş holonu dinamik bir yapıya sahiptir ve sisteme sipariş ulaştıkça iş holon sayısı artar. Malzeme taşıma holonu ise sistemde yer alan malzeme

taşıma (MT) sistemlerinden oluşur ve hücreler arasındaki taşıma işlerinden sorumludur. Her iki holon da içerisinde personel etmen bulundurmaz. Personel etmen, holon dışındaki haberleşmeyi ve sisteme yeni iş ve malzeme taşıma etmeni eklenmesi ve çıkartılması görevlerini üstlenir.

Sistemde yer alan pazarlama holonu ise teslim zamanı etmeni ve sipariş etmeninden oluşmaktadır. Sisteme giren siparişler sipariş etmeni tarafından alınır. Sisteme dahil olan siparişlere teslim zamanı etmeni tarafından teslim zamanı atanır ve üretim sistemine bırakılır (Şekil 1).



Şekil 3. Hücre holonun iç yapısı

Üretim sistemi içerisinde yer alan en önemli holonlardan birisi de hücre holonudur. Hücre holonlarının her biri fiziksel hücrelerden sorumludur. Buna göre her bir hücre holonu personel etmen, stok ve makine holonundan oluşmaktadır. Personel etmen hücre içi ve hücre dışı haberleşmeyi kolaylaştırmak için eklenmiştir ve arabulucu rol verilmiştir. Buna ilaveten sisteme hücre eklemesi ve çıkartılması personel etmen tarafından yapılmaktadır. Personel etmen tüm alt holonlar içerisinde de yer almaktadır ve benzer görevi vardır. Makine holon ise alınan işlerin makinelerle atanma işini gerçekleştirir. Makine holonu da kendi içerisinde fiziksel makinelerden ve personel etmenden oluşmuştur. Hücre

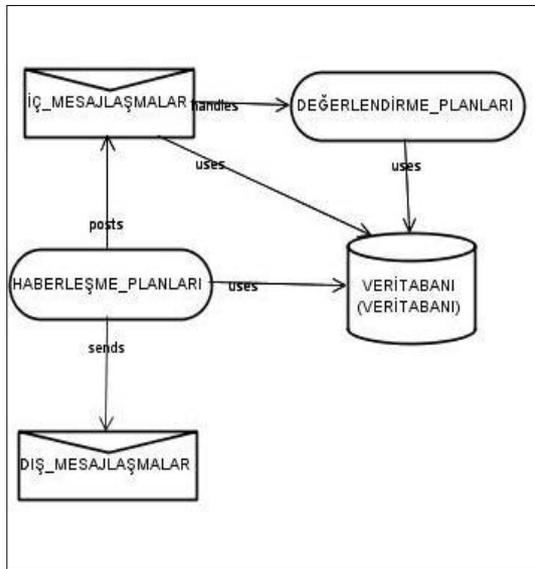
holonunu oluşturan diğer bir holon da stok holonudur. Stok holonunda kendi içerisinde giriş, çıkış ve personel etmenlerinden oluşmaktadır. Giriş ve Çıkış Stoğu etmenleri hücrenin giriş ve çıkış stok durumunu kontrol etmekte ve taşınması gereken malzemeler konusunda malzeme taşıma holonu ile haberleşmektedir. Önerilen hücre holonu yapısı Şekil 3’ de verilmiştir.

### 2.1.2. Holonik Sistemde Yer alan Etmenlerin İç Yapısı

Etmen tabanlı yaklaşımların, sürekli değişen ortama sahip karışık etkileşimlerin ihtiyaç duyulduğu yerler için uygun olduğu kanıtlanmıştır. Etmen tabanlı sistemlerin en önemli özelliği her bir etmenin özerk sayısal varlıklar olmasıdır. Çevresini algılama özelliği ile birleştirilmiş olan özerklik özelliği, etmenlere kendi özelliklerine göre davranma, diğer etmenlerle iletişim kurma ve sistem kurucularına çok güçlü bir kapsülleşme imkânı sağlar. Bir etmen, hedefleri, bilgisi ve özellikleri bakımından tanımlanabilir ve daha sonra fonksiyonunu yerine getirmek için tasarlandığı çevre içerisinde özerk bir şekilde fonksiyonunu yerine getirmesi için serbest bırakılabilir. Bu dağınık sistemleri kurmak için etkili bir yoldur – sistemdeki her bir etmen, sistemdeki etmenlerle haberleşme, olaylara tepki verme ve kendi hedeflerinin peşinden gitmekle sorumludur. Bu şekilde, sistemdeki tüm etkileşimleri doğru bir şekilde programlamadan daha ziyade, sistemin yapı taşına oluşturan etmenlerin yeteneklerinin ve hedeflerinin bir ürünü olarak ortaya çıkan etkileşimlerin doğru şekilde programlanması önemli hale gelir.

Önerilen sistemde yer alan etmenler her biri kendine özgü içyapısı vardır. Bu yapı genel olarak kullandıkları planlar, olaylar (mesajlar) ve veritabanı yani inanç setlerinden oluşmaktadır (Şekil 4). Bu yapıda kullanılan ana bileşenler değerlendirme, haberleşme ve inanç setleri bileşenleridir. Bu bileşenler sayesinde her bir etmen değişen çevre şartlarına tepki verir, hedefleri doğrultusunda hesaplamalar yapar, veritabanına bilgi işler, veritabanından hazır

bilgileri kullanır ve diğer etmenlerle veri alışverişinde bulunarak haberleşir. Bu yapı içerisindeki değerlendirme planları etmene diğer etmenlerden gelen istekleri değerlendirip hangi isteğin daha uygun olduğuna karar verme imkanı sağlar. Bunun yanı sıra haberleşme planları ve mesajlaşmalar kullanılarak sistemde yer alan diğer etmenlerle işbirliği ve haberleşmeler sağlanır. Böylelikle önerilen sistemde holonların özerkliği ve işbirliği mekanizması sağlanmış olur.



Şekil 4. Bir etmenin mimari yapı elemanları

**Değerlendirme Planları:** Holonik yapıda her ne zaman bir hesaplama ihtiyacı duyulursa etmen tarafından kullanılan planlardır. Değerlendirme planları iç veya dış çevreden gelen mesaj bilgilerini aldıktan sonra gerekli hesaplamaları yapar ve bu hesaplamalar yapıldıktan sonra etmen nasıl hareket edeceğine karar verir.

**Haberleşme Planları:** Haberleşme planları iç ve dış mesajlaşmayı kullanarak olaylar karşısında etmenin hangi tepkileri vereceğini karar vermek için kullandığı planlardır. Dış çevreden gelen mesajlar ilk önce haberleşme planı tarafında ele alınır ve gelen mesajın içeriğine göre ya direkt cevap verilir ya da iç mesajlaşma kullanılarak değerlendirme planına gönderilir.

**İç ve Dış Mesajlaşmalar:** İnanç-İstek-Niyet (Belief Desire Intention-BDI) modelinde olaylar çevreden alınabilir ve aynı zamanda içsel olarak da yaratılabilir. Böyle içsel yaratılmış olaylar, hedefler gibi işlev görebilir.

Önerilen sistemde iki türlü haberleşme durumu söz konusu olacaktır. Bunlardan birincisi iç diğeri ise dış haberleşme yani diğer etmenlerle olan haberleşmedir. Bir etmen iç haberleşme sayesinde yeni bir olay yaratarak kendi veri tabanından sorgu yapabilecektir ya da farklı planlar devreye alınarak ek işleme tabi tutulmasını iç mesajlarla yapabilir. Dış haberleşmede ise diğer etmenlerle haberleşme sağlanır. Bir iş isteği gönderilirken dış mesajlaşma kullanılacaktır.

**İnanç Setleri:** Hücre, makine, iş, sipariş ve malzeme taşıma ile ilgili tüm bilgiler inanç setlerinde saklı tutulurlar. Bir işin hangi aşamada olduğu, makinelerdeki iş yükü durumu, makine uygunlukları gibi bilgiler her bir holon tarafından kendi inanç setlerinde tutulur. İstenildiği zaman bu inanç setinden bilgi çekilir veya ekleme çıkarma yapılır.

## 2.2. Önerilen Sistemin İşleyişi ve Teslim Zamanı Atama Süreci

Önerilen bu holonik sistemde, yeni gelen bir iş ile ilgili karar alma sürecinde etkin rol oynayan varlıklar pazarlama, iş, hücre ve malzeme taşıma holonlarıdır. Önerilen bu sistemde pazarlama holonu yaratıldıktan sonra belirli bir zaman aralığında sipariş etmeni vasıtasıyla işleri yaratmaya başlar. Bir iş yaratıldığı zaman bir sipariş etmeni, ilgili işe atanır. Sipariş etmeni aynı zamanda yeni yaratılan iş için bir operasyon listesi de oluşturur. Bu operasyon listesinde iş rotasının tanımlanmasının yanı sıra operasyon sayısı da belirlenir. Sipariş etmeni tüm bunları belirledikten sonra bu bilgileri teslim zamanı etmenine gönderir ve bu iş için bir teslim zamanı belirlemesini ister. Teslim zamanı etmeni işin operasyon sırasına bakarak listedeki hücrelerle haberleşerek üretim sistemi ile ilgili bilgileri (Hücre giriş ve çıkış kuyruğunda ortalama bekleme süresi) temin eder ve o iş ile ilgili bir teslim zamanı belirleyerek

sipariş etmenine bildirir. Teslim zamanı belli olan işler iş holonuna bildirilerek üretim sistemine bırakılır. İş holonuna bildirilen her yeni iş için iş holonu, yeni bir iş etmenine atar. İş holonu da o işi operasyon listesinde bulunan makineler boyunca yönetir ve teslim zamanında önce işin tamamlanması için çalışır.

### 2.2.1. Teslim Zamanı Atama Prosedürü

Teslim zamanı etmeni, sipariş etmeni tarafından yeni bir teslim zamanı atanması isteğini aldıktan sonra geçmiş ve gelecekteki sistem yoğunluğu ve o sipariş ile ilgili özellikleri değerlendirerek o iş için bir teslim zamanı belirler ve bu belirlenen zamanı tekrar sipariş etmenine iletir.

Bir üretim sisteminde her bir işin genel iş akış süresi Eşitlik 1 ile hesaplanır.

$$F_i = \sum (s_{ij} + m_{ij} + w_{ij} + p_i) \quad (1)$$

Burada,

i=iş tipi, j= istasyon numarası,

$s_{ij}$  = i-ninci iş için j- ninci istasyonda gerekli olan kurulum zamanını

$m_{ij}$  = i-ninci işin j-ninci istasyondan bir sonraki istasyona taşıma süresi,

$w_{ij}$  =i-ninci işin j-ninci istasyonda bekleme süresi

$p_{ij}$  = i-ninci işin j-ninci istasyondaki işlem süresini temsil etmektedir.

Gerçek üretim sistemlerinde, işleme operasyonlarının çizelgelemesi gerçekleştirildikten sonra materyal taşıma operasyonlarını işleme operasyonları arasına sokmak ve bu yeni bilgiye göre çizelgeleme akış süresi tekrar hesaplamak gereklidir. Malzeme taşıma operasyonların da çizelgeleme, taşınması gereken işlerin sırasını verir ve belirli bir zaman döngüsü içerisinde taşıyıcıların işi alması ve dağıtması için taşıyıcı dağıtımını sağlar. Ancak çoğu klasik üretim sistemleri teorisi malzeme taşıma operasyonlarını ihmal ederek göz

ardı eder. Eğer her operasyonun işleme zamanı herhangi bir malzeme taşıma operasyonundan çok büyükse ve malzeme taşıma kaynakları her ne zaman ihtiyaç duyulursa hazır olarak bulunabiliyorsa bu iyi bir varsayım olabilir. Ancak, gerçek üretim sistemlerinde, malzeme taşıma kaynaklarına ihtiyaç olursa malzeme taşıma kaynakları her zaman hazır değildir. Çünkü bu kaynaklar başka işleri yerine getiriyor ya da iş istasyonları arasında seyahat halinde olabilir. Bu sonuçlar, makinelerin yüklemeye ve boşaltma zamanlarında gecikmeyle ve işlere ait tamamlanma zamanları ve çizelge iş akış zamanında artış ile sonuçlanır.

Bu sebepten dolayı bu çalışmada malzeme taşıma sistemlerinin uygunluğundan kaynaklı olarak işlerin istasyon giriş (input) ve çıkış (output) kuyruğundaki bekleme süresini göz önüne alan teslim zamanı atama formülü önerilmiştir (Eşitlik 2).

$$d_i = r_i + \sum p_{ij} + \sum m_{ij} + \sum w'(in)_{ij} + w'(out)_{ij} \quad (2)$$

Burada,

i=iş tipi, j= istasyon numarası,

$r_i$  = i-ninci siparişin serbest bırakılma zamanı,

$p_{ij}$  =i-ninci siparişin j-ninci hücredeki işlem süresi

$m_{ij}$  = i-ninci siparişi bir sonraki hücreye taşımak için gerekli olan süre.

$w'(in)_{ij}$  = i-ninci işin rotasında olan j-ninci istasyonun giriş kuyruğunda hesaplanan ortalama bekleme süresi.

$w'(out)_{ij}$  = i-ninci işin rotasında olan j-ninci istasyonun çıkış kuyruğunda hesaplanan ortalama bekleme süresi.

Holonik tabanlı teslim süresi atama modelinde her ne zaman sisteme bir sipariş girilirse bu formül kullanarak teslim süresi hesaplanır. Teslim zamanı etmeni tarafından gerçekleştirilecek olan teslim zamanı atama prosedürü aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır. Bu adımların gerçekleşmesi için gerekli olan etmen etkileşimleri de Şekil 5'de verilmiştir.

Adım 1: Sipariş etmeni iş ile ilgili bilgiler alır (Operasyon sıralaması, Beklenen operasyon süreleri( $p_{ij}$ ))

Adım 2: İş listesinde bulunan operasyon sıralamasına göre liste de bulunan istasyonlar ile haberleşerek sistemin genel durumu ile ilgili bilgiler elde edilir. Bu mesajlaşma sonunda hücreler istasyonların geliş ve çıkış kuyruğunda güncel olarak hesaplanan ortalama bekleme süreleri ( $w'(in)_{ij}, w'(out)_{ij}$ ) bilgilerini

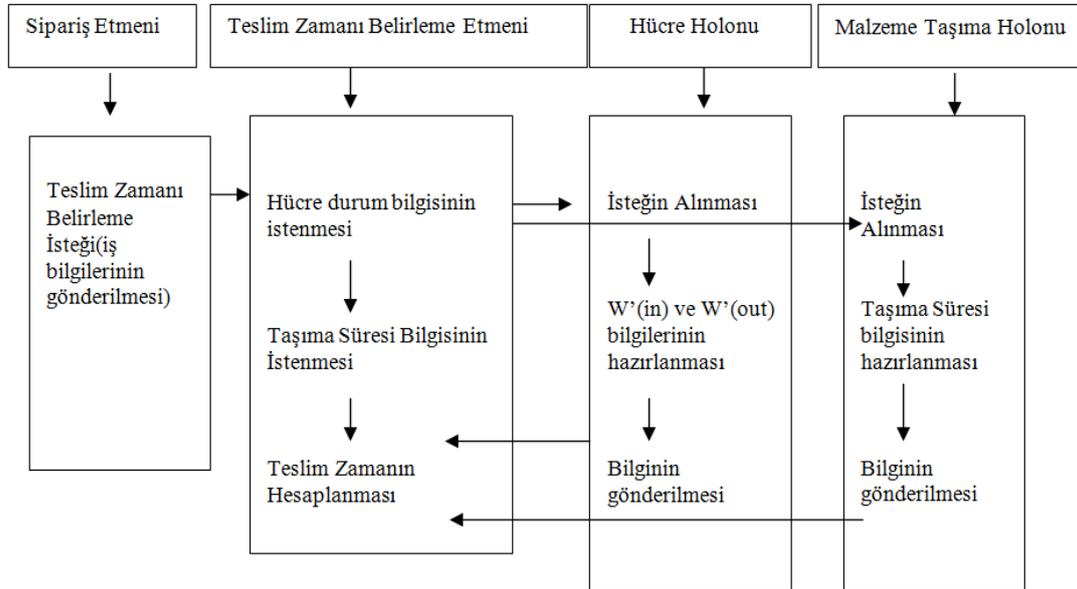
bildirirler.

Adım 3: Teslim zamanı atama etmeni, malzeme taşıma etmeni ile de haberleşerek beklenen taşıma süresi bilgilerini alır.

Adım 4:

$$d_i = r_i + \sum p_{ij} + \sum m_{ij} + \sum w'(in)_{ij} + w'(out)_{ij} \quad (3)$$

kullanılarak teslim zamanı hesaplanan iş ile ilgili bilgiler sipariş etmene bildirilir.



Şekil 5. Teslim zamanı atama prosedürü için holon ve etmen etkileşimleri

### 3. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada bir esnek üretim sistemi içerisinde üretim süresinin önemli bir kısmını oluşturan makine işleme ve taşıma sürelerine etki eden makine gruplarını ve malzeme taşıma sistemlerini etkin bir şekilde çözeltilmesi sağlayan ve gelen siparişlere bir teslim zamanı atayan holonik tabanlı bir kontrol yapısı önerilmiştir. Önerilen sistem esnek üretim yapan birçok işletme için etkin olarak uygulanabilir yapıdadır. Çoklu etmen sistemleri yazılımları, etmen tabanlı sistemleri geliştirme sürecini hızlı ve verimli şekilde

kolaylaştırmaktadır. Bundan sonraki çalışmalarda önerilen bu kontrol yapısı, çoklu etmen sistemleri yazılımları üzerinde benzetim çalışmaları yapılarak literatürde önerilmiş olan diğer yaklaşımlarla performans karşılaştırılması yapılacaktır.

### 4. TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Çukurova Üniversitesi Araştırma Fonu Bilimsel Araştırmalar Birimi MMF2011BAP23 numaralı proje olarak desteklenmiştir.

## 5. KAYNAKLAR

1. Wang, J., Deng, Y., 1999. Incremental Modeling and Verification of Flexible Manufacturing Systems. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 10(6): p. 485-502.
2. Veeravalli, B., Rajesh, G., Viswanadham, N., 2002. Design and Analysis of Optimal Material Distribution Policies in Flexible Manufacturing Systems Using a Single AGV. *International Journal of Production Research*, 40(12): p. 2937-2954.
3. Jerald, J., 2006. Simultaneous Scheduling of Parts and Automated Guided Vehicles in an FMS Environment Using Adaptive Genetic Algorithm. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 29(5-6): p. 584-589.
4. Philipoom, P.R., L. Wiegmann, Rees, L.P., 1997. Cost-based Due-Date Assignment with The Use of Classical and Neural-Network Approaches. *Naval Research Logistics (NRL)*, 44(1): p. 21-46.
5. Alpay, Ş. N., 2009. Yüzüğüllü, Dynamic Job Shop Scheduling for Missed Due Date Performance. *International Journal of Production Research*, 47(15): p. 4047-4062.
6. Baykasoğlu, A., Göçken, M., Unutmaz, Z.D., 2008. New Approaches to Due Date Assignment in Job Shops. *European Journal of Operational Research*, 187(1): p. 31-45.
7. Leitao, P., Restivo, F.J., 2008. Implementation of a Holonic Control System in a Flexible Manufacturing System. *Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews*, IEEE Transactions on, 38(5): p. 699-709.
8. Madureira, A., Santos, F., Pereira, I., 2008. Self-Managing Agents for Dynamic Scheduling in Manufacturing in Proceedings of the 10th Annual Conference Companion on Genetic and Evolutionary Computation. ACM.
9. Liu, J., Liu, J. J., Chen, Q. X., Mao, N., Lin, Z. A. 2011. A Multi-Agent-Based Mould Due Date Setting Approach in Stochastic Production. *International Journal of Production Research*, 49(5): p. 1353-1371.
10. Weeks, J.K., Fryer, J.S., 1977. A Methodology for Assigning Minimum Cost Due-Dates. *Management Science*, 23(8): p. 872-881.
11. Weeks, J.K., 1979. A Simulation Study of Predictable Due-dates. *Management Science*, 25(4): p. 363-373.
12. Baker, K.R., Bertrand, J., 1981. An Investigation of Due-Date Assignment Rules with Constrained Tightness. *Journal of Operations Management*, 1(3): p. 109-120.
13. Smith, M.L., Seidmann, A., 1983. Due Date Selection Procedures for Job-Shop Simulation. *Computers & Industrial Engineering*, 7(3): p. 199-207.
14. Baker, K.R., 1984. Sequencing Rules and Due-Date Assignments in a Job Shop. *Management Science*, 30(9): p. 1093-1104.
15. Ragatz, G.L, Mabert, V.A., 1984. A Framework for the Study of Due Date Management in Job Shops. *The International Journal of Production Research*, 22(4): p. 685-695.
16. Shanthikumar, J.G., Sumita, U., 1988. Approximations for the Time Spent in a Dynamic Job Shop with Applications to Due-Date Assignment. *The International Journal of Production Research*, 26(8): p. 1329-1352.
17. Bector, C., Gupta, Y., Gupta, M., 1988. Determination of an Optimal Common Due Date and Optimal Sequence in a Single Machine Job Shop. *The International Journal of Production Research*, 26(4): p. 613-628.
18. Vig, M.M., Dooley, K.J., 1991. Dynamic Rules for Due-Date Assignment. *The International Journal of Production Research*, 29(7): p. 1361-1377.
19. Philipoom, P.R., 2000. The Choice of Dispatching Rules in a Shop Using Internally Set Due-Dates with Quoted Leadtime and Tardiness Costs. *International Journal of Production Research*, 38(7): p. 1641-1655.
20. Baykasoğlu, A., Göçken, M., 2009. Gene Expression Programming Based Due Date Assignment in a Simulated Job Shop. *Expert Systems with Applications*, 36(10): p. 12143-12150.
21. Rajabinasab, A., Mansour, S., 2011. Dynamic Flexible Job Shop Scheduling with Alternative Process Plans: An Agent-Based Approach. *The International Journal of Advanced*

- Manufacturing Technology, 54(9-12): p. 1091-1107.
22. Y. Yin, S. R. Cheng, T. C. E. Cheng, C. C. Wu, W. H. Wu, 2012. Two-Agent Single-Machine Scheduling with Assignable Due Dates. *Applied Mathematics and Computation*, 219(4): p. 1674-1685.
  23. Van Brussel, H., Wyns, J., Valckenaers, P., Bongaerts, L., Peeters, P., 1998. Reference Architecture for Holonic Manufacturing Systems: PROSA. *Computers in Industry*, 37(3): p. 255-274.





## Investigation of Effects of Diesel and Biodiesel Fuels on Energy and Exergy Analysis in Diesel Engines

Abdulkadir YAŞAR<sup>\*1</sup>, Abdulkadir Abdi ALİ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Çukurova Üniversitesi, Ceyhan Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Adana

<sup>2</sup>Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 18.01.2016

Kabul tarihi: 10.03.2016

### Abstract

In this study, energy and exergy analyses were applied to experimental data obtained from a four stroke, four cylinders, naturally aspirated, having 1800 rpm direct-injected diesel engine in case of using various fuels. Air and fuel flow rates, engine speed, emissions and relevant temperatures are taken into consideration to be able to perform the first and second law of thermodynamics. With the help of these data obtained from the experiments, balances of energy and exergy rates for the control volume by means of 1st and 2nd law (energy and exergy) efficiencies of thermodynamics associated with the quantity and quality were obtained for various fuels such as diesel fuels, cotton and soybean biodiesel. All results were compared with each other to determine fuel effects on energetic and exergetic performance in diesel engines. As a result, it was concluded that diesel fuel showed better energetic and exergetic performance than those of biodiesels of cotton and soybean.

**Keywords:** Energy, Exergy, Internal combustion engines, Alternative fuels.

### Dizel Motorlarda Enerji ve Ekserji Analizleri Üzerine Dizel ve Biyodizel Yakıt Etkisinin Araştırılması

### Özet

Bu çalışmada, farklı yakıtların kullanıldığı 4 zamanlı, 4 silindirli, doğal emişli, 1800 devir/dakika'daki direk enjeksiyonlu bir dizel motorundan elde edilen datalara, enerji ve ekserji analizleri uygulanmıştır. Termodinamiğin birinci ve ikinci yasa analizlerini uygulayabilmek için hava ve yakıt debileri, motor hızı, emisyonlar ve ilgili sıcaklıklar hesaplamalara dâhil edilmiştir. Deneysel çalışma sonucunda elde edilen veriler yardımıyla, termodinamiğin miktar ve kalite ile ilgili olan 1. ve 2. yasa verimleri kullanılarak dizel yakıtı, pamuk ve soya biyodizeli için enerji, ekserji denge denklemleri elde edilmiştir. Dizel motorlarda enerji ve ekserji performansı üzerine çeşitli yakıtların etkilerini belirleyebilmek için sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, dizel yakıtının pamuk ve soya biyodizelinden daha iyi enerji ve ekserji performansına sahip olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Enerji, Ekserji, İçten yanmalı motorlar, Alternatif yakıtlar

\* Yazışmaların yapılacağı yazar: Abdulkadir YAŞAR, Ceyhan Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Adana. ayasar@cu.edu.tr

## 1. INTRODUCTION

The idea of using alternative fuels has been widely spreading for many years as a replacement for fossil fuels. The importance of this idea came from the large scale of utilization of fossil fuels in mechanical power generation in various sectors, like agriculture, commercial, domestic, and transport sectors, and also the fact of the continuous rise in fuels cost and their eventual disappearance[1].

The consciousness of cleaner production technology is increasing globally. The need for an alternative to fossil fuels has engendered extensive research in recent years. Fossil fuels are non-renewable sources of energy which generate pollutants and are linked to global warming, climate change and even some incurable diseases. The impending challenges and the environmental implications of fossil fuels have been reviewed widely. Due to the increase in the price of the petroleum and the environmental concerns about pollution coming from the car gases, biodiesel is becoming a developing area of high concern [2]. Biodiesel has been identified as one of the notable options for at least complementing conventional fuels. Its production from renewable biological sources such as vegetable oils and fats has been reviewed widely; its advantages over petroleum diesel cannot be overemphasized: it is safe, renewable, non-toxic, and biodegradable; it contains no sulphur; and it is a better lubricant. In addition, its use engenders numerous societal benefits: rural revitalization, creation of new jobs, and reduced global warming its physical properties has been reviewed widely as well and some of which are dependent on the feedstock employed for its production. The flash point of biodiesel is significantly higher than that of petroleum diesel or gasoline, thus making it one of the safest fuels available. However, the calorific value of biodiesel is about 9% lower than that of the regular petroleum diesel. The variations in the biodiesel energy density are more dependent on the fatty raw materials used than the production process [3].

The use of vegetable oils and their derivatives was

found to be one of the reasonable solutions. However, the direct use of vegetable oils in diesel engines was found impractical due to several factors, such as the high viscosity, acid composition, and free fatty acid content. Accordingly, they require further modifications for effective use undergoing transesterification reaction is the most favorable for decreasing oil's viscosity and producing so-called "biodiesel fuel".

Biodiesels are monoalkylesters of long chain fatty acid derived from renewable lipid feedstock. The interest of this alternative energy resource is that the fatty acid methyl esters, known as biodiesel, have similar characteristics of petro diesel oil which allows its use in compression motors without any engine modification. However, using vegetable oil to replace fuel caused the food versus fuel issue all over the world. So, the idea of using waste vegetable oil (WVO) has been introduced as an economical solution which also gives a waste management solution [1].

In recent years, the energy and exergy analysis has become widely used in the design, simulation and performance assessment of thermal systems. Researchers have conducted several studies of where losses occur in engines and methods to increase performance based on the second law of thermodynamics [4-9].

Exergy is defined as the maximum theoretical work that can be obtained from a system as it comes to equilibrium with a reference environment. The exergy content of a natural material input can be interpreted as a measure of its quality or potential usefulness, i.e., its ability to perform 'useful' work.

Exergy analysis has been widely used in the design, simulation and performance evaluation of energy system [7]. Renewable energy sources can be a good substitute of the fossil fuels which are being terminated fast. Nowadays, biomass and biofuels are considered because of their environment friendly characteristics and their ability of supplying much more energy. An alternative means to select the most efficient and

convenient biomass, is exergy analysis [10]. Sayin et. al. [11] presented comparative energy and exergy analyses of a four-cylinder, four-stroke spark-ignition engine using gasoline fuels of three different research octane numbers (RONs), namely 91, 93 and 95.3. Each fuel test was performed by varying the engine speed between 1200 and 2400 rpm while keeping the engine torque at 20 and 40 Nm. Then, using the steady-state data along with energy and exergy rate balance equations, various performance parameters of the engine were evaluated for each fuel case. It was found that the gasoline of 91-RON, the design octane rating of the test engine, yielded better energetic and exergetic performance, while the exergetic performance parameters were slightly lower than the corresponding energetic ones. Furthermore, this study revealed that the combustion was the most important contributor to the system inefficiency, and almost all performance parameters increased with increasing engine speed. Tosun [5] studied assessment of energy and exergy analysis applied to experimental data obtained from a four stroke, four cylinders, naturally aspirated, direct-injected diesel engine by using different fuels.

Sezer and Bilgin [9] investigated the effects of the air-fuel mixture (charge) properties on the exergy balance in Spark ignition engines. The results obtained by Sezer and Bilgin [9] showed that increasing fuel-air equivalence ratio caused an increase in irreversibility's and also exergy losses with heat transfer and exhaust gases, but enriching the air-fuel mixture beyond the stoichiometric ratio makes no significant contribution to the exergy transfer with work transfer. A slightly lean mixture also gives the best first and second law efficiencies. It is observed that there is a linear relation between the residual gas fraction and the exergetic variables. An increase in the residual gas fraction decreases the irreversibility's and exergy losses aside from the exergy transfer with work transfer. However, increasing the residual gas fraction positively affects the first and second law efficiencies because of the diluting of the charge. Increase of initial charge temperature creates a reduction in the irreversibility's and the exergy

losses and, it also results in a lower exergy output by work transfer. Further, increase of initial charge temperature negatively influences the first and second law efficiencies.

Depletion of fossil fuels directed researchers to search alternative fuels. In this regard, various biofuels are being tested to see feasibility of usage by scientists. Beside usage of energy, its effective usage is crucial. Exergy analysis can be used to design and assess the system thermodynamically to define inefficiencies of the system.

After analysis, system inefficiencies can be signed and try to find ways of reducing these inefficiencies. In this study, energy and exergy analysis were applied to the experimental data of a diesel engine fueled with various fuels such as cotton and soybean biodiesel and they were compared with respect to standard diesel fuel.

## 2. MATERIAL AND METHOD

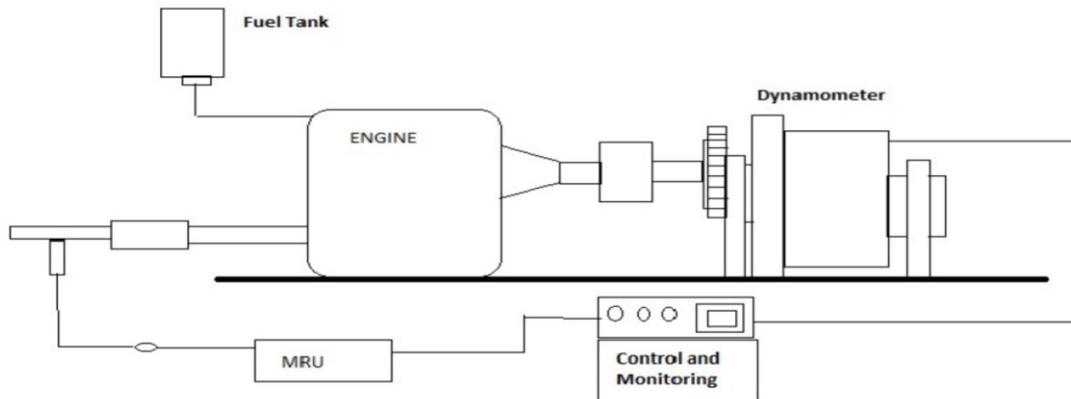
In this study, the experimental study was conducted in Petroleum Research and Automotive Engineering Laboratories of the Department of Automotive Engineering at Cukurova University. Experiments were performed on a Mitsubishi Canter 4D34-2A with four stroke, four cylinders, and naturally aspirated direct-injected diesel engine with 1800 rpm. Specifications of the engine are presented in Table 1. Schematic representation of experimental setup is given in Figure 1.

A hydraulic dynamometer was used for determination of torque and power output. Table 2 shows technical specifications of the dynamometer.

TESTO 350 XL gas analyzer was also used to measure exhaust emissions. Emission data was collected using a computer program. Accuracy of the gas analyzer is  $\pm 10$  ppm for CO, 1% for CO<sub>2</sub> and  $\pm 1$  ppm for NO<sub>x</sub>. The fuel quality measurements were done according to TS EN 14214 and EN 590.

**Table 1.** Technical specifications of the test engine

Brand	Mitsubishi Canter
Model	4D34-2A
Configuration	Inline 4
Type	Direct injection diesel with glow plug
Displacement	3907cc
Bore	104mm
Stroke	115mm
Power	89kW @ 3200rpm
Torque	295Nm @ 1800rpm
Cooling System	Water cooled
Weight	325kg



**Figure 1.** A schematic representation of experimental setup

**Table 1.** Technical specifications of the dynamometer

Torque Range	0-1700 Nm
Speed Range	0-7500 rpm
Body Weight	45 kgf
Total Weight	110 kgf
Body Diameter	350 mm
Torque Arm Length	350 mm

## 2.1. Transesterification Method of Vegetables Oils

In the transesterification of different types of oils, triglycerides react with an alcohol, generally methanol or ethanol, to produce esters and glycerin. To make it possible, a catalyst is added to the reaction. The overall process is normally a sequence of three consecutive steps, which are reversible reactions. In the first step, diglyceride is obtained from triglycerides, monoglyceride is produced from diglyceride and in the last step, and glycerin is obtained via monoglycerides. In all these reactions esters are produced. The stoichiometric relation between alcohol and the oil is 3:1. However, an excess of alcohol is usually more appropriate to improve the reaction towards the desired product. Flow diagram of biodiesel production process is shown in Figure 2.

## 2.2. Exergy and Energy Analysis

From the thermodynamics point of view, exergy is defined as the maximum amount of work which can be produced by a system or a flow of matter or energy as it comes to equilibrium with a reference environment. Unlike energy, exergy is not subject to a conservation law (except for ideal, or reversible, process). Rather, exergy is consumed or destroyed, due to irreversibilities in any real process. The exergy consumption during a process is proportional to the entropy created due to irreversibilities associated with the process.

Here, Table 3 clearly compares the concepts of energy and exergy from different perspectives.

Exergy analysis is a method that uses the conservation of mass and conservation of energy principles together with the second law of thermodynamics for the analysis, design and improvement of energy and other systems. The exergy method is a useful tool for furthering the goal of more efficient energy-resource usage. It enables the locations, types, and true magnitudes of wastes and losses to be determined. In general, more meaningful efficiencies are evaluated with

exergy analysis rather than energy analysis due to the fact that exergy efficiencies are always a measure of the approach to the ideal. Therefore, exergy analysis can reveal whether or not and how possible to design more efficient energy systems by reducing the inefficiencies in existing systems. Many engineers and scientists suggest that the thermodynamic performance of a process is best evaluated by performing an exergy analysis in addition to or in place of conventional energy analysis because exergy analysis appears more meaningful and to be more useful in efficiency improvement than energy analysis. Further discussions of exergy analysis for a large number of processes and systems are given elsewhere. It is extremely important that for exergy analysis, the state of the reference environment, or the reference state, must be specified completely for the exergy analysis. This is commonly conducted by specifying the temperature, pressure and chemical composition of the reference environment. The results of exergy analysis are relative to the specified reference environment, which in most applications is modeled after the actual local environment.

## 2.3. Exergy Equations

Energy can neither be created nor be destroyed. Energy appears in many forms and different qualities and the quality of energy can increase locally or be destroyed. When using energy, we utilize the energy conversions along its way towards heat at environmental temperature. The necessity to determine the available part of the energy, or the similar amount of mechanical work that could be extracted from it has crucial role. Exergy is a measure of how far a certain system deviates from equilibrium with its environment and therefore, the following expressions can be written for the exergy contained in a system equation,  $Ex = T_0(S_{t,eq} - S_t)$  here  $T_0$  is the temperature of the environment and  $(S_{t,eq} - S_t)$  is the deviation from equilibrium of the negentropy (=minus the entropy) of the system and its environment, i.e., the total system. ('eq' denotes equilibrium with the environment).

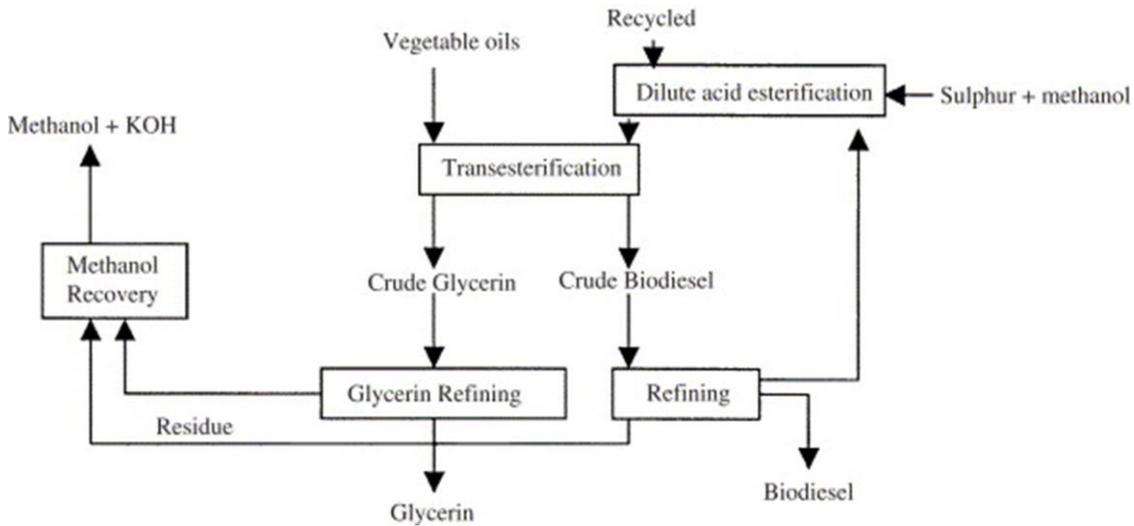


Figure 2. Basic scheme for biodiesel production [2]

Table 3. The main differences between energy and exergy

Energy	Exergy
is dependent on the parameters of matter or energy flow only, and independent of the environment parameters.	is dependent both on the parameters of matter or energy flow and on the environment parameters.
has values different from zero (equal to $mc^2$ in accordance with Einstein's equation).	is equal to zero (in a dead state by equilibrium with the environment).
is guided by the first law of thermodynamics for all the processes.	is guided by the first law of thermodynamics for reversible processes only (in irreversible processes it is destroyed partly or completely).
is limited by the second law of thermodynamics for all processes (incl. reversible ones).	is not limited for reversible processes due to the second law of thermodynamics.
is motion or ability to produce motion.	is work or ability to produce work.
is always conserved in a process, so can neither be destroyed nor produced.	is always conserved in a reversible process, but is always consumed in an irreversible process.
is a measure of quantity.	is a measure of quantity and quality due to entropy.

$$Ex = U + P_0V - T_0S - \sum i\mu_{i0} n_i \quad (1)$$

where  $U$ ,  $V$ ,  $S$ , and  $n_i$  denote extensive parameters of the system (energy, volume, entropy, and the number of moles of different chemical components) and  $P_0$ ,  $T_0$ , and  $\mu_{i0}$  are intensive parameters of the environment (pressure, temperature, and chemical potential which may also include gravitational and electromagnetic potentials, etc.). The subscript '0' denotes conditions of the reference environment. It is evident from this equation that the exergy of a system is zero when it is in equilibrium with the reference environment (i.e., when  $T=T_0$ ,  $P=P_0$ , and  $\mu_k=\mu_{k0}$  for all  $k$ ).

$$Ex = (U - U_{eq}) + P_0(V - V_{eq}) - T_0(S - S_{eq}) - \sum_i \mu_{i0} (n_i - n_{ieq}) \quad (2)$$

where on the right hand side easily determined quantities appear. Therefore, it is an easy task to determine the exergy content of a given system in a given environment. The following relation for a substance which has an exergy content deriving only from its concentration can be expressed as;

$$Ex = RT_0 n \ln(c/c_0) \quad (3)$$

where  $n$  is the number of moles of the substance,  $R$  is the gas constant,  $T_0$  is the temperature of the environment,  $c$  is the concentration of the substance in the material considered, and  $c_0$  is the concentration of the substance in the environment.

This concept of exergy is applicable for materials like inert gases or other not chemically active materials. The chemically reacting materials receive an additional exergy contribution from the change in the chemical potential. The exergy content in a material can be summarized by the following formula:

$$Ex = n[\mu - \mu_0 + RT_0 \ln(c/c_0)] \quad (4)$$

Where  $\mu_0$  is chemical potential for the material in its reference state, i.e., in equilibrium with the environment.

## 2.4. Calculations for Energy and Exergy Analysis

All equations needed for performing energy and exergy analysis were given in this chapter. Calculations to obtain energetic and exergetic efficiencies were shown only for diesel fuel here. Some of the data obtained from engine test and other needed information of fuels for equations are given in Table 4.

### 2.4.1. Energy Input Rate

$$E_{fuel} = ((0,00197013)(44524)) = 87,72 \text{ kW} \quad (5)$$

### 2.4.2. Total Heat Losses

$$\dot{Q}_{loss} = (87,72) - (29,54407) = 58,175 \text{ W} \quad (6)$$

### 2.4.3. Energy Efficiency

$$\eta_1 = (29,54407) / (87,72) = 0,336 \text{ (33,67\%)} \quad (7)$$

Mass fraction ratios of the elements in the fuels were given in Table 5.

### 2.4.4. Input Exergy Rate

$$\varphi = 1,0401 + 0,1728(0,148810) + 0,0432(0) + 0,2169(0)(1 - 2,0628(0,148810)) \quad (8)$$

$$\varphi = 1,065814368$$

$$E_{fuel} = (44524)(1,065814386) = 47454,31972 \text{ kJ/kg} \quad (9)$$

$$\dot{E}x_{in} = (0,00306852)(45808,698) = 140,56 \text{ kW} \quad (10)$$

### 2.4.5. Output Exergy Rate

The output (exhaust) exergy rate consists of both thermo-mechanical and chemical exergy of the exhaust gases.

**Table 2.** Data obtained from engine test

Fuels	Lower heating value (kJ/kg)	Engine speed(rpm)	Work (kW)	Mass flow rate of fuel (kg/s)	Mass flow rate of air (kg/s)
Diesel	44524	1800	29,54407	0,00197013	0,10279675
Cotton	39728,87	1800	25,58633	0,00186519	0,10211456
Soybean	39824,84	1800	26,12452	0,00188913	0,10203432

**Table 3.** Mass fraction ratios of the elements in the fuels

Fuels	Chemical formula	h/c	O/C	a/C
Diesel	C <sub>14</sub> H <sub>25</sub>	0,148810	0	0
Cotton	C <sub>18</sub> .H <sub>34</sub> .O <sub>2</sub>	0,157407	0,148148	0
Soybean	C <sub>15</sub> .H <sub>25</sub> .O <sub>2</sub>	0,138889	0,177778	0

Both thermo-mechanical and chemical exergy values of each of the exhaust gases are calculated. Then the total of these two exergy values of each exhaust component were multiplied with their own mass flow rate. All of the mass flow rates of the exhaust gases were calculated from the mass balance.

$$\dot{m}_{air} + \dot{m}_{fuel} = \dot{m}_{exhaust} \quad (11)$$

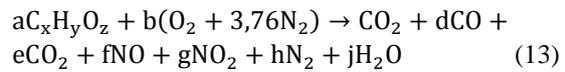
Heywood [12] suggested a formula for the mass flow rate of air. It can be calculated as follows:

$$\dot{m}_{air} = \frac{\rho_{air} V_d N}{2.60} \quad (12)$$

In the formula of air mass flow rate,  $\rho_{air}$  represents density of air (kg/m<sup>3</sup>),  $V_d$ , cylinder volume (m<sup>3</sup>),  $N$ , engine speed (rpm). Calculations of the mass flow rates are given in Table 6.

Product results of fuels were also given in Table 7.

With the help of the data given in Table 6 and Table 7, we can determine the coefficients of given emission data below (d, e, f, g, h).



Rest of the unknown coefficients (a, b, c, j) can be found with conservation of mass principle for carbon (C), oxygen (O), hydrogen (H) and nitrogen (N). All of the coefficients are given in Table 8.

By means of reaction coefficients, mass fraction of each emission was obtained. Finally, mass flow rate of each exhaust gases were determined separately as shown in Table 9.

In order to calculate thermo-mechanical exergy of exhaust gases we need enthalpy and entropy values of the gases at related temperatures (Dead state temperature and exhaust gas temperature).

Table 10 also shows the enthalpy and entropy values at stated temperatures.

Table 11 presents specific thermo-mechanical exergy, specific chemical exergy and the total output (exhaust) exergy values for diesel fuel.



**Table 4.** Calculations of the mass flow rates

	Cylinder volume (0.0009769m <sup>3</sup> )		Air density (1.225kg/m <sup>3</sup> )		
	Engine speed (rpm)	Air mass flow rate (kg/s) (1 cylinder)	Air mass flow rate (kg/s) (4 cylinder)	Mass flow rate of fuel (kg/s) (m <sub>f</sub> was experimentally determined)	Mass flow rate of exhaust gases (kg/s) (total)
<b>Diesel</b>	1800	0,025699	0,102796	0,00197013	0,1058645
<b>Cotton</b>	1800	0,025876	0,103941	0,00186519	0,10580619
<b>Soybean</b>	1800	0,025	0,104321	0,00188913	0,10581720

**Table 5.** Product results of fuels

Products	Diesel	Cotton	Soybean
(%)	9,87	10,96	10,99
CO (ppm)	593	283	287
CO <sub>2</sub> (%)	6,02	5,69	5,59
NO (ppm)	987	1054	960
NO <sub>2</sub> (ppm)	214	328	315

**Table 6.** Reaction coefficients

Coefficient	Diesel	Cotton	Soybean
a	1,05171E-05	9,86214E-06	9,98767E-06
b	0,000541	0,000565	0,000546
c	3,27E0-04	3,63E-04	3,65E-04
d	2,24E-06	1,07E-06	1,09E-06
e	3,48E-06	1,37E-04	1,29E-04
f	3,48E-06	3,72E-06	3,67E-6
g	4,93E-07	7,55E-07	3,12E-7
h	0,002032	0,002115	0,002543
j	0,0001314	0,0001277	0,0001321

**Table 7.** Mass flow rates of each product gas emissions

Product mass flow rates (kg/s)	Diesel	Cotton	Soybean
O <sub>2</sub>	0,010464	0,1462281	0,1534321
CO	6,27E-05	3,77E-04	3,87E-05
CO <sub>2</sub>	0,00638	0,07583514	0,00342
NO	0,0001044	0,00140488	0,00010783
NO <sub>2</sub>	5,69E-02	4,37E-04	5,72E-04
N <sub>2</sub>	0,05690982	0,077355	0,077463
H <sub>2</sub> O	0,00236636	0,02793367	0,00321145

**Table 8.** Enthalpy and entropy values of product gases for diesel fuel

Products	$T_{ex} = 800 \text{ K}$ (Exhaust gas temperature)			$T_0 = 298 \text{ K}$ (Dead state temperature)		
	$h - h_0$ (kJ/kmol)	$h - h_0$ (kJ/kg)	$s$ (kJ/kmol,K)	$s_0$ (kJ/kmol,K)	$s - s_0$ (kJ/kmol,K)	$s - s_0$ (kJ/kg,K)
O <sub>2</sub>	15840	495	235,82	205,03	30,79	0,962
CO	15170	541,79	227,17	197,54	29,63	1,058
CO <sub>2</sub>	22810	518,41	257,42	213,73	43,69	0,993
NO	15550	518,33	240,99	210,64	30,35	1,012
NO <sub>2</sub>	22140	481,30	282,41	239,91	42,5	0,924
N <sub>2</sub>	15040	537,14	220,92	191,5	29,42	1,051
H <sub>2</sub> O	18000	1000	223,72	188,71	35,01	1,945

**Table 9.** Specific thermo-mechanical exergy, specific chemical exergy and the total output exergy values for diesel fuel

Products	Mass flow rate (kg/s)	Specific thermo-mechanical exergy (kJ/kg)	Specific chemical exergy (kJ/kg)	The total specific output (exhaust) exergy (kJ/kg) (thermo-mechanical + chemical exergy)	The total output (exhaust) exergy (kW)
O <sub>2</sub>	0,0148613	208,3	123,27	331,57	4,93
CO	3,55068E-5	226,47	1050,34	1276,81	0,05
CO <sub>2</sub>	0,0086189	222,51	448,91	671,42	5,79
NO	0,00013544	216,86	-	216,86	0,03
NO <sub>2</sub>	7,1873E-6	205,98	-	205,98	0,0014
N <sub>2</sub>	0,07903829	224,03	24,67	248,7	19,66
H <sub>2</sub> O	0,00316855	420,39	481,31	901,7	2,86

Both thermo-mechanical and chemical exergy output values of each exhaust gases can totally be calculated as shown below:

$$\dot{E}x_{out} = \sum \dot{m}_i (\varepsilon_{tm} + \varepsilon_{chem})_i = 33.30 \text{ kW} \quad (14)$$

#### 2.4.6. Work Exergy Rate

Net exergy work is equal to the net energy work:

$$\dot{E}x_{work} = \dot{W} = 29,54407 \text{ kW} \quad (15)$$

#### 2.4.7. Exergy Rate Related with Heat Transfer

Heat transfer exergy rate from the cooling water to the environment is defined as:

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{cw} = & 87,72 - [29,440 - (0,0148613)(495) + \\ & (3,55068E-5)(541,7857) + (0,0086189)(518,4091) + \\ & (0,00013544)(518,3333) + (7,1873E-6)(481,3043) \\ & + (0,07903829)(537,1429) + \\ & (0,00316855)(1000)] \end{aligned} \quad (16)$$

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{cw} &= 19,89 \text{ kW} \\ T_{cw,inlet} &= 324,71 \text{ K} \\ T_{cw,outlet} &= 361,73 \text{ K} \\ T_{cw} &= (324,71 + 361,73) / 2 = 343,22 \text{ K} \\ T_0 &= 298 \text{ K (dead state temperature)} \end{aligned} \quad (17)$$

$$\dot{E}x_{heat} = (1 - 298/343,22)(19.89) = 2,62 \text{ kW} \quad (18)$$

#### 2.4.8. Exergy Destruction

Exergy destruction value can be determined as follows:

$$\dot{E}x_{dest} = 140,5649 - [33,30462 + 2,62 + 29,54407] = 75,1 \text{ kW} \quad (19)$$

#### 2.4.9. Exergy Efficiency

Exergy efficiency ( $\Psi$ ) of the control volume can be expressed as the ratio of the exergy work rate to the fuel exergy input rate:

$$\psi = (29,54407 \text{ k}) / (140,5649) = 0,210 \text{ (21\%)} \quad (20)$$

### 3. RESULTS AND DISCUSSIONS

In the experiments, diesel fuel and cotton and soybean biodiesel are used as fuel. The results from energy (first law) analysis are given both in Table 12 and in Figures 3-4.

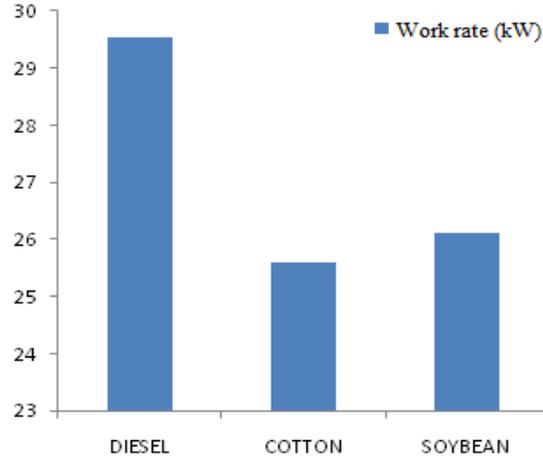


Figure 3. Work rate values of diesel fuel and biodiesels

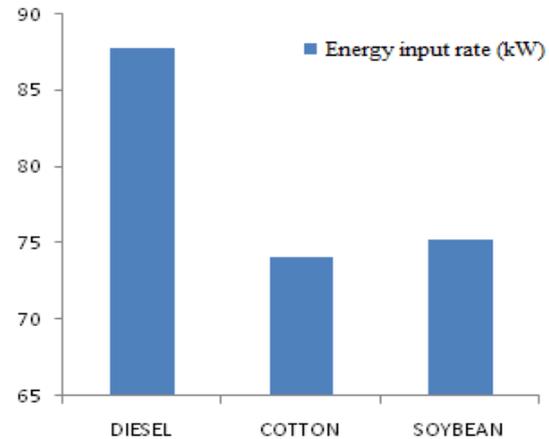


Figure 4. Energy input rates (fuel energy) of diesel fuel and biodiesel

It can be seen from the Figure 3 that work rate of biodiesel of cotton and soybean is lower than diesel fuel. For cotton and soybean biodiesel, power loss at the same engine speed can be

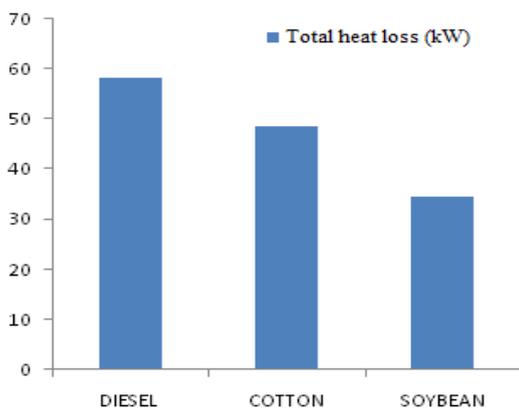
**Table 12.** Energy analysis results of the fuels used in engine

Fuel	Engine speed	Work rate (kW)	Energy input rate(kW)	Total heat loss (kW)	Energy efficiency (%)
Diesel	1800	29,54407	87,72	58,175	33,67
Cotton	1800	25,58633	74,10	48,53367	49,10548
Soybean	1800	26,12452	75,23	34,5	34,726

explained by its lower heating values and also poor atomization can be caused by high viscosity and density.

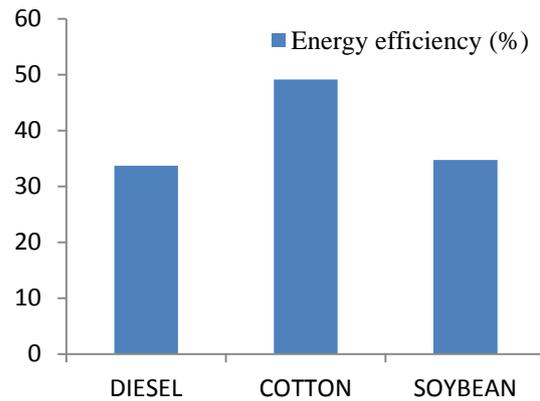
The energy supplying to the engine is known as energy input rate which contains heat loss and work rate and calculated by using mass flow rate and lower heating value of fuel as shown in Figure 4. Supplied energy to the control volume is direct proportional with lower heating value fuel; heating of value of diesel fuel is higher than those of the cotton and soybean due to the higher input rate.

Figure 5 presents the energy input rates of diesel fuel and biodiesel. Heat loss can be calculated by subtracting the useful work rate from supplied energy by fuel energy input rate. Biodiesels have more oxygen content than diesel fuel. This means better combustion and obtaining higher temperature in cylinder.



**Figure 5.** Total heat loss values of diesel fuel and biodiesels

Figure 6 shows energetic efficiencies (thermal efficiency or 1st law efficiency) of engine by using various fuels at a certain engine speed comparatively. Thermal efficiency is the measure of how efficiently energy input is converted to useful work in engine. This means that the ratio of work rate to energy input rate gives energetic efficiency. As can be seen from the Figure 6, more efficient conversion occurs in engine with diesel fuel usage.



**Figure 6.** Energy efficiencies of diesel fuel and biodiesels

The results obtained from exergy (second law) analysis are given both in Table 13.

Figure 7 shows input exergy rates of fuels (fuel exergy) at a certain engine speed comparatively. Since specific flow exergy in input exergy rate contains lower heating value of fuel, similar trend with energy input rates of fuels was obtained as expected. Cotton and soybean biodiesels has 1,23% and lower input exergy rate value than that of diesel fuel.

**Table 13.** Results of second law analysis for various fuels

Fuel	Engine speed (rpm)	Input exergy rate (kW)	Output exergy rate (kW)	Work exergy rate (kW)	Exergy rate related with heat transfer (kW)	Exergy Destruction (kW)	Exergy efficiency (%)
Diesel	1800	93,49	32,01	29,5440	2,046	29,89	31,6
Cotton	1800	87,3	33,46	25,5863	2,66	52,6	29,3
Soybean	1800	78,9	34,1	26,12452	2,97	49,8	29,7

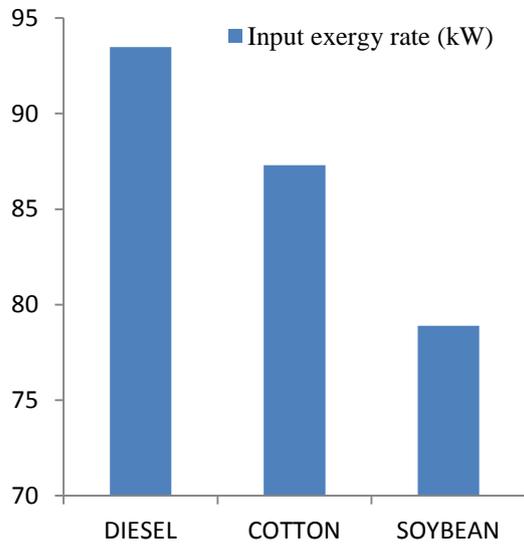
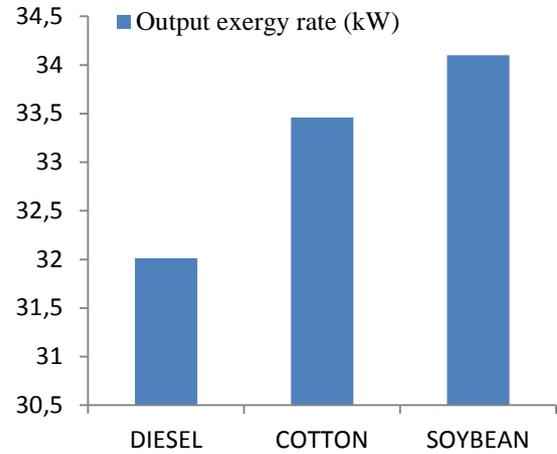
**Figure 7.** Input exergy rate values of diesel fuel and biodiesels

Figure 8 gives the output exergy rates of fuels at a certain engine speed. Output exergy contains all of the output exergy of exhaust gases (both thermo-mechanical and chemical) and consists of notable amount of input exergy (i.e. 23,69% of input exergy for diesel fuel).

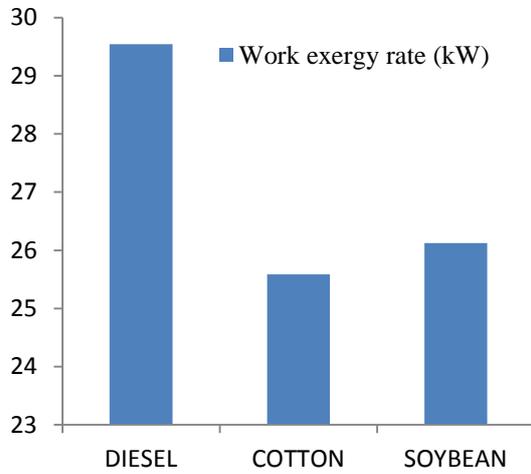
Work exergy rate values of diesel fuel and biodiesels are given in Figure 9. The exergy is defined as the maximum extractable work potential; exergy work rate can be defined as work rate.

**Figure 8.** Output exergy rate values of diesel fuel and biodiesels

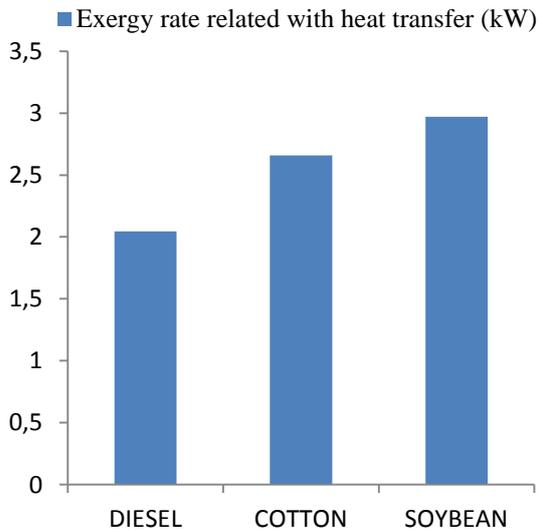
Therefore, similar graph was given here as showed previously for work rate in exergy analysis.

Figure 10 shows work exergy rate values of diesel fuel and biodiesels. Exergy rate associated with heat transfer is function of ambient temperature (dead state temperature), cooling water temperature (inlet and outlet) and heat transfer rate through cooling water.

The highest heat loss exergy was obtained in soybean biodiesel due to cooling water effect. Exergy destruction values were shown in Figure 11.



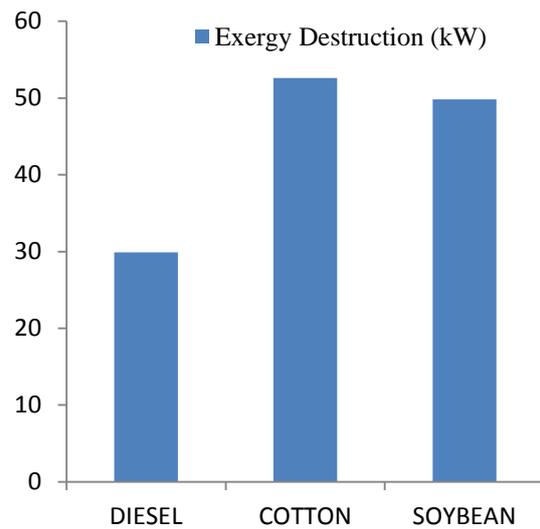
**Figure 9.** Work exergy rate values of diesel fuel and biodiesels



**Figure 10.** Exergy rate related with heat transfer values of diesel fuel and biodiesels

In an internal combustion engine; heat transfer, friction, mixing and combustion itself cause destroying of usable, available energy which is named as exergy. This all irreversible processes in

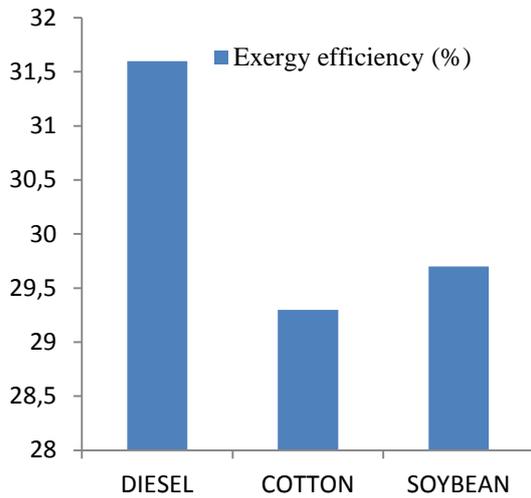
internal combustion engine destroy notable amount of input exergy of the fuels. This part of exergy can't be converted any useful work. Exergy destruction can be found by subtracting output exergy values from the input exergy values. This difference gives us destroyed part of exergy. Moreover, it can be calculated by multiplying dead state temperature (298 K) with generated entropy [13]. This means exergy destruction is directly proportional with generated entropy. High temperature in engine means increasing of entropy. Containing more oxygen content of biodiesel causes the high temperature than that of diesel fuel in cylinder. Therefore, exergy destruction rates of biodiesel are bigger than that of diesel fuel.



**Figure 11.** Exergy destruction values of diesel fuel and biodiesels

Exergetic efficiencies (2<sup>nd</sup> law efficiency) of engine by using various fuels at a certain engine speed are given in Figure 12 comparatively. Exergy efficiency can be found as the ratio of the exergy work rate to the fuel energy input rate. Exergy efficiency of the cotton and soybean biodiesels is 24,9% lower than diesel fuel. There is an opposite trend between exergy destruction and exergetic efficiency. When the amount of

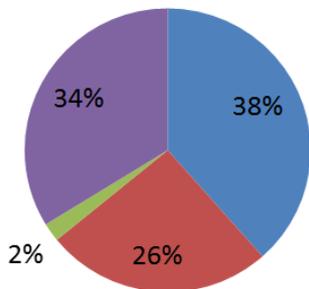
exergy destruction increases exergetic efficiency decreases as expected. So, they are inversely proportional.



**Figure 12.** Exergy efficiency values of diesel fuel and biodiesels

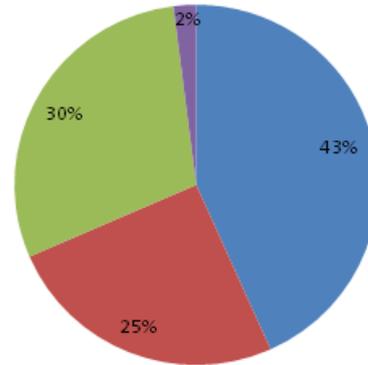
Figures13-15 shows the breakdown of fuel exergy by percent of each fuel. It can be clearly seen and it gives considerable important information about the conversion of given input fuel exergy to other exergy forms. Output exergy rate, exergy rate related with heat transfer and exergy destruction values of cotton and soybean biodiesels are higher than those of diesel fuel.

■ Exergy Destruction  
 ■ Output Exergy Rate  
 ■ Exergy Related with Heat Transfer  
 ■ Work Exergy Rate



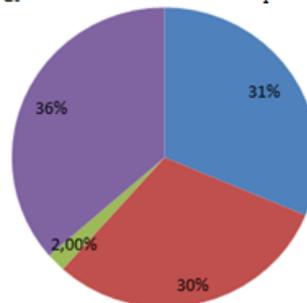
**Figure 13.** Distribution of exergy for diesel

■ Output exergy rate  
 ■ Exergy related heat transfer  
 ■ Work exergy rate  
 ■ Exergy destruction



**Figure 14.** Distribution of exergy for cotton Biodiesel

■ Work exergy rate  
 ■ Exergy related heat transfer  
 ■ Exergy destruction  
 ■ Output exergy rate



**Figure 15.** Distribution of exergy for soybean biodiesel

#### 4. CONCLUSIONS

Exergy is a way to a sustainable development. In this regard, exergy analysis is a very useful tool, which can be successfully used for the performance evaluation of and all energy-related systems. It is an effective method using the conservation of mass and conservation of energy principles together with the second law of thermodynamics for the design and analysis of energy systems.

In this study, emissions results of diesel engine fueled with various fuels were used in order to perform energy and exergy analysis. Some fuels such as diesel, cotton and soybean were compared with respect to their energetic and exergetic performance. In conclusion, diesel fuel was the best energetic and exergetic efficiency than biodiesels of cotton and soybean. Comparing two biodiesels of cotton and soybean for in case of energetic and exergetic performance, there was a little difference. These analyses can also be applied to the other fuels.

## 5. REFERENCES

1. Elkady, M. F., Zaatout, A., Balbaa, O., 2015. Production of Biodiesel from Waste Vegetable Oil via KM Micromixer. *Journal of Chemistry*, 1-9.
2. Marchetti, J.M. Miguel, V.U. 2007. Errazu, A.F., Possible Methods for Biodiesel Production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11:1301-11.
3. Aransiola, E.F., Ojumu, T.V., Oyekola, O.O., Madzimbamuto, T.F., Ikhu-Omoregbe, D.I.O., 2014. A Review of Current Technology for Biodiesel Production: State of the Art. *Biomass and Bioenergy*, 61:276-297.
4. Ozkan, M., Ozkan, D.B., Ozener, O., Yilmaz, H., 2013. Experimental Study on Energy and Exergy Analyses of a Diesel Engine Performed with Multiple Injection Strategies: Effect of pre-injection timing. *Applied Thermal Engineering*, 53:21-30.
5. Tosun, E., 2013. Energy and Exergy Analysis of a Diesel Engine. Cukurova University, Institute of Natural and Applied Sciences, MSc Thesis, Adana.
6. Dincer, I., 2002. The Role of Exergy in Energy Policy Making. *Energy Policy*, 30:137-149.
7. Hepbasli, A., 2008. A Key Review on Exergetic Analysis and Assessment of Renewable Energy Resources for a Sustainable Future. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12:593-661.
8. Reddy, A.V., Kumar, T.S., Kumar, D.K.T., Dinesh, B., Santosh, Y.V.S.S., 2014. Energy and Exergy Analysis of I.C. Engines. *The International Journal of Engineering and Science*, 3:07-26.
9. Sezer, I., Bilgin, A., 2013. Effects of Charge Properties on Exergy Balance in Spark Ignition Engines. *Fuel* 2013, 112:523-30.
10. Saidur, R., Boroumandjazi, G., Mekhilef, S., Mohammed, H.A., 2012. A Review on Exergy Analysis of Biomass Based Fuels. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16:1217-22.
11. Sayin, C., Hosoz, M., Canakci, M., Kilicaslan, I., 2007. Energy and Exergy Analysis of a Gasoline Engine. *International Journal of Energy Research*, 31:259-73.
12. Heywood, J.B., 1988. *Internal Combustion Engine Fundamentals*. New York: McGraw-Hill.
13. Caliskan, H., Tat, M.E., Hepbasli, A., 2009. Performance Assessment of an Internal Combustion Engine at Varying Dead (Reference) State Temperatures. *Applied Thermal Engineering*:29:3431-36.



## Konfeksiyon İşletmesinin Verimliliği için İş Etüdü Tekniği Kullanımı

Zehra KUMAŞ<sup>1</sup>, Emel Ceyhun SABİR<sup>\*1</sup>, Pınar DURU BAYKAL<sup>1</sup>

Ç.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 18.01.2016

Kabul tarihi: 26.05.2016

### Özet

Bu çalışmada seçilmiş bir konfeksiyon işletmesinde İş Etüdü çalışması yapılmıştır. Çalışma kapsamında bir pantolon üretim süreci incelenmiştir. Çalışmada amaç; konfeksiyon işletmelerinde seçilmiş bir ürün için üretimdeki tüm işlerin dizgisel olarak kaydedilmesi ve verimsiz sürelerin ortadan kaldırılmasının araştırılmasıdır. İş etüdü metodu seçilen pantolon üretim süreci için konfeksiyon işletmesinin tüm proseslerine uygulanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** İş etüdü, Konfeksiyon, Verimlilik, Üretim yönetimi

### The Using of Work Study Technique for Process Productivity of Apparel Plant

### Abstract

In this study, Work Study has been done at a selected apparel company. A pants manufacturing process were examined. The purposes of the study are registering for typographical all jobs for a selected product in its manufacturing and investigating the elimination of unproductive times in the garment plants. Work study methods were applied to the entire process of garment enterprises selected for trousers production process.

**Keywords:** Work study, Apparel, Productivity, Production management

---

\* Yazışmaların yapılacağı yazar: Emel Ceyhun SABİR, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Adana. emelc@cu.edu.tr

## 1. GİRİŞ

Günümüzde verimlilik rekabetin en önemli unsurlarından birisi haline gelmiştir. Verimlilik kavramının bu denli öneme sahip oluşu hazır giyim işletmelerinde verimsizliği ortaya çıkaran nedenlerin araştırılması ve devamında bunların çözümüne yönelik çalışmalar yapılmasını zorunlu hale getirmiştir. Verimlilik kavramının öneminin giderek artması verimlilik ölçümüne de gereken önemin verilmesini sağlamıştır. İşletmeler yönünden verimliliğin doğru olarak ölçülebilmesi kaynakların etkin olarak kullanılıp kullanılmadığını göstermesi yönünden önemlidir [1]. Kaynaklar her geçen gün azalırken, ihtiyaçlar sürekli olarak artmaktadır. Bu da işletmelerde kaynakların verimli kullanılması gereğini arttırmaktadır [2].

Tüm işletmelerde olduğu gibi hazır giyim işletmelerinde de verimsizliği ortaya çıkaran 3 temel faktör söz konusudur. Bunlar üretim faktörleri olarak adlandırılan; insan, makine ve malzeme olarak sıralanabilir. Üretim faktörlerinin birbirleriyle etkileşim halinde bulunmaları süreci incelendiğinde bu faktörlerin her birinin ayrı ayrı optimum verimliliği sağlayacak şekilde bir araya gelmeleri gerekmektedir. Çünkü her durumda bu 3 faktörden birinde karşılaşılan sorun diğerlerinin de verimliliğini olumsuz yönde etkileyecektir [3]. Uygulamada, verimlilik artışı sağlamaya yönelik pek çok etkili yöntem mevcuttur. İş etüdü tekniği, bu tekniklerden biridir ve bünyesinde “Metot Etüdü” ve “İş Ölçümü” tekniklerini barındırmaktadır. İş etüdü, üretim faktörlerinin kullanım etkinliğini yükseltmekte ve özellikle emeğin verimliliğini arttırmada yaygın şekilde kullanılmaktadır. Ayrıca zaman etüdü tekniğinin maliyetinin oldukça düşük olmasına karşın yüksek verimlilik artışları sağlayabilmesi de bu tekniği özellikle küçük boyutlu işletmeler için gerekli ve faydalı kılmaktadır [2].

İş etüdü çok az bir sermaye ile veya hiç sermaye yatırımı yapmaksızın, belirli miktardaki kaynaklardan elde edilecek çıktı miktarını arttırmaya yönelik çalışmalar için kullanılmaktadır. Metot etüdü, insanın performans

ve gereksinimlerini de dikkate alarak, iş sistemlerinin amaca uygun organizasyonu yoluyla, insan, üretim aracı ve üzerinde çalışılan nesne arasında göreve uygun bir ortak etkimenin sağlanmasıdır. İş ölçümü ise; nitelikli bir işçinin, belli bir işi, standart bir çalışma hızıyla yapması için gereken zamanı saptamak amacıyla geliştirilmiş tekniklerin uygulanmasıdır [4]. İş etüdü çalışmalarında iş kapsamının çok iyi belirlenmesi gerekir. Kapsam net olarak ortaya konulduğunda incelenen sistemin tüm bileşenlerini belirlemek daha kolay olacaktır [5]. Konfeksiyon işletmelerinde; montaj hattı dengeleme, verimlilik, standart zaman ilişkisi konularında iş etüdü tekniğinin kullanıldığı görülmektedir.

Cömert M., Doba Kadem (2015), çalışmalarında seçilmiş bir konfeksiyon işletmesinde farklı desenli iki çift pantolonun dikim prosesini incelemişlerdir. Giysilerin dikim hattı için zaman ölçümü ve proses analizi yapılmıştır. Pitch time hesaplanmış, Pitch şeması oluşturulmuş, proses analizinde dar boğazlar tespit edilmiş ve ilgili çözüm önerileri sunulmuştur [6]. Duru Baykal ve Tunç (2011), çalışmalarında bornoz üretiminin dikim sürecinde zaman ölçümü ve proses analizi yapmışlardır. Pitch Time hesaplanmış, Pitch şeması oluşturulmuş, proses analizinde dar boğazlar tespit edilmiştir. Dar boğazların giderilmesine ve dikim bandı verimliliğinin artırılmasına yönelik çözüm önerileri sunulmuştur [7]. Sabır ve Dönmez (2013), iplik işletmesinde verimlilik çalışmasında iş etüdü tekniğini kullanmışlardır. Etüt sonunda ring prosesinin iş kapsamının %80 azaltılabileceği öneriler ortaya konmuştur [8]. Eryürük (2005), çalışmasında bir konfeksiyon işletmesinde iki adet sezgisel yöntem kullanarak montaj hattı dengeleme yaparak verimlilik düzeyini yükseltmiştir [9]. Çağan (2007), çalışmasında hazır giyim sektöründe standart zaman-verimlilik ilişkisi ve bilgisayar destekli standart zaman tespiti çalışmalarını karşılaştırarak değerlendirmiştir [10].

Bu çalışmada seçilmiş bir konfeksiyon işletmesinde İş Etüdü çalışması yapılmıştır. Çalışma kapsamında bir pantolon üretim süreci bütün olarak incelenmiştir. Çalışmada amaç; konfeksiyon işletmelerinde seçilmiş bir ürün için

üretimdeki tüm işlerin dizgisel olarak kaydedilmesi ve verimsiz sürelerin ortadan kaldırılmasının araştırılmasıdır.

## 2. MATERYAL VE METOD

### 2.1. Materyal

Bu çalışmada etüt edilen iş 400'ün üzerinde çalışanı olan bir konfeksiyon işletmesinin tüm aşamalarıdır. İşletmede günlük çalışma süresi 9,5 saat ve haftada 1 gün tatil olup, ayda 24 gün çalışılmaktadır. Konfeksiyon işletmesinin hangi bölümünde iyileştirme-geliştirme yapılmasına karar verebilmek için işletmede kumaşın depoya gelmesinden üretilen ürünlerin sevkiyat aşamasına kadar tüm proseslerdeki amaçlar iş etüdü tekniğine uygun olarak incelenmiştir. Seçilen konfeksiyon işletmesinde üretim iş akış şeması Şekil 1'de verilmiştir. İşletme planlama, kesim, dikim ve son işlemler şeklinde üretim akışına sahiptir.

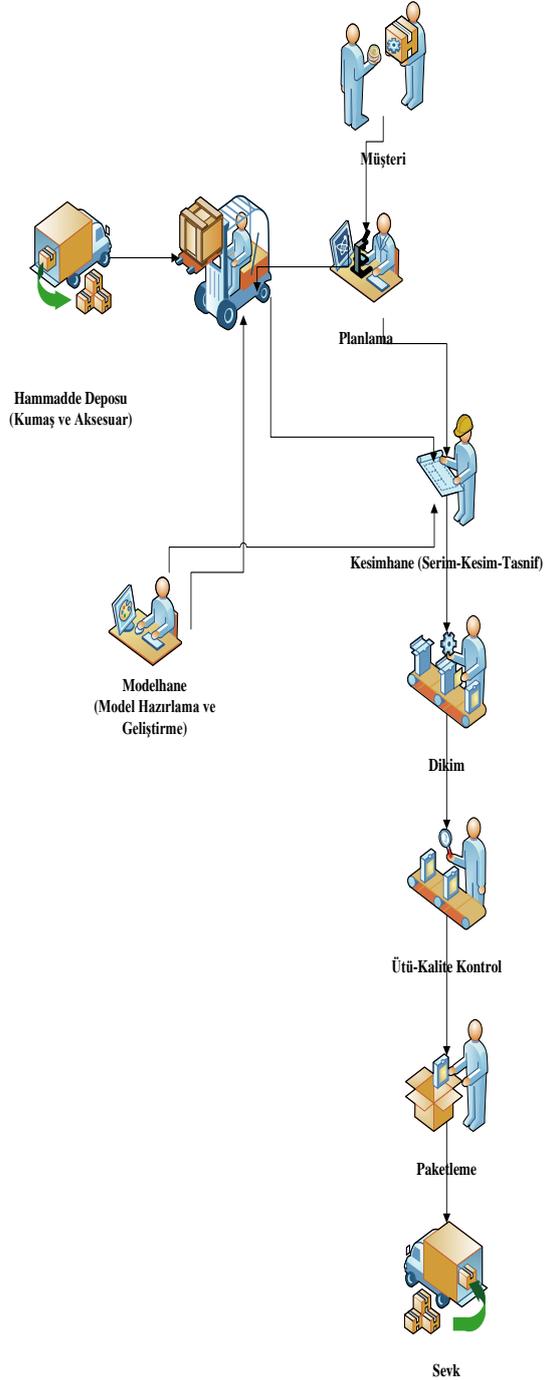
İşletmenin mevcut makine parkı Çizelge 1'de verilmiştir.

İş etüdü çalışmasında işletmede incelenen ürün erkek pantolonu olup, modeli şekil 2'de verilmiştir.

Pantolon kumaşı %97 pamuk, %3 elastan içeren düz renkte kumaştır. Model; 2 yan cepli, 2 arka çift fleto cepli düz renkte bir erkek pantolonudur. 38-40-42-44-46-48 olmak üzere 6 bedende üretim yapılmaktadır. Lacivert, ten rengi, siyah ve açık gri olmak üzere 4 renkte üretim yapılmaktadır.

### 2.2. Metod

Seçilen konfeksiyon işletmesinde iş etüdü tekniği uygulanmıştır. Seçilen iş, pantolon üretimidir. İşle ilgili tüm ana prosesler tespit edilmiş ve kayıt sistemi olarak iş akış diyagramları kullanılmıştır. İş etüdü basamakları Çizelge 2'de verilen sırada uygulanmıştır. Çalışmada iş etüdü için zaman ölçümü yapılmış ancak standart iş süresinin hesaplanması yapılmamıştır. Bu nedenle çizelgenin 5. basamağı çalışma kapsamı dışında tutulmuştur.



Şekil 1. Üretim iş akış şeması

Çizelge 1. İşletme makine parkuru

	Makine Adı	Makine Sayısı
KESİM HANE	Pastal Serme Makinesi	2 adet
	Kumaş Serme Makinesi	1 adet
	CUTTER	1 adet
	Kumaş Kesim Hızarı	2 adet
	Pres Makinesi	2 adet
	Pres Ütü	3 adet
DİKİM HANE	Düz Makine	149 adet
	Overlok Makinesi	44 adet
	Çift İğne Makinesi	21 adet
	Potriz Makinesi	16 adet
	Zincir Makinesi	3 adet
	Kemer Makinesi	2 adet
	Biye Makinesi	3 adet
	Göz İlik Makinesi	5 adet
	Köprü Otomatı	4 adet
	Köprü Makinesi	5 adet
	Düz İlik Makinesi	1 adet
	Flato Makinesi	7 adet
	Pens Makinesi	2 adet
	Diğer	21 adet
ÜTÜ	Vakumlu Üfleli Ütü	10 adet
	Vakumlu Ütü	21 adet
	Dikiş Açma Ütüsü	6 adet
	Kare Paskara Vakumlu	10 adet
	Kemer Paskarası Vakumlu	12 adet
<b>TOPLAM</b>	<b>353 adet</b>	



Şekil 2. Erkek pantolon modeli teknik çizimi

Çizelge 2. İş etüdü basamakları [3]

Sıra No	İş Etüdü Basamakları	İş Etüdü Faaliyetleri
1	Etüt edilecek işin ya da sürecin seçilmesi	
2	En uygun kayıt tekniğini kullanarak doğrudan gözlemlerle, oluşan her olayın kaydedilmesi	
3	Kaydedilen olayların eleştirilerek incelenmesi ve yapılan her faaliyetin sırası ile işin amacı, yapıldığı yer, yapılma sırası, yapan kişi, yapıldığı yol bakımından gözden geçirilmesi	-Seçim -Kayıt -İnceleme
4	Tüm koşullar göz önünde bulundurularak en ekonomik yöntemin geliştirilmesi	
5	Seçilen yöntemin kapsadığı iş miktarının ölçülmesi ve bu işin yapılması için gerekli standart zamanın hesaplanması	-Geliştirme -Ölçüm -Saptama
6	Yeni yöntemin ve bu yöntem için gerekli zamanın tanımlanması	
7	Yeni yöntem ve zamanın kabul edilmiş standart uygulama olarak düzenlenmesi	-Yerleştirme -Sürdürme
8	Yeni standardın iyi bir denetimle sürdürülmesi	

İşin mevcut çalışma metoduyla yapılışına dair bilgilerin kaydı aşamasında işlere ait bilgilerin sistematik bir şekilde toplanmasını sağlamak amacıyla çeşitli tekniklerden (grafik araçlardan) yararlanılır [3]. İş akış şemalarında yapılan etkinliklerin türünü gösteren simgeler Çizelge 3'de verilmiştir.

Çizelge 3. İş akış şemaları [3]

	<b>İşlem:</b> Süreç, yöntem ya da işlemdeki asal basamakları gösterir. İşlem sırasında herhangi bir parça, malzeme ya da ürün değişikliğe uğrar, düzeltilir.
	<b>Yoklama (Muayene):</b> Nitelik ve nicelikte ilgili olarak yapılan yoklamaları gösterir.
	<b>Taşıma:</b> İşçilerin, malzemenin ya da araçların bir yerden bir yere hareketlerini ya da taşınmalarını gösterir.
	<b>Gecikme (Boş Bekleme):</b> Olayların akışı sırasında oluşan gecikmeleri gösterir.
	<b>Sürekli Depolama (Stok):</b> Bir kayıt ya da yetkiye bağlı olarak malzemenin depoya girişi ya da çıkışındaki denetimli bir depolamayı gösterir.

### 3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

#### 3.1. İşin Tanımı

Etüt çalışması kumaş depo, modelhane, kesimhane, dikimhane, ütü-kalite kontrol ve paketleme olmak üzere işletmedeki 6 birime uygulanmıştır. İşletmede bulunan birimlerde gerçekleşen prosesler tek tek doğrudan gözlenerek, proseslerde gerçekleşen her bir işlem için ölçüm yapılmıştır. Genel olarak tüm işlemler için kronometre ile 5 ölçüm yapılarak ortalama süre bulunmuştur. Ayrıca işlemleri gerçekleştiren işçi sayıları ve cinsiyetleri de gözlemlenmiştir. İşlem yapımı sırasında kullanılan makine, taşıyıcı gibi kaynaklar da gözlemlenerek analiz edilmiştir. İşletmede zaman kaybına neden olan işlemleri ya da gereksiz olan işlemleri iyileştirmek için iş akış şemaları oluşturulmuştur. Yapılan etkinlikler işlem, taşıma, gecikme, yoklama ve depolama olarak ayrılmıştır. İşletmedeki birimler için tek tek iş akış şeması oluşturularak süreçler analiz edilmiştir.

#### 3.2. Mevcut Durum Etüt Çalışması

Konfeksiyonda iş etüdü yapılan bu çalışmada incelenen ana prosesler; Kumaş Depo, Modelhane, Kesimhane, Dikimhane, Ütü-Kalite Kontrol, Paketleme şeklindedir. Çalışmada Tablo 3'de verilen semboller kullanılarak Şekil 3'deki gibi etüt tabloları oluşturulmuştur. Her ana prosesdeki tüm ana ve alt işlemler tespit edilmiş ve bu tablolara kaydedilmiştir. Kayıt edilen ana proseslerin ve alt proseslerin işlenmiş bulunduğu bu etüt formları çok yer kaplayacağından verilmemiş olup, sadece özet tablolar oluşturulmuştur. Tüm özetler Çizelge 4'de verilmiştir. Çizelge 4'de Çizelge 3'de gösterilen alt etkinliğin tanım kısmı bulunmamakta olup, sadece alt işlem (operasyon) sayısı yer almaktadır. Veriler çok fazla olduğundan bu yola gidilmiştir. Çizelge 4'de işlem türü kısmında sadece ana işlemin türü işaretlenmiştir. Ana ve alt işlemlerin tümü için elde edilen detaylı bilgiler ise Çizelge 5'de görülmektedir.

İŞ AKIŞ SEMASI		Etkinlik	Mevcut	Önerilen	Artırım		
Konu:		İşlem					
İş: Süreç Analizi		Taşıma					
Yöntem:		Gecikme					
Mevcut/Önerilen		Yoklama					
Yer:		Depolama					
İşçiler:							
Hazırlayan:		Toplam Zaman (dakika)					
Sıra No	Alt işlem adı	Alt Etkinliğin Tanımı	Süre (saniye)	Etkinlik türü			Açıklamalar
1				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
3				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
4				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
5				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
6				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
7				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
8				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
9				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
10				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
....				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
TOPLAM							

Şekil 3. Etüt formu

**Kumaş Depo Mevcut Durum Analizi:** Üretilen model için sipariş edilen kumaş topları kumaş depoda depolanmaktadır. Planlamaya göre belirlenen metrajda kumaşlar depodan karşılanmaktadır. Kumaş depoda toplam 9 etkinlik yapılmakta olup, 6 etkinlik işlemdir. Kumaş toplarının tırdan indirilerek depoya taşınması gerçekleştirilerek 1 taşıma yapılmıştır. Depoya gelen kumaş toplarının kontrolü için kumaş eni ölçülmektedir. Kumaş eni ölçümü ile 1 yoklama yapılmıştır. Kumaş toplarının çıkış işlemi

yapılana kadar kumaş depoda stoklanmaktadır. Kumaş toplarının depoda beklemesi ile 1 depolama yapılmıştır. Kumaş depoda harcanan toplam zaman 0,89 dakikadır.

**Modelhane Mevcut Durum Analizi:** Modelhane bölümünden kesimhane bölümüne pastal planı ve kalıp planı verilmektedir. Modele göre planlar bilgisayar programında hazırlanarak çıktısı alınmaktadır. Modelhanede pastal planı hazırlama sırasında 3 işlem gerçekleşmektedir. Pastal planı hazırlama işlemi 120 dakika sürmektedir.

**Kesimhane Mevcut Durum Analizi:** Kesimhane bölümü serim-kesim-tasnif bölümlerinden oluşmaktadır. Pastal planına göre kumaş depodan kumaş temini yapılmakta ve serim işlemi gerçekleşmektedir. Serilen kumaş katları kesim bölümüne getirilmektedir. Kalıp planına göre kesim işlemi yapılmaktadır. Kesilen parçalar düzenlenmek amacı ile tasnif bölümüne getirilmektedir. Burada kesilen parçalara beden, parti ve kat numarasına göre metolama işlemi yapılmaktadır. Tasnif bölümünde ayrıca telalama işlemi de yapılmaktadır. Tasnif bölümünde mamulü oluşturan tüm parçalar eşlenmektedir. Kesimhanede serim-kesim-tasnif işlemleri sırasında toplam 38 etkinlik gerçekleştirilmektedir. En çok 30 işlem etkinliği yapılmıştır. Kumaş topunun kumaş depodan taşınması ve kesilen parçaların metolamaya ve telalamaya taşınması sırasında 6 taşıma yapılmıştır. Kumaş eni ölçümü ve kesimde ölçüm sırasında 2 yoklama gerçekleştirilmiştir. Gecikme ve depolama etkinlikleri bulunmamaktadır. Kesimhanede toplam zaman 52,82 dakikadır. Burada en çok zaman alan CUTTER'da kesim işlemidir. Makinede kesim işlemi 45 dakika sürmektedir. Diğer işlemler çok zaman almamaktadır.

**Dikimhane Mevcut Durum Analizi:** Dikim bölümünde bir modeli oluşturan tüm parçaların dikimi ve montajı yapılmaktadır. Dikimhanede dikim işlemleri sırasında çok zaman kaybı olmamaktadır. Dikim işlemi makine ile yapıldığından az zaman almaktadır. Zaman alan işlemler ise parçaların alınması ve işlem gören parçaların bırakılmasıdır. Ayrıca taşıma işlemleri

el ile gerçekleştirildiğinden en çok zaman alan işlemler taşıma işlemleri olmuştur. Dikimhanede toplam 294 etkinlik gerçekleştirilmektedir. Bunların 283 adedi işlem olup, 11 taşıma gerçekleştirilmiştir. Dikimhanede harcanan toplam zaman 16,91 dakikadır.

**Ütü-Kalite Kontrol Mevcut Durum Analizi:** Dikimi tamamlanan giysilere form vermek ve satışa hazır hale getirmek için ütü işlemi gerçekleştirilmektedir. Üretimden çıkan iş beklemeksizin bu bölüme sevk edilip işlem gördükten sonra son kontrol bölümüne gönderilmektedir. Üretimden çıkan giysilere temizlik ve ütü işlemi yapıldıktan sonra son olarak kontrol işlemi yapılmaktadır. Kalite kontrol bölümünde giysiler bir bütün olarak, optik ve teknik olarak, tek tek kontrol edilmekte ve %100 ölçüm yapılarak paket bölümüne sevk edilmektedir. Ütü-Kalite Kontrol biriminde 14 işlem, 4 taşıma olmak üzere toplam 18 etkinlik gerçekleştirilmektedir. Burada en çok zaman alan işler iplik temizleme ve kalite kontrol işlemleridir. Ürünler bir bütün olarak değerlendirildiğinden temizlik ve kontrol işlemleri zaman alıcı işler olmaktadır. Ütüleme işlemleri en az zaman alan etkinlikler iken, taşıma işlemleri ise daha fazla zaman almaktadır. Dikilen pantolonların taşınması el ile gerçekleştirilmektedir. Ütü-Kalite Kontrol biriminde harcanan toplam zaman 4,19 dakikadır.

**Paketleme Mevcut Durum Analizi:** Kalite kontrol biriminde kontrolü ve ölçümü yapılan ürünler paketleme bölümüne sevk edilmektedir. Paketleme bölümünde ürünler müşteri isteğine göre katlanarak ambalajlanmakta ya da askılı olarak poşetlenmektedirler. Ürün bir bütün olarak hazırlandıktan sonra kolilenerek yüklemeye hazır hale getirilmektedir. Müşteri isteklerine uygun olarak hazırlanan ürünler kolilenerek ya da askılı olarak yüklenecek sevkîyat işlemi gerçekleştirilmektedir. Paketleme-Ambalaj biriminde toplam 19 etkinlik gerçekleştirilmektedir. 17 etkinlik işlem olup, 2 etkinlik taşımadır. Burada en çok zaman alan iplik temizleme işlemidir. Ürünler müşteri isteğine göre ambalajlanıp paketlenildiğinden dolayı en son kontrol işlemi yapılmakta ve iplik temizleme işlemi zaman

almaktadır. Diğer zaman alan etkinlik taşımalarıdır. zaman alabilmektedir. Paketleme-Ambalaj Taşımaları el ile yapıldığından diğer işlemlere göre biriminde harcanan toplam zaman 2,20 dakikadır.

Çizelge 4. Mevcut durum tüm proseslerin iş akışı etüt formu

İŞ AKIŞ ŞEMASI			Ekimlik	Mevcut	Önerilen	Tasarruf	
Konu: Konfeksiyon Etüdü			İşlem	95			
İş Süreç Analizi			Taşıma	22			
Yöntem: Mevcut			Gecikme	0			
Yer:			Yoklama	1			
İşçiler:			Depolama	1			
Hazırlayan:			Zaman (dk)	197,01			
Departman	Sıra No	Ana İşlem Adı	Alt Operasyon Sayısı	Süre (dk)	İşlem Türü	Personel Profili/Sayısı	
Kumaş Depo	1	Kumaşın Depoya Alınması	4	0,46	○ → □ ▽	3 Erkek	
	2	Kumaş Eni Alma	4	0,43		2 Erkek	
	3	Kumaşın Depolanması	...	...		...	
	4	Pastal Planı Hazırlama	3	120,00		3 Bayan	
Modelhane	5	Kumaş Topunun Depodan Getirilmesi	...	0,14		1 Erkek	
	6	Elle Serim İşlemi	12	2,92		2 Bayan	
	7	Kesim İşlemi (Cutter)	6	47,21		1 Erkek	
	8	Kesilen Parçaların Taşınması	...	0,35		1 Erkek	
	9	Metolama İşlemi	4	0,69		3 Bayan	
	10	Metolanan Parçaların Taşınması	...	0,18		1 Bayan	
	11	Telalama İşlemi	4	0,17		3 Bayan	
	12	Metolanan Parçaların Taşınması	...	0,33		1 Bayan	
	13	Tela Ütülme	4	0,26		2 Erkek	
	14	Parçaların Taşınması	...	0,28		1 Bayan	
	15	Tela Pres	3	0,29		2 Bayan	
	Diki m h a n e	16	Parçaların Getirilmesi	...	0,56		1 Bayan
		17	Contaya Pens	4	0,10		1 Bayan
		18	Pens Ütülme	3	0,05		1 Erkek
		19	Sağ Conta Takma	4	0,12		1 Bayan
20		Sol Conta Takma	4	0,16		1 Bayan	
21		Araçlama	2	0,03		1 Bayan	
22		Parçaların Getirilmesi	...	0,53		1 Bayan	
23		Arka Cep Karşılığı Ütülme	4	0,08		1 Bayan	
24		Parçaların Getirilmesi	...	0,51		1 Bayan	
25		Fleto Ütülme	4	0,11		1 Erkek	
26		Parçaların Getirilmesi	...	0,43		1 Bayan	
27		Fleto Cep Yapma	6	0,13		1 Bayan/1 Erkek	
28		Parçaların Getirilmesi	...	0,34		1 Bayan	
29		Çimaya Çentik Atma	3	0,17		1 Bayan	
30		Sol Arka Fleto İç Çima	3	0,17		1 Erkek	
31		Sol Arka Cep Çiması	3	0,19		1 Erkek	
32		Sol Arka Cep Karşılığı	5	0,18		1 Erkek	
33		Sol Arka Cep Torbası	6	0,25		1 Bayan	
34		Sol Arka Cep Gazı Dikişi	3	0,23		1 Erkek	
35		Sol Arka Cep Çiması-Birit Atma	5	0,25		1 Erkek	
36		Sağ Arka Fleto İç Çima	3	0,18		1 Erkek	
37		Sağ Arka Cep Çiması	3	0,18		1 Bayan	
38		Sağ-Sol Arka Cep Ütülme	3	0,09		1 Erkek	
39		Sağ Arka Cep Karşılığı	5	0,14		1 Bayan	
40		Sağ Arka Cep Torbası	6	0,16		1 Bayan	
41		Sağ Arka Cep Gazı Dikişi	3	0,16		1 Erkek	
42		Sağ Arka Cep Çiması-Birit Atma	5	0,24		1 Erkek	
43		Sağ-Sol Arka Cep Tutturma	3	0,07		1 Bayan	
44		Arka Orta Çatma	4	0,23		1 Bayan	
45		Parçaların Getirilmesi	...	0,48		1 Bayan	
46		Pervaz ve Beden Kemerini Bir-Biye Tak.	...	0,19		1 Erkek	
47		Kemer Ütülme	3	0,10		1 Erkek	
48		Parçaların Getirilmesi	...	0,50		1 Bayan	
49		Kapalı Patlet Hazırlama	3	0,06		1 Bayan	
50		Patlet Hazırlama	2	0,04		1 Bayan	
51		Patlet ve Conta Yan Cep Çizme	5	0,27		1 Bayan	
52		Parçaların Getirilmesi	...	0,32		1 Bayan	
53		Ön Beden Overlok	3	0,07		1 Bayan	
54		Sağ-Sol Ön Cep Karşılığı	5	0,09		1 Bayan	
55		Ön Cep Pervazı	5	0,08		1 Bayan	
56		Sağ-Sol Ön Cep Overloğu	4	0,15		1 Bayan	





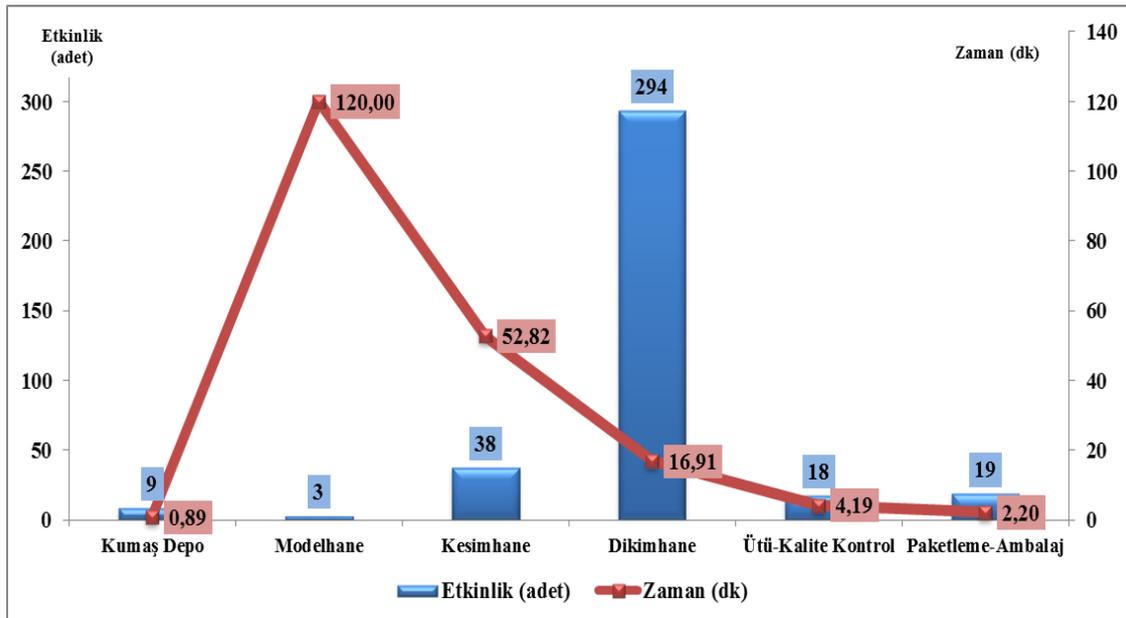
Mevcut sistemin ana prosesleri kendi aralarında karşılaştırılarak sistemin durumu ortaya koyulmuştur (Çizelge 5). Çizelgede ana prosesler, alt işlem sayısı, toplam etkinlik sayısı, etkinlik zamanı, etkinlik türleri ve personel sayısı görülmektedir.

**Çizelge 5.** Mevcut durum proses karşılaştırma

No	Ana Proses Adı	Alt İşlem Sayısı	Toplam Etkinlik Sayısı	Süre (dk)	Personel Sayısı	Etkinlik Türü				
						İşlem	Taşıma	Gecikme	Yoklama	Depolama
1	Kumaş Depo	3	9	0,89	5	6	1	0	1	1
2	Modelhane	1	3	120	3	3	0	0	0	0
3	Kesimhane	11	38	52,82	18	30	6	0	2	0
4	Dikimhane	86	294	16,91	89	283	11	0	0	0
5	Ütü- Kalite Kontrol	10	18	4,19	22	14	4	0	0	0
6	Paketleme	8	19	2,20	8	17	2	0	0	0
Toplam		119	381	197,01	145	353	24	0	3	1

Çizelge 5'e göre en çok işlem etkinliği olan ana proses dikimhanedir. En az işleme sahip ana proses ise modelhanedir. En çok taşıma etkinliğinin yapıldığı ana proses de dikimhanedir. Dikimhane bölümünde 283 işlem ve 11 taşıma etkinliği

yapılmıştır. En çok zaman alan proses ise modelhanedir. Şekil 4, ana proseslerin toplam etkinlik sayısı ile etkinlik sürelerini göstermektedir. Etkinlik sayısı ile etkinlik zamanı karşılaştırılmıştır.



**Şekil 4.** Etkinlik-Zaman karşılaştırması grafiği

Grafiğe göre en çok etkinlik dikimhane prosesinde gerçekleşmekte olmasına rağmen, dikim işlemleri çok fazla zaman almamıştır. Modelhane prosesinde etkinlik sayısı az olmasına rağmen toplam etkinlik zamanı ise çok fazladır. Önerilen sistemde dikimhane bölümünde bazı iyileştirmeler yapılarak ölçümleri yapılmıştır. Önerilen sistemde dikimhane prosesinde toplam etkinlik sayısı 285'dir. Önerilen sistemde 274 işlem gerçekleşmekte olup, 11 taşıma yapılmıştır.

Mevcut sistemdeki ana proseslerin iş kapsamı ve etkinlik türleri dikkate alınarak, iyileştirme çalışmasının dikimhanede yapılması gerektiği görülmektedir. Çizelge 6, beş farklı açıdan mevcut durumun değerlendirme sonucunu göstermektedir. Burada, "Başka ne yapılabilir?" sorusu varsa iyileştirme önerilerini ortaya koyacaktır. Önerilen durumda proses karşılaştırması ise Çizelge 7'de verilmiştir.

**Çizelge 6.** Dikim departmanında eleştirerek inceleme tekniğinin uygulanması

<b>AMAÇ</b>	Ne yapılıyor?	Pantolon dikim sürecinde taşımalar genel olarak elle yapılmaktadır. Operasyonlar üretime göre ön-arka ve birleştirme olmak üzere genel olarak üç bölüme ayrılmıştır. Bu bölümde sağ-sol kısım dikimi yapılarak kendi içinde ayrılmıştır. Operasyonlar bölüm bölüm gerçekleştirilmektedir.
	Niçin yapılıyor?	Yapılabilecek en iyi yöntem budur.
	Başka ne yapılabilir?	Verimlilik sağlanması açısından ve yeni bir maliyet oluşturmaması açısından işlem sıralarında değişiklik yapılabilir. Böylece zamandan tasarruf sağlanır.
	Ne yapılmalıdır?	İş, etüt edilerek departmanda yer alan ustabaşı, işçiler ve sorumlularla ne yapılabileceği hakkında toplantı yapılarak en iyi iş akışı belirlenmelidir.
<b>YER VE ÜRETİM ARACI</b>	Nerede yapılıyor?	Dikim işlemi dikimhane bölümünde büyük bant tipi kullanılarak yapılmaktadır.
	Niçin orada yapılıyor?	Model tipine uygun şekilde ön ve arka operasyonlar ayrılarak yan çatma operasyonunda birleşip montaj hattına girmektedir.
	Başka nerede yapılabilir?	Her departman ayrı olduğundan en uygun yer burasıdır.
	Nerede yapılmalıdır?	Yapılabilecek en uygun yer şu an yapılan yerdir.
<b>SIRA</b>	Ne zaman yapılıyor?	Dikime hazırlık işlemleri bittikten sonra dikim işlemi bölüm bölüm ve sırasıyla gerçekleştirilmektedir.
	Niçin o zaman yapılıyor?	Ön hazırlık ve arka hazırlık işlemleri bitmeden birleştirme işlemi yapılamayacağından üretimin eksiksiz gerçekleşebilmesi için belli bir sıranın takip edilmesi gerekmektedir.
	Başka ne zaman yapılabilir?	Ön-Arka hazırlık ve birleştirme kısımlarında üretim sırasında aksama yaşanmayacak şekilde kendi içinde işlem sırası değişimi ve birleştirme yapılabilir.
	Ne zaman yapılmalıdır?	Üretim sırası bozulmayacak şekilde en uygun, verimli olan zamanda yapılmalıdır.

Çizelge 6. (devamı)

<b>KİŞİ</b>	Kim yapıyor?	Her işi hem bayan hem de erkek yapabilmektedir. Genel olarak operasyonlarda 1 işçi çalışmaktadır.
	Niçin o kimse tarafından yapılıyor?	Dikim işlemi kişiye göre değişiklik gösterebilmektedir. Bayan veya erkek olması standart bir süre belirtmemiştir.
	Başka kim yapabilir?	<i>Hem bayan işçi hem de erkek işçi yapabilir.</i>
	Kim yapmalıdır?	Hem bayan hem de erkek işçi yapabilmektedir. Kesim gibi daha zor ve ağır parçaların taşınması gibi işleri erkek işçilerin yapması daha uygundur.
<b>YÖNTEM</b>	Nasıl yapılıyor?	Operasyonlar sırası ile gerçekleştirilmektedir. Dikim işlemi sırasında genel olarak tek el kullanılmaktadır. Sağ el ve sol el birlikte kullanılmamaktadır.
	Niçin o biçimde yapılıyor?	Dikim işleminde insan faktörü ön plandadır. İnsan kendi için en uygun şekilde işlemi gerçekleştirmektedir.
	Başka ne biçimde yapılabilir?	Üretimden sorumlu kişiler tarafından işçilere dikim işlemi sırasında hem sağ el hem de sol eli birlikte kullanması gerektiği, bu şekilde daha kısa sürede işlemleri gerçekleştirebileceği anlatılıp bu şekilde uygulama yapılabilir. İşlem sıraları yeniden gözden geçirilip en uygun işlem akışı belirlenebilir.
	Nasıl yapılmalıdır?	Operasyonlar en verimli olacak şekilde yeniden belirlenerek iş akışı sağlanmalıdır. İşlemlerin daha ergonomik ve kurallı olması için dengeli bir şekilde ve en kısa zamanda yapılması sağlanmalıdır.

Çizelge 7. Önerilen durumda proses karşılaştırma

No	Ana Proses Adı	Alt İşlem Sayısı	Toplam Etkinlik Sayısı	Süre (dk)	Personel Sayısı	Etkinlik Türü				
						İşlem	Taşıma	Gecikme	Yoklama	Depolama
1	Kumaş Depo	3	9	0,89	5	6	1	0	1	1
2	Modelhane	1	3	120	3	3	0	0	0	0
3	Kesimhane	11	38	52,82	18	30	6	0	2	0
4	Dikimhane	84	285	16,62	87	274	11	0	0	0
5	Ütü- Kalite Kontrol	10	18	4,19	22	14	4	0	0	0
6	Paketleme	8	19	2,20	8	17	2	0	0	0
Toplam		117	372	196,72	143	344	24	0	3	1

Proseslerde gerçekleşen işlemleri daha iyi anlamak için iki el süreç şeması çizilmiştir (Çizelge 8). Burada sağ elin ve sol elin yaptığı işlemler tek tek

analiz edilmiştir. Önerilen sistemde iyileştirilen işlemler için iki el süreç şeması hazırlanmıştır (Çizelge 9).

**Çizelge 8.** Mevcut sistem dikim işlemi iki el süreç şeması

İKİ EL SÜREÇ ŞEMASI		Etkinlik	Mevcut Sol El	Mevcut Sağ El	Önerilen Sol El	Önerilen Sağ El				
Konu: Dikim İşlemi		İşlem	12	10						
İş: Süreç Analizi		Taşıma	0	0						
Yöntem: Mevcut		Gecikme	4	6						
Yer: Dikimhane		Yoklama	0	0						
İşçiler:		Depolama	0	0						
Hazırlayan:		Zaman (dk)	0,32	0,30						
İşlem Adı	Sol El Tanım	Süre (sn)	Simge					Süre (sn)	Sağ El Tanım	İşlem Adı
			○	◻	◻	◻	▽			
Sağ-Sol Ön Cep Karşılığı	Astar alma	0,84	●					...	Boş	Sağ-Sol Ön Cep Karşılığı
	Boş	...						0,86	Cep karşılığı alma	
	Birleştirme	1,12	●					1,12	Birleştirme	
	Dikme	1,36	●					1,36	Dikme	
	Brakma	1,36	●					...	Boş	
Ön Cep Pervazı	Cep karşılığı alma	0,96	●					...	Boş	Ön Cep Pervazı
	Boş	...						0,82	Pervaz alma	
	Birleştirme	0,98	●					0,98	Birleştirme	
	Dikme	1,46	●					1,46	Dikme	
	Brakma	0,74	●					...	Boş	
Kapalı Patlet ve Fermuar Dikme	Parça alma	1,24	●					...	Boş	Kapalı Patlet ve Fermuar Dikme
	Boş	...						1,42	Patlet alma	
	Boş	...						1,72	Fermuar alma	
	Birleştirme	3,80	●					3,80	Birleştirme	
	Dikme	4,28	●					4,28	Dikme	
	Brakma	1,18	●					...	Boş	

İki el süreç şemasında sağ-sol ön cep karşılığı, ön cep pervazı ve kapalı patlet-fermuar dikme prosesleri yer almaktadır. Sol elin yaptığı 12 işlem varken, sağ elin yaptığı 10 işlem vardır. Sol el 4 kez boşta beklerken, sağ el ise 6 kez boşta beklemektedir. Sol elin yaptığı etkinliklerin toplam zamanı 0,32 dakikadır. Sağ elin yaptığı etkinliklerin toplam zamanı 0,30 dakikadır. Burada sol el sağ ele göre daha fazla etkinlik gerçekleştirilmektedir.

Süreç şemalarından yola çıkılarak mevcut sisteme alternatif önerilen sistem geliştirilmiştir. Alternatif geliştirilen sistem ile gerek görülen bazı işlemler birleştirilmiş, bazı işlemlerde ise sağ el-sol el sistemine göre değişiklik yapılmıştır.

- Çizelge 4’de dikimhane bölümünde 19. sırada yer alan sağ conta takma ve 20. sırada yer alan sol conta takma işlemleri birleştirilerek sağ-sol conta takma işlemi olarak tek bir işlem yapılmıştır.

- Çizelge 4’de dikimhane bölümünde 100. sırada yer alan arka cebe düğme dikme ve 101. sırada yer alan ön düğme dikme işlemleri birleştirilerek arka cebe ve öne düğme dikme işlemi olarak tek bir işlem yapılmıştır.
- Çizelge 8’de görüldüğü gibi mevcut sistemde sağ-sol ön cep karşılığı işleminde astar alma ve cep karşılığı alma etkinlikleri ayrı ayrı gerçekleştirilmektedir. Alternatif önerilen sistemde astar sol el ile cep karşılığı sağ el ile alınarak iki etkinliğin birlikte yapılması sağlanmış ve boş bekleme ortadan kaldırılmıştır.
- Çizelge 8’de mevcut sistemde ön cep pervazı işleminde cep karşılığı alma ve pervaz alma etkinlikleri ayrı ayrı gerçekleştirilmektedir. Alternatif önerilen sistemde cep karşılığı sol el ile pervaz sağ el ile alınarak iki etkinliğin birlikte yapılması sağlanmış ve boş bekleme ortadan kaldırılmıştır.

- Çizelge 8’de mevcut sistemde kapalı patlet ve fermuar dikme işleminde patlet alma ve fermuar alma etkinlikleri ayrı ayrı gerçekleştirilmektedir. Alternatif önerilen sistemde kapalı patlet sol el ile fermuar sağ el ile alınarak iki etkinliğin birlikte yapılması sağlanmış ve boş bekleme ortadan kaldırılmıştır.

**Çizelge 9.** Önerilen sistem dikim işlemi iki el süreç şeması

İKİ EL SÜREÇ ŞEMASI		Etkinlik	Mevcut Sol El	Mevcut Sağ El	Önerilen Sol El	Önerilen Sağ El				
Konu: Dikim İşlemi		İşlem	12	10	13	12				
İş: Süreç Analizi		Taşıma	0	0	0	0				
Yöntem: Önerilen		Gecikme	4	6	0	1				
Yer: Dikimhane		Yoklama	0	0	0	0				
İşçiler:		Depolama	0	0	0	0				
Hazırlayan:		Zaman (dk)	0,32	0,30	0,32	0,31				
İşlem Adı	Sol El Tanım	Süre (sn)	Simge					Süre (sn)	Sağ El Tanım	İşlem Adı
			○	⇒	D	□	▽			
Sağ-Sol Ön Cep Karşılığı	Astar alma	1,02	●					1,02	Cep karşılığı alma	Sağ-Sol Ön Cep Karşılığı
	Birleştirme	1,12						1,12	Birleştirme	
	Dikme	1,36						1,36	Dikme	
	Bırakma	1,36						1,36	Bırakma	
Ön Cep Pervazı	Cep karşılığı alma	0,96						0,96	Pervaz alma	Ön Cep Pervazı
	Birleştirme	0,98						0,98	Birleştirme	
	Dikme	1,46						1,46	Dikme	
	Bırakma	0,74						0,74	Bırakma	
Kapalı Patlet ve Fermuar Dikme	Patlet alma	1,06	●					1,06	Fermuar alma	Kapalı Patlet ve Fermuar Dikme
	Parça alma	0,76						...	Boş	
	Birleştirme	3,42						3,42	Birleştirme	
	Dikme	4,12						4,12	Dikme	
	Bırakma	0,94	●					0,94	Bırakma	

Önerilen sistemde sol el işlem sayısı 13 iken, sağ el işlem sayısı ise 12 işlemdir. Sağ el bir kez boşta beklemektedir. Sol elin toplam zamanı 0,32 dakika iken, sağ elin toplam zamanı 0,31 dakikadır. Burada sol el ile sağ elin etkinlik sayısı ve süreleri birbirine çok yakındır.

#### 4. SONUÇ

Bu çalışmada seçilmiş bir konfeksiyon işletmesinde bir pantolon için üretim prosesinin verimlilik analizi iş akış diyagramı ile iş etüdü yapılmıştır. İşletmede kullanılan makinelerde veya işletme genel tesis yerleştirmede herhangi bir değişiklik yapılmamıştır. Etüt işlemi proseslerde uygulanan işlemler üzerinde gerçekleştirilmiş olup işlem sıraları değiştirilmiş veya işlemler birleştirilmiştir. Çalışmada iş etüdü çalışmalarında kullanılan iş akış şemaları ile iki el süreç şemaları kullanılarak iyileştirilmesi gereken işlemler

belirlenmiş ve önerilen sistem oluşturulmuştur. Çizelge 9’da görüldüğü gibi dikimhanede işlem bazında 9 etkinlikten tasarruf yapılabilmektedir.

Her bir birimin mevcut sistemi incelenerek dikim bölümünde iyileştirilme yapılmasına karar verilmiştir. Çizelge 10’da görüldüğü gibi, dikim bölümünde mevcut sistemde toplam 294 etkinlik olup, bunların 283’ü işlem 11’i ise taşıma etkinliğidir. Mevcut sistemin toplam zamanı ise 16,91 dakikadır. Önerilen sistem için bazı işlemler kaldırılmış, bazı işlemler ise birleştirilmiştir. Önerilen sistemde toplam 285 etkinlik yapılmıştır. Bu etkinliklerin 274’ü işlem, 11’i ise taşıma etkinliğidir. Önerilen sistemde toplam zaman ise 16,62 dakika olmuştur. Bir adet pantolon üretimi başına 17,40 saniyelik (0,29 dakikalık) iyileştirme yapılmıştır. 1000 adetlik üretimde 290 dakika (yaklaşık 5 saat) şeklinde bir kazanım olacaktır.

**Çizelge 10.** Mevcut sistem ve önerilen sistem dikimhane prosesi etkinlik ve zaman karşılaştırması

Etkinlik	Mevcut Sistem	Önerilen Sistem	Artırım
İşlem	283	274	9
Taşıma	11	11	0
Gecikme	0	0	0
Yoklama	0	0	0
Depolama	0	0	0
Zaman (dk)	16,91	16,62	0,29

Mevcut sistem ile önerilen sistemin sadece iyileştirme yapılan operasyonları iki el etkinlik metoduna göre karşılaştırıldığında (Çizelge 11) dikimhane prosesinde mevcut sistemde sol el 12 işlem yaparken, sağ el ise 10 işlem yapmaktadır. Bu durumda sol elde 4 gecikme, sağ elde ise 6 gecikme mevcuttur. Önerilen sistemde sol elin ve sağ elin yaptığı işlem sayıları birbirine yakındır. Önerilen sistemde sol el 13 işlem yaparken, sağ el 12 işlem yapmaktadır. Sol elde herhangi bir gecikme olmazken, sağ elde 1 gecikme gerçekleşmiştir.

**Çizelge 11.** Mevcut sistem ve önerilen sistem dikimhane prosesi iki el etkinlik karşılaştırması

Etkinlik	Mevcut Sistem		Önerilen Sistem	
	Sol El	Sağ El	Sol El	Sağ El
İşlem	12	10	13	12
Taşıma	0	0	0	0
Gecikme	4	6	0	1
Yoklama	0	0	0	0
Depolama	0	0	0	0
Zaman	0,32	0,30	0,32	0,31

Çalışma sonucunda ek maliyet gerektirmeden yapılabilecek iyileştirmeler ortaya konmuştur. Maliyete neden olabilecek ancak verimliliği artıracak öneriler ise aşağıda belirtilmiştir.

#### Öneriler:

- İşletmede taşıma işlemleri genelde el ile yapılmaktadır. El ile yapılan taşıma işlemleri dikim sırasında çok fazla zaman almaktadır. Taşıma işlemleri için askılı taşıyıcı sistemlerin

kullanılması önerilmektedir. Bu çalışmada askılı taşıyıcı sistem için etüt çalışması yapılamamıştır. Ancak önceki çalışmalarda askılı taşıyıcı sistemlerin konfeksiyon işletmelerinde zamandan tasarruf sağladığı belirtilmiştir. Uygulama yapılan işletmede askılı taşıyıcı sistemlerin süreyi azaltacağı düşünülerek kullanılması önerilmektedir.

- İşletmede bant sistemi düz bant şeklindedir. Burada dikim bandında parçaların alınması sırasında operatörün parçaya uzanması hem zaman alıcı hem de yorucudur. Bant sisteminde çapraz bant sisteminin kullanılması önerilmektedir. Bu çalışmada çapraz bant sistemi için etüt çalışması yapılamamıştır. Ancak önceki çalışmalarda çapraz bant sisteminin üretim akışını hızlandırdığı ve operatörü çok fazla yormadığı belirtilmiştir.
- İş etüdü çalışmaları ergonomi ile bir bütünlük göstermektedir. Çalışma alanının ergonomik olması çalışanlar açısından çok önemlidir. Dikim bandında ergonomik sandalyelerin kullanılması, kontrol masalarının ergonomik olması gibi durumlar çalışanın verimini arttıracaktır.

## 5. KAYNAKLAR

1. Kanat, S., Güner, M., 2007. Tekstil ve Konfeksiyon İşletmelerinde Verimlilik Ölçümü, Tekstil ve Konfeksiyon, 17(4), 279-283.
2. Oğuz, F., 2007. İşletmelerde Verimlilik Artırımında İş Ölçümü Tekniği ve Bir Uygulama, Gazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
3. Kayar, M., 2008. Hazır Giyim İşletmelerinde Verimsizliği Ortaya Çıkaran Nedenlerin Araştırılması ve Bunların Çözümüne Yönelik Alan Çalışması, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tekstil Eğitimi Anabilim Dalı Doktora Tezi, İstanbul.
4. Akal, Z., 2004, İş Etüdü, MPM Yayınları, 29, Ankara.
5. Sabır, E., C., Bebekli, M., Zenbilci, A., 2014. Tekstil Terbiye İşletmesinde İş Akış Diyagramı ile İş Etüdü, Çukurova Üniversitesi

- Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 29(1), 81-88, Haziran.
6. Cömert, M., Doba Kadem, F., 2015. Dikim Bandında bir Proses Analizinin Uygulaması, Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 30(1), 151-166, Haziran.
  7. Duru Baykal, P., Tunç, M., 2011. Bornoz Dikiminde Üretim Yönetimi Üzerine bir Çalışma, Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 26(2), 9-17, Aralık.
  8. Sabır, E., C., Dönmez, U., 2013. İplik İşletmesinde İş Etüdü Uygulaması, Tekstil ve Mühendis, 20(92), 11-26.
  9. Eryürük, S., H., 2005. Bir Konfeksiyon İşletmesinde Montaj Hattı Dengeleme, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Mayıs, İstanbul.
  10. Çağan, S., 2007. Hazır Giyim Sektöründe Standart Zaman-Verimlilik İlişkisi ve Bilgisayar Destekli Standart Zaman Tespiti Üzerine bir Araştırma, Gazi Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Ankara.





## Bütünleşik Afet Yönetiminde Boyce-Codd Form Yöntemi ile GLIDE İçerikli Veritabanı Oluşturulması

İrfan MACİT\*<sup>1</sup>

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

Geliş tarihi: 18.01.2016

Kabul tarihi: 22.04.2016

### Özet

Gelişen şehir yaşamı afetlerin etkisinin daha fazla hissedilmesine neden olmaktadır. Afetler günlük hayatımızı istem dışı kesintiye uğratan doğa veya insan kaynaklı olaylardır. Nüfus yoğun olan yerleşim yerlerinde yaşayan insanlar afetlerden daha fazla etkilendiğinden afetler karşı mücadele etmenin önemi daha da artmaktadır. Afet öncesinde ve sonrasında değişik amaç ve hedefler içeren faaliyetler yapılmaktadır. Bütünleşik Afet Yönetimi (BAY) afet öncesinde toplanan verilerin afet sonrasında kullanılmasını sağlayan modern afet yönetimi tekniklerindedir. Bu çalışmada afet sonrasında kurtarma ve müdahale faaliyetlerinde kullanılacak bilgilere ait veritabanı tasarımı Boyce-Codd form yöntemi ile MySQL Workbench bilgisayar programı kullanılarak yapılmıştır. Çalışmada kullanılan GLIDE kodlama uluslararası afet tanımlama sistematığıdır. BAY Veritabanında GLIDE kodları tasarıma Kartezyen çarpımı yapacak şekilde eklenmiş ve iki seviyeli (Three-Tiered Layer) yaklaşım ile kullanıcı arabirim tasarımı oluşturulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Bütünleşik afet yönetimi, Afetlerde bilişim sistemi, Boyce-Codd veritabanı tasarımı

### Database Creation in Integrated Disaster Management with Boyce-Codd Form Method Including GLIDE Content

### Abstract

The more modern city life causes to feel more the effects of disasters. The disasters are involuntary natural or human-oriented events that interrupt our daily lives. Since the population living in high density is more affected by disasters, precautions against the disasters are getting more important. Some activities that include different purposes and goals are done after or before disasters happen. The Integrated Disaster Management (IDM) is one of the modern management techniques that enable use of the data collected in advance in the case of the disaster. In this study, the database related to the to be used in

---

\* Yazışmaların yapılacağı yazar: İrfan MACİT, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Adana. imacit@cu.edu.tr

rescue and relief operations after the disaster is designed with Boyce-Codd normal form method in MySQL Workbench database development environment. GLIDE coding used in the study is an international disaster definition systematics. In BAY database, GLIDE code is added to the design by the Cartesian product and a user interface with two-level layer approach is established.

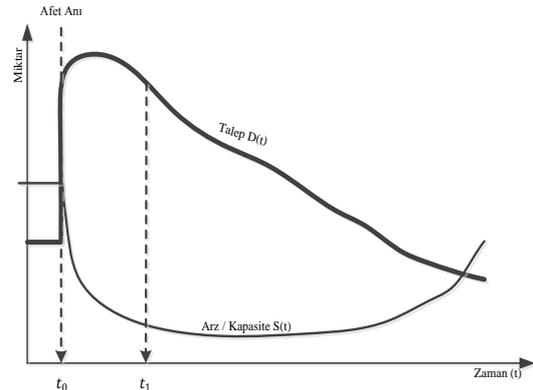
**Keywords:** Integrated disaster management, Disaster information systems, Boyce-Codd database design

## 1. GİRİŞ

Genel tanımı ile afet günlük hayatımızı istenmeden doğa veya insan kaynaklı olağandışı olaylar ile aniden kesilmesi şeklinde tanımlanabilir. Birleşmiş Milletler (BM) tarafından yapılan tanımda afet “insanlar için fiziksel, ekonomik ve sosyal kayıplara yol açarak aynı zamanda normal yaşamı kesintiye uğratan, ortaya çıktığı bölgedeki insanların kendi başlarına ve kaynakları ile başa çıkamayacakları doğal, insan veya teknolojik kaynaklı durum” olarak tanımlanmaktadır. Bu tanıma göre afet durumunun oluşabilmesi için birkaç istem dışı etken bir araya gelerek normal yaşamı kesintiye uğrattırır. Bu türden bir kesinti mühendislik problemleri açısından talebin aniden yükselmesi, sunulan mal ve hizmetlerin arzının kesintisi, altyapı hizmetlerinin kesintiye uğraması gibi problemleri ortaya çıkarmaktadır (Şekil 1).

Mühendislik problemleri afet öncesinde statik durum problemleri, afet sonrasında ise dinamik mühendislik problemleri olarak sınıflandırılabilir. Afet öncesinde yapılan planlar genellikle belirlenen durumların çeşitli senaryolar altında incelenmesini kapsamaktadır.

Afet sonrasında problemler dinamik olarak değişmektedir. Afet ortaya çıktığında daha önceden belirlenen senaryolar altında yapılan müdahaleler veya planlar genellikle yetersiz kalabilmektedir. Bu afet problemlerinin belirsiz durumlar altında gerçekleşmesinden kaynaklanmaktadır. - Dünyada ve ülkemizde afet öncesinde ve sonrasında yapılacak faaliyetler hakkında çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Afet yönetimi sınıflandırmasına göre afet



Şekil 1. Mühendislik problemlerinde ortaya çıkan arz/talep fonksiyon değişimi

öncesinde hazırlık ve zarar azaltma, afet sonrasında ise müdahale ve kurtarma aşamaları önem kazanmaktadır. Afet öncesinde yapılan hazırlık çalışmaları beklenen muhtemel durumlar hakkında faaliyet senaryolarını içermektedir. Bu senaryolara göre bir hastanenin  $t_1$  anındaki ihtiyaç duyulan yatak kapasitesi veya poliklinik hizmetlerinin beklenen yardım miktarı  $H_{t_1}$  eşitlik (1) yardımı ile hesaplanabilir. Bu eşitlikte  $D(t)$  t anındaki talep miktarı  $S(t)$  ise t anındaki kapasite miktarıdır.

$$H_{t_1}(t) = \int_{t_0}^{t_1} D(t)dt - \int_{t_0}^{t_1} S(t)dt \quad (1)$$

Teknolojinin gelişmesi ile daha önceleri sadece doğal kaynaklı olan afetlerin günümüzde insan veya teknoloji kaynaklı olduğu da gözlenmektedir. Daha önceleri doğal sonra insan kaynaklı olan afetlere bu gün artık teknolojik kaynaklı afetler de eklenmiştir. Teknoloji günümüzde afet kaynaklarından birisi olarak görülmesine rağmen aynı zamanda afetin etkilerini azaltmaya yardımcı olmaktadır. Afetlerde afetlerin tiplerine bağlı olarak çok sayıda bilgi üretilmektedir. Bu üretilen bilgilerin afet faaliyetlerinde sağlıklı ve etkin

kullanılabilmesi için doğru ve zamanında kaydedilmesi ve erişilmesine ihtiyaç vardır. Bilgiler afet öncesinde, afet sırasında veya hemen sonrasında üretilmiş olabilir. Bu bilgiler yardımı ile yapılacak olan afet ile ilgili faaliyetlerin daha etkin yürütülmesi sağlanır. Bahsedilen bu türden bilgilerin üretilmesi, saklanması, güncellenmesi veya silinmesi için çeşitli yöntemler veya araçlar bulunmaktadır. Bu araçlardan en önemlisi veritabanıdır.

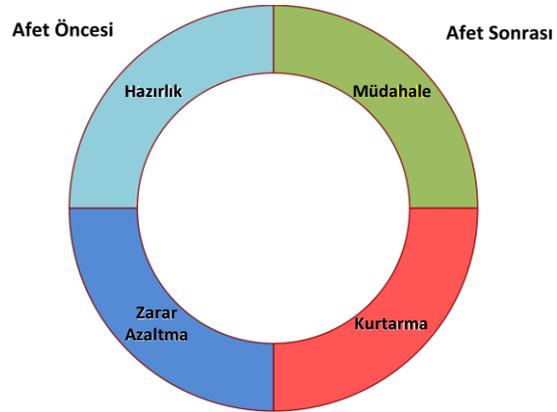
Veritabanı, veri ve/veya bilgileri belirlenen kurallar bütününe göre elektronik ortamda kayıt edilmesi, güncellenmesi ve silinmesi amacı ile elektronik ortamda saklayan kayıt sistemidir. Afet Yönetimi karşılaşılan veya karşılaşılmaması beklenen afetten en az etkilenmek için yapılan işlem veya eylemler bütünü olarak tanımlanabilir. Veritabanları afet yönetim sürecinde önemli rol oynar. Bilindiği gibi yönetim süreci genel olarak bir birine bağlı karar, planlama, örgütlenme, iletişim ve değerlendirme aşamalarından oluşan ve eylemler bütünü olarak tanımlanabilir [1].

Veritabanlarının ortak bir tasarım ile oluşturulması ve yönetilmesi bilgi kirliliğini de azaltacaktır. Afet sonrasında kimin hangi bilgiyi ne doğrulukta yaydığı belli olmamaktadır. Bu sebepten dolayı kaynağı belli olmayan bilgiler yüzünden etkin bir afet yönetimi yapılamamakta, acil ihtiyaçlar yerine zamanında ulaşamamakta, ulaşan yardım ve malzemeler yanlış veya eksik olabilmektedir. Genellikle medya üzerinden yayılan bilgilerin düzensiz ve denetimsiz olması nedeni ile bu durumlar ile karşılaşılmaktadır. Şüphesiz medyanın afet kurtarma, müdahale ve yardımlarındaki önemi tartışılmazdır. Fakat denetimsiz bilgi akışının olması bilgi kirliliği, bilgilerin tekrarlı olması gibi çok sayıda ve değişik nedenlerden dolayı etkin kurtarma faaliyetleri gerçekleştirilemeyebilir. Bu durumların önlenmesi, etkin bir afet yönetiminin sağlanması için bütünleşik afet yönetiminin oluşturulması ülkeler için gerekli ve zorunlu bir durum almıştır.

## 2. LİTERATÜR

Afetler ile ilgili çok sayıda akademik ve uygulama

çalışmaları yapılmaktadır. Bu çalışmalar genellikle afet öncesi ve afet sonrası olarak sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırmayı afet yönetimi altında incelemek daha güvenilir olarak kabul edilmektedir. Afet yönetim modelleri Afet Yönetimi Çevrimi (AYÇ) ile daha kolay anlaşılabilir [2]. Bu çevrimde afet öncesi ve sonrasında yapılması gerekenler açık olarak belirlenmiştir.



Şekil 3. Afet yönetimi çevrimi [2]

Afet öncesinde yapılan çalışmalarda hazırlık ve zarar azaltma faaliyetlerine, afet sonrasına yönelik yapılan çalışmalarda ise müdahale ve kurtarma faaliyetleri üzerinde yoğunlaşmaktadır [2]. Yöneylem Araştırması (YA) yaklaşımları kullanılarak afet ve etkileri konusunda çok çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Matematik modelleme yaklaşımları kullanılarak yerleşim problemleri, kaynak atama problemleri, lojistik problemlerini de içeren geniş bir problem alanı bu türden problemlerini çözmeye çalışmaktadır. Afet ve etkileri göz önüne alındığında, bu alanlara benzer ilk çalışmalar yerleşim konusunda yapılan çalışmalardır. Yerleşim problemleri teorik olarak ilk kez 1909 yılında Alfred Weber tarafından ortaya konmuştur [3]. Bu problemde bir depodan çok sayıda müşteriye dağıtım mesafelerinin nasıl en küçükleneceği yazar tarafından incelenmiştir. Daha sonra Hakimi [4], 1983 yılında otoyolda haberleşme ağı ile polis istasyonlarının yerlerinin belirlenmesi problemi ile literatüre yeni bir çalışma kazandırmıştır. Çok amaçlı yerleşim karar problemleri, çoklu yerleşim problemleri ve dağıtım

problemleri bunlara örnek olarak gösterilebilir [4]. Temel yerleşim problemleri basit küme kapsama (Basic Set Covering-BSC) problemi olarak da bilinmektedir. Bu problemde kısıtlar eklenince basit yerleşim kapsama modeline dönüşmektedir. Current ve arkadaşları yaptıkları küme kapsama modeli çalışmasında yerleşim problemleri için kesikli şebeke yerleşim (Discrete Network Location Problem) problemlerinin coğrafi analizini göstermişlerdir [5]. Medyan problemleri yerleşim problemlerinde sağlık alanındaki konularda daha fazla rastlanan matematik modeller içerisinde yer almaktadır. Medyan problemlerinde yerleşim yapılacak alanın sayılı (P) adet olması durumunda matematiksel model p-medyan modeli olarak anılır. Bu türden modellerde  $d_{ij}$  mesafe matrisidir ve  $x_j$  karar değişkenidir.

$$\text{En küçük } \sum_{j \in J} d_{ij} x_j \quad \forall i \in I \quad (2)$$

Kısıtlar altında:

$$\sum_{j \in N_i} x_j = P \quad \forall i \in I \quad (3)$$

$$x_j \leq y_i \quad \forall i \in I \quad (4)$$

$$x_j \in \{0,1\} \quad \forall j \in J \quad (5)$$

Burada amaç fonksiyon (2) yerleştirilecek olan P adet tesisin birbirine olan uzaklıklarını minimum olarak bulur. İlk kısıt (3) açılacak olan tesis sayısı kısıtıdır. Balinsky kısıtı olarak bilinen sadece açılacak olan tesislerden hizmet almayı (4) eşitliği sağlar. Son kısıtta (5) karar değişkeninin ikili tam sayı (BI-binary integer) olmasını sağlar. Bu amaç fonksiyonda uzaklık, kapasite ve süre gibi kısıtlar bulunmamaktadır. Tüm talep noktalarının kapsanması öngörülen bu tür modeller Kapasitesiz Tesis Yerleşim Problemleri (Uncapacitated Facility Location Problem-UCFLP) olarak tanımlanır. Bu bazı durumlarda istenmeyen yerleşim yerlerinin açılması ve maliyetin artması aylak kapasite kullanımı gibi sorunları da ortaya çıkarmaktadır. İstenmeyen bu durumların ortadan kaldırılması için çeşitli kısıtlar ekleyerek tüm alanların yerine talebin en yüksek olduğu, en az maliyet veya en çok kapasitenin karşılanması gibi problemlere çözüm aranabilir [6]. Basit küme kapsama modelleri ve yerleşim problemleri NP-Hard problemler olduğu Garey ve Johnson [7] tarafından incelenmiştir. Yerleşim problemler çok

sayıda alanda uygulanıp kullanılmaktadır. Elektrik santrallerinin kurulması Cohon ve ark [8], Acil servis istasyonlarının kurulacak yerlerinin belirlenmesi, Torgas ve arkadaşları [9], itfaiye istasyonlarının yer seçimi Rosing ve arkadaşları [10], araç muayene istasyonlarının yerlerinin belirlenmesi Hodgson ve arkadaşları [11] gibi çok sayıda yerleşim modelleri ile ilgili alanlarda yapılan çalışma bulunmaktadır. Afet konusu başlığı altında bir diğer konu da ülkemizde itfaiye istasyonlarının yerleşim yerlerinin belirlenmesi ile ilgili bazı çalışmalardır. Bu çalışmalar genellikle matematik modelleme yaklaşımları kullanılarak yapılmış çalışmalardır. Çatay ve ark. [12] İstanbul Büyükşehir Belediyesi İtfaiye Daire Başkanlığına bağlı birimlerin tek ve çok dönemli planlama problemini çözmüşlerdir. Yazarların çalışmasında küme kapsama modeline dayanan bir matematiksel model önerilmiştir. Modelin çözümünün zorlaştığı duruma ortaya çıktığında yazarlar sezgisel bir çözüm yöntemi önermişlerdir. İstanbul ili için yapılmış olan bir başka çalışmada Aktaş ve ark. [13] itfaiye istasyonlarının yerleşim yerinin belediye sınırlarının tamamını kapsamasının hedeflendiği çalışmada küme kapsama yöntemini kullanmışlardır. Bu çalışmada itfaiye takımlarının vaka müdahale süresinin en çok 5 dakika ile sınırlandırılması da öngörülmüştür. Yazarlar coğrafi bilgi sistemlerinden (CBS) yararlandıkları küme kapsama modeli oluşturmuşlardır.

Dünyada ve ülkemizde afetler ile ilgili çok sayıda çalışmalar yapılmış ve bu çalışmalar günümüzde de araştırılmaya devam etmektedir. Şimdiye kadar yapılan çalışmalarda afet yönetimi yaklaşımını yöneylem araştırması yöntemleri ile çözen modeller bulunmaktadır. Afet yönetimi ve etkilerini içeren problemlerde karşılaşılan çözümü zor modeller bilişim sistemlerinin yardımı ile daha kolay çözülmeye başlanmıştır. Bilişim ve bilgi teknolojileri sistemleri afetin ve etkilerinin çözümünde bilgisayar yazılımları kullanarak matematiksel modellerinin kolaylıkla geliştirilmesini ve çözümünü sağlamaktadır.

Afet yönetiminde bilişim sistemlerinin kullanımı ile ilgili literatürde birbirine ilgili çalışmalara rastlanmamaktadır. Genellikle bu çalışmalar coğrafi bilgi sistemleri (CBS), hastane bilgi

sistemleri (HBS) ve deprem bilgi sistemleri (DBS) anahtar kelimeleri ile rastlanmaktadır. Afet yönetimi ve bilişim sistemlerini beraber inceleyen çalışma alanı Bütünleşik Afet Yönetimi (BAY) yaklaşımıdır. BAY yaklaşımı daha yeni bir yaklaşım olması nedeni ile tam olarak standartları oluşmamıştır. Bu yaklaşımın en önemli bileşeni ise bilişim alanında verilerin saklanması, iletilmesi ve işlenmesi alanındaki eksikliklerdir. BAY veri saklanması konusunda yapılan çalışmalardan en fazla ilgi çeken çalışma Meissner ve ark. yaptığı [14] verilerin belirli bir iletişim ağı da nasıl haberleşeceği ve veri yönetimi ile ilgili olmaktadır.

Bu çalışmada afet yönetiminde bilişim sistemlerinin kullanımı ve bu yönetim sistemine yardımını içeren bir veritabanı sistemi tasarlanacaktır. Çalışmanın literatüre bilişim sistemleri ile afet yönetiminin arakesiti olarak katkısı olacağı öngörülmektedir.

### 3. MATERYAL VE METOT

Veritabanları bilgi ve belgelerin elektronik ortamlarda belirli bir düzene göre kaydedilmesi, güncellenmesi ve silinmesi işlemlerini gerçekleştiren kayıtlar olarak tanımlanabilir. Verilen bu tanıma göre afet yönetimi açısından veritabanları gerçekleşen olaylara ait verileri istenen veya belirlenen bir düzene göre elektronik ortamda saklayabilirler. Dünyada oluşan afetlerin kayıtlarının belirli bir düzene göre çeşitli organizasyonlar tarafından tutulduğu bilinmektedir. Dünyada ortaya çıkan afetlere ait verilerin CRED (Center for Research on the Epidemiology of Disasters) ve FEMA (Federal Emergency Management Agency) tarafından kaydedildiği ve istatistiklerinin hesaplandığı bilinmektedir. Bu veriler genellikle ham veri ve bilgilerden oluşturulmakta hükümetler, organizasyonlar ve araştırmacılar tarafından çeşitli amaçlar ile kullanılmaktadır. Görüldüğü gibi afet bilgileri ve afet veri bankası yapılacak olan araştırma ve istatistiklerde oldukça önemlidir. Üretilen afet raporlarında, hava tahminlerinde, deprem erken uyarı sistemlerinde oluşan afetlerin kayıtlarının önemi ortaya çıkmaktadır. Bilişim sistemleri günlük hayatımızın

kolaylaştıran bazı işlevleri ile de güvenli olmasına yardımcı olan bilgi ve bilgi işleme sistemleridir. Kurum içi kapalı bilgisayar ağlarında bilgilerin işlenmesi sadece bilgiyi işleyen kurumun kaynakları, bilgi düzeyi, sonuç çıkarma yeteneği ve işleme yeteneği ile sınırlı kalmaktadır. Bu sebepten dolayı afet verilerini elinde tutan kurumların çoğu bu bilgileri diğer kurum ve araştırmacılar ile paylaşarak bu verilerden yararlı bilgiler elde etmeye çalışmaktadır.

#### 3.1. Afetlerde Bilişim Sistemleri

Bilişim sistemlerinde verilerin işlenmesi bilgi işleyici bir araç yardımı ile olur Şekil 4. Veri işleme süreci olan bu süreçte veri ham olarak bir elektronik kayıt ortamında tutulmaktadır. Bu kayıt ortamından işlenecek olan veri, hedeflenen bilgi ortamına ve beklenen kurallara göre çeşitli işlemlerden geçirilir. Belirlenen bu kurallara göre işlem gören veri artık hedeflenen kayıt ortamına aktarılmaya hazırdır. Aktarılacak işlem gören veri artık bilgi olarak elektronik kayıt ortamına aktarılır veya rapor olarak üretilir.

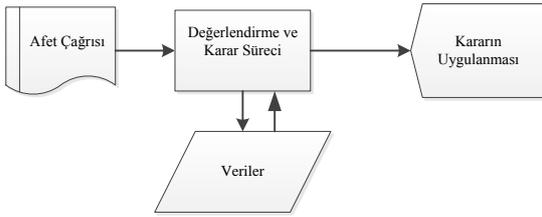


Şekil 4. Veri işleme süreci

Verilerin tutulduğu elektronik kayıt ortamları veritabanı olarak bilinen bilişim sistemleridir. Veriler işlenip bilgi olarak elde edildikten sonra yine aynı sistemler üzerine kaydedilebilir. Afet yönetim sisteminde kayıt edilmesi beklenen veriler afetlerin tipleri, oluştuğu yer bilgisi, saat ve tarihi, afetlerin tiplerine ait özellik bilgileri, etkilediği alanlar, beklenen durum ve sonuçları gibi temel bilgilerdir.

Klasik afet kurtarma faaliyetlerinde, afet çağrısı alındıktan sonra afet ile ilgili bilgilerin toplanması, değerlendirilmesi ve müdahale edilmesi süreçleri kağıt üzerinde alınan kararlara göre yapılmaktadır (Şekil 5).

Bilişim sistemlerinin afet yönetiminde kullanılması ile afet yönetim sisteminde yeni bir yaklaşım ortaya çıkmıştır. Bütünleşik afet yönetim sistemi olarak bilinen bu sistemde afet ile ilgili veriler bütün bilgisayar ve taşınabilir (mobil) sistemler arasında bilginin iletilmesine olanak sağlamaktadır.



Şekil 5. Klasik afet yönetimi karar süreci

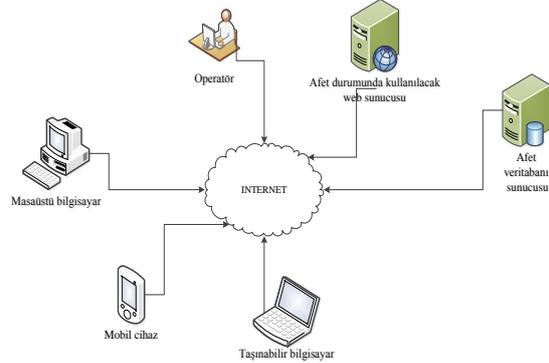
### 3.2. Bütünleşik Afet Yönetimi

BAY, afet öncesinde ve sonrasında ortaya çıkabilecek muhtemel durumlar için senaryoların üretilmesi, alternatif kararlar oluşturulması, karar vericilere daha etkin kararlar almasına yardımcı olma ve afet verilerinin güncel tutulması gibi çok sayıda fonksiyonu yerine getirmektedir. Bu türden fonksiyonları yerine getirirken elektronik ortamlardan, elektronik haberleşme sistemlerinden ve bilişim sistem yaklaşımlarından yararlanmaktadır. Afet ile ilgili bilginin afet yönetim sisteminde öngörülen kurallara göre işlenerek elde edilmesi ile bütünleşik afet yönetim sisteminden bahsedilebilir.

Bütünleşik Afet Yönetiminde verilerin tamamı veya bir kısmı dağıtık veri sistemlerinde tutulabilmektedir. Veritabanında kullanılan dağıtık sistemler verilerin birebir kopyasının başka bir bölgedeki sunucular üzerinde tutulması anlamına gelmektedir. Bu şekilde verilerin dağıtık sistemler üzerinde tutulması verilerin bir bölgedeki afet sonrasında verilerin kullanılmaması olması durumunda dağıtık alanlardan aynı verinin sağlanmasına olanak tanır. Aynı zamanda verilerin yedeklenmesi görevleri de bu sistem sayesinde sağlanmış olur. Böylece dağıtık sistemlerde veri güvenliği ve sistemin devamlılığı ile ilgili bazı riskler ortadan kaldırılmış olur (Şekil 6).

### 3.3. Afet Yönetimi Veritabanı Tasarımı

Afet yönetiminde kullanılacak veriler hemen ulaşılabilir, güvenli, gerçek zamanlı (güncel), hızlı



Şekil 6. Bütünleşik afet yönetim sistemi

ve doğru olmalıdır. Bu zorunluluğun nedenlerinde birisi afet sonrasında ihtiyaç olan verilere göre yapılacak planlamaların hataya ihtimal vermeden kullanılmasını sağlamaktır.

Deprem sonrasında yardım ve lojistik faaliyetlerinin organize edilmesi için bölgenin demografik yapısı, iletişim, yollar, bölgeye ait veya yakınındaki bölgelerin makine parkı gibi sayılamayacak kadar çok sayıda verinin tutulmasına ihtiyaç vardır. Bu verilerin tutulması için tasarımı çok iyi yapılmış, etkin çalışan ve güvenilir veritabanlarına ihtiyaç vardır. Veritabanı tasarımının en önemli özelliklerinden birisi olarak veritabanı normalizasyonu gösterilebilir [15]. Veritabanı normalizasyonu kullanılan veri tabloları üzerinde verilerin tekrarını önlemesinin yanı sıra, veritabanı bütünlüğünü gözönüne alır. Veritabanı tekrarını önlemek için ilişkisel cebir (Relational Algebra) olarak bilinen bir hesaplama yöntemini kullanır. İlişkisel cebir yöntemine göre Çizelge 1'de yeralan verilerin bir veritabanı tablosu olduğunu kabul edersek burada ilk sütun EMS 98 Şiddet ( $D_1$ ) ve ikinci sütun Tanımı ( $D_2$ ) ise veritabanına ait tablo alanlarının ilişkisel cebiri (Cartesian Product);

$$R = D_1 \times D_2 \quad (6)$$

eşitlik (1) gibi olur. Verilen bu tabloya göre  $D_1$  sütunu ile ilişkilendirilecek alanlar arasında çapraz sorgu oluşturulabilecektir. Kartezyen ilişkinin (Cartesian Pruduct) bu türden sorgulamadaki performansı da etkilediği bilinmektedir.

**Çizelge 1.** EMS 98 Sismik şiddet tanım tablosu

EMS 98	Tanım
<b>Şiddet</b>	
<b>XI</b>	Hasargörebilirlik sınıfı C olan çoğu bina 4. derece, birçoğu 5. derece hasarlıdır
<b>X</b>	Hasargörebilirlik sınıfı C olan çoğu bina 4. derece, birkaçı 5. derece hasarlıdır
<b>IX</b>	Hasargörebilirlik sınıfı C olan birçok bina 3. derece, birkaçı 4. derece hasarlıdır
<b>VIII</b>	Hasargörebilirlik sınıfı C olan birçok bina 2. derece, birkaçı 3. derece hasarlıdır
<b>VII</b>	Hasargörebilirlik sınıfı C olan birkaç bina 2. derece hasarlıdır

Verilerin n adet tablodan oluştuğunu ve her bir n adet tablonun m adet sütunu olduğu durumlarda Kartezyen ürün (Cartesian Product) önemi ortaya çıkmaktadır. Bahsedilen Kartezyen ürün kavramına göre veritabanı içerisinde yer alan tüm n adet tablonun m adet sütununun bir alt kümesi olması gerekir. Burada önemli olan nokta n adet tablo içerisindeki  $m_i$  'inci sütunun  $m_k$  sütunundan farklı olması gerekir. Aksi durumda  $m_i = m_k$  {i < k} tekrarlı sütunlarının olması veritabanının performansını olumsuz yönde etkileyecektir. Tekrarlı veri sütunlarının tasarım hatalarını engellemek için Normalize Form tasarımını kullanarak bu istenmeyen hatalardan kurtulabiliriz. BAY veritabanı tasarımı için Boyce-Codd Normal form (BCNF) tasarımını kullanılabilir. Boyce-Codd normal form ilişkisel veri şemaları arasında fonksiyonel bağımlılıkları dikkate alır. Sorgulama optimizasyonu yapılacak olan arama sorguları ve işlemlerinin beklenen en iyi zamanda yapılması işlemidir. Veritabanında yapılacak olan aramaların etki olarak tamamlanabilmesi için de çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Etkin veritabanı kullanımı ile

doğal afetlerin oluşması veya ortaya çıkmasının hemen ardından müdahale ve kurtarma faaliyetleri kısa sürede en az bilgi gereksinimi ile başlayabilir. Önceden tutulan veriler ile oluşturulacak faaliyet bilgileri kısa süre içerisinde işlenerek ihtiyaç olan mal ve hizmetler planlanabilecektir. Afetlerin veri sınıflandırılmasında GLIDE (Global unique disaster IDentifier) sistemi dünyada genel kabul görmüş sınıflandırma sistemidir. GLIDE ilk olarak Asya Afet Kurtarma Merkezi (ADRC Asian Disaster Reduction Center) tarafından önerilmiştir ve yaklaşık 20 uluslararası afet yardım, kurtarma organizasyonu ve araştırma enstitüleri tarafından kullanılmaktadır. GLIDE veritabanına bir olayın afet olarak kaydedilmesi için üye ülkelerin kendi bölgelerinde oluşan can kaybı ve yaralanma sayılarını belirlemeleri gerekir. Örneğin Japonya'da bir afet kayıt sınırı 5 can kaybı ve en az 100 yaralıdır. Diğer bazı ülkelerde bunu en az 10 can kaybı ve en az 100 yaralı olarak belirlemişlerdir.

Ülkemizde uluslararası afet organizasyonları tarafından taranan ve erişime açık veritabanına rastlanmamaktadır. Uluslararası yardım organizasyonların erişimine açık veritabanı ile paylaşılacak veriler sayesinde ülkemizde afetlere karşı daha etkin mücadele sürdürülebilir. GLIDE sınıflandırma sistemini kullanarak ülkemiz için tasarlanacak veritabanında optimizasyonun sağlanması için Boyce-Codd normal tasarım formlarının kullanılması sağlanmalıdır. Boyce-Codd normal form tasarımına göre oluşturulacak veritabanı tabloları arama algoritmaları açısından optimize edildiğinden yardım faaliyetlerinde kullanılacak verilere kolay, hızlı ve doğru bir şekilde ulaşılması sağlanır. Bahsedilen tasarıma göre şablon olarak verilen GLIDE veri formatında ve bağlı tablolarında sınıflandırma, bağlı ağaç yapısı ve veri sözlüğünün optimum olması dolayısı ile hızlı erişim sağlanır.

GLIDE veri formatına göre tanımlama;

**AA-BBBB-CCCCC-DDD-EEE**

şeklinde yapılmaktadır. Bu tanımlamada AA bölümü afet tanımını göstermektedir. Afet tanımı ise Çizelge 2'de verilmiştir. Tanımlanan bu

verideki BBBB alanı ise afetini tarihini yıl cinsinden göstermektedir. Verinin üçüncü bölümünde yer alan CCCCC alanı yıla göre afetini sıra numarasını göstermektedir. Afetini ortaya çıktığı yer ise ülke kodu DDD alanında (ISO-ALPHA 3 Digits) kodları (örn. TUR, Türkiye) [16] ile ifade edilmektedir. Veri formatının son EEE üç karakterlik alanında da ülkeye ait bölge veya şehir kodunu tanımlamaktadır.

**Çizelge 2.** GLIDE veri kodları [17]

Afet Kodu	Afet Kodlarının Açıklaması
DR	Kuraklık
HW	Sıcak Hava Dalgası
CW	Soğuk Hava Dalgası
TC	Tropik Hortum
EC	Büyük Tropikal Hortum
TO	Kasırğa
VW	Şiddetli Rüzgâr
ST	Şiddetli Yerel Fırtına
FL	Sel
FF	Ani Sel
LS	Yer Kayması /Heyelan
AV	Çiğ Düşmesi
MS	Çamur Kayması
VO	Volkan Eriyiği
EQ	Deprem
FR	Yangın
TS	Tsunami
SS	Yıldırım Düşmesi
EP	Salgın Hastalık
IN	Hayvan Kaynaklı Salgın
WF	Orman Yangını
OT	Diğer Afetler
CE	Karmaşık Afet
AC	Teknolojik Kaynaklı Afet

BAY afet veritabanı oluştururken afet kodlarına bağlı verilere de dikkat edilmesi önemlidir. Bu verilerden bazıları afetini coğrafi yeri, ilgili açıklama satırı, afet türü, afet bilgisini sağlayan kişi/kurum bilgisi, yardım bilgisi, yardım türü, yardım ekibi, yardım şekli gibi onlarca bilgi içermektedir. Veritabanı tasarlanırken oluşturulan veritabanı içindeki tabloları Kartezyen çarpım

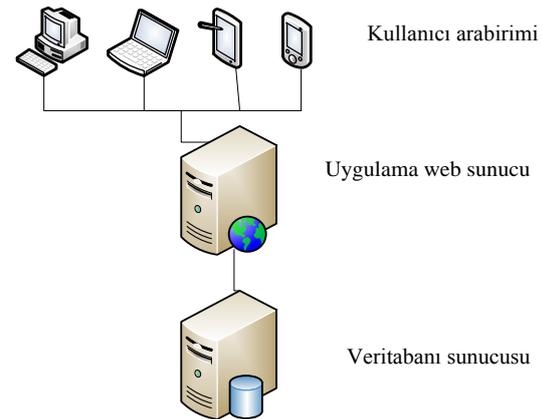
(Cartesian Product) diğer bir deyiş ile sorgunun çarpazlanmasına izin vermelidir. Daha sonra oluşturulan sorgulardan raporların çekilmesi sırasında alınan verilerden sınıflandırılmış bilgiler elde edilebilir. Bu şekilde veri kayıplarının engellenmesi ile afet müdahale sırasında oluşacak kayıpların önüne geçilmiş olur.

### 3.4. Veritabanının Oluşturulması

Bütünleşik afet yönetimi için Linux işletim sistemi üzerinde çalışan. MySQL veritabanı tercih edilmiştir. Veritabanı MySQL Workbench bilgisayar programı kullanılarak EER diyagramı EK-1'deki gibi geliştirilmiş ve tasarlanan model senkronize edilerek veritabanı oluşturulmuştur.

Veri sözlüğüne uygun olarak tasarlanan EER diyagramında Kartezyen çarpımı testleri yapılmış ve sonuçların EER ilişkilerini doğrular nitelikte olduğu gözlemlenmiştir.

Veritabanı sorgulama arayüzleri (Interface) günümüzde üç katmanlı (Three-Tiered Layer) mimarilerde tercih edilmektedir[18]. Üç katmanlı mimarilerde uygulama sunucusu (application/web server) ile servisi veren veritabanı sunucusu Şekil 7'de görüldüğü gibi ayrı katmanlarda yer almaktadır.

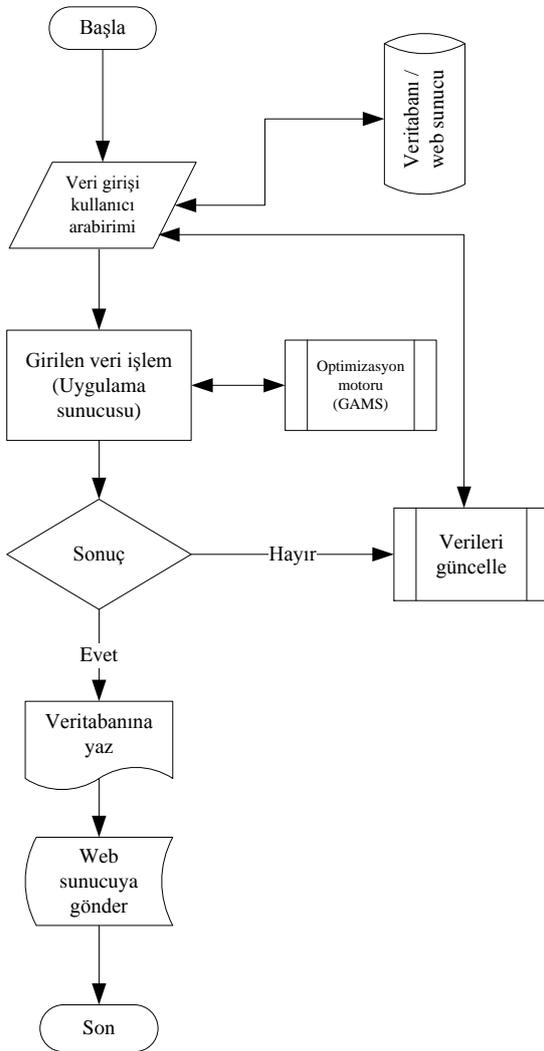


**Şekil 7.** Üç katmanlı mimari

Oluşturulan Veritabanında kullanıcı tarafından yapılacak sorgulama Kesikli Şebeke Problemleri (DNLP Discrete Network Location Problem)



olarak bilinen yöntemle göre karar vermektedir [5]. Veritabanından alınan verilere göre karar vererek bir karar destek sistemi de çalışmada kullanıcı arabirimi içerisine yerleştirilmiştir. Modelin karar destek sistemi algoritması (Şekil 8) bilinen medyan problemi çözen algoritmayı içermektedir. Bu algoritmada en kısa yol veya en yakın komşuluk göz önüne alınmıştır. Karar destek sisteminde kullanılan p-medyan modeli çözümü için GAMS matematik programlama çözücüsünden yararlanılmıştır.

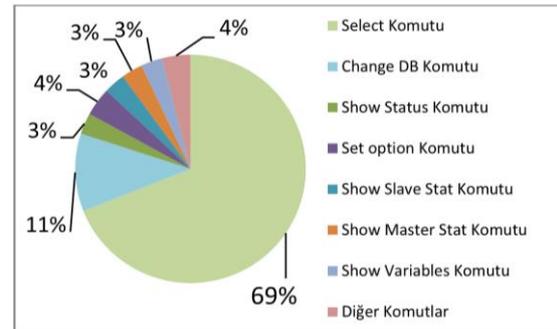


Şekil 8. Karar destek sistemi modeli

Karar Destek Sistemi (KDS) algoritması karar kriterleri veritabanından okunan verileri işleyen ve işlenen verileri kullanıcı arabirimine gönderen bir sistemdir. Bu sistemde veritabanına yazılan kullanıcı arabirimi veya eş zamanlı veritabanından girilen veriler KDS içerisinde belirlenen algoritmaya göre karar verir ve verilen kararları tasarlanan kullanıcı arabirimine iletir. KDS karar algoritması uygulama sunucusu tarafında yorumlayıcı bilgisayar programlama dili ile optimizasyon motoruna gönderdiği verileri olarak beklenen en iyi sonucu test etmektedir. KDS içerisinde çalışan optimizasyon motoru probleme yönelik kurulan p-medyan matematik modeline göre karar vermektedir.

#### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışmanın sonucunda veritabanına 10 000 satırlık veriler yüklenerek tasarlanan sistem 37 gün test edilmiştir. Komutların çalışmasından elde edilen sonuçlara göre oluşturulan grafik Şekil 9'da görülmektedir. Çalışmada daha fazla veriler zaman içerisinde olan olaylardan kaynaklanan sorgulardan kaydedilerek zengin veriler elde edilebilir. Elde edilen daha fazla veriler ile BAY daha etkin yürütülmesi sağlanabilir. Kartezyen çarpımı yapılan tabloların performans analizleri grafiksel olarak anlamlı görülmediğinden çalışmaya sonuçlarında göz önüne alınmamıştır.



Şekil 9. Veritabanı performans analizi

Afet sonrasında en çok ihtiyaç duyulan doğru ve zamanında gelen eksiksiz bilgidir. Yanlış aktarılan, eksik, gereksiz veya önemsiz bilgiler diğer bilgi işleme birimlerinde olduğu gibi afetlerde de

gereksiz işlemlere neden olmakta ve faaliyetlerin başarısına etki etmektedir. Bu bilgiler ile afetlere karşı etkin mücadele edilebilir ve mücadelenin başarısı sağlanır. Afet öncesinde önlemler almak sadece afetlere karşı hazırlıklı olmayı sağlamaktadır. Bir afet sonrasında yardım faaliyetleri, kurtarma, müdahale ve lojistik gibi bilginin önemli olduğu faaliyetler de ise bu bilgilerin gereken yer ve zamanda sağlanması hayati önem kazanmaktadır. Bu yüzden afetlerde sağlanacak olan bilginin doğru verilerde işlenmesi ve zamanında sağlanması zorunluluk haline gelmiştir. Bilginin sağlanmasında iyi tasarlanan bir veritabanı ise bütünleşik afet yönetiminin başarısını doğrudan etkilemektedir. Sonuç olarak bütünleşik afet yönetiminde doğru ve zamanında sağlanan bilgiler ile afetlere karşı verilen mücadelede başarı sağlanabilir.

Gelecekte yapılacak olan çalışmalardan beklenenler içerisine zaman içerisinde toplanan daha zengin veriler ile elde edilen sonuçlar ile etkin performans analizlerinin yapılması dahil edilebilir. BAY yeni bir araştırma konusu olması dolayısı ile özellikle bilişim sistemlerini içeren yeni araştırma konuları da bu alana eklenebilir.

## 5. TEŞEKKÜR

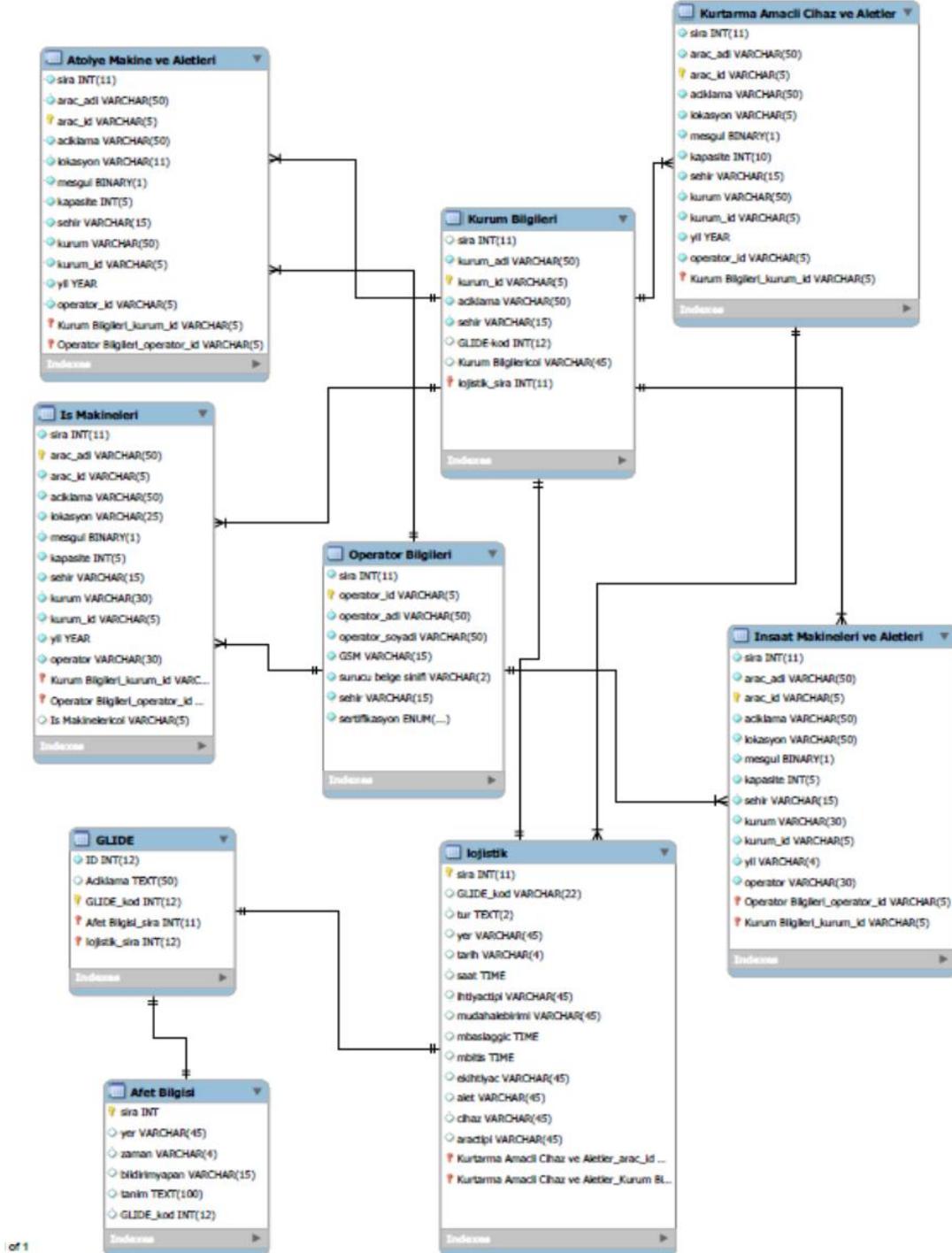
Bu çalışma Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırmaları Birimi Tarafından FBA-2015-3249 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir.

## 6. KAYNAKLAR

1. Ülgen, H., 1997. İşletmelerde Organizasyon İlkeleri ve Uygulaması, İ.Ü. İşletme Fakültesi, Yayın No:258, İstanbul,
2. Carter, N.W., 2008. Disaster Management A Disaster Manager's Handbook. Asian Development Bank. Manila.
3. Drezner, Z., 1992 A Note on the Weber Location Problem Annals of Operations Research, 40, pp. 153-161.
4. Hakimi, S.L., 1983. On Locating New Facilities in A Competitive Environment. European Journal of Operational Research, Vol. 12, 29-35.
5. Current, J., Schilling, D., 1990. Analysis of Errors due to Demand Data Aggregation in the Set Covering and Maximal Covering Location-Problems Geographical Analysis, 22, 116-126.
6. Daskin, M.S., 1995. Network and Discrete Location: Models, Algorithms, and Applications Wiley & Sons, New York.
7. Garey, M.R., Johnson, D.S., 1979. Computers and Intractability: A Guide to the Theory of NP-Completeness W. H. Freeman & Co. New York, NY.
8. Schilling, D., ReVelle, C., Cohon, J., Elzinga, D., 1980. Some Models for Fire Protection Locational Decisions. European Journal of Operational Research, 5, 1 -7.
9. Toregas, C., Swain, R., ReVelle, C., Bergman, O., 1971. The Location of Emergency Service Facilities. Operations Research. Vol. 19, 1363-1373.
10. Rosing, K., ReVelle, C., Schilling, D., 1999. A Gamma Heuristic for the p-median Problem European Journal of Operational Research, 117 , 522-532.
11. Hodgson, M.J., Rosing, K.E., Zhang, J., 1996. Locating Vehicle Inspection Stations to Protect a Transportation Network Geographical Analysis, 28 , 299-314.
12. Catay, B., 2011. İstanbul'da İtfaiye İstasyonu Yer Seçiminde Risk Faktörüne Dayalı Bir Çoklu Kapsama Yaklaşımı. Endüstri Mühendisliği Dergisi, Vol 22, 33-44.
13. Aktaş, E., Özaydın, Ö., Uluengin, F., Önsel, Ş., Açıkan, B., 2011. İstanbul'da İtfaiye İstasyonu Yerlerinin Seçimi için Yeni Bir Model. Endüstri Mühendisliği, 22 (4), 2-12.
14. Meissner, A., Lukenbach, T., Risse, T., Kriste, T., Kircher, H., 2002. Design Chalnges for Integrated Disaster Management Communicatio and Information Systems. The First IEEE Workshop on Disaster Recovery Networks DIREN2002.
15. Silbershatz, A., Korth, H., Sudarshan, S., 2002. Database System Concept. McGraw-Hill. NY. 4 th. Ed. 1043.
16. ISO Country ALPHA-3 Code List Digits, URL: [http://www.nationsonline.org/oneworld/country\\_code\\_list.htm](http://www.nationsonline.org/oneworld/country_code_list.htm)

17. GLIDE Number Index, URL:  
<http://glidenumbr.net/glide/public/search/search.jsp?>
18. Elliott, R, Powers, N., Intellex, One-Tier, Two-Tier, Three-Tier, A Server: Using Technology to Solve Business Problems, URL:<http://www.pacificelectric.com/PacificElectric/Product/whtpap04.htm>

EK 1. Tasarlanan sistemin EER diyagramı ve veri sözlüğü



## Çukurova Üniversitesi Balcalı Kampüsü Kuzey Çarşı Projesi

Onur ERMAN\*<sup>1</sup>

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

Geliş tarihi: 21.01.2016

Kabul tarihi: 07.03.2016

### Özet

Çalışma, Yrd. Doç. Dr. Onur ERMAN tarafından Aralık 2012’de tasarımına başlanan ve Mart 2013’de tamamlanarak Çukurova Üniversitesi Rektörlüğüne teslim edilen Çukurova Üniversitesi Balcalı Kampüsü Kuzey Çarşı Projesi tanıtılmaktadır. Çalışmada projeye ilişkin tasarım süreci ve tasarımda öne çıkan unsurlar ile geliştirilen projede önerilen mekân kullanımıyla alansal büyüklükler sunulmaya çalışılmıştır. Projenin uygulanmasına Mayıs 2015’de başlanmış, yapımı halen devam etmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Çukurova Üniversitesi, Kampüs çarşı projesi, Mimari tasarım, Öğrenci sosyal merkezi, Adana.

## Çukurova University Balcalı Campus North Shopping Area Project

### Abstract

The purpose of the paper is to introduce of the Çukurova University Balcalı Campus North Shopping Area Project, which was started to design by Assist. Prof. Dr. Onur ERMAN on December 2012 and submitted to the Çukurova University Rectorate on March 2013. The design process and featured issues of the project and proposed spatial uses and areal sizes were tried to present in the manuscript. The construction process of the project started on May 2015 and still continues.

**Keywords:** Çukurova University, Campus shopping area project, Architectural design, Student social center, Adana.

---

\* Yazışmaların yapılacağı yazar: Onur ERMAN, Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Adana. oerman@cu.edu.tr

## 1. GİRİŞ

Üniversite kampüsleri ana faaliyet olan eğitimin gerektirdiği hizmet alanları ile diğer destek kullanımlarına imkân tanıyan fiziki yapılanmalardır. Üniversitelerde kampüs oluşumunun temel amacı fakülte ve birimlerde sürdürülen eğitsel faaliyetlerin koordineli bir biçimde sürdürülmesini sağlamaktır. Kampüs yerleşkeleri neredeyse küçük bir şehir gibi biçimlenerek yönetim, eğitim, barınma, sağlık, alışveriş ve kültürel amaçlı hizmet veren yapıları bünyesinde barındırır. Bu bakımdan kampüs yerleşkeleri salt eğitim ve yönetim yapılarından oluşmaz. Eğitim faaliyetlerini destekler biçimde kullanıcıların günlük yaşam içinde ihtiyaç duydukları diğer hizmet alanlarını ve özellikle kullanıcıların sosyal ve kültürel yaşamını destekleyen yapıları da içerir. Böylelikle kampüs;

eğitim zamanı içinde kullanılan bir alan olmaktan sıyrılarak yaşayan, canlı bir fiziki bütüne dönüşür. Çukurova Üniversitesi uluslararası ölçekte etkiye sahip Türkiye'nin köklü üniversitelerinden birisidir. 17 Fakülte, 4 Yüksekokul, 12 Meslek Yüksekokulu, 1 Devlet Konservatuarı, 3 Enstitü ve 32 Araştırma ve Uygulama Merkezini bünyesinde barındıran Çukurova Üniversitesinde 2015 yılı Eylül ayı verilerine göre 2186 Akademik Personel, 44.697'si lisans ve ön lisans ve 5.014'si lisansüstü olmak üzere 49.711 öğrencinin eğitim ve öğretiminde görev almaktadır. Kent merkezinin uzağında konumlandırılan Çukurova Üniversitesi Balcalı Kampüsünde, kullanıcıların büyük kısmını oluşturan öğrencilerin eğitim faaliyetleri dışında kalan zamanının değerlendirilmesi ve günlük ihtiyaçlarının karşılanması ancak kampüs içi olanaklarla sağlanabilmektedir.



A) Mayıs 2014 tarihli hava fotosu, Google Earth

B) Ağustos 2015 tarihli hava fotosu, Google Earth

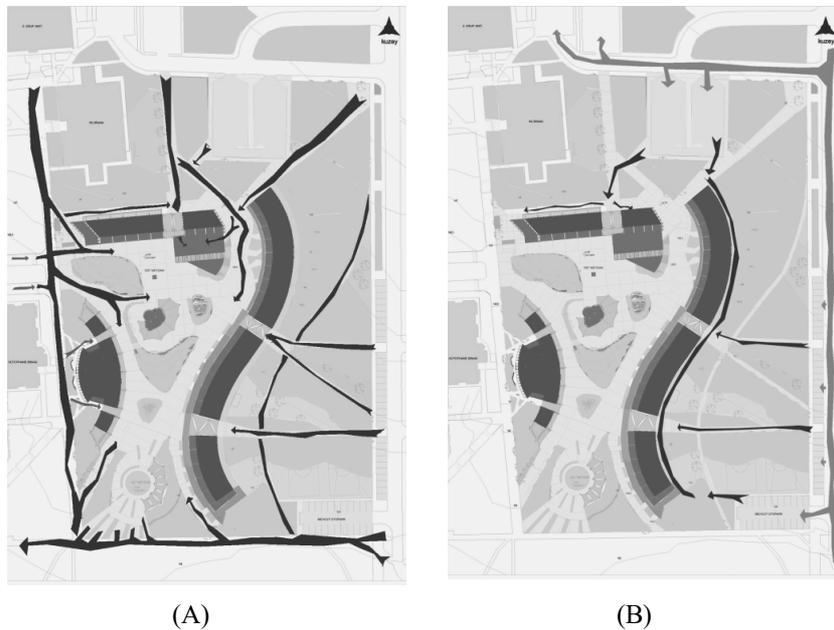
Şekil 1. Proje alanının Mayıs 2014 ve Ağustos 2015 tarihli hava fotoğrafları

Gün içinde yaklaşık 50000 kişinin bulunduğu kampüste öğrenci, akademik ve idari personelin yeme içme, alışveriş gibi ihtiyaçlarını karşılamının yanında kampüs kullanıcılarının sosyal ve kültürel ihtiyaçlarını karşılayacak ve kampüs yaşantısını zenginleştirecek bir yapılaşmaya ihtiyaç duyulmuştur. Bu doğrultuda Çukurova Üniversitesi Rektörlüğü Döner Sermaye İşleri aracılığıyla Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Öğretim Üyesi Yrd. Doç. Dr. Onur ERMAN tarafından 2012 yılı Aralık ayında Kuzey Çarşı Kompleksinin projelendirme çalışmasına başlanmıştır. Üniversite Rektörlüğü ile yapılan görüşmeler sonucunda Merkezi Kütüphane binasının doğusunda, R2 Binası ile Mithat Özsan Amfi grubunun güneyinde kalan ve futbol sahası olarak kullanılan alanda çarşı kompleksinin projelendirilmesine karar verilmiştir (Şekil 1).

## 2. TASARIM SÜRECİ

Çarşı kompleksinin tasarım programı alışveriş, yeme içme birimleri, mescit, sinema salonu, sergi salonu, genel wc'ler, açık ve yarı açık mekan

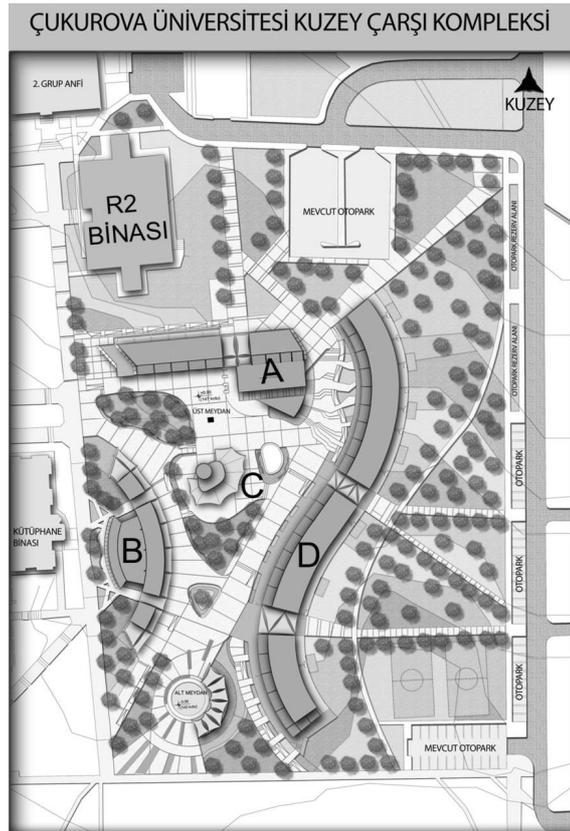
düzenlemesini kapsamaktadır. Tasarım programında istenilenlerin gerçekleşmesi ve tasarım kurgusunun oluşturulması amacıyla yapılaşma önerilen alanda yaya ulaşımı, araç yaklaşımı ve servis bağlantıları, mevcut yeşil doku, mevcut yapılaşma, topografya ve yön analizleri yapılmıştır. Tasarımın genelinde herkes için tasarım kriterleri dikkate alınarak kampüs içi yaya hareketine uyan ve yaya ulaşımını destekleyen bir öneri geliştirilmeye çalışılmıştır. Bu bakımdan öncelikle mevcut yaya davranışları gözlemlenmiş, alana ulaşımındaki ana yaya arterleri tespit edilmiştir (Şekil 2). Diğer taraftan arazinin topografik yapısı incelendiğinde mevcut kullanım nedeni ile futbol sahasının yerleştiği alanın düzleştirildiği, Mithat Özsan Amfisi ve R2 Binasının bulunduğu kısım (151 kotu) ile futbol sahasının bulunduğu alan (147 kotu) arasında 4 metrelik bir kot farkı bulunduğu tespit edilmiştir. 4 metrelik kot farkı kimi yerde doğal eğimle geçilirken, kimi yerde futbol sahası için yapılan düzenleme sonucu, kesin bir sınır oluşturan yükselti şeklindedir.



Şekil 2. Alanda mevcut duruma ilişkin saptamalar sonucunda önerilen yaya ulaşımı (A) ve araç-servis (B) yaklaşımı

Arazi yapısındaki kot farklılıkları, tasarım kararlarına yansıtılarak, kotun 4 metre düştüğü yerde Z+1 katlı bir yapının konumlanmasını (Şekil 3, A işaretli yapı) ve 0.00 kotundan +4.00 kotuna ulaşmada kademeli olarak yükselen yapının (Şekil 3, D işaretli yapı) yerleştirilmesini sağlamıştır. Böylece Mithat Özsan Amfisi yönünden yaklaşımda kuzey cephesinde tek katlı olan yapı grubu, alanın güney yönünde Z+1 katlı olarak biçimlenmiştir (Şekil 3, A işaretli yapı). Bu yapıya 151 kotundan giriş verilmiş, yapı içindeki düşey sirkülasyon elemanları ile 147 kotuna ulaşılmıştır. Kot farkının tasarıma sağladığı en önemli katkı ise Z+1 katlı sergi ve sinema yapı grubu ile kotla birlikte yükselen alışveriş birimi arasına konumlandırılmış basamaklardır. Mithat Özsan Amfisi yönünden yaklaşan kullanıcılar bu geniş basamaklar ve rampalardan inerek alana ulaşırken, alana hâkim bir manzarayla karşılaşır.

Bu basamakların aynı zamanda açık amfi şeklinde düzenlenmesiyle çok amaçlı kullanılabilir sosyal bir mekân oluşturulmaya çalışılmıştır. Yapıların güney-kuzey aksında konumlandırılması ile açık alanların iklimsel konfor koşulları sağlanmaya çalışılmış, açık alanların özellikle yazın ihtiyaç duyulan serinletici rüzgârı almasına ve kış mevsiminde ise güneşlenmesine önem verilmiştir. Yapı formunun ve yerleşiminin belirlenmesinde mevcut yeşil doku dikkate alınmış, özellikle alanın doğusunda yer alan sık ağaçlıklı alana müdahale etmekten kaçınılmıştır. Yeşil dokunun sınırladığı alanda yapı yüksekliklerinin insan ölçeğine uygun olmasına ve ağaç yüksekliklerinin aşılmasına özen gösterilmiş, böylece yeşil doku ile uyumlu bir yapı bütünü oluşturulmak istenmiştir. Bu kararlar doğrultusunda vaziyet planı şekillendirilmiştir (Şekil 3).



*Alanda Önerilen Yapılar*

- A) Sinema, Sergi/Dükkân Grubu Yapısı
- B) Mescit/Dükkân Grubu Yapısı
- C) Pastane Yapısı
- D) Kafe/Dükkân Grubu Yapısı

Şekil 3. Çukurova Üniversitesi Kuzey Çarşı Kompleksi vaziyet planı



### 3. ALANDA ÖNERİLEN YAPILAR ve ALAN KULLANIMI

#### 3.1. Kapalı Alan Kullanımı

Yaklaşık 25000 m<sup>2</sup> büyüklüğündeki arsa alanı içinde toplam 3175 m<sup>2</sup> kapalı alan ve 1555 m<sup>2</sup> yarı

açık alan kullanımı önerilmektedir. Geriye kalan alan büyüklüğü rekreasyon, sirkülasyon ve yeşil alan kullanımı için düzenlenmiştir. Alanda dört adet yapı grubu bulunmaktadır. Alanda projelendirilen yapıların plan şemaları ve alan kullanımları Çizelge 1, Çizelge 4'de verildiği gibidir.

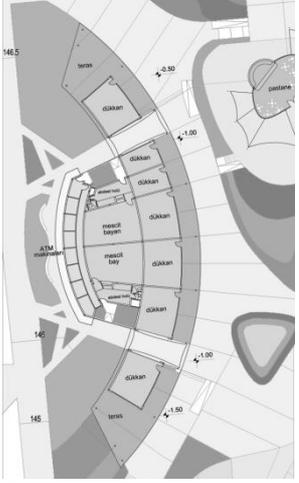
**Çizelge 1.** Sinema, Sergi/Dükân Grubu Yapısı mahal listesi ve alan kullanımı

 <p>A) Sinema, Sergi/Dükân Grubu görünüşü</p>	<p>Sinema Salonu: 125 m<sup>2</sup> 65 kişilik salon, projeksiyon odası</p> <p>Sergi Salonu ve Fuaye Alanı: 360 m<sup>2</sup> Sergi salonu, fuaye, depo, bay/bayan/engelli wc</p> <p>Ticari Birimler: 720 m<sup>2</sup> Dükân 5 x 50 m<sup>2</sup> Kafe 1 x 130 m<sup>2</sup> 2 x 120 m<sup>2</sup> 1 x 100 m<sup>2</sup></p> <p>Teknik Merkez: 65 m<sup>2</sup></p> <p>Genel wc: 40 m<sup>2</sup> (bay/bayan/engelli wc)</p> <p>Yarı açık alan 450 m<sup>2</sup></p> <p>Toplam Kapalı Alan: 1310 m<sup>2</sup> Toplam Yarı Açık Alan: 450 m<sup>2</sup></p>
 <p>B) Sinema, Sergi/Dükân Grubu zemin kat planı</p>	
 <p>C) Sinema, Sergi/Dükân Grubu birinci kat planı</p>	

Alanın Kuzey yönünde yer alan ve Z+1 katlı olan Sinema, Sergi, Dükkan Grubu yapısında alt ve üst katlarda ticari birimler düzenlenmiş, yapının zemin katında sergi salonu, fuayesi ve 65 kişilik bir sinema salonu tasarlanmıştır. Yapıda farklı büyüklüklerde kafe birimleri oluşturulmuş, alt ve üst katta yer alan bu birimlerde yarı açık alan kullanımı sağlanmaya çalışılmıştır (Çizelge 1). Genel kullanıma ait wc'lerin bir bölümü ve teknik servis birimi de bu yapı içinde yer almaktadır.

Mescit Dükkan Grubu yapısının içinde dükkanlar alana yönlendirilmiş, bay ve bayan mescidininse alandan bağımsız olarak kullanımına imkan tanınmıştır. Ana yaya arteri üzerinde bulunan bu yapıda ayrıca ATM üniteleri yer almaktadır (Çizelge 2). Pastane birimi ise alana hakim bir noktada konumlandırılarak, kapalı alan kullanımının yanında güney yönüne hakim yarı açık alan kullanımı sağlanmıştır (Çizelge 3).

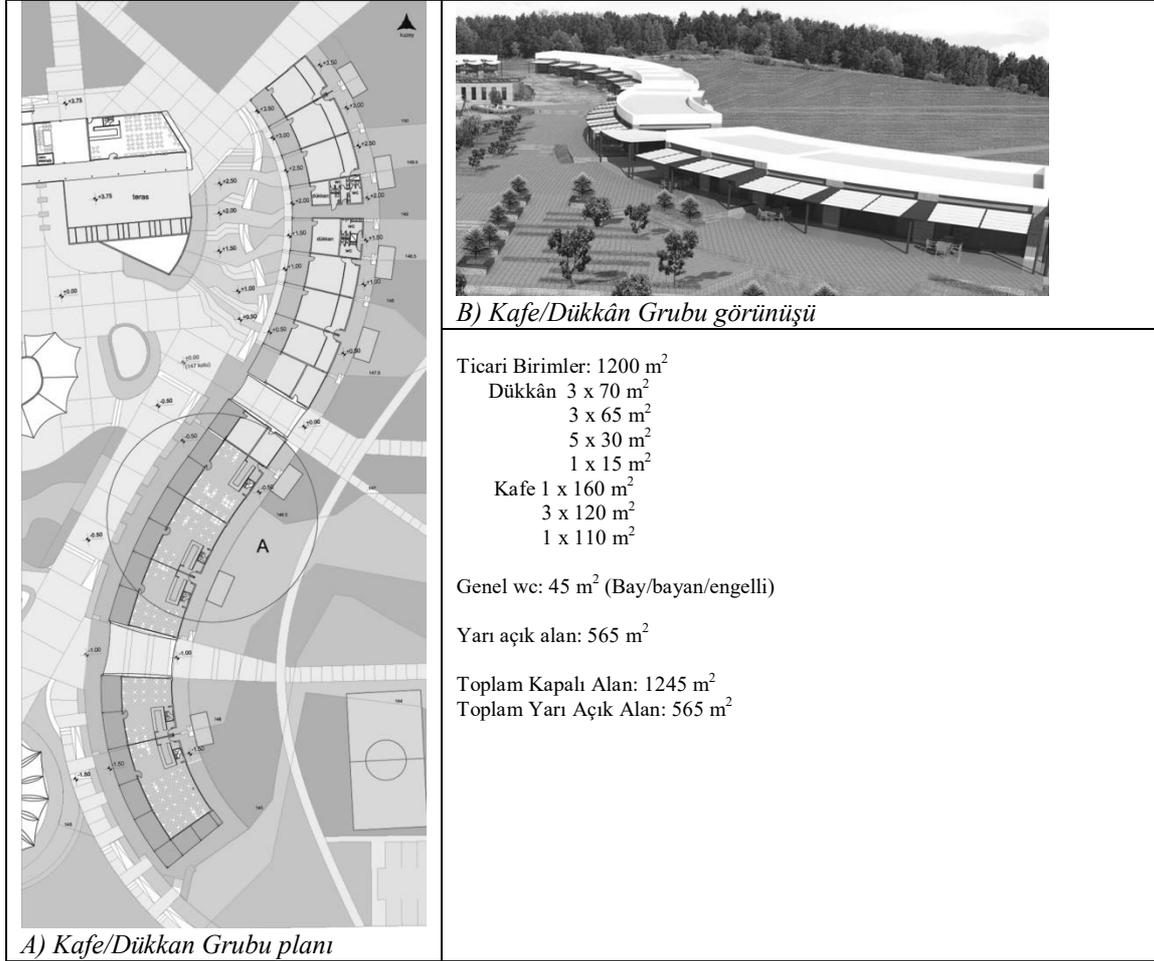
Çizelge 2. Mescit/Dükkan Grubu Yapısı mahal listesi ve alan kullanımı

	
<p>A) Mescit/dükkan grubu görünüşü</p>	
	<p>Ticari Birimler: 300 m<sup>2</sup> Dükkan 5 x 50 m<sup>2</sup> 2 x 25 m<sup>2</sup></p> <p>Mescit: 170 m<sup>2</sup> (2x85 m<sup>2</sup>) (Bay ve bayan için wc ve abdest alma mahalli)</p> <p>ATM Grubu: 75 m<sup>2</sup> (7 adet ATM birimi ve jeneratör odası)</p> <p>Yarı açık alan: 390 m<sup>2</sup></p> <p>Toplam Kapalı Alan: 545 m<sup>2</sup> Toplam Yarı Açık Alan: 390 m<sup>2</sup></p>
<p>B) Mescit/dükkan grubu planı</p>	

Çizelge 3. Pastane Yapısı mahal listesi ve alan kullanımı

	
<p>A) Pastane yapısı görünüşü</p>	
	<p>Pastane: 75 m<sup>2</sup> 50 kişilik kapalı oturma alanı, mutfak ve servis</p> <p>Yarı açık alan: 150 m<sup>2</sup></p> <p>Toplam Kapalı Alan: 75 m<sup>2</sup> Toplam Yarı Açık Alan: 150 m<sup>2</sup></p>
<p>B) Pastane yapısı planı</p>	

Çizelge 4. Kafe/Dükkan grubu yapısı mahal listesi ve alan kullanımı



Alanı doğu yönünde sınırlayan Kafe Dükkan Grubu binası kullanıcılara farklı bakış açıları verecek şekilde biçimlendirilmiştir. Yapı arazinin topografyasına uyarak, kademeli olarak yükselir. Farklı kotlarda yer alan ticari birimler kullanıcılara alanı farklı kotlardan izleme imkanı sunar. Yapıda çeşitli büyüklükte modüler olarak tasarlanan dükkanların yanında genel kullanıma ait wc'ler bulunmaktadır (Çizelge 4).

### 3.2. Dış Mekan Kullanımı

Alanda yapı yoğunluğu mümkün olduğunca düşük tutulmuş, yapılar alanının çeperlerine çekilerek dış

mekanda yapı formuyla tanımlanan açık kullanım alanları oluşturulmaya çalışılmıştır. Bölgenin iklim karakteri dikkate alınarak dış mekan kullanımını destekleyen bir tasarım önerisi geliştirmeye gayret edilmiştir (Şekil 4). Dış mekanda farklı kullanımlara imkân tanımak ve aktivite alanlarını çeşitlendirmek amacıyla farklı kotlarda iki adet meydan düzenlenmeye çalışılmıştır. R grubu dersliklerden yaklaşan kullanıcılar için 147 kotunda üst meydan, yemekhane yönünden yaklaşan kullanıcılar için de 146 kotunda bir alt meydan düzenlenmiştir. Bu iki meydan alanda Mithat Özsan Amfisine doğru uzanan ve Kafe/Dükkan Grubu yapısının önünden geçen ana

yaya yolu ile birbirine bağlanmıştır. Bu iki meydanı işaret etmek ve tanımlamak ayrıca alanın simgesel ve estetik değerini arttırmak amacıyla üst meydan için saat kulesi, alt meydan için de heykel yerleştirmesinin yapılacağı bir alan tasarlanmıştır. Farklı kotlara sahip dış mekanların tümünde eşitlikçi kullanım ve engelsiz tasarım

ilkeleri gözetilmiş, alanın tümünde engelli ulaşımı dikkate alınmıştır. Dış mekanlar aktif ve pasif kullanıma yönelik düzenlenmiş, genel kullanıma ait açık alan düzenlemelerinin yanında alanın güney ucunda ayrıca iki adet basketbol sahası önerilmiştir.



A) Alana güney yönünden bakış



B) Alana kuzey yönünden bakış

#### Şekil 4. Önerilen yerleşimin genel görüntüleri

Alanda dükkân ve kafe gruplarının kullanımı için çepçepirden geçen ve mevcut otoparklara ulaşan servis bandı planlanmıştır. Ayrıca alana doğu

yönünden bağlanarak 147 ve 145 kotlarına ulaşan geniş yaya bantları acil durumlar için araç geçişine imkan tanıyacak şekilde tasarlanmıştır (Şekil 5).



Şekil 5. Doğu yönünde yer alan servis bandı ve yaya yaklaşımları

### 3.3. Tasarıma İlişkin Diğer Konular

Çarşı kompleksinde ağırlıklı kullanımı kafe ve dükkân grupları oluşturmaktadır. Bu birimler modüler olarak tasarlanarak gerektiğinde ihtiyaca göre farklı mekân büyüklüklerinin sağlanması hedeflenmiştir. Esnek mekân büyüklüğüne ulaşabilme isteği taşıyıcı sistemin belirlenmesinde etkili olmuştur. Yapıların tümü için kompozit döşemeli çelik taşıyıcı sistem ile birlikte kullanım alanlarını sınırlamak ve tanımlamak için hafif bölücü elemanlar önerilmiştir. Bunlara ek olarak kafeler özellikle öğrencilerin eğitim dışı

zamanlarda yeme içme ihtiyaçlarının karşılanması yanında sosyalleşebilecekleri alanlar olarak düşünülmüş, kafe birimleri tasarlanırken farklı birimlerdeki kullanıcıların birbirlerini görmesi ve etkileşim halinde olması hedeflenmiştir. Bu amaçla iki kafe birimini ayırırken dolu yüzeyler yerine görsel iletişime olanak tanıyan ve dijital baskı uygulanabilen lamine cam bölücü yüzeyler önerilmiştir. Her bir kafe biriminin ortak yarı açık alana açılmasıyla istenilen etkileşimi desteklemesi hedeflenmiştir (Şekil 6, Şekil 7).



Şekil 6. Kafe birimlerinin organizasyonu ve dış mekanla ilişkisi



Şekil 7. Kafe biriminden iç mekan görüntüsü

#### 4. SONUÇ

Üniversite kampüslerinde öğrenci merkezleri, öğrencilerin kampüs içindeki aktivitelerini zenginleştiren, öğrenciler arasındaki sosyal iletişimi ve etkileşimi arttıran mekânlardır. Bunun yanı sıra kampüs içindeki sosyal mekânlar öğrencilerin eğitim kurumu ile bağlılık ilişkisini ve eğitim kurumuna ait olma hissini olumlu yönde desteklemesi bakımından önemli bulunmaktadır. Önerilen projenin tamamlanmasıyla kampüsün fiziki mekânsal kullanım değerinin yükseltilmesinin yanında kampüsün sosyal ve kültürel yaşantısına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

#### 5. TEŞEKKÜR

Projenin bilgisayar ortamına aktarılması ve üç boyutlu görsellerinin hazırlanması sırasında emeği geçen ÇÜ MMF Mimarlık Bölümü öğrencileri Alparslan TUTAR, Burak DAĞ, Ali Furkan YÖNDER, Abdullah ALTUĞ ve Rukiye TÜTER'e teşekkür ederim.

## Axial Vibration Analysis of a Nanorod Embedded in Elastic Medium Using Nonlocal Strain Gradient Theory

Mesut ŞİMŞEK\*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul

Geliş tarihi: 22.01.2016

Kabul tarihi: 10.03.2016

### Abstract

Size-dependent axial vibration of a nanorod embedded in elastic medium is studied for the first time in this paper within the framework of the nonlocal strain gradient theory. The governing equation of motion of the problem is derived using the equilibrium condition and it is solved analytically to obtain the exact expression of vibration frequency for a fixed-fixed nanorod. The influences of the nonlocal parameter, the material length scale parameter and the elastic medium coefficient on the free vibration frequencies are investigated in detail. The results show that free vibration frequencies are significantly dependent on the size effects, and the size effects gain more importance at higher modes. Therefore, the classical continuum theory is inappropriate to investigate the mechanical behavior of nanostructures.

**Keywords:** Nanotechnology, Vibration, Nonlocal elasticity theory, Strain gradient theory, Nanorod

### Yerel Olmayan Şekil Değiştirme Gradyanı Teorisi Kullanılarak Elastik Zemine Gömülü Nano Çubuğun Eksenel Titreşim Analizi

### Özet

Elastik zemine gömülü bir nano çubuğun boyut etkisine bağlı eksenel titreşimi yerel olmayan şekil değiştirme gradyanı teorisi çerçevesinde ilk olarak bu çalışmada incelenmiştir. Probleme ait yönetici hareket denklemi denge şartı kullanılarak çıkarılmış, iki ucu ankastre nano çubuğun serbest titreşim frekansına ait kesin ifadeyi elde etmek için yönetici denklem analitik olarak çözülmüştür. Yerel olmayan parametre, malzeme uzunluk ölçek parametresi ve elastik zemin parametresinin serbest titreşim frekansları üzerindeki etkisi detaylı olarak incelenmiştir. Elde edilen sayısal sonuçlar göstermiştir ki; serbest titreşim frekansları boyut etkisine önemli derecede bağlıdır ve boyut etkisi yüksek modlarda daha çok önem kazanmaktadır. Bu nedenlerden dolayı, klasik sürekli ortamlar mekaniği nano ölçekteki yapıların analizi için uygun değildir.

**Anahtar Kelimeler:** Nanoteknoloji, Titreşim, Yerel olmayan elastisite teorisi, Şekil değiştirme gradyanı teorisi, Nano çubuk

\* Yazışmaların Yapılacağı Yazar: Mesut ŞİMŞEK, Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, msimsek@yildiz.edu.tr

## **1. INTRODUCTION**

With the advance of the technology, due to their novel properties nanostructures such as carbon nanotubes, nanorods and nanowires has been extensively used in various engineering applications, especially in micro and nanoelectromechanical system (MEMs and NEMs). For this reason the determination of the physical and mechanical behavior of nanostructures has become very important issue nowadays. The research method of nanostructures can be categorized into two groups. The first method group is based on the atomistic methods, i.e., molecular dynamic (MD) simulation. However, since the atomistic methods take more time and then they are computationally expensive, these methods are not always useful for the analysis of nanostructures that consist of a large number of atoms and molecules. The second method group based on the continuum mechanics can be good alternative in order to overcome this problem. On the other hand, experimental studies show that the size effect plays very crucial role on the mechanical behavior of nanostructures. Thus, the classical continuum theory, which is independent of the size effect, is insufficient in order to predict the behavior of the nanoscale structures. At this point, several size-dependent continuum theories, such as the nonlocal elasticity theory [1], the strain gradient theory [2], the modified couple stress theory [3] and the micropolar theory [4] were proposed. In the nonlocal elasticity theory proposed by Eringen [1], to account for scale effect it is assumed that the stress at a point is a function of strains at all points in the continuum. A large number of studies related with static [5,6], buckling [7-12] and vibration [13-20] analysis of nanostructures using Eringen's nonlocal elasticity theory can be found in literature.

Although nonlocal elasticity theory is widely used in the analysis of nanostructures, the main drawback of this theory is that it accounts for only softening effect whereas the stiffness enhancement, which is observed in experimental analysis of micro and nanostructures, is not included. In this context, the strain gradient theory

and the modified couple stress theory are capable of incorporating the stiffness enhancement [21-30]. As seen from the previous discussion, the nonlocal elasticity theory and the strain gradient theory handle the different aspects of size-dependent mechanical behavior of micro and nanostructures. Therefore, there is a strong need to combine both size-dependent theories to realize the real behavior of micro and nanostructures. By connecting the nonlocal elasticity and the strain gradient theory, Challamel [31] proposed a generalized hybrid nonlocal law to investigate static bending, buckling, and free vibration of beams using different beam theories. Recently, Lim et al. [32] have presented nonlocal strain gradient theory that combine the nonlocal elasticity and the strain gradient theory for the wave propagation in Euler-Bernoulli and Timoshenko beams. Li and Hu [33] have investigated the post-buckling behavior of Euler-Bernoulli beam based on the nonlocal strain gradient theory.

The above literature survey reveals that the number of studies related to mechanical behavior of micro and nanostructures using the nonlocal strain gradient theory are very limited. To the best of author's knowledge, size-dependent axial vibration of nanorods embedded in elastic medium seems to be nonexistent.

The primary purpose of the current work is to fill this gap. In the present paper, free vibration characteristics of a nanorod embedded in elastic medium are examined in the context of the nonlocal strain gradient theory. The exact frequency expression is derived for a fixed-fixed nanorod. The effects of the nonlocal parameter, the material length scale parameter and the elastic medium coefficient on the free vibration frequencies are investigated in detail.

## **2. NONLOCAL STRAIN GRADIENT ROD MODEL**

Based on the nonlocal strain gradient theory proposed by Lim et al. [32], the generalized nonlocal strain gradient constitutive relation for a one-dimensional structure can be given as;



$$\begin{aligned} & \left[1 - (e_0 a)^2 \nabla^2\right] \left[1 - (e_1 a)^2 \nabla^2\right] t_{xx} = \\ & E \left[1 - (e_1 a)^2 \nabla^2\right] \varepsilon_{xx} - E l_m^2 \left[1 - (e_0 a)^2 \nabla^2\right] \nabla^2 \varepsilon_{xx} \end{aligned} \quad (1)$$

where  $\nabla^2 = \partial^2 / \partial x^2$  is the one-dimensional differential operator,  $t_{xx}$  is the total axial stress,  $\varepsilon_{xx}$  is the axial strain,  $e_0 a$  and  $e_1 a$  are the nonlocal parameters, and  $l_m$  is the material length scale parameter to determine the significance of higher-order strain gradient field. It is seen that Eq. (1) accounts for not only the nonlocal elastic stress field but also the strain gradient stress field. According to the assumption made in Lim et al. [32], when one considers that  $e_0 = e_1 = e$ , the generalized nonlocal strain gradient constitutive relation in Eq. (1) can be simplified as

$$\left[1 - (ea)^2 \nabla^2\right] t_{xx} = E \left[1 - l_m^2 \nabla^2\right] \varepsilon_{xx} \quad (2)$$

where  $E$  is the elasticity modulus. It can be seen from Eq. (1) that when the material length scale is taken as  $l_m = 0$ , the Eringen's nonlocal stress model [1] is achieved as follows

$$\left[1 - (ea)^2 \nabla^2\right] t_{xx} = E \varepsilon_{xx} \quad (3)$$

On the other hand, by assuming  $ea = 0$  the pure strain gradient model of Aifantis [2] is obtained as

$$t_{xx} = E \left[1 - l_m^2 \nabla^2\right] \varepsilon_{xx} \quad (4)$$

For a one-dimensional structure, the nonlocal behavior can be neglected in the thickness direction. Thus, for a homogeneous isotropic rod with the length of  $L$ , the nonlocal strain gradient constitutive relation takes the following form

$$t_{xx} - (e_0 a)^2 \frac{\partial^2 t_{xx}}{\partial x^2} = E \varepsilon_{xx} - E l_m^2 \frac{\partial^2 \varepsilon_{xx}}{\partial x^2} \quad (5)$$

Using Hamilton's principle the equation of motion for the axially vibrating rod embedded in an elastic medium can be obtained as

$$\frac{\partial N}{\partial x} + f(x, t) - k_u u(x, t) = \rho A \frac{\partial^2 u(x, t)}{\partial t^2} \quad (6)$$

where  $f(x, t)$  is the distributed axial load along  $x$  axis,  $k_u$  is the coefficient of the elastic medium,  $\rho$  is the mass density of the rod,  $A$  is the area of the cross-section,  $u(x, t)$  is the axial displacement of the rod,  $t$  denotes the time, and  $N$  is the axial normal force which is defined by,

$$N = \int_A t_{xx} dA \quad (7)$$

The axial strain  $\varepsilon_{xx}$  for a rod is given by,

$$\varepsilon_{xx} = \frac{\partial u}{\partial x} \quad (8)$$

From the Eqs. (5), (7) and (8), the axial force for the nonlocal strain gradient model can be obtained as,

$$N - (ea)^2 \frac{\partial^2 N}{\partial x^2} = EA \frac{\partial u}{\partial x} - EA l_m^2 \frac{\partial^3 u}{\partial x^3} \quad (9)$$

The explicit expression of the nonlocal axial normal force can be obtained by substituting Eq. (6) into Eq. (9) as,

$$\begin{aligned} N = EA \frac{\partial u}{\partial x} - EA l_m^2 \frac{\partial^3 u}{\partial x^3} \\ + (ea)^2 \left( \rho A \frac{\partial^3 u}{\partial t^3} - \frac{\partial f}{\partial x} + k_u \frac{\partial u}{\partial x} \right) \end{aligned} \quad (10)$$

By using Eq. (6) and (10), the equation of the motion for the nonlocal strain gradient rod model in terms of the axial displacement can be obtained as follows,

$$EA \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - EA I_m^2 \frac{\partial^4 u}{\partial x^4} + \rho A \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left[ (ea)^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - u \right] + k_u \left[ (ea)^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - u \right] = (ea)^2 \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} - f \quad (11)$$

It is clear that the equation of motion in (11) is the fourth order partial differential equation, and it requires four boundary conditions, two of which are the classical and the others are the non-classical boundary conditions. The related boundary conditions are given as [31],

$$\left( EA \frac{\partial u}{\partial x} - EA I_m^2 \frac{\partial^3 u}{\partial x^3} \right) \delta u \Big|_0^L = 0 \quad (12)$$

$$\left( EA I_m^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right) \frac{\delta \partial u}{\partial x} \Big|_0^L = 0 \quad (13)$$

For a fixed-fixed nanorod the following boundary conditions should be satisfied at both edges [21],

$$u(0) = u(L) = 0 \quad (14)$$

$$\frac{\partial^2 u(0)}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 u(L)}{\partial x^2} = 0 \quad (15)$$

In the light of the above boundary conditions, the axial displacement of the nanorod can be expanded in the modal form as,

$$u(x, t) = \sum_{n=1}^{\infty} q_n(t) \phi_n(x) \quad (16)$$

where  $q_n(t)$  are the unknown time-dependent generalized coordinates and  $\phi_n(x)$  are the mode shapes of a fixed-fixed rod which are expressed as,

$$\phi_n(x) = \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right), \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (17)$$

For free vibration analysis, if the external load is set to zero ( $f=0$ ), and the time-dependent

generalized coordinates are assumed to be as  $q_n(t) = \bar{q}_n \sin \omega t$  in which  $\omega$  is the natural frequency of the nanorod, and Eq. (16) is substituted into Eq. (11), one obtains the following relation after some mathematical amendments,

$$\left[ -EA \left(\frac{n\pi}{L}\right)^2 - EA I_m^2 \left(\frac{n\pi}{L}\right)^4 + \rho A (ea)^2 \omega^2 \left(\frac{n\pi}{L}\right)^2 + \rho A \omega^2 - k_u (ea)^2 \left(\frac{n\pi}{L}\right)^2 - k_u \right] \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right) \bar{q}_n = 0 \quad (18)$$

For the non-trivial solution the expression in the square bracket must be zero. This condition yields the free vibration frequencies of the nanorod. After some mathematical processes, the free vibration frequency of the fixed-fixed nanorod is found as,

$$\omega_n = \sqrt{\frac{EA \left(\frac{n\pi}{L}\right)^2 \left[ 1 + n^2 \pi^2 \left(\frac{l_m}{L}\right)^2 \right]}{\rho A \left[ 1 + n^2 \pi^2 \left(\frac{ea}{L}\right)^2 \right]} + \frac{k_u}{\rho A}} \quad (19)$$

It should be noted that the lowest frequency ( $\omega_1$ ) is the fundamental vibration frequency of the nanorod.

### 3. NUMERICAL RESULTS

In the numerical results, free vibration of the fixed-fixed nanorod based on the nonlocal strain gradient theory is investigated. Some numerical examples are presented to examine the effects of the nonlocal parameter and the material length scale parameter on the free vibration frequencies. In order to obtain the more general results, the following dimensionless quantities can be defined

Dimensionless nonlocal parameter:

$$\alpha = \frac{ea}{L} \quad (20)$$

Dimensionless material length scale parameter:

$$\beta = \frac{l_m}{L} \quad (21)$$

Dimensionless elastic medium parameter:

$$K_U = \frac{k_u L^2}{EA} \quad (22)$$

Dimensionless frequency parameter:

$$\Omega_n = \omega L \sqrt{\frac{\rho A}{EA}} \Rightarrow \Omega_n = \sqrt{\frac{n^2 \pi^2 (1 + n^2 \pi^2 \beta^2)}{1 + n^2 \pi^2 \alpha^2} + K_U} \quad (23)$$

In Tables 1-3, the first three dimensionless free vibration frequencies of the nanorod are presented for various values of the dimensionless nonlocal parameter ( $\alpha$ ) and the dimensionless elastic medium parameter ( $K_U$ ).

**Table 1.** The first vibration frequency for various values of the nonlocal and the elastic medium parameters and  $\beta = 0$

$K_U$	$\alpha$			
	0	0,25	0,5	1
0	3,1415	2,4706	1,6871	0,9528
1	3,2969	2,6653	1,9612	1,3813
5	3,8561	3,3322	2,8011	2,4306
10	4,4575	4,0130	3,5841	3,3027

**Table 2.** The second vibration frequency for various values of the nonlocal and the elastic medium parameters and  $\beta = 0$

$K_U$	$\alpha$			
	0	0,25	0,5	1
0	6,2831	3,3742	1,9057	0,9875
1	6,3622	3,5193	2,1522	1,4054
5	6,6692	4,0479	2,9380	2,4444
10	7,0340	4,6244	3,6921	3,3128

In Tables 1-3, the dimensionless material length scale parameter is taken as  $\beta = 0$ . It can be seen

from Tables 1-3 that an increase in the dimensionless nonlocal parameter ( $\alpha$ ) leads to a decrement in the dimensionless vibration frequencies. This is due to the softening effect caused by the inclusion of nonlocal parameter.

**Table 3.** The third vibration frequency for various values of the nonlocal and the elastic medium parameters and  $\beta = 0$

$K_U$	$\alpha$			
	0	0,25	0,5	1
0	9,4247	3,6821	1,9564	0,9944
1	9,4776	3,8154	2,1971	1,4102
5	9,6864	4,3078	2,9711	2,4472
10	9,9411	4,8536	3,7185	3,3149

The most important observation from Tables 1-3 is that the effect of the dimensionless nonlocal parameter on the frequencies increases as the mode number increases. In other words, the third frequency ( $\Omega_3$ ) is the most affected by the nonlocal parameter. For instance, regardless of  $K_U$  values the first and the third frequencies are  $\Omega_1 = 3.1415$  and  $\Omega_3 = 9.4247$ , respectively when the nonlocal parameter is zero ( $\alpha = 0$ ). However, if the nonlocal parameter is unity ( $\alpha = 1$ ), the frequencies are  $\Omega_1 = 0.9528$  and  $\Omega_3 = 0.9944$ , respectively.

**Table 4** The first vibration frequency for various values of the material length scale and the elastic medium parameters and  $\alpha = 0$

$K_U$	$\beta$			
	0	0,25	0,5	1
0	3,1415	3,9947	5,8499	10,357
1	3,2969	4,1179	5,9348	10,405
5	3,8561	4,5779	6,2627	10,596
10	4,4575	5,0948	6,6499	10,829

Tables 4-6 present the first three dimensionless frequency parameters for different values of the dimensionless material length scale parameter ( $\beta$ ) and elastic medium parameter ( $K_U$ ). Tables 4-6

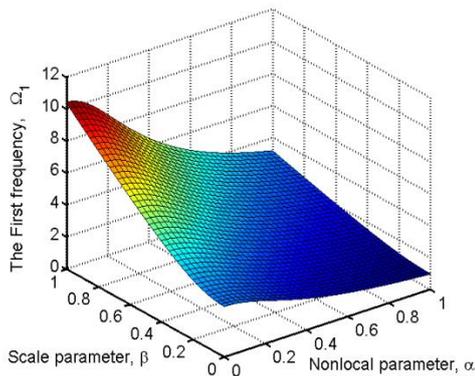
reveal that in contrast to the nonlocal parameter, the material length scale parameter has an increasing effect on the frequencies. This behavior is the typical characteristics of the strain gradient theory (also couple stress theory). The inclusion of the material length scale parameter makes the rod stiffer, and then the stiffer rod yields the larger frequencies.

**Table 5.** The second vibration frequency for various values of the material length scale and the elastic medium parameters and  $\alpha = 0$

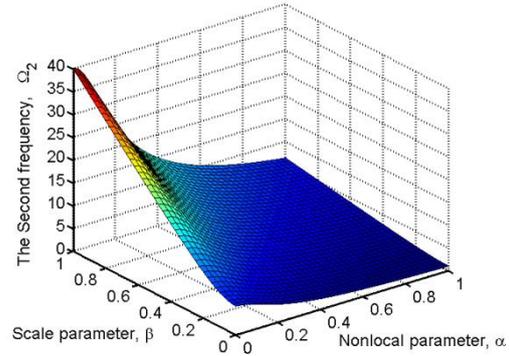
$K_U$	$\beta$			
	0	0,25	0,5	1
0	6,2831	11,699	20,715	39,975
1	6,3622	11,742	20,739	39,987
5	6,6692	11,911	20,835	40,037
10	7,0340	12,119	20,955	40,100

**Table 6.** The third vibration frequency for various values of the material length scale and the elastic medium parameters and  $\alpha = 0$

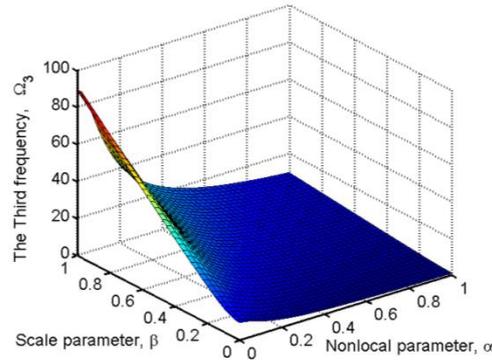
$K_U$	$\beta$			
	0	0,25	0,5	1
0	9,4247	24,123	45,402	89,325
1	9,4776	24,144	45,413	89,330
5	9,6864	24,227	45,457	89,353
10	9,9411	24,330	45,512	89,380



**Figure 1.** The variation of the first vibration frequency with the nonlocal and the material length scale parameters



**Figure 2.** The variation of the second vibration frequency with the nonlocal and the material length scale parameters



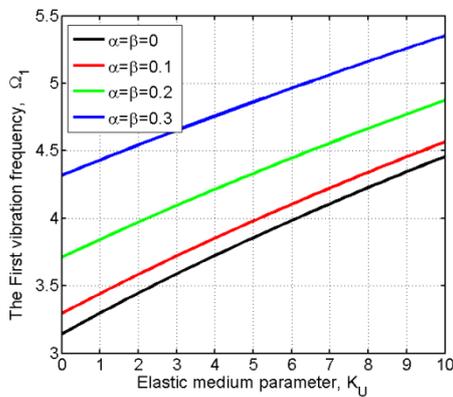
**Figure 3.** The variation of the third vibration frequency with the nonlocal and the material length scale parameters

Figures 1-3 display the variation of the first three frequencies with the nonlocal parameter ( $\alpha$ ) and the material length scale parameter ( $\beta$ ). Here, the elastic medium parameter is taken as  $K_U = 0$  since the similar figures are obtained for the other values of  $K_U = 1, 5, 10$ . As reported in the previous section, the frequency values are very sensitive to the nonlocal parameter and the material scale parameter.

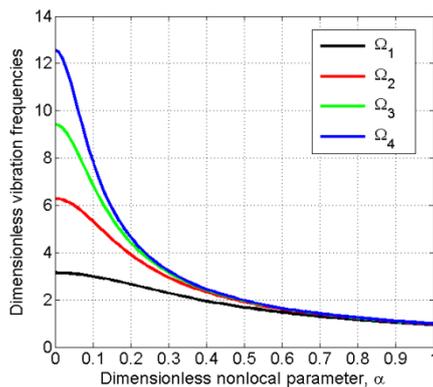
It can be observed from Figures 1-3 that the material scale parameter is more effective on the higher modes than on the lower modes as also deduced for the nonlocal parameter. It should be noted here that when both nonlocal and the scale

parameters are zero ( $\alpha = \beta = 0$ ), the frequency values correspond to the classical counterparts.

Figure 4 shows the effect of the elastic medium parameter on the first vibration frequency for various values of the nonlocal and scale parameters. It is clear from the figure that an increase of the elastic medium parameter gives a rise in the first frequency. The reason of this behavior is due to the fact the elastic medium increase the stiffness of the system. Also, it should be noted here that the similar trend is observed for the other modes.



**Figure 4.** The variation of the first vibration frequency with the dimensionless elastic medium parameter



**Figure 5.** The variation of the first four vibration frequencies with the dimensionless elastic medium parameter

Figure 5 plots the variation of the first four vibration frequencies as a function of the dimensionless nonlocal parameter ( $\alpha$ ). In this figure, the scale and the elastic medium parameters are taken as  $\beta = 0$  and  $K_U = 0$ . It is very interesting that the difference between the frequency values decreases significantly while the nonlocal parameter increases, and all frequency values go to the same value with the increase of the nonlocal parameter.

#### 4. CONCLUSIONS

In this work, free vibration of an embedded nanorod is performed using a newly proposed nonlocal strain gradient theory. A frequency formula is presented for a fixed-fixed nanorod. The effects of the nonlocal parameter, material length scale parameter and the elastic medium on free vibration characteristics of the nanorod are investigated. From the results analyzed above, the most important observations are summarized as follows:

- The frequency values obtained by the classical (or local) theory are very different from those obtained by the nonlocal strain gradient theory. Thus, the classical continuum theory is not suitable to analyze the mechanical behavior of nanostructures;
- The nonlocal parameter decreases the frequency values whereas the material length scale parameter increases the frequencies;
- The effect of the nonlocal and the material scale parameters on the free vibration frequencies rises as the mode number increases;
- The vibration frequencies at the different modes approach to the same value with the increase of the nonlocal parameter;
- The elastic medium parameter plays an important role on free vibration frequencies;
- The tabulated results are presented for the first time in this paper, thus they can be a reference for the prospective researchers to validate their results.

## 5. REFERENCES

1. Eringen, A.C., 1972. Nonlocal Polar Elastic Continua; *International Journal of Engineering Science*, 10, pp. 1-16.
2. Aifantis, E.C., 1999. Strain Gradient Interpretation of Size Effects; *International Journal of Fracture*, 95, pp. 1-4.
3. Yang, F., Chong, A.C.M., Lam, D.C.C., Tong, P., 2002. Couple Stress Based Strain Gradient Theory for Elasticity; *International Journal of Solids and Structures*, 39, pp. 2731–2743.
4. Eringen, A.C., 1967. Theory of micropolar plates; *Zeitschrift für Angewandte Mathematik und Physik*, 18, pp. 12–30.
5. Peddieson, J., Buchanan, G.R., McNitt R.P., 2003. Application of Nonlocal Continuum Models to Nanotechnology; *International Journal of Engineering Science*, 41, pp. 305-312.
6. Reddy, J.N., 2007. Nonlocal Theories for Bending, Buckling and Vibration of Beams; *International Journal of Engineering Science*, 45, pp. 288-307.
7. Adali S, 2008. Variational Principles for Multi-Walled Carbon Nanotubes Undergoing Buckling Based on Nonlocal Elasticity Theory; *Physics Letters A*, 372, pp. 5701-5705.
8. Murmu, T., Pradhan, S.C., 2009. Buckling Analysis of a Single-Walled Carbon Nanotube Embedded in an Elastic Medium Based on Nonlocal Elasticity and Timoshenko Beam Theory and Using DQM; *Physica E*, 41, pp. 1232-1239.
9. Murmu, T., Adhikari, S., 2011. Axial Instability of Double-Nanobeam-Systems; *Physics Letters A*, 375 pp. 601-608.
10. Pradhan, S.C., Reddy, G.K., 2011. Buckling Analysis of Single Walled Carbon Nanotube on Winkler Foundation Using Nonlocal Elasticity Theory and DTM; *Computational Materials Science*, 50, pp. 1052-1056.
11. Ansari, R., Sahmani, S., Rouhi, H., 2011. Axial Buckling Analysis of Single-Walled Carbon Nanotubes in Thermal Environments Via the Rayleigh–Ritz Technique; *Computational Materials Science*, 50 pp. 3050–3055.
12. Şimşek, M., Yurtcu, H.H., 2013. Analytical Solutions for Bending and Buckling of Functionally Graded Nanobeams Based on the Nonlocal Timoshenko Beam Theory; *Composite Structures*, 97, pp. 378-386.
13. Aydogdu, M., 2009. A General Nonlocal Beam Theory: Its Application to Nanobeam Bending, Buckling and Vibration; *Physica E*, 41, pp. 1651-1655.
14. Murmu, T., Pradhan, S.C., 2009. Thermo-Mechanical Vibration of a Single-Walled Carbon Nanotube Embedded in an Elastic Medium Based on Nonlocal Elasticity Theory; *Computational Materials Science*, 46, pp. 854-859.
15. Şimşek, M., 2010. Vibration Analysis of a Single-Walled Carbon Nanotube Under Action of a Moving Harmonic Load Based on Nonlocal Elasticity Theory; *Physica E*, 43, pp. 182-191.
16. Şimşek, M., 2011. Nonlocal Effects in the Forced Vibration of an Elastically Connected Double-Carbon Nanotube System Under a Moving Nanoparticle; *Computational Materials Science*, 50, pp. 2112-2123,
17. Şimşek, M., 2011. Forced Vibration of an Embedded Single-Walled Carbon Nanotube Traversed by a Moving Load Using Nonlocal Timoshenko Beam Theory; *Steel Composite Structures*, 11, pp. 59-76.
18. Eltahir, M.A., Emam, S.A., Mahmoud, F.F., 2012. Free Vibration Analysis of Functionally Graded Size-Dependent Nanobeams; *Applied Mathematics and Computation*, 218, pp. 7406–7420.
19. Thai, H.T., A., 2012. Nonlocal Beam Theory for Bending, Buckling, and Vibration of Nanobeams; *International Journal of Engineering Science*, 52, pp. 56–64.
20. Şimşek M., 2012. Nonlocal Effects in the Free Longitudinal Vibration of Axially Functionally Graded Tapered Nanorods; *Computational Materials Science*, 61, pp. 257–265.
21. Tsepoura, K.G., 2002. Papargyri-Beskou, S., Polyzos, D., Beskos, D.E., Static and Dynamic Analysis of a Gradient-Elastic Bar in Tension; *Archive of Applied Mechanics*, 72, pp. 483-497.
22. Park, S.K., Gao, X.L., 2006. Bernoulli–Euler Beam Model Based on a Modified Couple

- Stress Theory; Journal of Micromechanics and Microengineering, 16, pp. 2355–2359.
23. Ma, H.M., Gao, X.L., Reddy, J.N., 2008. A Microstructure-Dependent Timoshenko Beam Model Based on a Modified Couple Stress Theory; Journal of the Mechanics and Physics of Solids, 56, pp. 3379-3391.
24. Şimşek M., 2010. Dynamic Analysis of an Embedded Microbeam Carrying A Moving Microparticle Based on the Modified Couple Stress Theory, International Journal of Engineering Science, 48, pp. 1721–1732.
25. Reddy, J.N., 2011. Microstructure-Dependent Couple Stress Theories of Functionally Graded Beams; Journal of the Mechanics and Physics of Solids, 59, pp. 2382-2399.
26. Şimşek, M., Kocatürk, T., Akbaş, Ş. D., 2013. Static Bending of a Functionally Graded Microscale Timoshenko Beam Based on the Modified Couple Stress Theory; Composite Structures, 95, pp. 740-747.
27. Şimşek, M., Reddy, J.N, 2013. Bending and Vibration of Functionally Graded Microbeams Using a New Higher Order Beam Theory and the Modified Couple Stress Theory; International Journal of Engineering Science, 64, pp. 37–53.
28. Şimşek, M., Reddy, J.N, 2013. A Unified Higher Order Beam Theory for Buckling of a Functionally Graded Microbeam Embedded in Elastic Medium Using Modified Couple Stress theory, Composite Structures, 101, pp. 47-58.
29. Akgöz, B., Civalek, Ö., 2013. Longitudinal Vibration Analysis of Strain Gradient Bars Made of Functionally Graded Materials (FGM); Composites: Part B, 55, pp. 263-268.
30. Şimşek, M., 2014. Nonlinear Static and Free Vibration Analysis of Microbeams Based on the Nonlinear Elastic Foundation Using Modified Couple Stress Theory and He's Variational Method; Composite Structures, 112, pp. 264-272.
31. Challamel N., 2013. Variational Formulation of Gradient or/and Nonlocal Higher-Order Shear Elasticity Beams, Composite Structures, 105, pp. 351–368.
32. Lim C.W., Zhang G., Reddy J.N., 2015. A Higher-Order Nonlocal Elasticity and Strain Gradient Theory and its Applications in Wave Propagation, Journal of the Mechanics and Physics of Solids, 78, pp. 298–313,
33. Li L., Hu Y, 2015. Buckling Analysis of Size-Dependent Nonlinear Beams Based on a Nonlocal Strain Gradient Theory; International Journal of Engineering Science, 97, pp. 84–94.





## Çapraz Akışlı Paralel Borulu Boru Demetinde Entropi Üretiminin Analitik ve Deneysel Olarak İncelenmesi

Alper YILMAZ<sup>\*1</sup>, Tuncay YILMAZ<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü,  
Osmaniye

Geliş tarihi: 22.01.2016

Kabul tarihi: 14.03.2016

### Özet

Sıcak atık gazlardan sıvıya ısı transferinde en çok kullanılan ısı eşanjörlerinden biri de çapraz akışlı boru demeti ısı eşanjörleridir. Boru dışından genelde gaz ve boru içinden de sıvı akmaktadır. Son yıllarda ısı eşanjörlerinin boyutlandırılmasında en önemli kriter olarak minimum entropi üretimi esas alınmaktadır. Bu çalışmada, sabit duvar sıcaklığında boru dışından akan havanın ısı transferinden ve basınç kaybından dolayı entropi üretiminin hesaplanması için gerekli eşitlikler çıkarılmış ve ölçülen değerlerden hem ısı transferi hem de basınç kaybından dolayı entropi üretimleri belirlenmiş ve bulunan değerler tartışılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Isı eşanjörü, Boru demeti, Isı transferi, Basınç kaybı, Entropi üretimi

### Analytical and Experimental Investigation of Entropy Generation for an In-line Cross-flow Tube Bank

### Abstract

One of the most commonly used heat exchangers for waste heat recovery from hot flue gases is cross-flow tube bank heat exchangers. Generally, gas flows outside of the tubes and liquid flows inside the tubes. In recent years, minimum entropy generation is taken as the most important criterion for the dimensioning of heat exchangers. In this study, equations are derived for the calculation of entropy generation due to both heat transfer from hot flue gases that flows outside of the tube bank and pressure losses at constant wall temperature. Generated entropies are determined both due to heat transfer and due to pressure losses and they are discussed.

**Keywords:** Heat exchanger, Tube bank, Heat transfer, Pressure loss, Entropy generation

---

\* Yazışmaların yapılacağı yazar: Alper YILMAZ, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü, Adana. alpyil@cu.edu.tr

## 1. GİRİŞ

Çapraz akışlı boru demeti ısı eşanjörleri bilhassa ısı geri kazanımında en çok kullanılan ısı eşanjörlerinden biridir. Bu ısı eşanjörlerinde gaz tarafı kirlilik oranı egzoz gazlarından olduğu gibi yüksek olduğundan kanatçiksız borular tercih edilmektedir.

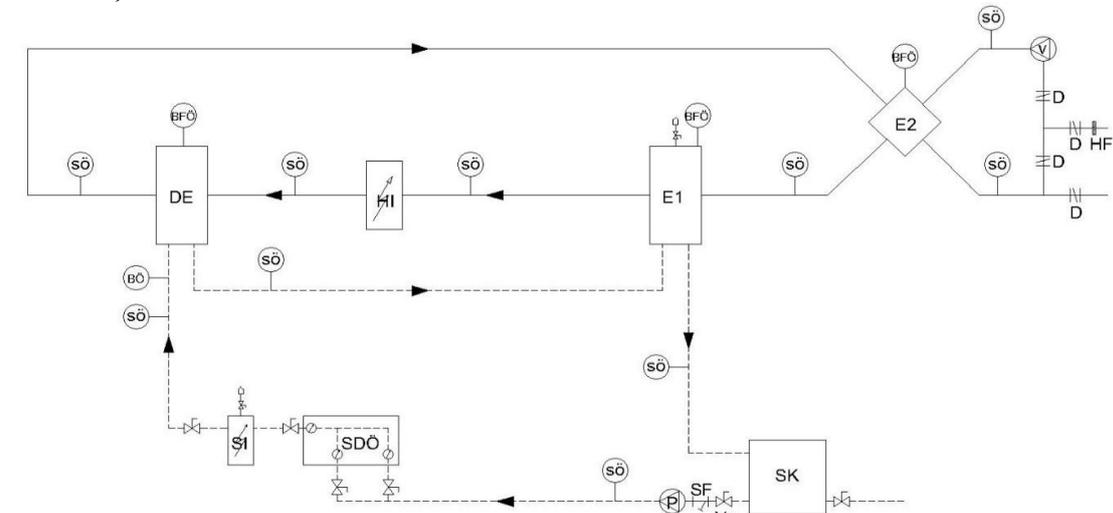
Isı eşanjörlerinin optimum tasarımı için çeşitli yöntemler önerilmektedir [1, 2]. Bu yöntemlerde genel olarak verilen bir basınç kaybında ve ısı aktarımında minimum ısı eşanjör kesit alanı [3-6] veya minimum ısı eşanjör hacmi [7-10] hedef alınmaktadır. Bazılarında ise verilen bir basınç kaybı ve ısı aktarımında minimum eşanjör ilk yatırım ve işletme maliyeti istenmektedir. [1]. Ancak termodinamik açıdan en uygun görülen ısı eşanjöründe ısı transferi ve basınç kaybı açısından minimum entropi üretiminin hedeflenmesidir [11].

Bunun için bu çalışmada, hem ısı transferi hem de basınç kaybından dolayı entropi üretimi incelenmiştir.

## 2. DENEY DÜZENEGİ

### 2.1. Deneysel Düzeneginin Şematik Görünümü

Deneysel düzenegi Şekil 1’de şematik olarak gösterilmiştir. V vantilatörüyle dışarıdan emilen hava, atık hava ile çapraz akışlı levhalı bir ısı eşanjörü olan E2 de ön ısıtmaya tabi tutulmaktadır. Bu hava ısınmış su ile de bir miktar daha ısıtılarak hava ısıtıcısı (HI)’nda istenen sıcaklığa getirilerek deneysel eşanjörü (DE)’ne verilmektedir. Burada soğutma kulesinde soğutulmuş ve sabit bir sıcaklıkta tutulmak için su ısıtıcısı (SI)’ndan geçirilen su havayı soğutmak için kullanılmaktadır. Buradan çıkan su DE deneysel eşanjörüne verilerek ısıtılmaktadır. Deneysel eşanjöründen çıkan hava, E2 eşanjöründe sıcaklığı düşürüldükten sonra atmosfere atılmaktadır. Deneysel eşanjöründe ısıtılan su da sıcaklığı E1 eşanjöründe düşürülmekte ve sonra da soğutma kulesi (SK) da sıcaklığı tekrar düşürülerek, P pompası vasıtasıyla su ısıtıcısına gönderilmektedir.



DE	Deneysel eşanjörü	SF	Su filtresi	SDÖ	Su debisi ölçer
D1	temiz hava / sıcak su eşanjörü	Va	Vana	SÖ	Sıcaklık ölçer
D2	Atık hava / temiz hava eşanjörü	P	Pompa	BÖ	Mutlak basınç ölçer
H1	Hava ısıtıcısı	D	Hava damperi	BFÖ	Basınç farkı ölçer
SI	Su ısıtıcısı	HF	Hava damperi	V	Vantilatör

Şekil 1. Deneysel düzeneginin şematik görünümü

Deney düzeneği ve ölçme sistemleri hakkında ayrıntılı bilgi daha önceki bir çalışmada verilmiştir [13].

## 2.2. Deney Eşanjörü

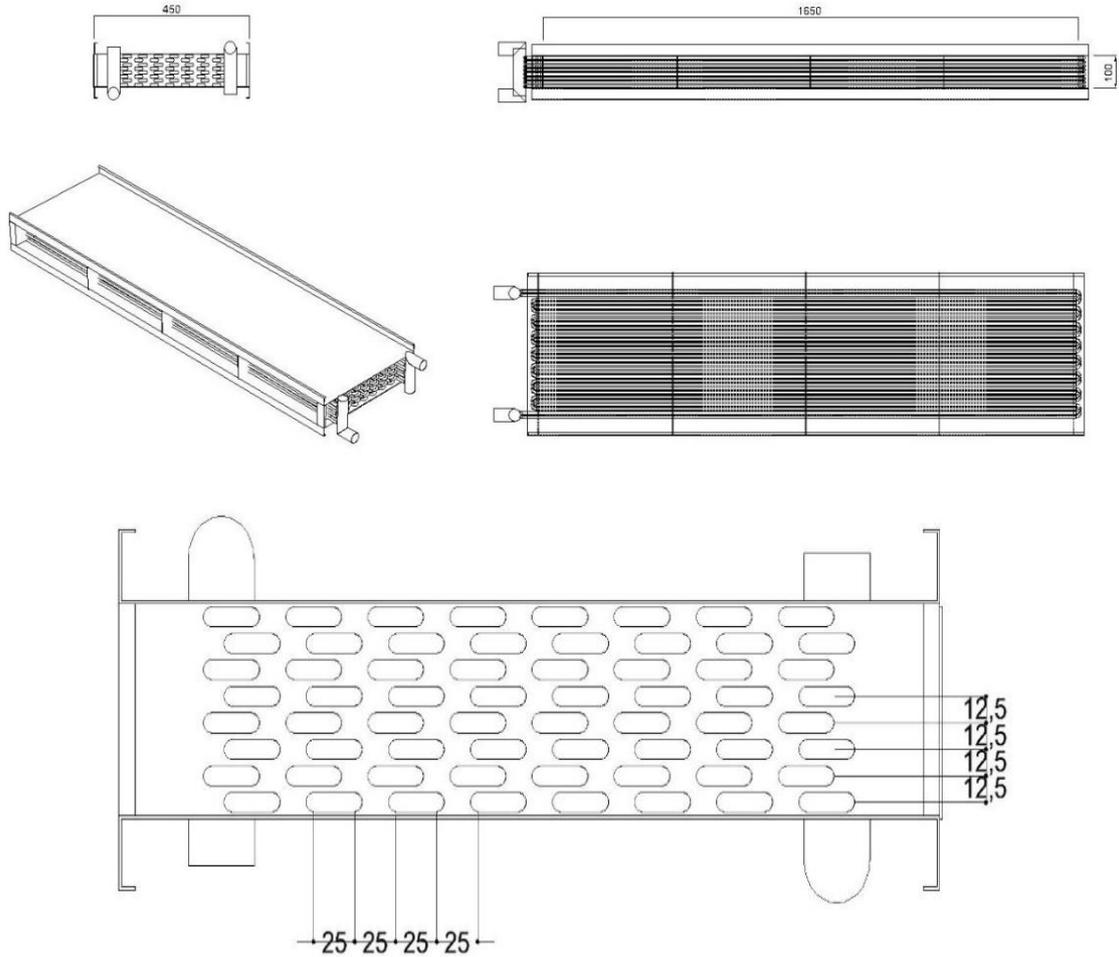
Deney eşanjörü saptırılmış borular şeklinde olup, görünüm ve boyutları Şekil 2 ve 3'te gösterilmiştir.

## 2.4. Ölçümler

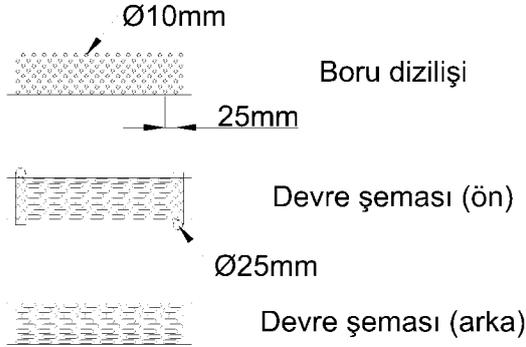
Sistemde tüm eşanjörler, hava ve su ısıtıcıları ile soğutma kulesi giriş ve çıkış sıcaklıklarını

belirlemek için PT100 sensörleri kullanılmaktadır. Eşanjörlerin giriş ve çıkışlarında basınç farkları ölçülecek duruma getirilmiştir. Şekil 1'de deney düzeneği akış şeması üzerinde ölçüm noktaları gösterilmiştir.

Su debisi debi değerine göre rotametre 1, rotametre 2 ve elektronik debi ölçer ile ölçülmüştür. Bunların kalibrasyon eğrileri çıkarılmış olup, Şekil 4, 5 ve 6'da gösterilmiştir. Hava debisi ölçümü ise pitot tüpü yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Buradaki ve deney eşanjöründeki basınç farkları basınç fark sensörleri ve data logger üzerinden bilgisayara aktarılmıştır.



Şekil 2. Deney eşanjörünün (DE) görünümü ve boyutları



Şekil 3. Deney eşanjörünün (DE) boru dizilimi ve devre şeması

### 3. DENEY DÜZENEĞİNDE YAPILAN ÖLÇÜMLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

#### 3.1. Transfer Edilen Isı ve Basınç Kaybının Belirlenmesi

Deney eşanjöründe transfer edilen ısı

$$\dot{Q}_h = \dot{M}_h c_{ph} (T_{hg} - T_{hç}) \quad (1)$$

$$\dot{Q}_s = \dot{M}_s c_{ps} (T_{sç} - T_{sg}) \quad (2)$$

Eşitlikleriyle belirlenmiştir.  $\dot{M}_h$  ve  $\dot{M}_s$  ölçülen su ve hava debileri olup,  $c_{ph}$  ve  $c_{ps}$  de

$$T_{hm} = \frac{T_{hg} + T_{hç}}{2} \quad (3)$$

$$T_{sm} = \frac{T_{sg} + T_{sç}}{2} \quad (4)$$

Şeklinde hesaplanan ortalama hava ve su sıcaklıklarında belirlenen havanın ve suyun özgül ısılarıdır. Ölçülen sıcaklıklar yardımıyla  $\dot{Q}_h$  ve

$\dot{Q}_s$  belirlenmiş ve transfer edilen ısı  $\dot{Q}$  olarak da bunların ortalaması alınmıştır:

$$\dot{Q} = \frac{\dot{Q}_h + \dot{Q}_s}{2} \quad (5)$$

Deney eşanjöründe basınç kaybı  $\Delta P$  basınç fark ölçer tarafından doğrudan ölçülmüştür. Deney eşanjöründe akış yönünde borular arası mesafe  $s_L$  ve akışa dik yönde mesafe  $s_T$  aşağıdaki şekilde  $d$  boru dış çapı ile boyutsuz hale getirilmiştir:

$$s_T^* = \frac{s_T}{d} \quad (6)$$

$$s_L^* = \frac{s_L}{d} \quad (7)$$

Deney eşanjöründe ilgili değerler aşağıda verilmiştir.

$$\frac{u_{\max}}{u} = \frac{5}{3} ; N_L = 32 ; N_T = 16 ; s_T^* = 2.5 ; s_L^* = 1,25 \quad (8)$$

Burada  $u_{\max}$  boru demeti içindeki en yüksek hava hızı,  $u$  eşanjöre girmeden önceki borusuz eşanjördeki hava hızı,  $N_L$  ve  $N_T$  akış yönünde ve akışa dik yöndeki boru sayılarıdır.

#### 3.2. Entropi Üretiminin Hesaplanması

Bir akışta entropi üretimi,

$$\sum \dot{M}_g s_g - \sum \dot{M}_ç s_ç + \sum \frac{\dot{Q}}{T} + \dot{S}_{ür} = \Delta S \quad (9)$$

eşitliğinden belirlenir. Burada g girişi ve ç de çıkışı sembolize etmektedir. Sürekli akışta  $\Delta S = 0$  olacağından, üretilen entropi,

$$\dot{S}_{ür} = \sum \dot{M}_{\zeta} s_{\zeta} - \sum \dot{M}_g s_g - \sum \frac{\dot{Q}}{T} \quad (10)$$

Eşitliğinden bulunmalıdır. Bu eşitlikte toplam yerine integral yazılarak,

$$\dot{S}_{ür} = \dot{M} (s_{\zeta} - s_g) - \int_g^{\zeta} \frac{d\dot{Q}}{T} \quad (11)$$

şekline gelir. Bu eşitliğin diferansiyel yazımı da,

$$d\dot{S}_{ür} = \dot{M} ds - \frac{d\dot{Q}}{T} \quad (12)$$

şekindedir. Buradaki ds entropi farkı ve iç enerjiler aşağıda verilen eşitlikler yardımıyla hesaplanabilir. Burada akışkan, deney eşanjöründe de kabul edilebileceği üzere, ideal gaz olarak kabul edilmiştir.

$$T ds = du + p dv \quad (13)$$

$$h = u + p v \quad (14)$$

$$du = dh - p dv - v dp \quad (15)$$

$$T ds = dh - v dp \quad (16)$$

$$ds = \frac{dh}{T} - \frac{v}{T} dp \quad (17)$$

$$ds = \frac{dh}{T} - R \frac{dp}{p} \quad (18)$$

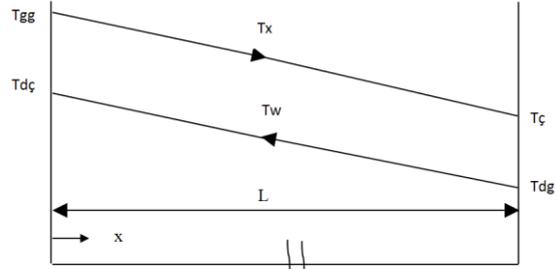
Eşitlik 12 entegre edildiğinde ve ds için Eşitlik 18 kullanıldığında, Eşitlik 19 elde edilir:

$$\dot{S}_{ür} = \dot{M} \left[ \int \frac{dh}{T} - R \int \frac{dp}{p} \right] - \int \frac{d\dot{Q}}{T_d} \quad (19)$$

Bu eşitliğin entegrasyonundan da Eşitlik 20 bulunur:

$$\dot{S}_{ür} = \dot{M} \left[ c_p \ln \frac{T_{\zeta}}{T_g} - R \ln \frac{P_{\zeta}}{P_g} - \int \frac{d\dot{Q}}{T_d} \right] \quad (20)$$

Şekil 4'te deney eşanjöründeki hava ve su tarafındaki sıcaklık değişimleri şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4. Deney eşanjöründe gaz ve duvarın sıcaklık değişimi

Kullanılan ısı eşanjöründe (DE) duvar sıcaklığı su sıcaklığına eşit alınabilir. Ayrıca eşanjör boyunca sıcaklık değişimi de lineer kabul edilebilir. Bu durumda duvar sıcaklığı için Eşitlik 21 yazılabilir:

$$T_d = (1 - x^*) T_{wi} + x^* T_{d\zeta} \quad (21)$$

Ayrıca ısı transferinden dolayı entropi üretimi için Eşitlik 22 geçerlidir.

$$\dot{S}_{\dot{Q}} = - \int_0^L \frac{d\dot{Q}}{T_d} \quad (22)$$

Eşanjör içinde ısı transferi katsayısı, kolon sayısı  $N_T$  çok olduğu için (16 adet), sabit kabul edilebilir. Böylece de Eşitlik 23 yazılabilir:

$$d\dot{Q} = \dot{Q} \frac{dx}{L} = \dot{Q} dx^* \quad (23)$$

Buradaki boyutsuz koordinat  $x^*$  aşağıdaki gibi tarif edilmiştir:

$$x^* = x/L \quad (24)$$

Eşitlik 22 ve 23'ten

$$\dot{S}_{\dot{Q}} = -\dot{Q} \int \frac{dx^*}{T_{dg} - x^* (T_{dg} - T_{d\zeta})} \quad (25)$$

bağıntısı bulunur.

Buradan da

$$\Delta T_d = T_{dg} - T_{d\zeta} \quad (26)$$

$$a = \frac{\Delta T_d}{T_{dg}} \quad (27)$$

tanımlarıyla aşağıdaki eşitlikler elde edilir:

$$\dot{S}_{\dot{Q}} = -\frac{\dot{Q}}{T_{dg}} \int_0^L \frac{dx^*}{1 - ax^*} \quad (28)$$

$$\dot{S}_{\dot{Q}} = -\frac{\dot{Q}}{T_{dg}} \frac{\ln(1-a)}{a} \quad (29)$$

$$\dot{S}_{\dot{Q}} = -\dot{Q} \frac{\ln\left(1 - \frac{\Delta T_d}{T_{dg}}\right)}{\Delta T_d} \quad (30)$$

Ortalama bir duvar sıcaklığı tarifi ile eşit. (31) yazılabilir:

$$\dot{S}_{\dot{Q}} = -\frac{\dot{Q}}{T_{dm}} \quad (31)$$

Burada ortalama duvar sıcaklığı aşağıdaki gibi tarif edilmiştir:

$$T_{dm} = -\frac{\Delta T_d}{\ln\left(1 - \frac{\Delta T_d}{T_{dg}}\right)} \quad (32)$$

$$T_{dm} = \frac{T_{dg} - T_{d\zeta}}{\ln \frac{T_{dg}}{T_{d\zeta}}} \quad (33)$$

Bu eşitliğe göre  $T_{dm}$  değeri logaritmik ortalama bir duvar sıcaklığıdır. Bu değerlerle entropi üretimi Eşitlik 20'den aşağıdaki gibi elde edilir:

$$\dot{S}_{ür} = \dot{M}_h c_p \ln \frac{T_{h\zeta}}{T_{hg}} - R_h \ln \frac{P_{h\zeta}}{P_{hg}} - \frac{\dot{Q}}{T_{dm}} \quad (34)$$

Burada  $R_h$  havanın gaz sabiti,  $P_{h\zeta}$  ve  $P_{hg}$  de gazın eşanjöre giriş ve çıkış basınçlarıdır. Ayrıca

$$\dot{M}_h c_{ph} = \frac{\dot{Q}}{T_{gg} - T_{g\zeta}} \quad (35)$$

olduğundan

$$\dot{S}_{ür} = \dot{Q} \frac{\ln \frac{T_{h\zeta}}{T_{hg}}}{T_{gg} - T_{g\zeta}} - \frac{\dot{Q}}{T_{dm}} = -\frac{\dot{Q}}{T_{gm}} - \frac{\dot{Q}}{T_{dm}} \quad (36)$$

bulunur. Burada  $T_{gm}$  logaritmik ortalama gaz sıcaklığıdır:

$$T_{gm} = \frac{T_{gg} - T_{g\zeta}}{\ln \frac{T_{gg}}{T_{g\zeta}}} \quad (37)$$

Böylece Eşitlik 20 aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\dot{S}_{ür} = \dot{Q} \left( \frac{1}{T_{dm}} - \frac{1}{T_{gm}} \right) - \dot{M}_h R_h \ln \frac{P_{h\zeta}}{P_{hg}} \quad (38)$$

Ayrıca, eşanjör basınç kaybı  $\Delta P$  ile

$$P_{h\zeta} = P_{hg} - \Delta P \quad (39)$$

olduğundan, Eşitlik 38 aşağıdaki duruma gelir:

$$\dot{S}_{ür} = \dot{Q} \left( \frac{T_{gm} - T_{dm}}{T_{gm} T_{dm}} \right) - \dot{M} R \ln \frac{P_{h\zeta} - \Delta P}{P_{hg}} \quad (40)$$

Eşitlik 35 kullanılarak Eşitlik 40 aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\dot{S}_{ür} = \dot{Q} \left( \frac{T_{gm} - T_{dm}}{T_{gm} T_{dm}} \right) - \frac{\dot{Q} \left( 1 - \frac{1}{k} \right)}{T_{gg} - T_{g\zeta}} \ln (1 - \Delta P^*) \quad (41)$$

Buradaki  $k$  değeri izantropik gaz sabitidir. Entropi üretimi

$$\dot{S}_{ür} = \dot{S}_{ür,q} + \dot{S}_{ür,p} \quad (42)$$

Şeklinde ısı transferi ve basınç kaybından dolayı olmak üzere ikiye ayrılabilir. Bunların tarifi aşağıda verilmiştir:

$$\dot{S}_{ür,q} = \dot{Q} \left( \frac{T_{gm} - T_{dm}}{T_{gm} T_{dm}} \right) = \dot{Q} \left( \frac{1}{T_{dm}} - \frac{1}{T_{gm}} \right) \quad (43)$$

$$\dot{S}_{ür,p} = -\dot{M} R \ln (1 - \Delta P^*) = \frac{\dot{Q} \left( 1 - \frac{1}{k} \right)}{T_{gg} - T_{g\zeta}} \ln (1 - \Delta P^*) \quad (44)$$

Birim transfer edilen ısıya göre üretilen entropi de

$$\frac{\dot{S}_{ür}}{\dot{Q}} = \left( \frac{1}{T_{dm}} - \frac{1}{T_{gm}} \right) - \frac{1 - \frac{1}{k}}{T_{gg} - T_{g\zeta}} \ln (1 - \Delta P^*) \quad (45)$$

$$\dot{S}_{ür} = \dot{S}_{ür,q} + \dot{S}_{ür,p} \quad (46)$$

$$\dot{S}_{ür,q} = \frac{1}{T_{dm}} - \frac{1}{T_{gm}} \quad (47)$$

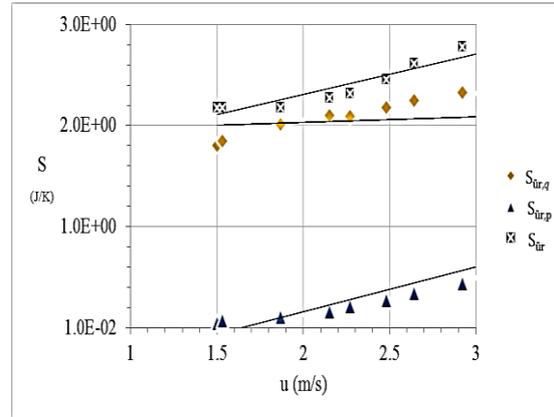
$$\dot{S}_{ür,p} = -\frac{1 - \frac{1}{k}}{T_{gg} - T_{g\zeta}} \ln (1 - \Delta P^*) \quad (48)$$

Bu eşitliklerle  $\dot{S}_{ür}$ ,  $\dot{S}_{ür,q}$ ,  $\dot{S}_{ür,p}$  ve bunların birim transfer edilen ısıya göre özgül değerleri hesaplanabilir.

### 3.3. Toplam ve Özgül Entropi Üretimi

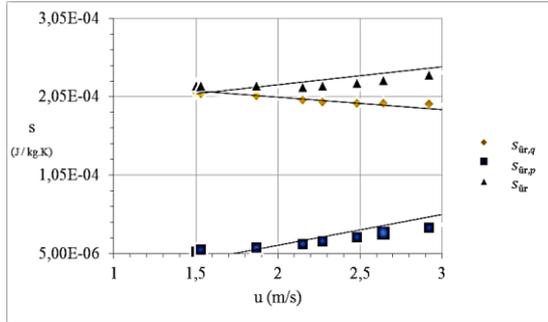
Şekil 5'te ısı transferi ve basınç kaybından dolayı entropi üretimi  $\dot{S}_{ür,q}$ ,  $\dot{S}_{ür,p}$  ile toplam entropi

üretimi  $\dot{S}_{ür}$  eşanjör hava giriş hızının fonksiyonu olarak gösterilmiştir. Düşük hızlarda basınç kaybından dolayı entropi üretimi çok düşüktür. Eğrilerden bu entropi üretimlerinin ancak yaklaşık 5 m/s hızında eşit olabilecekleri anlaşılmaktadır.



Şekil 5. DE'nde entropi üretiminin eşanjör hava giriş hızı ile değişimi

Şekil 6'da ısı transferi ve basınç kaybından dolayı özgül entropi üretimi  $\dot{S}_{ür,q}$ ,  $\dot{S}_{ür,p}$  ile toplam özgül entropi üretimi  $\dot{S}_{ür}$  eşanjör hava giriş hızının fonksiyonu olarak gösterilmiştir. Eğrilerden, özgül entropi üretimlerinin davranışlarının entropi üretimlerinininkine benzer olduğu görülmektedir.



Şekil 6. DE'nde özgül entropi üretiminin eşanjör hava giriş hızı ile değişimi

#### 4. SONUÇLAR

Çapraz akışlı paralel boru demeti ısı eşanjöründe düşük hızlarda basınç kaybından dolayı entropi üretimi çok düşük olup ısı transferinden dolayı gerçekleşen entropi üretimi toplam entropi üretiminde ciddi yer kaplamaktadır. Entropi üretimlerinin ancak yaklaşık 5 m/s hızında eşit olabilecekleri anlaşılmaktadır. Özgül entropi üretimlerinin davranışlarının entropi üretimlerinininkine benzer olduğu görülmektedir.

#### 5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma TEYDEB 7110772 nolu proje kapsamında hazırlanmış olup, Tübitak ve Barış Teknolojik Tesisat Sis. İnş. San. ve Tic. Ltd. şirketine katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

#### 6. KAYNAKLAR

1. Zukauskas, A., 1987. Convective Heat Transfer in Cross Flow, in Handbook of Single Phase Convective Heat Transfer, ed. S. Kakac, R. K. Shah, W. Aung, pp. 6/1-6/45, Wiley, New York.
2. Gaddis, E. S., 2010. Pressure Drop of Tube Bundles in Cross Flow, in VDI Heat Atlas, ed. VDI, pp. 1076-1091. Springer Verlag, Berlin-Heidelberg.
3. Gnielinski, V., 2010. Heat Transfer in Cross Flow Around Single Rows of Tubes and Through Tube Bundles, in VDI Heat Atlas, ed. VDI, pp. 725-729. Springer Verlag, Berlin-Heidelberg.

4. Bejan, A., E., Sciubba, E., 1992. The Optimal Spacing of Parallel Plates Cooled by Forced Convection, International Journal of Heat and Mass Transfer, vol. 35, pp. 3259-3264.
5. Yılmaz, A., Yılmaz, T., Büyükalaca, O., 2000. Optimum Shape and Dimensions of Ducts for Convective Heat Transfer in Laminar Flow at Constant Wall Temperature, International Journal of Heat and Mass Transfer, vol. 43, pp. 767-775.
6. Yılmaz, A., 2008. Optimum Length of Tubes for Heat Transfer in Turbulent Flow at Constant Wall Temperature, International Journal of Heat and Mass Transfer, vol. 51, pp. 3478-3485.
7. Yılmaz A., Yılmaz T., 2015. Optimum Design of Cross-Flow in-Line Tube Banks at Constant Wall Temperature, Heat Transfer Engineering, Accepted for Publication.
8. Yılmaz, A., 2015. Dimensioning of Ducts for Maximal Volumetric Heat Transfer Taking Both Laminar and Turbulent Flow Possibilities into Consideration, Heat and Mass Transfer, Volume 51(4), 543-552.
9. Bejan, A., 1995. The Optimal Spacing for Cylinders in Crossflow Forced Convection, ASME Journal of Heat Transfer, vol. 117, pp. 767-770.
10. Fowler, A. J., Ledezma, G. A., and Bejan, A., 1997. Optimal Geometric Arrangement of Staggered Plates in Forced Convection, International Journal of Heat and Mass Transfer, vol. 40, pp. 1795-1805.
11. Matos, R. S., Vargas, J. V. C., Laursen, T. A., Saboya, 2001. F. E. M., Optimization Study and Heat Transfer Comparison of Staggered Circular and Elliptic Tubes in Forced Convection, International Journal of Heat and Mass Transfer, vol. 44, pp. 3953-3961.
12. Matos, R. S., Vargas, J. V. C., Laursen, T. A., Bejan, A., 2004. Optimally Staggered Finned Circular and Elliptic Tubes in Forced Convection, International Journal of Heat and Mass Transfer, vol. 47, pp. 1347-1359.
13. Muralikrishna, K., 2000. Heat Exchanger Design Targets for Minimum Area and Cost, Institution of Chemical Engineers, Trans. I ChemE, vol. 78, Part A, pp. 161-167.



## Üçlü Eşleştirme Yöntemi ile Uydu ve Hidrolojik Model Kaynaklı Toprak Nemi Değerlerinin Hata Oranlarının Bulunması

**M. Tuğrul YILMAZ\***<sup>1</sup>

*Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara*

*Geliş tarihi: 22.01.2016*

*Kabul tarihi: 03.05.2016*

### Özet

Toprak neminin iklim, taşkın, kuraklık ve rekolte gibi birçok çalışmada çok kritik bir öneme sahip olmasına karşın, toprak nemi ile alakalı çalışmalar ülkemizde çok kısıtlı kalmıştır. Hidrolojik model ve uydu verisi gibi değişik kaynaklardan elde edilen toprak nemi değerlerinin birleştirilerek daha iyi veri elde edilmesi, ancak bu verilerin hata oranlarının belirlenmesi ile mümkündür. Toprak nemi son yıllarda bilhassa hidroloji kaynaklı çalışmalarda sıklıkla kullanılmaktadır. Buna karşın üçlü eşleştirme tekniği kullanılarak veri setlerinin hata oranları ülkemizi çalışma sahası olarak alan bir çalışmada henüz elde edilmemiştir. Bu çalışmada NOAA hidroloji modeli ile LPRM ve ASCAT uydu verileri kaynaklı günlük toprak nemi değerlerinin hata oranları ülkemizin bitki örtüsünün dağılımını kapsayacak şekilde 10 alan üzerinde, 2007-2011 yılları verileri kıyaslanarak elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar NOAA hidroloji verilerinin LPRM ve ASCAT verilerine kıyasla ortalama olarak daha az hata içerdiğini ortaya koymuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Toprak nemi, Üçlü eşleştirme, Uzaktan algılama, Hidrolojik modelleme

### Estimation of the Errors of Remote Sensing and Hydrological Model-Based Soil Moisture Values Using Triple Collocation

#### Abstract

Only limited studies in Turkey have focused their attention on soil moisture even though it has a key role in climate, flood, drought and agricultural yield related studies. Estimation of soil moisture product obtained via merging of hydrological model- and remote sensing-based soil moisture data sets is only possible if the errors of the merged products are estimated. Triple collocation methodology has been used in many hydrological studies, yet estimation of soil moisture product errors over Turkey has not been implemented before. In this study, errors of NOAA hydrological model-based and LPRM and ASCAT remote sensing-based soil moisture products are found between 2007-2011 over 10 locations that are considered to have different vegetation covers over Turkey. Results show NOAA hydrological model based soil moisture products have smaller errors on average compared to LPRM and ASCAT products for these 10 locations.

**Keywords:** Soil moisture, Triple collocation, Remote sensing, Hydrological modeling

\* Yazışmaların yapılacağı yazar: M. Tuğrul YILMAZ, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara.  
tuyilmaz@metu.edu.tr

## 1. GİRİŞ

Taşkın, iklim, kuraklık, su ve enerji döngüsü, hava tahmini gibi birçok konuda çok kritik bir veri olmasından ötürü, toprak nemi Dünya Meteoroloji Örgütü tarafından dünyanın iklimini doğru olarak karakterize etmek için gerekli temel değişkenler olan “Temel İklim Değişkenleri” listesine eklenmiştir [1]. Birçok çalışma için çok önemli olmasına rağmen maalesef günümüze kadar ülkemizde toprak nemi ile ilgili yapılan çalışmalar istenilen düzeyde değildir [2-6].

Değişik yöntemlerle toprak nemi gözlemlerini elde etmek mümkündür. Bunların arasında istasyonlarda yapılan ölçümler, belirli miktarda ölçüm hataları içermesi ve geniş alanları temsil yetersizliğine sahip olmasına rağmen en doğru veriler olarak kabul edilmektedir. Fakat istasyonların kurulum ve işletim maliyetlerinden ve bakım zorluklarından dolayı, istasyonlar geniş alanlar üzerinde yüksek doğrulukta toprak nemi değerleri elde etmede tercih edilmemektedir.

Öte yandan hidrolojik model simülasyonları ve uydu verileri aracılığıyla da toprak nemi verileri elde etmek mümkündür. Geniş alanları temsil etmeleri bakımından bu verilerin çok kritik kullanım alanları vardır. Fakat bu veriler de kendi doğaları gereği bazı noksanlıklar içermektedir. Hidrolojik modeller yüksek çözünürlüklü atmosferik girdilerine, toprak ve bitki ile ilgili parametrelere ihtiyaç duymaktadır. Düşük doğrulukta elde edilecek bu girdi ve parametreler, simülasyon sonuçlarının da düşük doğrulukta olmasına yol açmaktadırlar. Benzer şekilde uydu verileri de elektromagnetik radyasyonun elde edilme yöntemine ve radyasyon transfer algoritmalarının gerçekleri doğru bir şekilde modelleyebilme yeteneklerine bağlı olarak hata içermektedirler.

Hata içermelerine rağmen bu ürünler birçok uygulamada sıklıkla kullanılmaktadırlar. Bu uygulamaların içinde en yaygın olarak kullanılanlarının başında kuşkusuz veri asimilasyonu uygulamaları gelmektedir. Veri asimilasyonu çalışmalarında, gözlemler (örneğin uydu kaynaklı toprak nemi) modellerle birleştirilir

ve doğruluğu modellerden ve gözlemlerden daha yüksek ürün elde edilir. Fakat hem modellerin hem de uydu verilerinin hata oranlarının bilinmesi bu tarz çalışmalar için çok kritik bir öneme sahiptir.

AQUA uydusu üzerinde bulunan Advanced Microwave Scanning Radiometer-Earth Observing System (AMSR-E) sensörü ile mikrodalga bandında pasif uzaktan algılama yöntemiyle gözlemler yapılmaktadır. Bu gözlemlerin girdi olarak kullanıldığı Land Parameter Retrieval Model (LPRM) algoritması [7-8] ile toprak nemi ürünü 2002 yılından 2011 yılına kadar Vrije Üniversitesi Amsterdam (VUA) bünyesinde üretilmiştir. Benzer şekilde METOP-A uydusunun üzerinde bulunan Advanced Scatterometer (ASCAT) gözlemlerine dayalı uydu kaynaklı toprak nemi değerleri 2007 yılından günümüze kadar mevcuttur. NOAA yer yüzü modelinden [9] elde edilen toprak nemi simülasyonları küresel olarak 2000 yılından günümüze kadar mevcuttur. Fakat LPRM, ASCAT ve NOAA toprak nemi verilerini birleştirmeyi amaçlayan veri asimilasyonu gibi metodlardan optimum sonuçlar elde edebilmek için, bu verilerin hata oranlarına mutlak derecede ihtiyaç duyulmaktadır.

Uydu ve hidrolojik model kaynaklı verilerin hata oranları, yer gözlemleri ile doğrudan karşılaştırılarak kolayca bulunabilmektedir [10-12]. Fakat ülkemizde bulunan istasyon kaynaklı toprak nemi gözlemlerinin henüz kalibrasyonları yapılmadığı için, bu verilerin uydu ve hidrolojik model kaynaklı verilerin hata oranlarının elde edilmesinde kullanılması sağlıklı sonuçlar vermemektedir. Öte yandan, çıkış noktası olarak okyanus bilimi ile alakalı bir çalışma için önerilmiş [13] fakat daha sonra hidroloji alanında çok geniş kullanım alanı bulmuş [14-17] olan üçlü eşleştirme tekniği, birbirinden bağımsız üç verinin ayrı ayrı hata oranlarının, hiçbir veri setinin diğerlerinden daha doğru olduğu kabul edilmeden bulunmasını sağlamaktadır. Bu yöntem sayesinde uydu ve hidrolojik model kaynaklı verilerin hepsinin hata varyansları bulunabilmektedir.

Bu çalışmanın amacı, ülkemizde bilginiz dahilinde şu ana kadar herhangi bir çalışmada uygulanmamış olan üçlü eşleştirme yöntemi

kullanılarak, ülkemiz üzerinde değişik bitki örtülerini kapsayacak şekilde 10 hücrenin üzerinde LPRM, ASCAT ve NOAH verilerinin hata oranlarını elde etmektir. Elde edilecek bulgular, uydu verilerinin ülkemiz üzerinde değişik alanlardaki doğruluk oranlarının bulunması ve bu verilerin başta veri asimilasyonu olmak üzere diğer çalışmalarda kullanılabilirliğinin ortaya konulması açısından kritik öneme sahiptir.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

### 2.1. Üçlü Eşleştirme

Üçlü eşleştirme (İngilizce “triple collocation”) yöntemi aynı parametreye işaret eden, birbirinden bağımsız ve doğrusal olarak ilişkili üç veri setinin hata varyanslarının bulunmasına yarayan bir yöntemdir. İlk olarak okyanus bilimi ile ilgili çalışmalarda ortaya atılan [13] bu yöntem, zamanla hidroloji alanında popülerlik kazanmış ve birçok çalışmada uygulanmıştır [14-17].

Bu yöntem ilk olarak üç veri setinin birbirine ölçeklendirilmesini gerektirir:

$$c_y = \frac{x'z'}{y'z'} \quad (1)$$

$$c_z = \frac{x'y'}{z'y'} \quad (2)$$

Bu denklemlerde  $x$ ,  $y$  ve  $z$  birbirinden bağımsız üç veri setidir,  $c_y$  ve  $c_z$  sırası ile  $y$  ve  $z$  veri setlerinin  $x$  referans veri setine doğrusal ölçeklendirme katsayılarıdır ve “'” işareti ise bu veri setlerinin uzun süreli ortalamalarının çıkarılması ile elde edilen anomalilere karşılık gelmektedir. Denklem (1) ve (2) ile elde edilen  $c_y$  ve  $c_z$  ölçeklendirme katsayıları kullanılarak aşağıdaki denklem sayesinde  $y$  ve  $z$  verileri referans veri setine ölçeklendirilmektedir.

$$y^* = c_y y' \quad (3)$$

$$z^* = c_z z' \quad (4)$$

Bu denklemlerde  $y^*$  ve  $z^*$  sırası ile

ölçeklendirilmiş  $y$  ve  $z$  anomali veri setlerine karşılık gelmektedir. Bu anomali veri setlerinin daha sonra Eşitlik 5-7’de kullanılmasıyla veri setlerinin hata varyansları ayrı ayrı bulunmaktadır.

$$\sigma_x^2 = \overline{(x - y^*)(x - z^*)} \quad (5)$$

$$\sigma_y^2 = \overline{(y^* - x)(y^* - z^*)} \quad (6)$$

$$\sigma_z^2 = \overline{(z^* - x)(z^* - y^*)} \quad (7)$$

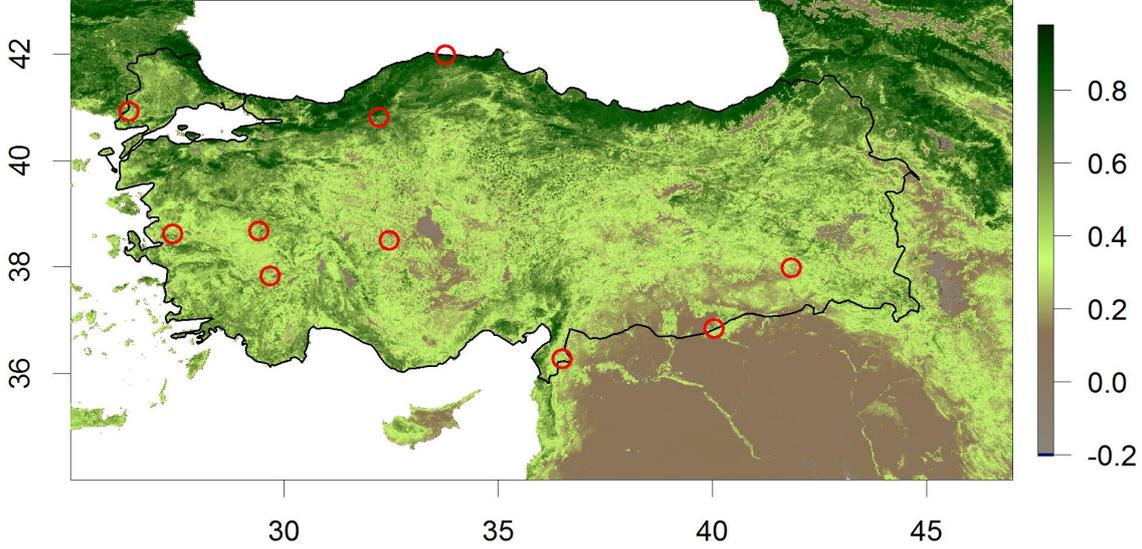
Bu denklemlerde  $\sigma_x^2$ ,  $\sigma_y^2$  ve  $\sigma_z^2$  değerleri sırası ile  $x$ ,  $y^*$  ve  $z^*$  veri setlerinin hata varyans oranını temsil etmekte ve üst çizgi işareti ise zamansal veya mekansal olarak ortalama alma işaretidir.

### 2.2. Uydu ve Model Verileri

#### 2.2.1. MODIS Uydu Kaynaklı Bitki İndisi

Üçlü eşleştirme metodu ile LPRM, NOAH, ve ASCAT verilerinin hataları Türkiye üzerinde elde edilmiştir. Çalışma alanı olarak değişik yeşillikteki bölgeleri kapsayacak şekilde rastgele seçilmiş 10 bölgede kullanılmıştır. Bu 10 bölgenin bitki örtüsü dağılımı MODIS MOD13A2 Normalleştirilmiş Fark Bitki İndeksi (NDVI, Normalized Difference Vegetation Index) ürünü [23] kullanılarak Şekil 1 üzerinde gösterilmiştir. MOD13A2 ürünün mekansal çözünürlüğü 1 km olup zamansal çözünürlüğü ise 16 gündür. 2008 yılına ait toplam 23 NDVI haritasının ortalaması ve çalışmanın gerçekleştirildiği 10 çalışma alanı Şekil 1’de gösterilmektedir. Bu çalışma alanlarının koordinatları ve yükseklikleri Çizelge 1’de verilmektedir.

NOAH, LPRM ve ASCAT verilerinin hata oranları üçlü eşleştirme yöntemiyle bulunmuştur. Bu üç verinin mekansal çözünürlüklerinin  $0,25^\circ$  olduğundan, tüm Türkiye üzerinde toplam 1428 hücre üzerinde bu üçlü eşleştirme metodu potansiyel olarak uygulanabilir. Fakat bu 1428 hücrenin teker teker incelenmesi mümkün olmadığından bu çalışmada hata oranları örnek olarak rastgele seçilen 10 hücre üzerinde elde edilmiştir.



Şekil 1. Çalışmanın gerçekleştirildiği 10 bölgenin Normalleştirilmiş Fark Bitki İndeksi (NDVI) yeşillik haritasının üzerindeki konumu.

Çizelge 1. Çalışma alanlarının koordinatları ve deniz seviyesinden yüksekliği

İl/İlçe	Enlem	Boylam	Rakım
Bolu Gerede	40,805	32,218	1270
Denizli Çardak	37,825	29,668	869
Edirne İpsala	40,917	26,380	10
Hatay Reyhanlı	36,267	36,495	62
Kastamonu İnebolu	41,979	33,764	64
Konya Sarayönü	38,492	32,456	111
Manisa Merkez	38,615	27,405	71
Şanlıurfa Ceylanpınar	36,841	40,031	360
Siirt Merkez	37,978	41,842	612
Uşak Merkez	38,671	29,404	919

### 2.2.2. NOAH Modeli Kaynaklı Toprak Nemi

Hidrolojik modeller atmosferik verilerin kullanımı ile yeryüzündeki su ve enerji dengesini çözerek karasal birçok değişkenin simülasyonunu

amaçlamaktadır. Kullanılan girdiler temel olarak yağış, radyasyon (gelen ve giden), hava sıcaklığı, rüzgar, hava nemi ve hava basıncıdır. Simülasyonu yapılan değişkenlerin arasında toprak nemi ve sıcaklığı, akım, buharlaşma, terleme ve hissedilebilir sıcaklık bulunmaktadır. Bu simülasyonların yapılabilmesi için atmosferik veriler kadar bitki ve toprak ile ilgili birçok parametrenin de hidrolojik modele girdi olarak verilmesi gereklidir.

Bu çalışmada, bu prensipler üzerine kurulu NOAH hidrolojik modeli [10] kullanılmıştır. Mekansal çözünürlüğü 0,25° ve zamansal çözünürlüğü 1 saat olan toprak nemi simülasyonları, NASA Earth Sciences Division tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu verilerin dağıtımını ise Goddard Earth Sciences (GES) Data and Information Services Center (DISC) yapmaktadır. Bu çalışmada, 0,25° çözünürlükteki toprak nemi değerleri, saatlik değerlerden günlük ortalama değerlere dönüştürülerek kullanılmıştır.

### 2.2.3. LPRM Uydu Kaynaklı Toprak Nemi

Uydu kaynaklı veriler, radyasyon kaynaklarına göre aktif ve pasif olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

Pasif uzaktan algılama yöntemleri radyasyon kaynağı olarak güneşi kullanırken aktif uzaktan algılama yöntemleri kendi ürettikleri radyasyonu hedefe göndererek hedeften geri saçılan radyasyon şiddetinin değişkenlerin elde edilmesinde kullanılmaktadırlar. 2002 yılından 2011 yılına kadar AQUA uydusu üzerinde bulunan AMSR-E sensörü vasıtasıyla yapılan gözlemlere dayanan toprak nemi değerleri, kuşkusuz bu alanda en sık kullanılan gözlemlerden birisidir. Bu gözlemler VUA tarafından uygulanan tek tabakalı modele dayanan radyasyon transfer denklemleri ile  $0,25^\circ$  mekansal ve 1 günlük zamansal çözünürlükteki LPRM toprak nemi değerlerine dönüştürülmüştür [8-9]. Bu verilerin analizleri şu ana kadar birçok çalışmada yapılmıştır [20-22]. Bu çalışmada kullanılan alçalan C- ve X-bandı pasif mikrodalga ölçümlerine dayanan gözlemlerden elde edilen LPRM verileri, VUA tarafından sağlanmıştır.

#### 2.2.4. ASCAT Uydu Kaynaklı Toprak Nemi

METOP uydusuna bağlı olan ASCAT sensörünün aktif uzaktan algılama yöntemiyle elde ettiği uydu kaynaklı ASCAT toprak nemi ürünü, LPRM verisinden sonra en çok kullanılan uydu kaynaklı veriler arasındadır [21]. Suya doyma oranı temelli olan toprak nemi ürünü %0 ile %100 arasında değişmektedir. Mekansal çözünürlüğü 25 km ve zamansal çözünürlüğü 1 gün olan bu ürün, 5,255 GHz (C-band) radar gözlemleri vasıtasıyla Vienna University of Technology tarafından elde edilmektedir. Bu yöntem doyma oranları ile geri saçılım değerleri arasında kuvvetli bir ilişki olduğu varsayımı üzerine kuruludur ve aradaki değişimler için doğrusal interpolasyon yapılarak toprak nemi değerleri bulunmaktadır. ASCAT kaynaklı toprak nemi değerlerinin diğer toprak nemi değerleri ile karşılaştırılması şu ana kadar birçok çalışmada yapılmıştır [18, 19]. Bu ürün için ayrıntılı bilgi [20, 21] çalışmalarında mevcuttur.

#### 2.3. Verilerin İşlenmesi

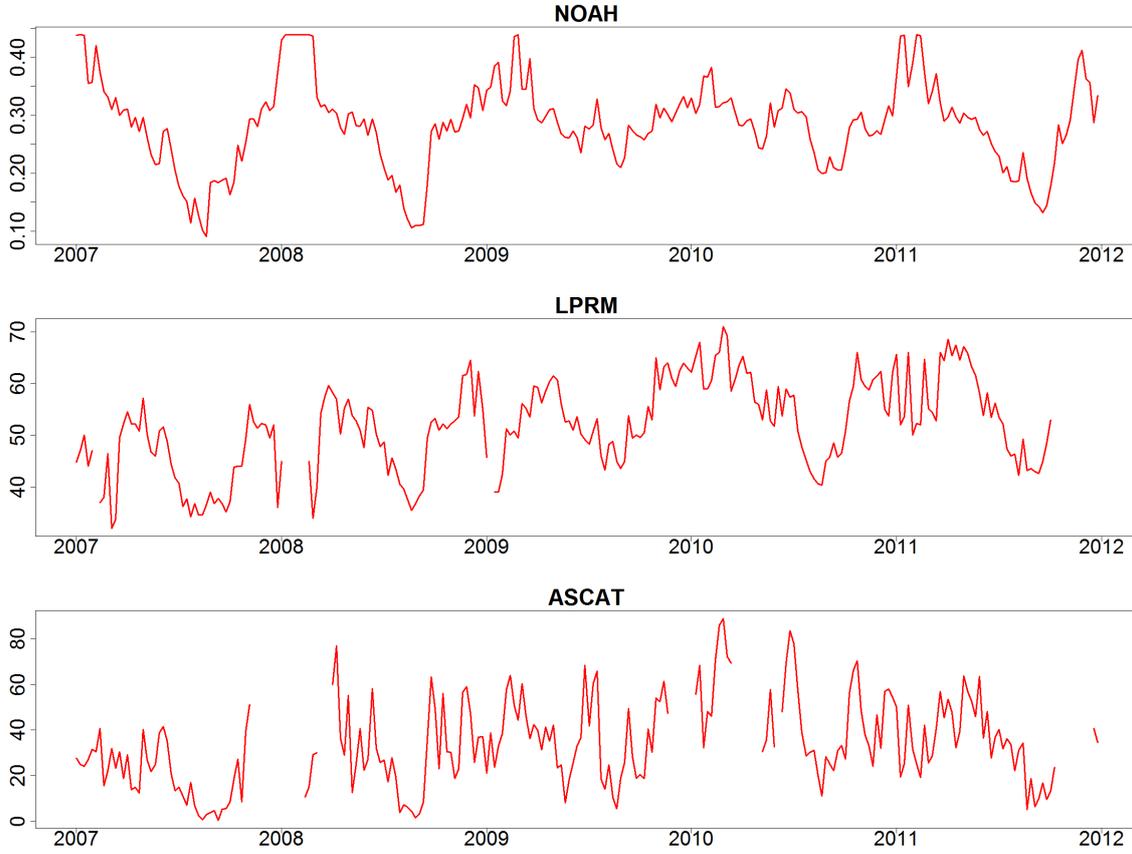
Model ve uzaktan algılama verileri 2007 ve 2011 yılları arasında çalışmanın gerçekleştirildiği 10 alana (Çizelge 1) en yakın hücrelerden elde edilmiştir. Günlük olarak elde edilen bu veriler zaman serisi olarak gösterilmek amaçlı haftalık

değerlere çevrilmiştir. Elde edilen günlük ve haftalık ham veriler daha sonra standartlaştırılarak (veri setlerinden 5 yıllık ortalamaları çıkarılıp standart sapmalarına bölünerek) bu verilerin kurak ve ıslak dönemlerdeki toprak nemi şiddetleri objektif bir şekilde karşılaştırılmıştır. Daha sonra günlük standartlaştırılmış ham toprak nemi verilerinin hata oranları üçlü eşleştirme yöntemi ile bulunmuştur.

Üçlü eşleştirme yönteminde kullanılmadan önce verilerin birbirleriyle olan korelasyonları hesaplanmıştır. Birbirleriyle yüksek korelasyon gösteren ürünler, bu tutarlı ilişkinin gerçek veri sinyalinde kaynaklanacağı göz önünde bulundurulduğunda, genel olarak daha yüksek doğrulukta bir ürünü temsil ederler. Burada verilerin sinyal ve gürültü kısımlarından oluştuğu, veriler arasında bulunan doğrusal ilişkinin bu verilerin gürültü kısımlarından kaynaklanmadığını ve bu tutarlılığın verilerin sinyallerinin arasındaki ilişkiden kaynaklandığı göz önünde bulundurulmuştur.

### 3. BULGULAR ve TARTIŞMA

NOAH hidrolojik modelinden ve uydu verilerinden elde edilen ham toprak nemi değerleri Şekil 2'de görülmektedir. Bu verilerde ortak sinyal (örneğin mevsimsel değişimler ve yağış olaylarına karşı artan toprak nemi değerleri) gözlemlenmesine karşın bu veri setlerinin karakteristik özellikleri de bulunmaktadır. Bu verilerin dinamik değişkenliği aynı değildir: örneğin NOAH verileri genel itibarıyla 0 ve 0,50 değerleri arasında değişirken LPRM ve ASCAT genel itibarıyla 0 ve 100 arasında değişmektedir. Tüm veri setlerinde düşük değerler kurak koşullara karşılık gelirken yüksek değerler ise çok daha ıslak olaylar ile ilişkilendirilmektedir. Elde edilen toprak nemi değerlerinin veri asimilasyonu gibi birleştirme esaslı çalışmalarda kullanılabilmesi için bu farklılıkların ortadan kaldırılması gereklidir. Bu aşamadan önce bu verilerin gerçek toprak nemi değerlerini ne derece yansıttığının daha iyi anlaşılabilmesi gereklidir. Veri setleri arasında yapılacak çapraz korelasyon karşılaştırmaları (Çizelge 2) bu anlamda veri setleri hakkında daha ayrıntılı bilgi vermektedir.



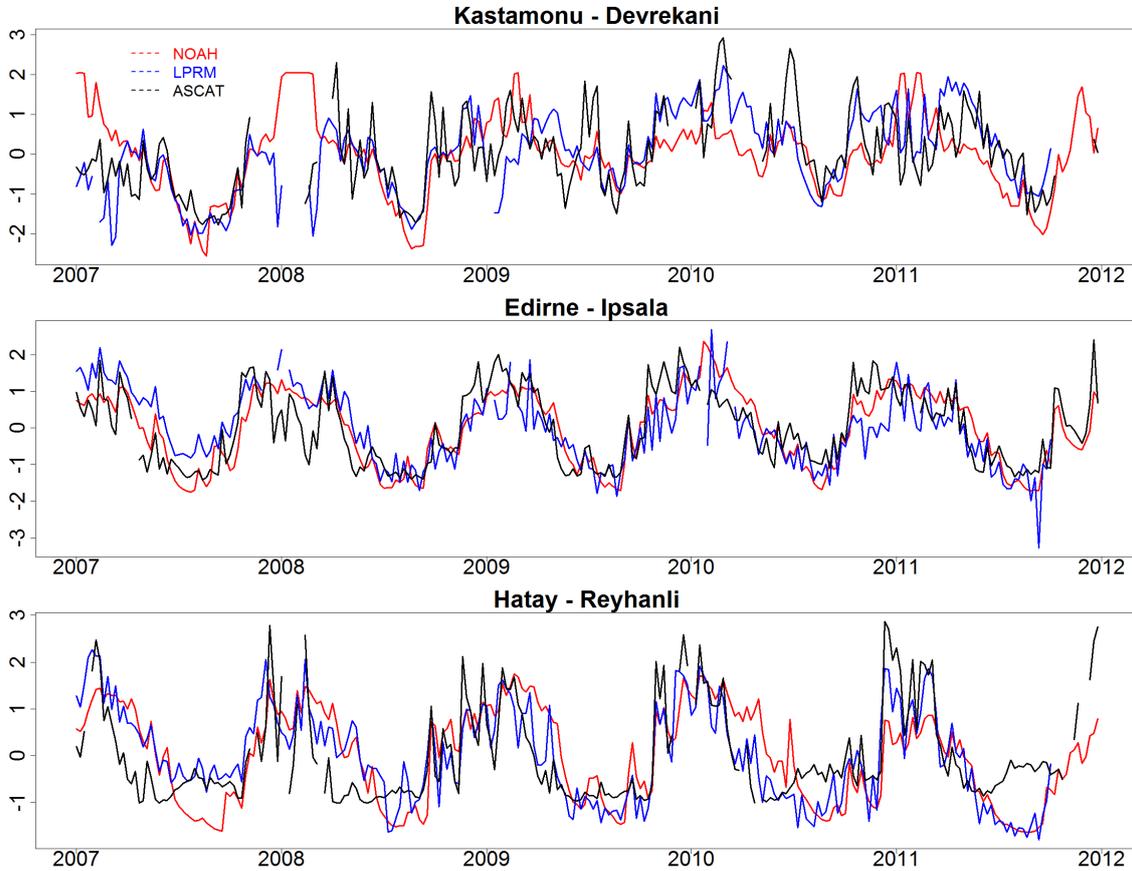
Şekil 2. Çalışmanın gerçekleştirildiği Kastamonu-Devrekani alanında NOAH hidrolojik modelinden ve LPRM ve ASCAT uydu verilerinden elde edilen ham toprak nemi değerlerinin değişim.

Elde edilen üç veri arasından diğer iki veri ile en yüksek korelasyonu veren verinin daha doğru sinyale sahip olduğu varsayılabilir. Örneğin Edirne İpsala üzerinde ASCAT-NOAH korelasyonunun LPRM-NOAH korelasyonundan daha yüksek olması, ASCAT verisinin LPRM verisine göre daha doğru olduğu (daha düşük hata oranının olduğu) ya da ASCAT ve NOAH verilerinin ortak sinyallerinin LPRM ve NOAH verilerinin ortak sinyallerine kıyasla daha fazla olduğu anlamına gelmektedir. Çizelge 2'deki korelasyon değerlerinin hepsinin ortalaması alındığında NOAH ve LPRM verilerinin ortalama çapraz korelasyonlarının ASCAT'ın ortalama çapraz korelasyonlarından daha yüksek olması ortalama olarak NOAH ve LPRM verilerinin ASCAT

verisinden daha iyi toprak nemi verisini yansıttığını ve NOAH ve LPRM verilerinin ortalama olarak birbirlerine çok yakın performansın olduğunu göstermektedir.

Toprak nemi değerlerinin hata oranlarının üçlü eşleştirme ile bulunmasından önce, verilerin zaman serisi bakımından birbirleriyle ne derecede ilişkili olduğunu anlamak için veriler öncelikle standartlaştırılmıştır.

Haftalık zaman serilerinin gösterildiği Şekil 3'te NOAH, LPRM ve ASCAT verilerinin genel itibarıyla kış aylarında benzer ıslak değerleri gösterdiği ve yaz aylarında ise benzer kurak değerleri gösterdiği görülmektedir.



**Şekil 3.** Çalışmanın gerçekleştirildiği üç alanda NOAH hidrolojik modelinden ve LPRM ve ASCAT uydu verilerinden elde edilen normalize edilmiş toprak nemi değerlerinin değişimi.

Çizelge 2'deki veri setleri arasındaki farklılıkların doğrusal ölçeklendirme yöntemi ile giderilmiş olması, bu veri setlerinin birbirleriyle anlamlı bir şekilde karşılaştırılmadan önce mutlaka ölçeklendirilmeleri gerektiğini (Şekil 3) ortaya koymaktadır.

Çapraz korelasyon karşılaştırmalarından sonra uygulanan üçlü eşleştirme yöntemi ile elde edilmiş olan hata standart sapmaları Çizelge 2'de sunulmaktadır. Burada standart sapmalar Eşitlik 5-7'de bulunan varyans değerlerinin karekökünün alınmasıyla elde edilmiştir. Ortalama NOAH ve LPRM verilerinin hata standart sapmalarının ASCAT verisinden daha düşük

olması bu iki veri setinin ASCAT verisinden daha doğru toprak nemi değerlerini gösterdiği anlamına gelmekte ve benzer şekilde çapraz korelasyon sonuçlarını desteklemektedir. NOAH ve LPRM'in ASCAT'tan daha iyi sonuç vermesi genel sonucuna Bolu Gerede çalışma alanı istisna olarak gösterilebilir: bu alan üzerinde ASCAT toprak nemi değerlerinin hata standart sapmaları NOAH ve LPRM verilerinin standart sapmalarından daha düşük ve ASCAT verilerinin LPRM ve NOAH ile olan korelasyonları ise daha yüksektir. Bu durumun sebebi Bolu üzerinde LPRM ve NOAH toprak neminin hatalarının kullandıkları bitki ve/veya toprak ile ilgili parametrelerin doğru olmamasından kaynaklanıyor olabilir. Bu durum

**Çizelge 2.** 2007–2011 yılları arası elde edilen günlük toprak nemi değerlerinin korelasyonları ve normalize edilmiş günlük değerlerinin üçlü eşleştirme yöntemiyle bulunan hata standart sapmaları

Hücre Konumu	Çapraz Korelasyon ( $\rho$ )			Hata Standart Sapması ( $\sigma$ )		
	NOAH-LPRM	NOAH-ASCAT	LPRM-ASCAT	NOAH	LPRM	ASCAT
Bolu Gerede	0,31	0,40	0,45	0,77	0,52	0,30
Denizli - Çardak	0,65	0,56	0,52	0,25	0,45	0,95
Edirne İpsala	0,66	0,78	0,58	0,05	0,91	0,43
Hatay Reyhanlı	0,63	0,61	0,57	0,31	0,46	0,60
Kastamonu İnebolu	0,65	0,34	0,47	0,44	0,53	0,69
Konya Sarayönü	0,64	0,43	0,67	0,80	0,07	0,46
Manisa Merkez	0,73	0,68	0,63	0,19	0,37	0,63
Şanlıurfa Ceylanpınar	0,83	0,70	0,70	0,16	0,14	0,64
Siirt Merkez	0,82	0,66	0,68	0,15	0,21	0,67
Uşak Merkez	0,74	0,71	0,68	0,20	0,32	0,46
ORTALAMA	0,67	0,59	0,60	0,33	0,40	0,58

bağımsız bir şekilde elde edilen toprak nemi hata oranları ile karşılaştırılarak doğrulanabilir. Bu tip bir doğrulama Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün Batı Mesonet olarak adlandırıldığı 206 istasyona [24] yerleştirilen toprak nemi sensörleri aracılığıyla elde edilen toprak nemi değerleri ile doğrulanabilir. Fakat bu verilerin henüz kalibrasyonları yapılmamış olduğundan bu tür bir doğrulama bu çalışmada yapılmamıştır. Bolu gibi Konya üzerinde de NOAH modelinin hata oranları yüksek çıkmıştır. Benzer şekilde bu alanda bu modelin iyi sonuç vermemiş olması bitki ve toprak kaynaklı parametrelerin bu alanda modele yüksek doğrulukta girilmemesinden kaynaklanıyor olabilir.

#### 4. SONUÇ

Ülkemiz üzerindeki çalışmalarda şu ana kadar bilimiz dahilinde uygulanmamış olan üçlü

eşleştirme yöntemi, toprak nemi değerlerinin hata oranlarını bulma odaklı olan bu çalışmada uygulanmıştır. NOAH, LPRM ve ASCAT toprak nemi veri setlerinin hata standart sapmaları bu çalışmada hesaplanmıştır.

Genel itibariyle NOAH hidrolojik model kaynaklı veri setinin LPRM ve ASCAT uydu kaynaklı veri setlerinden daha doğru sonuçlar verdiği bu çalışma, üçlü eşleştirme yönteminin yeni çalışmalarda kullanımının artması, hidrolojik model ve uydu verilerinin ülkemiz üzerindeki çalışmalarda uygulamalarının artması ve kullanılan toprak nemi değerlerinin veri asimilasyonu gibi uygulamalara temel olması açısından gelecek çalışmalara ışık tutmaktadır.

#### 5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK 114Y676 nolu proje ile desteklenmiştir.



## 6. KAYNAKLAR

1. GCOS. Implementation Plan for the Global Observing System for Climate in Support of the UNFCCC (2010 update). WMO GCOS Tech. Doc. GCOS-138 WMO-TD 1523, 19.
2. Bulut, B., Yılmaz, M.T., 2016. Türkiye'deki 2007 ve 2013 Yılı Kuraklıklarının NOAA Hidrolojik Modeli ile İncelenmesi (Analysis of 2007 and 2013 Droughts over Turkey Using NOAA hydrological model). *Teknik Dergi*, (kabül edildi).
3. Bulut, B., Yılmaz, M.T., Yücel, İ., Şorman, A.Ü., Yılmaz, M., Şimsek, O., 2016. Türkiye'de İstasyonlarda Ölçülen Toprak Nemi Zaman Serilerinin Kalite Kontrolü. *Teknik Dergi* (hakem sürecinde).
4. Bulut, B., Yılmaz, M.T., Sönmez, İ., Şorman, A. Ü., 2014. Türkiye'deki Toprak Neminin NOAA Hidrolojik Yeryüzü Modeli ile İncelenmesi. Second International Drought and Desertification Symposium, Konya, 16-18 September 2014.
5. Yılmaz, M. T., Şorman, Ü. A., Sönmez, İ., 2013. Modellenen ve İstasyonlarda Ölçülen Toprak Neminin Karşılaştırılması (Comparison of Modeled and Observed Soil Moisture). III. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi, TİKDEK (III. Climate Change in Turkey Meeting) 3 – 5 Haziran 2013, İstanbul.
6. Şorman, A. Ü., Yılmaz, M., 2012. Soil Moisture Mapping Using Active Microwave for a Semi-Distributed Hydrologic Model: Case Study in Turkey. *International Journal of Civil and Environmental Engineering IJCEE-IJENS Vol:12 No:05*.
7. Owe, M., de Jeu, R. Holmes, T., 2008. Multisensor Historical Climatology of Satellite-Derived Global Land Surface Moisture. *Journal of Geophysical Research*, 113, f01002.
8. Owe, M., De Jeu, R., Walker, J. P., 2001. A Methodology for Surface Soil Moisture and Vegetation Optical Depth Retrieval Using the Microwave Polarization Difference Index, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, 39, 1643–1654.
9. Ek, M. B., Mitchell, K. E. Lin, Y., Rogers, E., Grunmann, P., Koren, V., Gayand, G., Tarpley, J. D., 2003. Implementation of NOAA Land Surface Model Advances in the National Centers for Environmental Prediction Operational Mesoscale Eta Model, *J. Geophys. Res.*, 108(D22), 8851.
10. Jackson, T.J., Cosh, M.H., Bindlish, R., Starks, P.J., Bosch, D.D., Seyfried, M.S., Goodrich, D.C., Moran, M.S., 2010. Validation of Advanced Microwave Scanning Radiometer Soil Moisture Products. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 48, 4256-4272.
11. Jackson, T.J., Bindlish, R., Cosh, M., Zhao, T., Starks, P., Bosch, D., Seyfried, M., Moran, S., Goodrich, D., Kerr, Y., Leroux, D., 2012. Validation of Soil Moisture and Ocean Salinity (SMOS) Soil Moisture Over Watershed Networks in the U.S., *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 50(5), 1530-1543.
12. Yılmaz, M., Yılmaz, M.T., Amjad, M. Bulut, B., 2016. Uydu Kaynaklı Yağmur Verilerinin Hata Oranlarının Deniz Kıyılarına Olan Uzaklığına Bağlı Analizi. *Teknik Dergi* (hakem sürecinde).
13. Stoffelen, A., 1998. Toward the True Near-Surface Wind Speed: Error Modeling and Calibration Using Triple Collocation, *J. Geophys. Res.*, 103(C4), 7755–7766.
14. Yılmaz, M. T., Crow, W. T., 2013. The Optimality of Potential Rescaling Approaches in Land Data Assimilation. *Journal of Hydrometeorology*, 14, 650–660.
15. Yılmaz, M. T., Crow, W. T., Anderson, M. C., Hain, C., 2012. An Objective Methodology for Merging Satellite-And Model-Based Soil Moisture Products. *Water Resources Research*, 48(11).
16. Miralles, D. G., Crow, W. T., Cosh, M. H., 2010. Estimating Spatial Sampling Errors in Coarse-Scale Soil Moisture Estimates Derived from Point-Scale Observations. *J. Hydrometeor*, 11, 1423–1429.
17. Zwieback, S., Scipal, K., Dorigo, W., Wagner, W., 2012. Structural and Statistical Properties of the Collocation Technique for Error

- Characterization. *Nonlin. Processes Geophys.*, 19(1), 69-80.
18. Brocca, L., Hasenauer, S., Lacava, T., Melone, F., Moramarco, T., Wagner, W., Bittelli, M., 2011. Soil Moisture Estimation Through ASCAT and AMSR-E Sensors: An Inter-Comparison and Validation Study Across Europe. *Remote Sensing of Environment*, 115(12), 3390-3408.
  19. Draper, C. S., Reichle, R. H., De Lannoy, G. J. M., Liu, Q., 2012. Assimilation of Passive and Active Microwave Soil Moisture Retrievals. *Geophysical Research Letters*, 39(4), L04401.
  20. Wagner, W., Lemoine, G., Borgeaud, M., Rott, H., 1999. A Study of Vegetation Cover Effects on ERS Scatterometer Data, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 37(2), 938-948.
  21. Naeimi, V., Scipal, K., Bartalis, Z., Hasenauer, S., Wagner, W., 2009. An Improved Soil Moisture Retrieval Algorithm for ERS and METOP Scatterometer Observations, *IEEE T. Geosci. Remote Sens.*, 47, 1999-2013.
  22. Parinussa, R. M., Holmes, T. R. H., Yılmaz, M. T., Crow, W. T., 2011. The Impact of Land Surface Temperature on Soil Moisture Anomaly Detection from Passive Microwave Observations, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 15, 3135-3151.
  23. Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E. P., Gao, X., Ferreira, L. G., 2002. Overview of the Radiometric and Biophysical Performance of the MODIS Vegetation Indices. *Remote Sensing of Environment*, 83(1), 195-213.
  24. Sönmez, I., 2013. Quality Control Tests for Western Turkey Mesonet. *Meteorological Applications*, 20, 330-337.

## İnşaat Sektörü Proje Yöneticilerinin Algılanan Liderlik Stilleri

Gülden GÜMÜŞBURUN AYALP\*<sup>1</sup>, Mehmet Can KERETLİ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Zirve Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Gaziantep

Geliş tarihi: 26.01.2016 Kabul tarihi: 16.05.2016

### Özet

Tüm sektörlerde olduğu gibi inşaat sektöründe de bir projenin başarılı olabilmesi için, yöneticinin sahip olduğu liderlik özellikleri büyük rol oynamaktadır. Çünkü liderin, çalışanların tutum, davranış ve başarı düzeylerini önemli ölçüde etkilemesi organizasyonların performansını da etkilemektedir. Bu nedenle, bu çalışmada Türk inşaat sektöründe faaliyet gösteren proje yöneticilerinin liderlik stillerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Yöneticilerin kendi ile ilgili değerlendirmeleri tarafsız bir şekilde yapamayacağı düşünülerek, sektörde iş gören mimar ve inşaat mühendislerinin görüşlerine başvurulmuştur. Bu çerçevede, “Çok Faktörlü Liderlik Anketi (MLQ-5X)” kullanılarak veri toplanmıştır. Elde edilen veriler ile proje yöneticilerinin liderlik stillerinin belirlenmesine ek olarak, yöneticilerin liderlik stilleri ile cinsiyet, meslek ve deneyim süresi arasında ilişki olup olmadığı araştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Liderlik stilleri, İnşaat sektörü, Çok faktörlü liderlik anketi, Proje ve yapım yönetimi

### Perceived Leadership Styles of Turkish Construction Managers

#### Abstract

The leadership properties of a manager play a vital role at the success of project in the construction sector like the other professional industries. Performance of the organizations are effected by the reason of leader effect the employees' behavior and success. Therefore, it is aimed to determine the leadership styles of construction managers at Turkey. The data were obtained from architects and civil engineers who are working as an employee at construction sector by the reason of managers cannot evaluate themselves objectively. Within this framework, data were obtained by using “Multifactor Leadership Questionnaire (MLQ-5X)”. As a conclusion, leadership styles of construction managers determined and the relationship between their leadership styles and gender, occupation and experience were examined.

**Keywords:** Leadership styles, Construction industry, Multi factor leadership questionnaire, Construction management.

---

\* Yazışmaların yapılacağı yazar: Gülden GÜMÜŞBURUN AYALP, Zirve Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Gaziantep.  
gldngumusburun@hotmail.com

## 1. GİRİŞ

İnsanlar, topluluk halinde yaşayan sosyal nitelikli canlılar oldukları için, grup oluşturma gereksinimi duyarlar. İnsanların, oluşturdukları bu grupları yönetecek ve hedeflerine götürecek liderlere gereksinim duymaları, grupların ortak bir amaç etrafında ve birlik içinde hareket edebilmesi için hiyerarşik bağlılığa gereksinim duymalarından kaynaklanır. Belirli amaçlara yönelmiş bulunan bu kişilerin, hedeflere doğru yönlendirilmesi, ayrı bir beceri ve ikna yeteneği gerektirir [1].

Kişisel amaçlar veya grup amaçlarını gerçekleştirmek üzere, bir kimsenin başkalarının faaliyetlerini etkilemesi ve yönlendirmesi süreci olarak tanımlanan liderlik kavramı, lider, izleyiciler ve koşullardan oluşur. Lider, başkalarını belirli bir amaç doğrultusunda davranmaya sevk ederek etkileyen kişidir [2]. Etkili bir liderlik için takım ruhu yaratmak, ekip üyelerinin kişisel hedefleri ile ekibin ortak hedeflerinin çakışmasının sağlanması gerekir [3]. Liderlerin, çalışanlarıyla etkili ilişkiler kurabilmeyi sağlayacak üst düzeyde liderlik özelliklerine sahip olmaları, başarılı olmaları için önemli bir koşuldur [4]. Lider; hitap ettiği grubun yapısına, kültür seviyesi, yaş ve deneyimlerine göre liderlik davranışlarını belirlemek durumundadır [1]. Çünkü liderin, çalışanların tutum, davranış ve başarı düzeylerini önemli ölçüde etkilemesi organizasyonların performansını da etkilemektedir.

İnşaat sektörünü diğer endüstrilerden ayıran farklı özellikler mevcuttur [5]. Bu özellikler a) proje bazlı bir endüstri olması, b) sözleşmeye dayalı düzenlemeler gerektirmesi, c) proje yaşam döngüsü sürecine sahip olması ve, d) çevresel faktörlerdir. Adı geçen özellikler, inşaat sektöründeki yöneticilerin liderlik özelliklerini ve liderlik stillerini doğrudan etkilemektedir.

Literatürde, kalıcı organizasyon yapıları olan endüstrilerdeki liderlik stilleri ile ilgili yapılmış pek çok çalışma bulunmaktadır [6-9]. Son yirmibeş yıldan bu yana ise inşaat sektöründe liderlik konusu araştırmacılar tarafından dikkat çekmekte olup, bu konuda yapılan çalışmaların sayısı hızla artmaktadır [10-18]. Çünkü yapılan

çalışmalar göstermektedir ki liderin tutum ve davranışları ilk kademedeki çalışanları daha sonra da içinde bulunulan örgütü doğrudan etkilemektedir. Belirtilen nedenlerle bu çalışmada Türk inşaat sektöründe faaliyet gösteren proje yöneticilerinin liderlik stillerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, yöneticilerin liderlik stillerinden en çok etkilenen iş gören mimar ve inşaat mühendislerinden “Çok Faktörlü Liderlik Anketi (MLQ-5X)” kullanılarak veri toplanmıştır. Yöneticilerin liderlik stillerinin belirlenmesine ek olarak, liderlik stilleri ile cinsiyet, meslek, deneyim süresi arasında ilişki olup olmadığı araştırılmıştır.

## 2. İNŞAAT SEKTÖRÜNDE LİDERLİK STİLLERİ

Yapı üretimi, disiplinler arası işbirliği ile gerçekleştirilen bir üretim şekli olup, eşgüdümlü ekip çalışması gerektiren bir süreçtir. Bu üretim sürecinde inşaat işlerinin beklenen kalite, maliyet ve sürede tamamlanabilmesi için, çalışanlar arası motivasyon, işbirliği, planlama, yönlendirme, ekipler arası ve ekip içi iletişimi sağlamak için bir lidere gereksinim duyulmaktadır. Profesyonel çalışma hayatında, tüm sektörlerde olduğu gibi inşaat sektöründe de, bir projenin başarılı olmasında, yöneticinin sahip olduğu liderlik özellikleri büyük rol oynamaktadır.

Liderlik en genel tanımıyla organize olmuş bir grubu, belirli bir amaç etrafında toplayabilme ve bu amaçları gerçekleştirmek için onları harekete geçirme, etkileyebilme bilgi ve yeteneklerinin toplamıdır.

İnşaat sektöründe ise liderlik, yöneticilerin, çalışanlardan en üst düzeyde performans sağlayabilmek için sergiledikleri tutum ve davranışların bütünü olarak tanımlanmaktadır [19]. Literatürde, inşaat sektöründe liderlik ile ilgili çalışmalar yapan araştırmacılar, yapı üretim sürecinin her farklı aşamasında liderlik stiline değışmesi gerektiğini ve değıştiğini belirtmişlerdir [15]. Rowlinson ve arkadaşları [20], proje yöneticilerinin fizibilite çalışmaları ve inşaat sözleşmelerinin hazırlanması süreçlerinde sahip

oldukları destekleyici liderlik stiline dönüşüğünü belirlemişlerdir. Bresnen [21], İngiltere’de Şantiyede çalışan yöneticilerin liderlik stillerini belirlemeye yönelik yaptığı çalışmada, Şantiyede görev yapan yöneticilerin daha çok görev odaklı bir liderlik stiline sahip olduğunu belirlemiştir. Araştırmacı, bununla birlikte liderlik stilleri ile yaş, eğitim, deneyim süresi vb. değişkenler arasında ilişki olmadığını belirtmiştir.

Liderlik, değerlendirilmesi ve ölçülmesi zor bir kavram olması nedeniyle, hangi liderlik stiline inşaat sektörüne en uygun ve etkin stil olduğu sorusunun cevabı henüz bulunamamıştır. Ancak literatürde, liderlik kavramı pek çok kez tanımlanmış, çok sayıda liderlik teorileri geliştirilmiş ve liderlik stilleri farklı araştırmacılar tarafından farklı Şekillerde sınıflandırılmıŐtır [22-27]. Bu çalışma kapsamında ise Bass ve Avolio [25] tarafından önerilen dönüşümcü ve işlemci liderlik stilleri sınıflaması temel alınmıştır.

## 2.1. Dönüşümcü Liderlik

Burns’e [28] göre dönüşümcü liderlik, izleyicileriyle olumlu aktif bir etkileŐime girerek; izleyicilerdeki mevcut enerjiyi bulup örgütsel amaçları doğrultusunda harekete geçirmektedir [29]. Dönüşümcü liderler, örgütlerdeki iş görenlerin çabalarını somut hedefler yerine, bir vizyona yöneltirler. Uzun dönemli bir bakış açasına sahip olan dönüşümcü liderler, astların tüm yetenek ve becerilerini ortaya çıkartıp, kendilerine olan güvenlerini arttırarak, onlardan normal olarak beklenenden daha fazla sonuç almayı hedeflemektedirler [30].

Dönüşümcü liderliğin dört alt boyutu vardır; idealleştirilmiş etki, telkinle güdüleme, entelektüel uyarım ve bireysel destektir.

### 2.1.1. İdealleştirilmiş Etki

Karizma olarak da adlandırılır. Liderin etkisi, özellikleri ve davranışları, izleyenleri tarafından idealleŐtirilmiŐtir [31]. Bu nedenle idealleştirilmiş etki, davranış olarak ve atfedilen idealleştirilmiş etki olarak iki ayrı alt boyutta ele alınmaktadır.

İdealleştirilmiş etki karizmadan farklı olarak liderin izleyenleri ile etkileşimde bir vizyon oluşturma ve misyon belirleme davranışlarını içerir [32]. Lidere atfedilen etkiler; liderin astların kendisi ile çalışmaktan gurur duymalarını sağlaması, grubun yararına olacak Şeyleri kendi çıkarlarından üstün tutması, izleyenlerin saygı duymalarını sağlaması ve kendine güvenen güçlü biri olduğu izlenimini vermesi gibi lidere atfedilen etkileri içerir [32, 33]. İzleyenleri için mkemmell bir rol modeldir. İdealleştirilmiş etkide lider izleyenlerin güven ve saygısını kazanarak örgüt için iyi kararların alınmasını sağlar [34]. İzleyenler, liderin arzu edilen sonuçlara ulaştığını gördüklerinde onun tutum, davranış ve değerlerine özenmeye, onun gibi davranmaya çalıŐırlar [35]. Davranış alt boyutu; liderin kendisi için önemli değer ve inançlar hakkında konuŐması, bir amaç duygusuna sahip olmanın öneminin vurgulanması, kararların ahlaki ve etik sonuçlarını dikkate alması ve ortak bir misyon duygusuna sahip olmanın öneminin vurgulanması gibi davranışları içerir.

### 2.1.2. Telkinle Güdüleme

Telkinle güdüleme liderin sembol, slogan gibi basit duygusal öğeleri kullanarak astlarında güçlü bir ortak amaç duygusu yaratmasıdır [32]. Diğer bir ifade ile liderin, izleyenleri örgütün vizyonunu benimseme ve örgüte bağlanmaları için gdlemesidir. Böylece lider, izleyenler için moral kaynağı oluşturur. Lider telkinle güdüleme yoluyla, örgütsel amaçlara ulaŐmak ve örgütün performansını arttırmak için takım ruhunu teşvik eder [36]. Lider izleyenlere moral yükseltici konuşmalar yaparak onların iyimserlik ve coşkularını artırır [36]. Ayrıca geliŐtirdiėi yaratıcı iş metodlarıyla personelin iş yükünü ve görevlerini azaltma yollarını araŐtırır [35].

### 2.1.3. Entelektüel Uyarım

Entelektüel uyarımcı liderler, izleyenleri problemlere yeni bakış açaları ile bakma konusunda cesaretlendirerek, yaratıcılığı desteklerler. Problemlerin altında yatan varsayımları yeniden düŐünmeyi ve test etmeyi vurgularlar. Problemlerin çözümünde, mantıklarını kullandıkları gibi, sezgilerini de kullanırlar. Bunun

sonucunda izleyenler, lider yardımı olmadan da iyi bir problem çözücü ve yenilikçi kişiler olabilirler [36].

#### 2.1.4. Bireysel Destek

Dönüşümcü liderler, izleyenlerini, hepsi benzer ve aynı ihtiyaç ve özelliklere sahip bireyler gibi değil, ayrı bir birey ve kişilik olarak görürler. Çalışanları farklı birer kişilik olarak görüp, onları dinlerken aynı zamanda onların kendine olan güvenlerini geliştirmelerini sağlarlar. Lider, burada aynı zamanda bir çeşit danışmanlık rolü oynamaktadır. Danışman olarak lider izleyenlerin güçlü ve zayıf yönlerini görmesine yardım eder. Onların amaçlarına ulaşması için ihtiyaç duydukları kaynaklara ulaşmasına yardım eder. Bireysel destekte anahtar varsayım, her bir çalışanın ihtiyaçlarının farklılığı ve her birinin kendine özgülüğüdür [36].

#### 2.2. İşlemci Liderlik

Lider ve iş görenler arasındaki ilişkiler değerli bir şeyin alışverişine dayanır. İşlemci liderlikte basit olarak, lider almak istediği bir şey için izleyicilerine istediklerini vermektedir. Lider, iş görenlere onlardaki belli bir yeteneğin veya becerinin kullanılması amacıyla yaklaşır [30]. Verimliliği artırıcı liderlik tarzı olarak benimsenen işlemci liderlikte, lider; izleyenlere yol gösteren, onları güdüleyen, örgütün amaçlarını, iş görenlerin rollerini ve görevlerini açıkça ortaya koymaya çalışan kişidir [37]. İşlemci liderliğin ise üç alt boyutu vardır. Bunlar sırasıyla koşullu ödül, istisnalarla yönetim ve sınırsız özgürlük alanı yaratan liderdir.

##### 2.2.1. Koşullu Ödül

Koşullu ödül boyutunda lider, astları için görevleri ve hedefleri belirler. Astlar hedefleri gerçekleştirdiklerinde alacakları ödülleri bilirler.

##### 2.2.2. İstisnalarla Yönetim

Lider yalnızca hatalar ve problemler ortaya çıktığında müdahale eder. “Bozuk değilse dokunma” anlayışı hâkimdir. Liderin birinci

amacı, olağan dışı ya da istisna olarak olağan performansın altına düşülen, hata yapılan ve problemlerin olduğu alanları belirlemek ve bunları düzeltmektir. İstisnalarla yönetim “aktif yönetim” ve “pasif yönetim” olmak üzere iki ayrı alt boyutta incelenebilir [25]. Aktif istisnalarla yönetimde, lider, kuralları hataları önlemek için uygular, hataların kayıtlarını tutar ve standartlar yerine sapmalar üzerinde yoğunlaşır. İstisnalarla pasif yönetimde ise, lider, problemler kronikleşinceye kadar müdahale etmez ve hiçbir şekilde çalışanlar ile ilgilenmezler. Liderler, hedeflenen standartlara ulaşamadığı zaman müdahale ederler. İki alt boyut arasındaki temel fark, pasif formda liderin problemlerin ortaya çıkmasını beklemesi, aktif formda liderin sapmaları aramasıdır [25]. İstisnalarla yönetim, kendi kendisini yönetme konusunda gelişmiş iş görenler üzerinde etkin bir yönetim tarzıdır [38].

##### 2.2.3. Sınırsız Özgürlük Alanı Yaratan Lider (Laissez-faire)

Sözcük anlamından da anlaşılacağı üzere, iş görenlere sınırsız özgürlük alanı yaratan lider anlamına gelmektedir. Liderin varlığı ile yokluğu pek belli değildir. Lider, astları kendi hâline bırakır, astlarla bir takas ya da antlaşma yapmaz. Bu durum, özellikle liderlik özelliklerinden yoksun yöneticilerde görülür [32]. Bu liderler, özellikle karar vermekten çekinirler [39].

### 3. MATERYAL VE METOT

#### 3.1 Materyal

Çalışmanın örneğini Türk inşaat sektöründe çalışan mimar ve inşaat mühendisleri oluşturmaktadır. İnşaat sektöründe faaliyet gösteren proje yöneticilerinin liderlik davranışları ve stillerinden, doğrudan ve en çok iş gören mimar ve inşaat mühendisleri etkilendiği için yöneticilerin liderlik davranışını tanımlaması, yorumlaması ve gerçekleşme düzeyini açıklaması gereken çalışan mimar ve inşaat mühendisleridir. Bu nedenle, Türk inşaat sektöründe iş gören mimar ve inşaat mühendisi olarak faaliyet gösteren 57 katılımcıdan anket yöntemiyle veri toplanmıştır.

### 3.2. Metot

İnşaat sektörü proje yöneticilerinin liderlik stillerini ölçmek amacıyla Bass ve Avolio [25] tarafından geliştirilen ve Cemaloğlu [40] tarafından Türkçeye uyarlanan “Çok Faktörlü Liderlik Anketi (MLQ-5x) veri toplama aracı olarak kullanılmıştır. Araştırmacı tarafından anketin kullanım izni www.mindgarden.com adresinden alınmıştır. Online hale getirilen anket, profesyonel bir kuruluş vasıtasıyla Türkiye genelinde ki mimar ve inşaat mühendislerine elektronik posta aracılığıyla ulaştırılmıştır.

Veri toplama aracında toplam 45 madde bulunmaktadır. Bu maddelerden dönüşümcü liderlik boyutunda 20, işlemci liderlik boyutunda 16, sonuçlar boyutunda ise 9 madde bulunmaktadır. Araştırma kapsamında dönüşümcü ve işlemci liderlik alt boyutları puanları hesaplanmış, sonuç boyutuna ilişkin veriler değerlendirme kapsamı dışında tutulmuştur. Dönüşümcü liderlik boyutunda; atfedilen idealleştirilmiş etki (4 madde), davranış olarak idealleştirilmiş etki (4 madde), telkinle güdüleme (4 madde), entelektüel uyarım (4 madde), bireysel destek (4 madde); işlemci liderlik boyutunda; koşullu ödül (4 madde), istisnalarla aktif yönetim (4 madde), istisnalarla pasif yönetim (4 madde), laissez-faire liderlik (4 madde) den oluşmaktadır. Anket maddelerini ölçmek için 5’li likert ölçeğinden yararlanılmıştır. Hiçbir zaman (1), Seyrek olarak (2), Bazen (3), Sıklıkla (4) ve Her zaman (5) olarak kodlanmıştır.

Verilerin hesaplanması için her alt boyutun toplam puanı alınıp madde sayısına bölünerek aritmetik ortalama değeri bulunmuştur ve tüm hesaplar bu puanlar üzerinden yapılmıştır. Analizlerde SPSS 18 (Statistical Packet Social Sciences) programından yararlanılmıştır.

### 3.3. Verilerin Analizi

Verilerin normal dağılım gösterip göstermediği Kolmogorov-Smirnov testi ile test edilmiş ve bütün değişkenlerin normal dağılım gösterdikleri belirlenmiştir. Bu nedenle ikili grupların karşılaştırmasında (cinsiyet) bağımsız örnek t-testi;

ikiden fazla grupların karşılaştırılmasında tek yönlü varyans analizi (ANOVA) kullanılmış ve sonuçlar  $p < 0,05$  önem düzeyinde test edilmiştir. Liderlik stilerinin belirlenmesi ile ilgili soruların 5’li Likert ölçeğine göre cevaplandırılması nedeniyle sonuçların değerlendirilmesi ve yorumlanmasında ortalama ve standart sapma değerleri göz önüne alınmıştır. Bu kapsamda katılımcıların cevaplarından ortaya çıkan puanlar 5,00-1,00=4,00 puanlık genişliğe sahiptir. Genişlik 5’e bölünerek yöneticilerin liderlik stilleri aralıkları saptanmış ve Çizelge 1’deki puan aralıkları ve değerlendirme kriterleri kullanılmıştır.

**Çizelge 1.** 5’li Likert ölçeği sonuçlarının değerlendirme kriterleri

Likert Ölçeği	Çok Faktörlü Liderlik Anketi	Puan Aralıkları	Değerlendirme Kriterleri
1	Hiçbir zaman	1,00-1,79	Çok az düzeyde
2	Seyrek olarak	1,80-2,59	Az düzeyde
3	Bazen	2,60-3,39	Orta düzeyde
4	Sıklıkla	3,40-4,19	Yüksek düzeyde
5	Her zaman	4,20-5,00	Çok yüksek düzeyde

## 4. BULGULAR

Bu bölümde öncelikle çalışmada kullanılan “Çok Faktörlü Liderlik Anketinin” güvenilirliği test edilmiş, daha sonra örnekleme ait demografik özellikler, liderlik stillerine ait veriler ve liderlik stilleri ile demografik özellikler arasındaki ilişkilerin sorgulandığı hipotez testi sonuçlarına yer verilmiştir.

### 4.1. Anketin Güvenilirlik Analizi

Çok Faktörlü Liderlik Anketi-Değerlendirme formunun iç tutarlılığını ölçmek amacıyla güvenilirlik analizi uygulanmıştır. Her alt boyutun

Cronbach Alpha Katsayıları Çizelge 2’de verilmiştir. Cronbach Alpha değerlerinin 0,8’in üzerinde olması, anketin yüksek derecede güvenilir olduğunu göstermektedir [41].

**Çizelge 2.** Çok faktörlü liderlik anketi Cronbach Alpha değerleri

Liderlik Stilleri	Cronbach Alpha
<b>Dönüşümcü liderlik</b>	
Davranış olarak idealleştirilmiş etki	0,881
Atfedilen idealleştirilmiş etki	0,881
Telkinle güdüleme	0,880
Entelektüel uyarım	0,887
Bireysel destek	0,883
<b>İşlemci liderlik</b>	
Koşullu ödül	0,884
İstisnalarla aktif yönetim	0,903
İstisnalarla pasif yönetim	0,912
Laissez-faire liderlik	0,940

#### 4.2. Katılımcıların Demografik Özellikleri

Katılımcıların cinsiyet, meslek, eğitim durumu, mevcut işlerinde çalışma süreleri ve inşaat sektöründeki toplam deneyim süreleri ile ilgili sorulara verilen cevapların dağılımı Çizelge 3’de özetlenmiştir.

Çizelge 3 incelendiğinde katılımcıların büyük çoğunluğunun (%68,4) erkek olduğu görülmektedir. Bu durumun, inşaat sektöründe erkek cinsiyetin çoğunlukta olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Katılımcılar mesleki durumlarına göre incelendiğinde araştırmaya katılan mimar ve inşaat mühendislerinin sayısının ve yüzdelerinin (%52,6 ve %47,4) birbirine çok yakın olduğu diğer bir ifade ile dengeli bir dağılım gösterdiği belirlenmiştir. Katılımcıların eğitim durumlarına göre dağılımı incelendiğinde, büyük çoğunluğunun (%68,4) lisans derecesine sahip olduğu belirlenmiştir. Araştırmaya katılan mimar ve inşaat mühendislerinin inşaat sektöründeki toplam

deneyim süresi incelendiğinde ise katılımcıların büyük çoğunluğunun (%28,1 + %38,6 = %66,7) 11 yıl ve üzeri deneyime sahip mimar ve inşaat mühendislerinden oluştuğu görülmektedir. Diğer bir ifade ile araştırma katılımcıları deneyimli mimar ve mühendislerden oluşmaktadır (Çizelge 3).

**Çizelge 3.** Katılımcıların demografik özellikleri

Demografik Özellikler	Frekans (f)	Yüzde (%)
<b>Cinsiyet</b>		
Kadın	18	68,4
Erkek	39	31,6
<b>Meslek</b>		
Mimar	27	47,4
İnşaat Mühendisi	30	52,6
<b>Eğitim Düzeyi</b>		
Lisans	39	68,4
Yüksek lisans	18	31,6
Doktora	-	-
<b>İnşaat sektöründe toplam deneyim süresi</b>		
1-5 yıl	7	12,3
6-10 yıl	12	21,0
11-15 yıl	16	28,1
16 yıl ve üzeri	22	38,6

#### 4.3. Türk İnşaat Sektörü Yöneticilerinin Liderlik Stilleri

Proje yöneticilerin kendileri ile ilgili tarafsız bir değerlendirme yapamayacakları düşünülerek, iş gören mimar ve inşaat mühendislerin yöneticilerinin liderlik stillerine dair algılarının ne yönde olduğu Çizelge 4’de araştırılmıştır. Bu kapsamda Çok Faktörlü Liderlik anketi ile elde edilen verilerin ortalaması ve standart sapmaları dikkate alınarak değerlendirmeler yapılmıştır (Çizelge 4).



**Çizelge 4.** Çalışanların, proje yöneticilerinin liderlik stillerine ilişkin görüşleri

Liderlik Stilleri	$\bar{X}$	S
<b>Dönüşümcü liderlik</b>		
Davranış olarak idealleştirilmiş etki	4,14	0,74
Atfedilen idealleştirilmiş etki	3,99	0,81
Telkinle güdüleme	4,01	0,79
Entelektüel uyarım	4,13	0,66
Bireysel destek	4,07	0,81
<b>İşlemci liderlik</b>		
Koşullu ödül	4,00	0,71
İstisnalarla aktif yönetim	3,21	0,83
İstisnalarla pasif yönetim	2,82	0,65
Laissez-faire liderlik	1,54	0,73

Çizelge 4 incelendiğinde, iş gören mimar ve inşaat mühendisleri, yöneticilerinin liderlik stilini dönüşümcü liderlik olarak belirtmektedirler. Liderlik stillerinin alt boyutları incelendiğinde ise katılımcılar yöneticilerin en fazla  $\bar{X}=4,14$  yüksek düzeyde “davranış olarak idealleştirilmiş etki”, en az  $\bar{X}=1,54$  çok az düzeyde “laissez-faire” boyutlarını gerçekleştirdikleri görülmektedir. Diğer bir ifade ile çalışan mimar ve inşaat mühendisleri, ağırlıklı olarak, proje yöneticilerinin liderlik özelliklerini; çalışanlarına saygı gösteren ve onlar için çok iyi bir rol model olan; aynı zamanda çalışanların örgütsel misyona inanmalarını sağlayan özellikler şeklinde tanımlamışlardır. En homojen değerlendirme “entelektüel uyarım” (S=0,66) en heterojen değerlendirme ise doyum (S=0,94) alt boyutundadır.

**4.4. Proje Yöneticilerinin Liderlik Stilleri ile Çeşitli Değişkenler Arası Hipotez Testleri**

İş gören mimar ve inşaat mühendislerinin proje yöneticilerinin liderlik stillerine ilişkin algılarının cinsiyete göre değişip değişmediği bağımsız örnek t-test kullanılarak araştırılmıştır (Çizelge 5).

**Çizelge 5.** Çalışanların, proje yöneticilerinin liderlik stillerine ilişkin algılarının cinsiyetlerine göre dağılımı

Liderlik Stilleri	Cinsiyet				p
	Kadın		Erkek		
	$\bar{X}$	SS	$\bar{X}$	SS	
<b>Dönüşümcü liderlik</b>					
Davranış olarak idealleştirilmiş etki	4,11	0,75	4,15	0,74	0,766
Atfedilen idealleştirilmiş etki	3,92	0,85	4,01	0,81	0,616
Telkinle güdüleme	4,08	0,71	4,00	0,83	0,611
Entelektüel uyarım	4,16	0,62	4,12	0,68	0,792
Bireysel destek	4,26	0,85	4,01	0,80	0,164
<b>İşlemci liderlik</b>					
Koşullu ödül	3,89	0,67	4,03	0,73	0,355
İstisnalarla aktif yönetim	3,06	0,68	3,25	0,87	0,298
İstisnalarla pasif yönetim	2,53	0,60	2,90	0,64	0,008*
Laissez-faire liderlik	1,42	0,43	1,58	0,81	0,335

Çalışanların, proje yöneticilerinin liderlik stillerine ilişkin algıları cinsiyete göre incelendiğinde, istisnalarla pasif yönetim ( $p < 0,05$  olduğu için) boyutunda cinsiyete göre anlamlı bir farklılık olduğu görülmektedir. İstisnalarla pasif yönetim liderlik stiline algılanması, erkek iş görenler ( $\bar{X} = 2,90$ ), ve kadın iş görenler arasında ( $\bar{X} = 2,53$ ) farklılık göstermektedir. Diğer bir ifade ile erkek mimar ve inşaat mühendisleri, proje yöneticilerinin problemler kronikleşinceye kadar müdahale etmemektedir düşüncesini kadın iş görenlere göre daha fazla yaşamaktadırlar. Diğer liderlik stillerinin algılanması ise cinsiyete göre değişmemektedir (Çizelge 5).

Çalışanların, proje yöneticilerinin liderlik stillerine ilişkin algıları mesleki duruma göre incelendiğinde, atfedilen idealleştirilmiş etki ve istisnalarla pasif yönetim ( $p < 0,05$  olduğu için) boyutlarında anlamlı bir farklılık olduğu görülmektedir. Diğer bir ifade ile proje yöneticilerinin liderlik stillerinin algısı mesleki duruma göre değişmektedir. İnşaat sektöründe mimarlar inşaat mühendislerine göre ( $\bar{X} = 4,16$ ;  $\bar{X} = 3,84$ ) proje yöneticilerinin atfedilen idealleştirilmiş etki liderlik stiline daha fazla gerçekleştirdiklerini ileri sürmektedir. Buna karşın, inşaat mühendisleri ise mimarlara göre ( $\bar{X} = 2,94$ ;  $\bar{X} = 2,67$ ) proje yöneticilerinin istisnalarla pasif yönetim liderlik stiline daha fazla gerçekleştirdiklerini düşünmektedirler (Çizelge 6).

İnşaat sektöründe çalışanların, proje yöneticilerinin liderlik stillerine göre ilişkin algıları sektördeki deneyim sürelerine göre incelendiğinde ise; davranış olarak idealleştirilmiş etki, atfedilen idealleştirilmiş etki, telkinle güdüleme, bireysel destek, entelektüel uyarım, koşullu ödül ve istisnalarla aktif yönetim ( $p < 0,05$ ) boyutlarında çalışanların deneyim sürelerine göre anlamlı bir farklılık olduğu görülmektedir (Çizelge 7). Çalışanların deneyim sürelerine göre, farklılığın hangi gruplar arasında olduğunu saptamak için yapılan Scheffe testinin sonuçlarına göre 1-5 yıl deneyime sahip olan çalışanlar, 16 yıl ve daha fazla deneyime sahip olan çalışanlara göre proje yöneticilerinin davranış olarak idealleştirilmiş etki, atfedilen idealleştirilmiş etki, telkinle güdüleme,

entelektüel uyarım, koşullu ödül ve istisnalarla aktif yönetim boyutlarında liderlik özelliklerini ve davranışlarını yerine getirmede daha başarısız olduklarını düşünmektedirler. Koşullu ödül alt boyutunda buna ek olarak deneyim süresi 11-15 yıl olanlarla, 16 yıldan fazla deneyime sahip olanlar arasında da önemli derecede ortalama farklılıkları mevcuttur (Çizelge 7).

**Çizelge 6.** Çalışanların, proje yöneticilerinin liderlik stillerine ilişkin algılarının mesleklerine göre dağılımı

Liderlik Stilleri	Meslek				p
	Mimar		İnşaat Mühendisi		
	$\bar{X}$	SS	$\bar{X}$	SS	
<b>Dönüşümcü liderlik</b>					
Davranış olarak idealleştirilmiş iş etki	4,11	0,70	4,18	0,76	0,658
Atfedilen idealleştirilmiş iş etki	4,16	0,82	3,84	0,73	0,037*
Telkinle güdüleme	3,94	0,77	4,12	0,75	0,200
Entelektüel uyarım	4,19	0,62	4,11	0,66	0,513
Bireysel destek	4,16	0,79	4,02	0,78	0,350
<b>İşlemci liderlik</b>					
Koşullu ödül	3,98	0,69	4,06	0,70	0,532
İstisnalarla aktif yönetim	3,11	0,75	3,28	0,90	0,284
İstisnalarla pasif yönetim	2,67	0,62	2,94	0,67	<b>0,031*</b>
Laissez-faire liderlik	1,51	0,55	1,54	0,81	0,840

\* $p < 0,05$

**Çizelge 7.** Çalışanların, proje yöneticilerinin liderlik stillerine ilişkin algılarının inşaat sektöründe deneyim sürelerine göre dağılımı

Liderlik Stilleri	F	p	Scheffe Testi
<b>Dönüşümcü Liderlik</b>			
Davranış olarak idealleştirilmiş etki	3,43	0,020*	A-D
Atfedilen idealleştirilmiş etki	4,08	0,009*	A-D
Telkinle güdüleme	3,32	0,023*	A-D
Entelektüel uyarım	5,55	0,001*	A-D
Bireysel destek	5,65	0,001*	A-D
<b>İşlemci Liderlik</b>			
Koşullu ödül	4,82	0,003*	A-D, C-D
İstisnalarla aktif yönetim	2,75	0,046*	A-D
İstisnalarla pasif yönetim	0,87	0,459	-
Laissez-faire liderlik	2,44	0,068	-

\*p<0,05 A= 1-5 yıl B= 6-10 yıl C= 11-15 yıl D= 16 yıl ve üzeri

## 5. TARTIŞMA

Çalışmanın birinci problemine ilişkin sonuçlar araştırma kapsamında görüşlerine başvuru olan mimar ve inşaat mühendislerinin proje yöneticilerinin dönüşümcü liderlik stilini işlemci liderliğe göre daha fazla gerçekleştirdiklerini göstermektedir. Bu bulgu Limsala ve Ogunlana'nın [18] ve Opuku ve arkadaşlarının [42] araştırma bulgularıyla tutarlıdır.

Dönüşümcü liderlik stilinin davranış olarak idealleştirilmiş etki alt boyutunun gerçekleşme düzeyinin yüksek olması beklentilere uygundur. Bu durum, inşaat sektöründe faaliyet gösteren proje yöneticilerinin her birinin kendi bulunduğu çalışma ortamında ortak bir misyona sahip olduklarının ve verdikleri kararların etik sonuçlarını dikkate aldıklarının bir göstergesidir. İşlemci liderlik stilinin koşullu alt boyutunun gerçekleşme düzeyinin yüksek olması da dikkate çekici bir noktadır. Proje yöneticilerinin amaçlarını açıklamaları, iş gören mimar ve inşaat mühendislerinin alacakları ödüllerin baştan belirtmeleri Türk inşaat sektöründe olması beklenen bir davranış örüntüsüdür.

İşlemci liderliğin en az gerçekleşen alt boyutunun laissez-faire liderlik olması da beklentilere uygundur. "Laissez-faire" kararları erteleyen, ödülleri sağlayamayan ve astları motive etmek için hiçbir girişimde bulunamayan, liderlik özelliklerinin yoksun yöneticilerde görülmektedir. İnşaat sektörü liderin sözde var olduğu bir liderlik biçimini onaylamaz. Liderlik stillerinin alt boyutlarına dair elde edilen bulgular Limsala ve Ogunlana'nın [18] bulguları ile kısmen tutarlıdır. Tayland inşaat sektöründe dönüşümcü liderlik stilinin telkinle güdüleme alt boyutunun en yüksek düzeyde gerçekleşmesi [18]bu çalışmanın sonucuyla çelişmekteyken, en az gerçekleşen alt boyutun laissez-faire olması ise bu çalışma sonucuyla örtüşmektedir.

İkinci araştırma konusu olarak, proje yöneticilerinin liderlik stillerini gerçekleştirme düzeyleri, iş görenlerin cinsiyetlerine göre incelenmiştir. Erkek mimar ve inşaat mühendisi çalışanlar; istisnalarla pasif yönetim alt boyutunu kadın mimar ve inşaat mühendislerine göre proje yöneticilerinin daha fazla gerçekleştirdiklerini düşünmektedirler. Diğer bir ifade ile erkek mimar ve mühendisler yöneticilerinin sorunlarla yeterince ilgilenmediklerini, ancak hedeflenen amaçlara ulaşamadığı zaman sorunlara müdahale etmeyi, kadın iş görenlere göre daha yüksek düzeyde düşünmektedirler. İnşaat sektöründe çalışanların kadın ya da erkek olmaları, onların yöneticilerinin liderlik stillerine ilişkin algılarını doğrudan ve dolaylı olarak etkilemektedir [40]. Bu durumun

kadın ve erkek işgörenlerin kişilik ve değer farklılıklarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Mamaş [43]'ün çalışma bulguları çalışmanın bu bulgusu ile ters düşmektedir. Mamaş'a göre [43] kadın yöneticilerin istisnalarla pasif yönetim davranışı erkekler için daha ileri düzeydedir. Her iki çalışmanın da Türkiye'de gerçekleştirilmesine ve hemen hemen aynı katılımcı sayısına sahip olmasına rağmen aynı kavram ile ilgili sonuçların tamamen zıt olmasının nedeninin örneklem farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir. Mamaş'ın [43] çalışmasında yöneticilerin liderlik stillerini değerlendiren örneklem grubu orta ve üst düzey yöneticilerden oluşurken bu çalışmada proje yöneticilerin liderlik stillerini işgören mimar ve mühendisler değerlendirmiştir. Literatürde, liderlik stillerinin cinsiyete göre değişip değişmediğini araştıran pek çok çalışma mevcut olsa da, inşaat sektöründe bu konuya yönelik bulgu oldukça azdır [15, 44, 45]. Mevcut çalışmaların bazıları liderlik stiline cinsiyete göre değiştiğini ileri sürerken bazıları ise cinsiyetten bağımsız olduğunu göstermektedir [46]. Giritli ve Oraz [15] da Türk inşaat sektörü yöneticilerinin liderlik stillerini belirlemeye yönelik yaptıkları çalışmada liderlik stiline cinsiyete göre farklılaştıklarını belirtmişlerdir.

İnşaat sektörü proje yöneticilerinin liderlik stillerini gerçekleştirme düzeyleri işgörenlerin mesleklerine incelenmiştir. Sektörde inşaat mühendisi olarak iş görenler, yöneticilerinin sorunlarla yeterince ilgilenmediklerini, ancak hedeflenen amaçlara ulaşamadığı zaman sorunlara müdahale ettiğini, mimar çalışanlara göre daha yüksek düzeyde düşünmektedirler. Buna karşın mimar çalışanlar inşaat mühendislerine göre daha yüksek düzeyde, yöneticileri ile çalışmaktan gurur duymakta, grubun yararına olacak şeyleri yöneticilerinin kendi çıkarlarından daha üstün tuttuğunu düşünmektedirler. Bu farklılığın, mesleki kültür farklılıklarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu bulgu Mamaş'ın [43] yaptığı çalışmanın sonuçları ile kısmen örtüşmektedir. Mamaş [43] çalışmasında inşaat mühendislerinin laissez-faire tipi liderlik davranışını mimarlara göre daha çok tercih ettiklerini; mimarların ise davranış olarak idealleştirilmiş etki liderlik stiline inşaat mühendislerine göre daha fazla tercih

ettiklerini belirlemiştir. Son olarak inşaat sektörü proje yöneticilerinin liderlik stillerini gerçekleştirme düzeyleri işgören mimar ve inşaat mühendislerinin inşaat sektöründeki deneyim sürelerine göre dağılımı incelenmiştir. İnşaat sektöründeki deneyim süresi ile davranış olarak idealleştirilmiş etki, atfedilen idealleştirilmiş etki, telkinle güdüleme, entelektüel uyarım, bireysel destek, koşullu ödül ve istisnalarla aktif yönetim liderlik stilleri arasında anlamlı bir ilişkinin olduğu kabul edilmiştir. Mamaş [43]'ün çalışmasında da idealleştirilmiş etki, telkinle güdüleme ve bireysel destek liderlik davranışları ile inşaat sektöründeki deneyim süresi arasında anlamlı ilişkiler bulunmuştur.

## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Türk inşaat sektörü proje yöneticilerinin liderlik stilleri belirlenerek, liderlik stilleri ile cinsiyet, meslek ve inşaat sektöründeki deneyim süresi değişkenleri arasındaki ilişkilerin incelenmesi esas alınmıştır. Bu kapsamda proje yöneticilerinin liderlik stillerini belirleyebilmek için inşaat sektöründe iş gören pozisyonunda çalışan 57 adet mimar ve inşaat mühendisinin görüşüne başvurulmuştur. Elde edilen veriler ile aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- İşgören mimar ve inşaat mühendisleri proje yöneticilerinin liderlik stiline yüksek düzeyde "davranış olarak idealleştirilmiş etki", çok az düzeyde "Laissez-faire" olarak tanımlamaktadır. Bu durum, yöneticilerin çalışanlarının fikirlerine saygı duyan, kararlarını alırken ahlaki ve etik sonuçları dikkate alan, çalışanları tarafından rol model olarak alınan etkin ve güçlü birer lider olduklarının göstergesidir.
- Erkek mimar ve inşaat mühendisleri kadın çalışanlara göre, proje yöneticilerinin istisnalarla pasif yönetim liderlik stiline daha fazla gerçekleştirdiklerini düşünmektedirler.
- Mimar işgörenler, inşaat mühendislerine göre proje yöneticilerinin atfedilen idealleştirilmiş etki alt boyutunu daha fazla gerçekleştirdiklerini düşünürken; inşaat mühendisi çalışanlar mimarlara göre

istisnalarla pasif yönetim alt boyutunu daha çok gerçekleştirdiklerini algılamaktadırlar.

- 1-5 yıl deneyime sahip olan çalışanlar, 16 yıl ve daha fazla deneyime sahip olan çalışanlara göre proje yöneticilerinin davranış olarak idealleştirilmiş etki, atfedilen idealleştirilmiş etki, telkinle güdüleme, entelektüel uyarım, koşullu ödül ve istisnalarla aktif yönetim boyutlarında liderlik özelliklerini ve davranışlarını yerine getirmede daha başarısız olduklarını düşünmektedirler.

Bu çalışmanın sonuçları da göstermektedir ki, Türk inşaat sektöründe iş gören mimar ve inşaat mühendisleri yaygın bir şekilde proje yöneticilerinin etkin birer lider olduğunu düşünmektedirler. Bununla birlikte, cinsiyet, meslek ve inşaat sektöründeki deneyim süresine göre liderlik stillerinin algılanması, işgörenler arasında farklılık gösterebilmektedir. Belirtilen nedenlerle lider hitap ettiği grubun yapısına, kültür seviyesi, yaş ve deneyimlerine göre liderlik davranışlarını belirlemek durumundadır [47].

Bu çerçevede, yöneticilere liderlik eğitimleri verilmesi ve bu eğitimler sürecine yukarıda belirtilen değişkenlere göre yöneticilerin belirli stratejiler geliştirmeleri önerilmektedir.

## 7. KAYNAKLAR

1. Eren, E., 1991. Yönetim ve Organizasyon, 1. Baskı, İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Yayınları, İstanbul, Türkiye.
2. Ataman, G., 2002. İşletme Yönetimi, 2. Baskı, Türkmen Kitabevi, İstanbul, Türkiye.
3. McShane, S. L., Von Glinow, M. A., 2000. Organizational Behaviour, 1st Ed. McGraw-Hill, New York, USA.
4. Hyatt, L., Hyatt, B., Hyatt, J., 2007. Effective Leadership Through Emotional Maturity, Academic Leadership, 5(2).
5. Harvey, R.C., Ashworth, A., 1993. The Construction Industry of Great Britain, Butterworth-Heinemann.
6. Morrison, R. S., Jones, L., Fuller, B., 1997. The Relation Between Leadership Style and Empowerment on Job Satisfaction of Nurses, Journal of Nursing Administration, 22, 5, 27-34.
7. Chen, H., Beck, S. L., Amos, L. K., 2005. Leadership Styles and Nursing Faculty Job Satisfaction in Taiwan, Journal of Nursing Scholarship, 34, 4, 374-380.
8. Ardichvili, A., Kuchinke, K. P., 2002. Leadership Styles and Cultural Values Among Managers and Subordinates: A Comparative Study of Four Countries of the Former Soviet Union, Germany, and the US, Human Resource Development International, 5, 1, 99-117.
9. Boonyachai, Y., 2011. An Investigation of the Leadership Styles of Middle Managers in the Thai Hotel Industry Using the MLQ (5X-Short Form) and Hofstede's Cultural Dimensions, Doctorate of Business Administration, Southern Cross University, Australia.
10. Bresnen, M. J., 1990. Organising Construction, Project Organisation and Matrix Management, Routledge, London.
11. Loosemore, M., Dainty, A.R.J., Lingard, H., 2003. Human Resource Management in Construction Projects, Strategic and Operational Approaches, Spon Press, London.
12. Wild, A., 2002. The Unmanageability of Construction and the Theoretical Psycho-Social Dynamics of Projects", Engineering, Construction and Architectural Management, 9, 4, 345-351.
13. Druker, J., White, G., 1995. Misunderstood and Undervalued? Personnel Management in Construction", Human Resource Management Journal, 5, 3, 77-91.
14. Fellows, R., Langford, D., Newcombe, R. ve Urry, S. 2002. Construction Management in Practice, Blackwell Science, Oxford.
15. Giritli, H., Oraz, G.T., 2004. Leadership Styles: Some Evidence from the Turkish Construction Industry, Construction Management and Economics, 22, 3, 253-262.
16. Fellows, R., Langford, D., Newcombe, R., Urry, S. 2002. Construction Management in Practice, Blackwell Science, Oxford.
17. Dulaimi, M., 2005. The Influence of Academic Education and Formal Training on the Project Manager's Behavior, Journal of Construction Research, 6, 1, 179-193.

- 18.Limsila, K., Ogunlana, S.O. 2008. Performance and Leadership Outcome Correlates of Leadership Styles and Subordinate Commitment, *Engineering, Construction and Architectural Management*, 15, 2, 164-184.
- 19.Walker, A., 1996. *Project Management in Construction*, 3rd Ed., Blackwell Science.
- 20.Rowlinson S. and Cheung T., 1993. Leadership Style of Construction Managers in Hong Kong, *Construction Management and Economics*, 11, 455-465.
- 21.Bresnen, M.J., Bryman, A.E., Ford, J.R., Beardsworth, A.D., Keil, E.T., 1986. The Leader Orientation of Construction Site Managers, *ASCE Journal of Construction Engineering and Management*, 112, 370-86.
- 22.Tannenbaum, R. ve Schmidt, W.H., 1973. How to Choose a Leadership Pattern. *Harvard Business Review*, May-June, 162-75, 178-80.
- 23.Hersey. P., Blanchard, K.H., 1982. *Management of Organizational Behaviour*, 4th edn, Prentice-Hall, Englewood, Cliffs, NJ.
- 24.Handy, C., 1993. *Understanding Organizations*, Penguin Books, London.
- 25.Bass, Bernard. M., B. J. Avolio., 1995. *MLQ Multifactor Leadership Questionnaire*, CA: Mind Garden, Palo
- 26.Mullins, L., 1999. *Management and Organizational Behaviour*, 6th edn, Pitman, London.
- 27.Vecchio, R.P., 2002. Preferences for Idealised Styles of Supervision, the *Leadership Quarterly*, 13,6, 643-71.
- 28.Burns, J. M., 1978. *Leadership*. NewYork: Harper ve Row.
- 29.Krishnan, R. V., 2001. Value Systems of Transformational Leaders, *Leadership and Organizational Development Journal*, 22, 3,126-131
- 30.Tabak, A., 2005. *Lider ve Takipçileri*. Ankara: Asil Yayın Dağıtım.
- 31.Güney, S., 2000. *Yönetim ve Organizasyon El Kitabı*. Ankara: Nobel.
- 32.Karip, E., 1998. Dönüşümcü Liderlik, Kuram ve Uygulamada Eğitim Yönetimi. 16, 443-465
- 33.Açıkalin, A., 2000. İlköğretim Okulu Yöneticilerinin Dönüşümcü Liderlik Özellikleri ve Empati Becerileri Arasındaki İlişki. Ankara İli Örneği. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Ankara: G. Ü. Eğitim Bilimler Enstitüsü.
- 34.Hall, J., Johnson, S., Wyszocki, A., Kepner, K., 2002. Transformational Leadership the Transformation of Managers and Associates. <http://edis.ifas.ufl.edu/pdf/HR/HR02000.pdf> 26.01.2016 tarihinde erişildi.
- 35.Avolio, B.J., Waldman, D.A., Yammarino, J., 1991. Leading in the 1990s: The Four I's Transformational Leadership, *Journal of European Industrial Training*. 15 (4), 9-16.
- 36.Bass, B.M., 1990. From Transactional to Transformational Leadership: Leadership to Share the Vision, *Organizational Dynamics*, 18(3), 19-32.
- 37.Bateman, T. S., 2002. *Management: Competing in The New Era*. Boston: Mcgraw-Hill Irwin.
- 38.Hartog, D. N., Muijen, J. V., Koopman, P. L., 1997. Transactional Versus Transformational Leadership: An Analysis of the MLQ, *Journal of Occupational and Organizational Psychology*, 70, 19-34.
- 39.Çelik, V. , 1998. Eğitimde Dönüşümcü Liderlik, Kuram ve Uygulamada Eğitim Yönetimi,16, 423-442.
- 40.Cemaloğlu, N., 2007. Okul Yöneticilerinin Liderlik Stilleri ile Yıldırma Arasındaki İlişki, *Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*. 33, 77-87.
- 41.Kalaycı, Ş., 2008. SPSS Uygulamalı, Çok Değişkenli, İstatistik Teknikleri, Asil Yayın Dağıtım, Ankara.
- 42.Opuku, A., Ahmed, V., Cruickshank, H., 2015. Leadership Styles of Sustainability Professionals in the UK Construction Industry, *Built Environment Project and Asset Management*, 5, 2, 184-201.
- 43.Mamaş, G., 2015. Türk İnşaat Proje Yönetimi Sektöründe Çalışan Üst ve Orta Düzey Yöneticilerin Dönüşümcü Liderlik Davranışları Üzerine Bir Araştırma, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul*.
- 44.Gale, A., 1994. Women in Non-Traditional Occupations: The Construction Industry. *Women in Management Review*, 9, 2, 3-14.
- 45.Bennet, J.F., Davidson, M.J., Gale, A.W., 1999. *Women in Construction: A Comparative*

- Investigation into the Expectations and Experiences of Female and Male Construction Undergraduates And Employees. *Women in Management Review*, 14, 7, 273–91.
- 46.**Epstein, C.F., 1991. Letter to Editor. *Harvard Business Review*, 69, 1, 150–1.
- 47.**Eren, E., 1998. *rgtsel Davranış ve Yönetim Psikolojisi*. İstanbul: Beta.





## Şönt Reaktör Geçici Zaman Analizi ve Üşüşme Akımı Hesaplaması için Matlab Tabanlı Yazılım Geliştirilmesi

İsmail TOPALOĞLU\*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Çankırı Karatekin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği, Çankırı

Geliş tarihi: 26.01.2016 Kabul tarihi: 09.05.2016

### Özet

Şönt reaktörler yüksek gerilim hatlarında yük değişimlerinden oluşan gerilim dalgalanmalarını önlemek ve kapasitif yükü absorbe etmek için kullanılmaktadır. Şönt reaktörler enerji iletim hatlarında sürekli devrede kalabildikleri gibi yük durumuna göre de devreye alınabilmektedir. Şönt reaktörler devreye girerken geçici olaylar oluşmaktadır ve üşüşme akımı da bunlardan en önemlisidir. Bu çalışmada şönt reaktörün geçici zaman analizi için sensör tabanlı bir metot önerilmektedir. Bu ölçüm için bilgisayar tabanlı bir yazılım geliştirilmiştir. Geliştirilen ara yüz sayesinde temel sistem parametreleri sistem gerilimi, çalışma frekansı, birleştirme kapasite değerleri, 3 fazlı sargı bağlantı hesapları, şebeke kısa devre gücü ve sistem toplam empedans değerleri girilebilmektedir. Önerilen ölçüm sisteminde yer alan sensörlerden elde edilen bilgiden sistem kapasite değerleri elde edilebilmektedir. Geliştirilen sistemin en önemli özelliği şönt reaktör devreye alındığında oluşacak akım ve gerilim değerlerinin analizine imkân veriyor olmasıdır.

**Anahtar Kelimeler:** Şönt reaktör, Geçici zaman analizi, Üşüşme akımı

### Development of Matlab Based Analysis Software for Transient Analysis of Shunt Reactor and Inrush Current Calculation

#### Abstract

Shunt reactors to prevent voltage fluctuations that occur from changes in load and capacitive load of high-voltage lines are used to absorb. Shunt reactors at power transmission lines according to the load condition remains active as they can be switched on continuously. Shunt reactors are composed transients entering the circuit and inrush current is the most important of them. In this study, sensor-based methods

---

\* Yazışmaların yapılacağı yazar: İsmail TOPALOĞLU, Çankırı Karatekin Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği, Çankırı, itopaloglu@karatekin.edu.tr

for transient analysis of shunt reactors are recommended. Computer-based software developed for this measurement. This newly developed interface basic system parameters, system voltage, operating frequency, capacitance values merge, 3-phase winding up accounts; network and system total power short circuit impedance values can be entered. Recommended information from the system capacity values obtained from sensors located in the measurement system can be obtained. The most important feature is that the developed system allows the analysis of current and shunt reactors will occur when the voltage is switched on.

**Keywords:** Shunt reactor, Transient analysis, Inrush current

## 1. GİRİŞ

Şönt reaktörlerin enerji iletim hatlarında kullanım amaçları gerilim yükselmesini azaltmaktır. Enerji iletim hatlarında yer altı kablolarının oluşturduğu aşırı kapasitif yükleri bastırmak için şönt reaktörler kısmen veya hep beraber devreye alınabilirler. Bu sayede enerji iletim hattına ekstra reaktif güç sağlayabilirler. Ancak yüksek gerilim hatlarında şönt reaktörler devreye alınırken güç sistemi üzerinde geçici olaylar meydana getirirler. Son dönemlerde çok yüksek gerilim hatlarındaki hızlı gelişmeler şönt reaktörün dinamik kapasitif güç kompanzasyonu için kullanımını zorunlu hale getirmiştir. Yapılan birçok araştırma çalışmasında şönt reaktörün ayırıcılar üzerindeki geçici olayları incelenmiştir [1-5]. Şönt reaktörün kontrol edilebilirliği, çalışma karakteristikleri ve farklı bağlantı şekillerinin etkileri incelenmiştir [6-10]. Geleneksel güç kompanzasyon araçları alçak gerilim şönt kapasitör gurupları, statik VAR kompanzatorleri ve jeneratör gurupları istenilen reaktif güç regülasyonunu ve aşırı gerilim yükselmesini sağlayamamaktadırlar [11-13]. Şönt reaktöre ait üşüşme akımı ve geçici olaylar örnek uygulamalar ile birçok çalışmada incelenmiştir [14]. Bu çalışmada Matlab GUI tabanlı bir yazılım ile dışarıdan şönt reaktörün bağlı bulunduğu sistemin parametreleri girilmekte ve sensör tabanlı bir ölçüm ile sistemde oluşan geçici olaylar analiz edilip hem grafik hem de sayısal sonuç olarak gösterilebilmektedir. Bu durum çalışmanın en önemli kazanımı olarak söylenebilir. Dahası yazılıma sonradan eklenebilecek eş zamanlı veri işleme kabiliyeti ile otomatik olarak sistemin geçici zaman analizi ve üşüşme akımı hesaplamaları yapılabilir.

## 2. ŞÖNT REAKTÖR GEÇİCİ ZAMAN ANALİZİ

Şönt reaktör geçici zaman analizinde temel alınan eşdeğer devrede seri sargı direnci, sargı indüktansı ve enerji hattı direnci ve indüktansı hesaba katılmıştır. Eşitlik 1, 2, 3 ve 4 temel devre denklemleridir.

$$e = i_L R + u_L \Rightarrow i_L = \frac{e - u_L}{R} \quad (1)$$

$$u_L = L \frac{di_L}{dt} \quad (2)$$

$$i_L = \frac{e - L \frac{di_L}{dt}}{R} \Rightarrow i_L' + \frac{R}{L} i_L - \frac{e}{L} = 0 \quad (3)$$

$$e = E_{\max} \sin(\omega t + \alpha) \quad (4)$$

Eşitlik 5 de zamana bağlı akımın enerji hattına bağlı olduğu durumda ayırıcı açıkken ve kapalıyken ki durumları ifade edilmiştir. Burada görüldüğü üzere anahtar açıkken şönt reaktör devrede değildir ve geçici durum değerleri ve kalıcı durum değerleri sıfırdır.

$$i_L = i_{Transient} + i_{Steady} \quad (5)$$
$$i_{Transient} + i_{Steady} \Big|_{t=0} = 0,$$

$$i_{Transient} + i_{Steady} \Big|_{t=\infty} = i_{Steady}$$

$$|Z| = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} & \arctan(\varphi_U - \varphi_Z) \cong \arctan(-\varphi_Z) \\ & = -\frac{\omega L}{R} \{ \varphi_Z = 0, \varphi_Z = \pi, \varphi_Z = 2\pi, K \} \end{aligned} \quad (7)$$

Eşitlik 6 ve 7 de devre empedansı ve faz açısı hesaplamaları verilmiştir.

$$\begin{aligned} i_L(t) &= i_{Transient} + i_{Steady} = \\ & A \cdot e^{-\frac{R}{L}t} + \frac{e}{\sqrt{R^2 + (2\pi fL)^2}} \sin(2 \cdot \pi \cdot ts + \varphi_U - \varphi_Z) \end{aligned} \quad (8)$$

$$A = -\frac{e}{\sqrt{R^2 + (2\pi fL)^2}} \sin(2 \cdot \pi \cdot ts + \varphi_U - \varphi_Z) e^{-\frac{R}{L}t} \quad (9)$$

Eşitlik 8 ve 9 da kararlı durum ve geçici durum akım eşitlikleri verilmiştir. Bu eşitliklerde A katsayısı eşitlik 9 ile verilmiştir. Şönt reaktörün ayırıcı kapalı ve açıkken oluşan akım ve gerilim düşümü eşitlikleri sırasıyla eşitlik 10, 11, 12 ve 13 de verilmiştir.

Anahtar kapalı iken;

$$i_L(t) = \left\{ \begin{aligned} & -\frac{e}{\sqrt{R^2 + (2\pi fL)^2}} \sin(2 \cdot \pi \cdot ts + \varphi_U - \varphi_Z) e^{-\frac{R}{L}t} \\ & + \frac{e}{\sqrt{R^2 + (2\pi fL)^2}} \sin(2 \cdot \pi \cdot t + \varphi_U - \varphi_Z) \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

$$u_L = \left\{ \begin{aligned} & -R \cdot \frac{e}{\sqrt{R^2 + (2\pi fL)^2}} \sin(2 \cdot \pi \cdot ts + \varphi_U - \varphi_Z) e^{-\frac{R}{L}t} \\ & + 2\pi fL \frac{e}{\sqrt{R^2 + (2\pi fL)^2}} \cos(2 \cdot \pi \cdot t + \varphi_U - \varphi_Z) \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

Anahtar açıkken;

$$i_L(t) = \left\{ -\frac{e}{\sqrt{R^2 + (2\pi fL)^2}} \sin(2 \cdot \pi \cdot ts + \varphi_U - \varphi_Z) e^{-\frac{R}{L}t} \right\} \quad (12)$$

$$u_L = L \frac{di_L}{dt} = \left\{ \begin{aligned} & -R \cdot \frac{e}{\sqrt{R^2 + (2\pi fL)^2}} \\ & \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot ts + \varphi_U - \varphi_Z) e^{-\frac{R}{L}t} \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

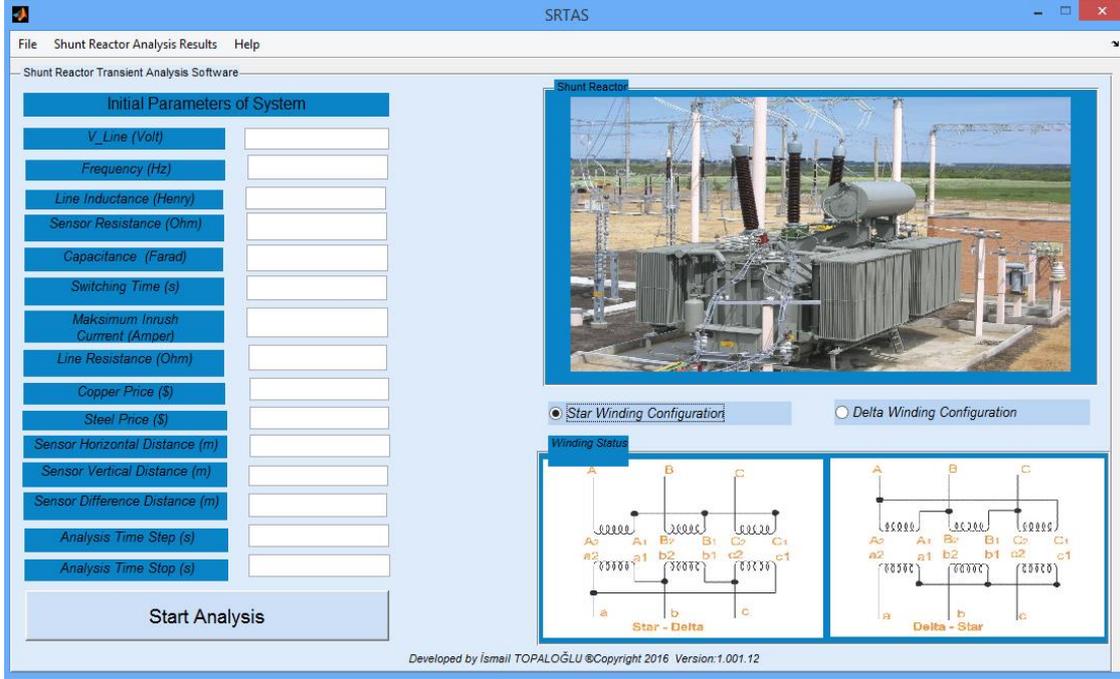
### 3. ŞÖNT REAKTÖR GEÇİCİ ZAMAN ve ÜŞÜŞME AKIMI HESAPLAMA PROGRAMI

Şönt reaktörler için temel yapılarını hesaba katan, üşüşme akımı ve geçici zaman analizi yapabilen Matlab GUI tabanlı bir yazılım geliştirilmiştir. Hem endüstride hem de akademide farklı yazılım tasarım programları kullanılmaktadır ancak hiçbirisi matlab matematik altyapısını sunmamaktadır. Geliştirilen analiz programı ile gerçek zamanlı sensör tabanlı analizler yapılabildiği gibi dışardan analiz başlangıç parametreleri girilerek de sonuçlar elde edilebilmektedir. Analiz programının düzgün çalışabilmesi için başlangıç analiz değerlerinin dışarıdan girilmesi gerekmektedir. Program çıktısı olarak;

- Nümerik sayısal sonuçlar,
- Faz gerilim grafikleri,
- Üşüşme akımı grafikleri,

değerleri görüntülenebilmektedir. Analize başlamadan önce sargı bağlantı tipinin seçilmesi gereklidir. Program bu seçimden sonra girilen başlangıç analiz parametre değerlerini kullanarak empedans, üşüşme akımı, faz gerilimi etkin değerleri, hat kapasitansları, mesafe ve kapasitenin gerilim değerlerine etkisini hesaplamakta ve görsel olarak sonuç verebilmektedir. Hali hazırda analiz parametreleri dışarıdan yazılıma girilmekte saha çalışmaları analizi yapılabilmektedir. Çalışmanın bir sonraki versiyonu için otomatik saha değerlerini alıp analiz edebilme yeteneği kazandırılması hedeflenmektedir.

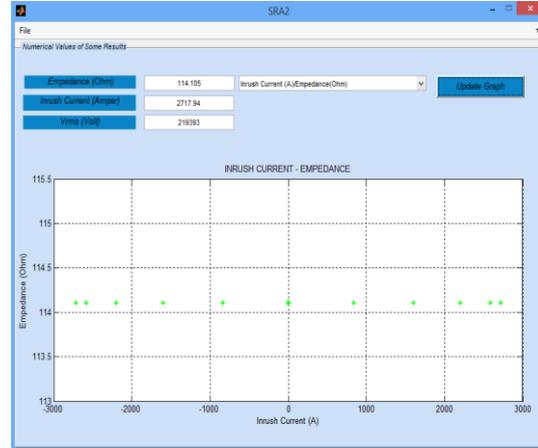
Şekil 1'de şönt reaktör geçici zaman analiz programı genel görüntüsü verilmiştir. Program uluslararası kullanılabilirliği olsun diye İngilizce hazırlanmıştır.



Şekil 1. Şönt reaktör geçici zaman analiz programı

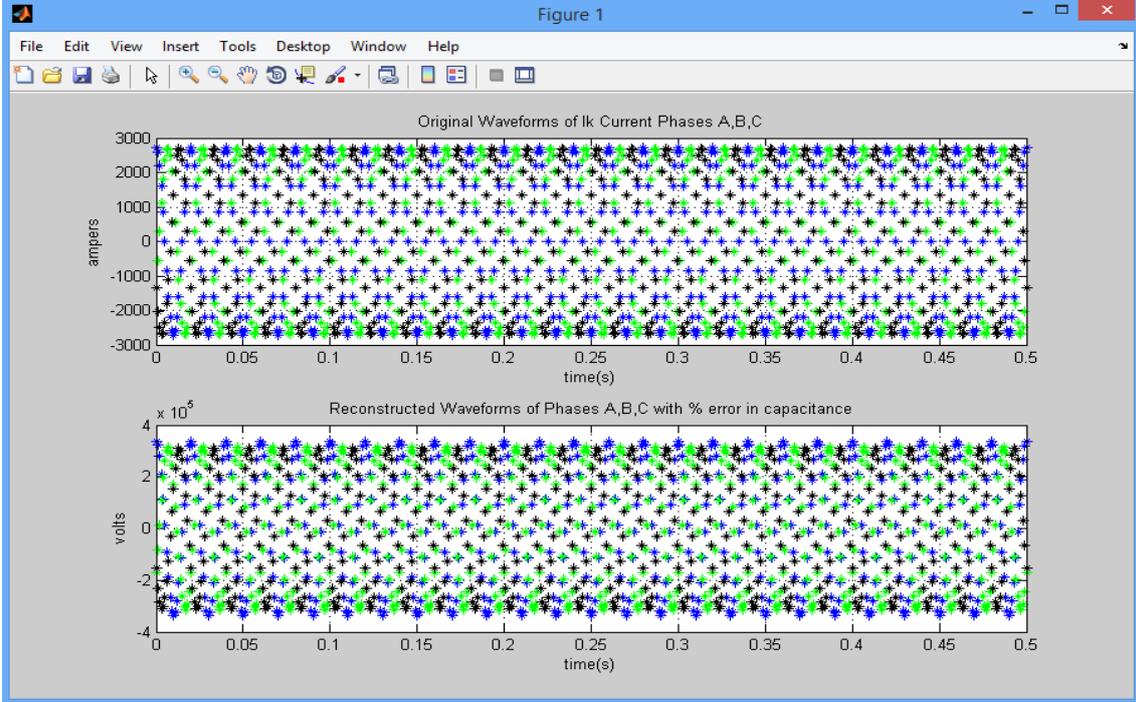
#### 4. ANALİZ SONUÇLARI

Program analiz sonuçlarını incelediğimiz zaman A, B ve C fazlarına ait dalga formlarının etkin değerlerinden oluşmuş üç faz sistem gerilim grafiği, sensör gerilim değerlerini ve sensör ölçümlerine göre yeniden oluşturulmuş gerilim dalga formları ve değerlerini inceleyebiliriz. Şekil 4’de görüldüğü üzere üç faz için üç sensör altyapısı kullanılmaktadır. Hali hazırda programda sensörler aktif olarak ölçüm yapmamaktadır. Ancak kullanılacak olan sensörün bilgileri girilerek, sensör direnci, kapasite değeri vb. gibi analizler yapılabilmektedir. Şekil 2’de görüldüğü üzere program sayısal tek sonuçları ayrı bir ekranda göstermeye imkân tanımaktadır. Buna ek olarak üşüşme akımına karşılık empedans ve faz gerilimlerini grafik olarak da gösterebilmektedir. Şönt reaktör geçici zaman analizini programın kolaylaştırması yanında devreye alındığı anda oluşan üşüşme akımını ayrı ayrı hesaplayıp hem grafik hem de sayısal sonuç olarak gösterebilmesi tasarlanan programın üstün yönlerindedir.

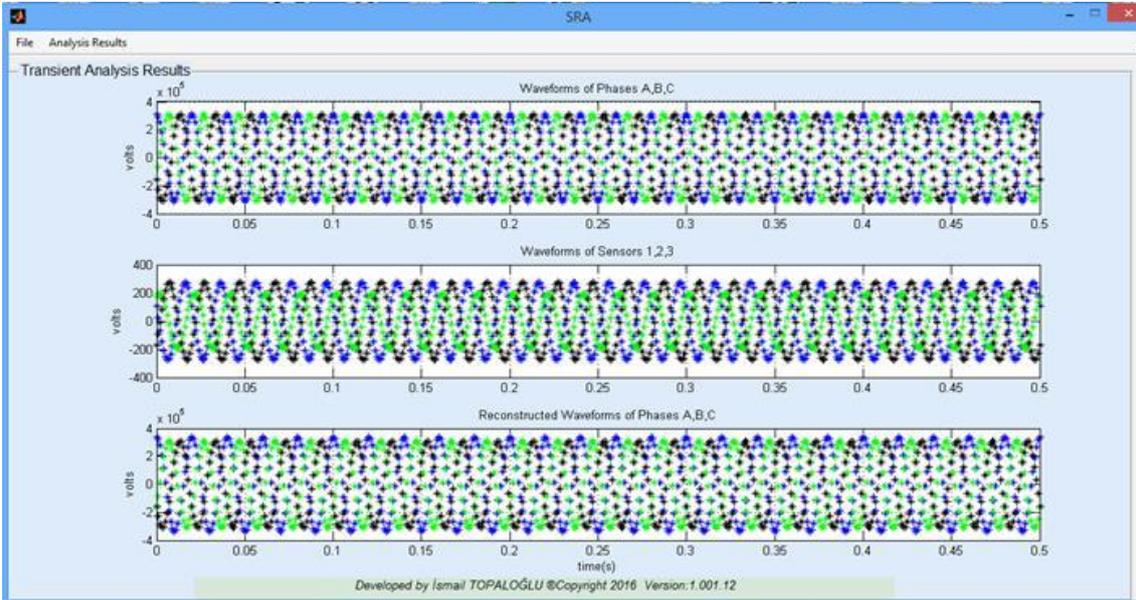


Şekil 2. Sayısal sonuçlar görünümü

Şekil 3’de üşüşme akımı ile hat kapasitanslarının etkisini içeren gerilim analiz sonuçları değerleri gösterilmektedir. Geliştirilen yazılım ile etkin ve uzaktan ölçüm ile bu değerler çok yüksek gerilim hatlarında elde edilebilmesine olanak sağlamaktadır. Ayrıca yazılım sonraki aşamada iteratif olarak şönt reaktör tasarımı yapabilir hale getirilecektir.



Şekil 3. Üçşüme akımı ve kapasitans etkili gerilim dalga şekilleri



Şekil 4. Analiz gerilim dalga formları

Çizelge 1’de örnek uygulamada kullanılan giriş analiz parametreleri değerleri verilmiştir. Analiz 380 kV bir enerji iletim hattında kullanılan şönt reaktör değerlerinden elde edilmiştir.

**Çizelge 1.** Giriş analiz parametre değerleri

Parametre Adı	Simge	Birim	Değeri
Çalışma gerilimi	V	(V)	380,000
Frekans	f	(Hz)	50
İndüktans	L	(H)	0,34
Anahtarlama zamanı	t	(sn)	0,25
Yatay uzunluk	lg	(m)	3
Sensör direnci	Rs	MΩ	6
Dikey uzunluk	lh	(m)	2
Kapasitans	C	(pF)	12

## 5. SONUÇLAR

Bu çalışmada matlab tabanlı şönt reaktör geçici zaman analizi ve üşüşme akımı analizlerinde kullanılacak bir yazılım geliştirilmiş ve örnek uygulama yapılmıştır. Geliştirilen yazılım sayesinde çok yüksek gerilim hatlarında şönt reaktör devreye alındığı anda oluşan gerilim ve üşüşme akımı hem sayısal hem de grafik sonucu olarak gösterilebilmektedir. Geliştirilen program enerji iletim hattı kapasitans değerleri ve bunların etkisini de hesaplamalara dâhil etmektedir. Bunun yanı sıra sensör tabanlı ölçüm yapabilme kabiliyeti vardır. Bundan sonraki çalışmada yazılımın şönt reaktör tasarımı yapabilir hale getirilmesi hedeflenmektedir. Bu kabiliyetlerinin yanında yazılım üretim maliyeti ve işletme maliyeti analizlerini de yapabilecektir.

## 6. KAYNAKLAR

1. Bossche, V., Cekov, A., Vencislav, V., 2005. Inductors and Transformers for Power Electronics. Boca Raton, FL, USA: Taylor & Francis Group

2. All Circuit Models were Made in Tina for Windows–the Complete Electronics Lab. Software Made by DesignSoft: <http://www.designsoftware.com>

3. Three-Phase Line Reactor Model was Adapted from Online MATLAB Library – 3-Winding 3-Phase Transformer Model: [http://www.kxcad.net/cae\\_MATLAB/toolbox/p\\_hysmod/powersys/ref/threephasetransformerinductancematrixtypethreewindings.html](http://www.kxcad.net/cae_MATLAB/toolbox/p_hysmod/powersys/ref/threephasetransformerinductancematrixtypethreewindings.html)

4. Quad Tech. LCR Primer Measurement Instruction Manual. Massachusetts USA. <http://www.quadtech.com>

5. Ramli, M.S., 2008. Investigation of Circuit Breaker Switching Transients for Shunt Reactors and Shunt Capacitors, Master Thesis, Avustralya.

6. Chen Weixian, Chen He, Lu tiecheng, Zhou Wenjun, 2005. Ultra-high Voltage Controllable Shunt Reactor, High Voltage Engineering, 31, (11), pp.26-27.

7. Hasibar R M, Legate A C, Brunke L, 1981. The Application of Highspeed Grounding Switches for Single-Pole Reclosing on 500kV Power Systems,. IEEE Trans on PAS, 100(4), pp:1512-1515.

8. Chen, B., Kokermak, J, M, Torrey, D, A, 1999. Harmonicfree Single-Phase Controlled Saturable Reactor Using Active Filtering, IEEE international Conference on Power Electronic and Drive System, PEDS’99, pp.1037-1042.

9. Zhou, Q, Guo, Q, Guangquan B., Liangeng B., 2007. Application of Controllable Reactors in China’s Power Grid at Extra and Ultra Voltage Level, Proceeding of the CSEE, 27(7), pp.1-6.

10. Tian, C, Chen, B, 2005. Application of Controlled Reactor in Northwest 750kV Power System, in High Voltage Engineering, 31(3), pp.18-21.

11. Xu, W, Chen, S, Jinliang H., 2005. Research on Switching Over-Voltage Caused by Faults in 1000kV UHV ac transmission line, Power System Technology, 29(21), pp.10-13.

12. Chen, H, Chen, W., 2002. Choice of Inductance on Neutral of Shunt Reactors, High Voltage Engineering, 28(8), pp.9-10.

13. Zhou, L., Zhu, Y., Zhou, Z, 2006, Regulating Range of UHV Controlled Shunt Reactor,

- Transactions of China Electro Technical Society, 21(12) pp.116-120.
- 14.** Zhang, L., Xu, Y., 2007, Application and Devdlopment of Shunt Reactors in EHV & UHV Transmission Lines, Electric Power Automation Equipment, 27(4), pp.75-78.





## Evaluation of Performance and Emission Characteristics of a VCR Diesel Engine Fuelled with Diesel Fuel and Diesel-Biodiesel-Alcohol Blends

Abdulkadir YAŞAR<sup>1</sup>, Ali KESKİN<sup>\*2</sup>, Şafak YILDIZHAN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Çukurova Üniversitesi, Ceyhan Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Adana

<sup>2</sup>Çukurova Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 27.01.2016

Kabul tarihi: 10.03.2016

### Abstract

In this study, performance and emission characteristics of a variable compression ratio (VCR) diesel engine fuelled with diesel fuel and diesel-biodiesel-alcohols blends have been evaluated in detail. The results of performance and emission characteristics of fuel blends were compared with low sulphur diesel fuel. Experimental study showed that biodiesel and alcohol addition to diesel fuels slightly affects the performance, combustion and emissions characteristics of the engine. The results showed that the increasing biodiesel ratio in the blend resulted in decrease of brake thermal efficiency and increment of specific fuel consumption (SFC). Furthermore, it was revealed that addition of alcohols and biodiesel fuel decreased carbon monoxide emission and increased NO<sub>x</sub> and carbon dioxide emissions.

**Keywords:** Performance, Emission, Butanol, Ethanol, Biodiesel

### Dizel, Dizel-Biyodizel-Alkol Yakıt Karışım Sıkıştırma Oranı Değişen Bir Dizel Motorun Performans ve Emisyon Karakteristiklerinin Değerlendirilmesi

### Özet

Bu çalışmada, sıkıştırma oranı değiştirilebilir dizel ve dizel-biyodizel-alkol karışımları kullanılan bir dizel motorun performans ve emisyon özellikleri ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir. Yakıt karışımlarının performans ve emisyon karakteristik sonuçları, düşük kükürtlü dizel yakıt ile karşılaştırılmıştır. Deneysel çalışma, dizel yakıtlara biyodizel ve alkol ilavesinin motor performansını, yanma ve emisyon özelliklerini çok az etkilediğini göstermiştir. Sonuçlar, karışımdaki biyodizel oranı artışının, ısı veriminde azalışa ve özgül yakıt tüketiminde (SFC) ise ait artışa neden olduğunu göstermiştir. Ayrıca, alkol ve biyodizel yakıt ilavesinin karbon monoksit emisyonunu azalttığını ve NO<sub>x</sub> ve karbon dioksit emisyonlarını ise arttırdığını ortaya çıkarmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Performans, Emisyon, Bütanol, Etanol, Biyodizel.

---

\* Yazışmaların yapılacağı yazar: Ali KESKİN, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü, Adana. [akeskin@cu.edu.tr](mailto:akeskin@cu.edu.tr)

## 1. INTRODUCTION

After the oil crisis of the 1970s, research interests on the internal combustion engines have been explored in the area of alternate fuels, which are renewable, locally available, environment friendly [2]. It is well known that transport is almost totally dependent on fossil particularly petroleum based fuels such as gasoline, diesel fuel, liquefied petroleum gas, and compressed natural gas. As the amount of available petroleum decreases, the need for alternate technologies to produce liquid fuels that could potentially help prolong the liquid fuels culture and mitigate the forthcoming effects of the shortage of transportation fuels increases. There are several reasons for biofuels to be considered as relevant technologies by both developing and industrialized countries. They include energy security reasons, environmental concerns, foreign exchange savings, and socioeconomic issues related to the rural sectors of all countries in the world. Biofuels have become more attractive recently because of its environmental benefits [2-8].

Biodiesel is a renewable energy source which is produced with transesterification reaction [9-12]. Biodiesel can be produced from various feedstocks such as vegetable oils, animal fats and even from waste oils. Many researchers investigated various feed stocks for biodiesel production [13-15]. Many vegetable oils such as pomace oil [16], soybean oil [17], castor oil [18], etc. have been used for producing biodiesel fuel.

Since renewable energy sources has been popular to investigate researchers also focused on alcohol which are renewable energy sources. Alcohols as additives to biodiesel–diesel blends were investigated in terms of performance and emission characteristics in diesel engines by many authors. It was reported that the use of alcohol blends up to 20% does not usually require any important modification [19]. It has been shown that alcohol–biodiesel blends with 10% and 15% alcohol concentration increase HC and CO emissions while 5% alcohol addition to biodiesel fuels decrease these emissions [20]. Most of the

researchers have used diesel alcohol blends with a small percentage of ethanol, methanol and propanol [21-23].

In this study effect of biodiesel and alcohol addition to diesel fuel has been investigated experimentally. Experiments were conducted with diesel fuel and blends of diesel, false flax biodiesel, ethanol and butanol fuels. Experiments were conducted at partial load condition (%60 load).

## 2. MATERIAL AND METHOD

The experimental study was conducted in Petroleum Research and Automotive Engineering Laboratories of the Department of Automotive Engineering at Cukurova University.

### 2.1. Test Fuels

False flax (*Camelina Sativa*) oil was used as raw material for biodiesel production. The samples of crude oils were supplied from a local oil company, Gaziantep, Turkey. Methyl ester samples were produced via transesterification method. In the reactions, methyl alcohol and sodium hydroxide (NaOH) were used as reactant and catalyst. In order to determine best production condition, transesterification reactions were carried out in a spherical glass reactor equipped with reflux condenser, stirrer and thermometer. In the reactions, molar ratio of alcohol to oil was 6:1. The reaction was performed with methanol 20 wt%, and sodium hydroxide 0,5wt%. Methanol and sodium hydroxide were mixed in order to obtain sodium methoxide. Then, sodium methoxide and oil samples were mixed in the reactor. The mixtures were heated up to 60°C and kept at this temperature for 90 minutes by stirring. After the reaction period, the crude methyl esters were waited at separating funnel for 8 hours. And then, crude glycerine was separated from methyl ester. Finally, the crude methyl esters were washed by warm water until the washed water became clear and dried at 105°C for 1 hour. Finally washed and dried methyl

esters were passed through a filter and false flax methyl ester (FME) was obtained. Figure 1 presents the biodiesel production steps schematically. After refining the biodiesel, biodiesel, diesel and alcohols were blended. The test fuels were diesel fuel and diesel-biodiesel-

alcohols blends. Test fuels were denoted as D (diesel fuel), B10A5 (85% diesel+ 10% biodiesel + 2,5% ethanol + 2,5% butanol), and B20A5 (75% diesel + 20% biodiesel + 2,5% ethanol + 2,5% butanol).

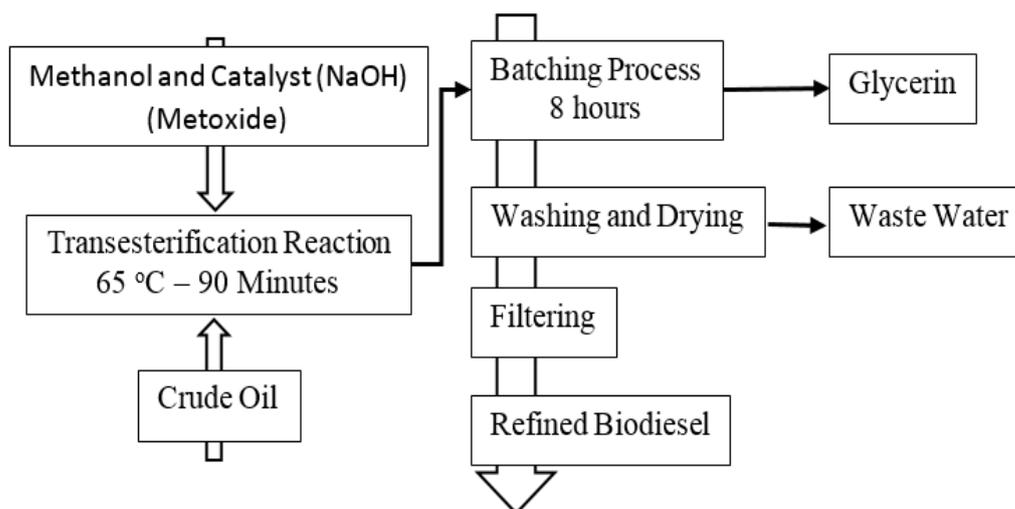


Figure 1. Biodiesel production processes

The physical properties of the test fuels and oil were measured before testing them in the engine. Instruments used for analyzing the products were; Zeltex ZX 440 NIR petroleum analyzer with an accuracy of  $\pm 0.5$  for determining cetane number; Tanaka AFP-102 for cold filter plugging point; Tanaka AKV-202 Auto Kinematic Viscosity test for determining the viscosity; Kyoto electronics DA-130 for density measurement; Tanaka flash point control unit FC-7 for flash point determination and IKA Werke C2000 bomb calorimeter for determination of heating value. The fuel quality measurements were fulfilled according to TS EN 14214 and EN 590 standards.

## 2.2. Engine Specifications

Engine experiments were conducted on a single cylinder, four strokes, naturally aspirated, water

cooled, variable compression multi fuel engine. Technical specifications of the engine were given in Table 1. Schematic representation of test rig was shown in Figure 2. An eddy current dynamometer was used for determination of performance characteristics of the engine. Table 2 shows the technical specifications of the eddy current dynamometer. Experiments were conducted at constant speed of 1500 revolution per minute (rpm) and under partial load (60% loads). The compression ratio of the engine was held as 16:1.

## 2.3. Emission Devices

MRU Air Delta 1600 V mobile exhaust gas analyzer was used to measure exhaust emissions. Emission data was collected with the help of analyzer software. Accuracy of the gas analyzer is  $\pm 10$  ppm for CO, 1% for CO<sub>2</sub> and  $\pm 1$  ppm for NO<sub>x</sub>. Table 3 show measurement ranges,

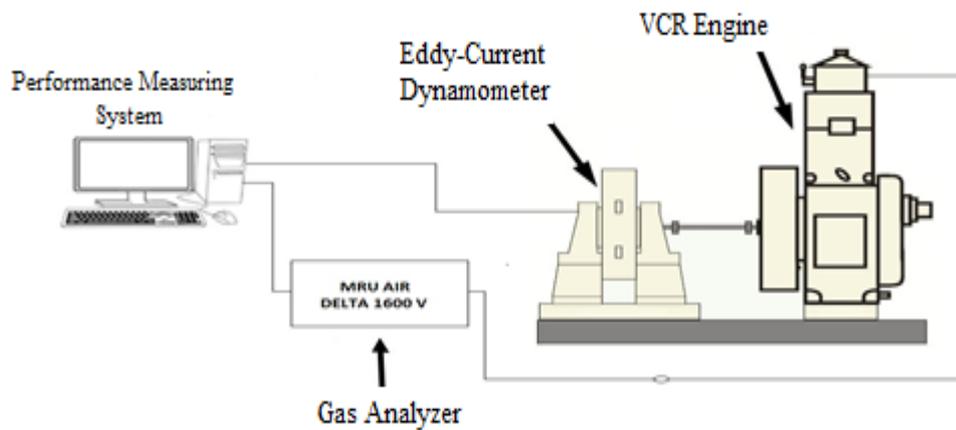
*Evaluation of Performance and Emission Characteristics of a VCR Diesel Engine Fuelled with Diesel Fuel and Diesel-Biodiesel-Alcohol Blends*

**Table 1.** Technical specifications of the variable compression ratio (VCR) engine

Brand	Kirloskar Oil Engines
Model	240
Configuration	Single Cylinder
Type	Four Stroke, Water Cooled
Displacement	661 cc
Bore	87,5 mm
Stroke	110 mm
Maximum/Minimum Operating Speed	2000/1200 rpm
Power	3,5 Kw @ 1500 rpm
Compression Ratio (CR) range	12:1-18:1
Injection Variation	0-25 Deg BTDC
Peak Pressure	77,5 kg/cm <sup>2</sup>
Weight	160 kg
Combustion Principle	Compression Ignition

**Table 2.** Technical specifications of the dynamometer

Model	AG10
Make	Saj Test Plant Pvt. Ltd.
Water inlet	1.6 bar
Torque	11.5 Nm
Hot coil voltage max.	60
Continuous current amps	5
Speed max.	10000 rpm
Load	3,5 kg
Weight	130



**Figure 2.** Schematic representation of test-rig

**Table 3.** Measurement ranges, accuracy and resolution values of emission device

Specification	
CO	0-10%
CO <sub>2</sub>	0-20%
HC	0-20000 ppm
O <sub>2</sub>	0-22%
NO	0-4000 ppm
NO <sub>2</sub>	0-1000 ppm
Lambda	0-9,99
Accuracy	According to OIML-class 1
Ambient Temperature	5° -45°C
Exhaust Gas Temperature	Max 650 °C

accuracy and resolution values of emission device and smoke meter, respectively.

### 3. RESULT and DISCUSSION

#### 2.1. Fuel Properties

In general, false flax oil contains unsaturated fatty

acids which are important advantages for the fuel properties of biodiesel such as lower pour point [24]. Fuel properties of false flax oil, false flax methyl ester (FFME) and its blends with diesel fuel were shown in Table 4. The density of biodiesel samples were found higher than that of diesel fuel so the blend fuels had higher density than that of diesel fuel.

**Table 4.** Fuel properties of test fuels

Properties	Diesel fuel	EN590	FME	B10A5	B20A5	ASTM D 6751	EN 14214
Density, kg/m <sup>3</sup>	837	820–845	886	0,835	0,841	-	860 - 900
Cetane Number	59,47	Min 51	51	53,173	52,832	Min 47	Min 51
CFPP, °C	-11	-	-10	-13	-12	-	Summer <4,0 Winter <-1,0
Lower heating value, kJ/kg	45,856	-	39,048			-	-
Kinematic viscosity, mm <sup>2</sup> /s	2,76	2,0–4,5	4,38	3,07	3,21	1,9–6,0	3,5 – 5,0
Flash point °C	79,5	Min 55	>140	-	-	Min 93	Min 120

The heating value of biodiesel samples and biodiesel-diesel-alcohol blends were lower than diesel fuel. Cetane number of FME was measured as 51 which satisfy the American and European Biodiesel Standards. The temperature at which is the lowest temperature of the standardized volume of fuel can pass through a standardized filter is determined by cold filter plugging point (CFPP). Also CFPP is a significant property which is relative with pour point. Analysis showed that CFPP points of biodiesel samples and their blends with diesel fuel were close to the diesel fuel which is an important property for cold working situations. Analysis showed that FME and diesel-biodiesel –alcohol blends had higher viscosity than diesel fuel.

### 3.2. Performance Characteristics

Brake thermal efficiency (BTHE) which is defined as ratio of engine power output to heat input of fuel is one of the most important performance criteria for internal combustion engines [25]. Experiments showed that addition of biodiesel and alcohols to diesel fuel caused a slight decrement in

the terms of BTHE. The main cause of that result is the lower Cetane numbers of the blend fuels. The low Cetane number causes to prolong ignition delay. According to standard combustion process, this situation change characteristic of heat release and increasing ratio of pressure in the engine combustion chamber. In other words, lower Cetane number of blend fuels cause deterioration of combustion characteristics which decrease brake thermal efficiency values of the engine. Decreasing BTHE also results with higher specific fuel consumption (SFC). SFC is the measure of fuel consumption to produce unit power. Experiment results showed that diesel-biodiesel-alcohols blends usage caused a slight increment in the means of SFC. In comparison with diesel fuel test fuel, B10A5 decreased BTHE 2,6 % and test fuel B20A5 decreased BTHE 6,09%. Also, results of experiments showed that B10A5 test fuel and B20A5 test fuel increased SFC 3,41% and 6,89% compared to diesel fuel, respectively. Figure 3 shows the brake thermal efficiency results of test fuels and Figure 4 indicates the specific fuel consumption (SFC) values.

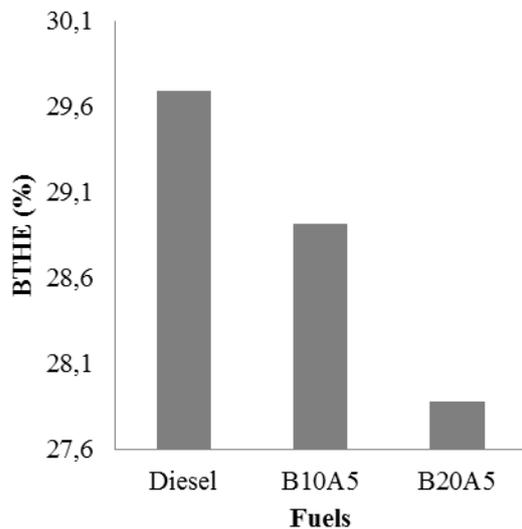


Figure 3. BTHE values of test fuels

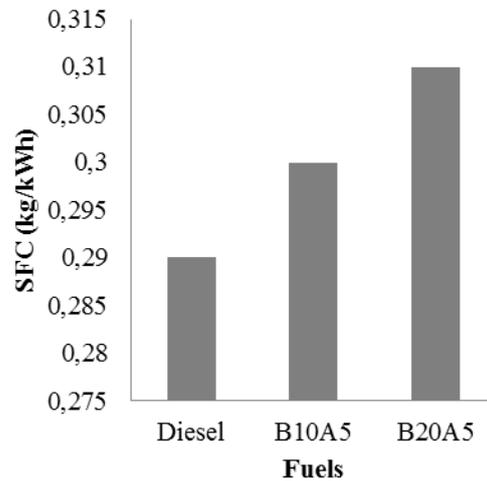


Figure 4. SFC values of test fuels

Exhaust gas temperature (EGT) is a very important criteria for analyzing the performance and combustion characteristics of a fuel. Addition of biodiesel and alcohols resulted with higher EGT. This result is mainly caused by extra oxygen  $O_2$  content of biodiesel and alcohols in their compositions compared to diesel fuel. Extra oxygen content improves combustion and so exhaust gas temperature rises. EGT of test fuel were 103,121 and 125,04°C for diesel, B10A5 and B20A5 fuels, respectively. Figure 5 shows the EGT of test fuels.

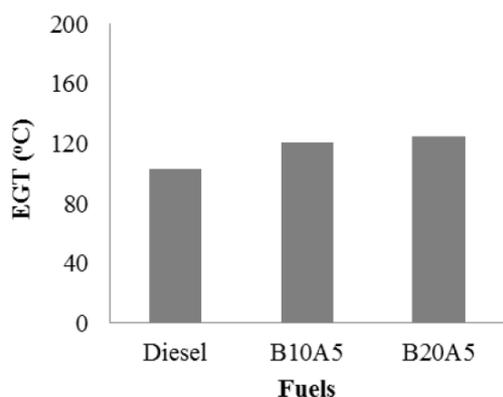


Figure 5. EGT values of test fuels

### 3.3. Emission Characteristics

Figure 6 shows the CO emission results of the experiments. It is clear that blending diesel fuel with biodiesel and alcohols decreased CO emissions significantly. The test engine emitted lower CO emissions when the B10A5 and B20A5 fuel instead diesel fuel. The main reason of this result is extra oxygen content of biodiesel and alcohols. B10A5 and B20A5 usage decreased CO emissions 9,09 % and 28,78% compared to diesel fuel, respectively.

Variation of  $CO_2$  emissions of experiments are shown in Figure 7. It can be seen from the graphs addition of biodiesel and alcohols to diesel fuel resulted in higher  $CO_2$  emissions since extra oxygen contents of biodiesel and alcohols improve the combustion and thus,  $CO_2$  compositions are

converted to  $CO_2$  emissions. B10A5 and B20A5 increased  $CO_2$  emissions up to 6,3 % and 11,69 % in comparison with diesel fuel, respectively.

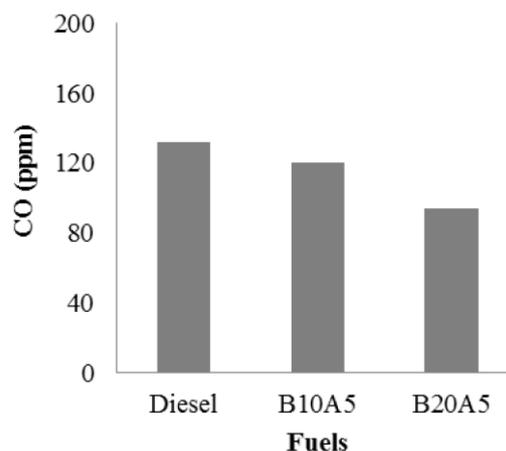


Figure 6. CO emission values of test fuels

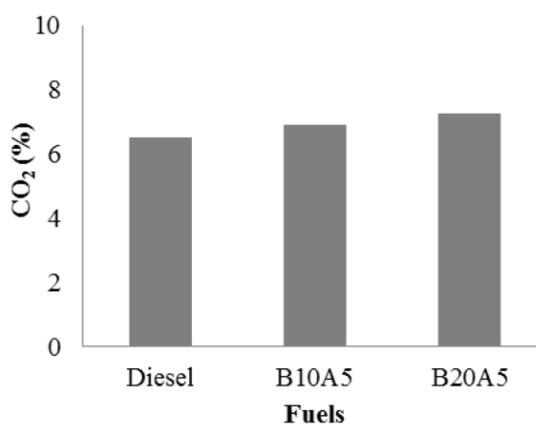


Figure 7.  $CO_2$  emission values of test fuels

$NO_x$  results of all test fuels are shown in Figure 8. Diesel-biodiesel-alcohol blends increased  $NO_x$  emissions since combustion temperature of biodiesels are higher than that of diesel fuel. Higher cylinder temperatures cause more formation of  $NO_x$  emissions. Thus, the maximum  $NO_x$  emissions are emitted by the engine when B20A5 fuel is used as a fuel. B10A5 and B20A5

increased  $\text{NO}_x$  emissions 21,42% and 47,61% compared to diesel fuel, respectively.

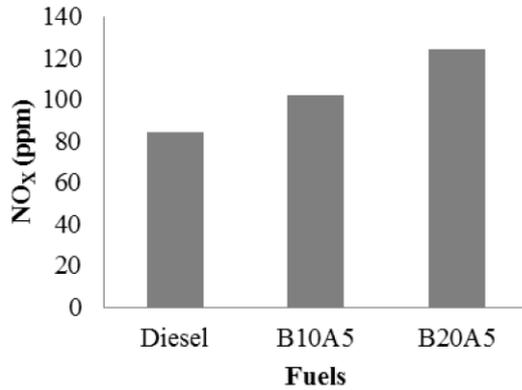


Figure 8.  $\text{NO}_x$  emission values of test fuels

### 3. CONCLUSION

This study was carried out in order to find out the performance and emission characteristic of a diesel engine at partial load condition fuelled with diesel and diesel-biodiesel-alcohols blends. During the experiments the engine compression ratio was set as 16:1 and engine load was 60%.

According to test results, the following conclusion can be summarized;

- Maximum mean BTHE (29.69%) was obtained when engine was fuelled with low sulphur diesel. Biodiesel and alcohol additives (B10A5 and B20A5) decreased BTHE.
- Usage of biodiesel and alcohols caused increase in specific fuel consumption.
- Exhaust gas temperature was increased with B10A5 and B20A5. Extra oxygen content of biodiesel and alcohols resulted in higher exhaust gas temperatures.
- CO emission values were decreased when engine fuelled with B10A5 and B20A5 fuels due to extra oxygen content of fuels when compared to diesel fuel.
- B10A5 and B20A5 fuels caused to increase of  $\text{CO}_2$  values compared to diesel fuel.
- The higher combustion temperatures of B10A5 and B20A5 fuels caused to increase of  $\text{NO}_x$  values significantly.

### ACKNOWLEDGEMENT

We would like to thank Ç.Ü. Scientific Research Project Department for their support (Project No. ID 5987).

### 4. REFERENCES

1. Demirbas, A., 2005. Biodiesel Production from Vegetable Oils via Catalytic and Non-Catalytic Supercritical Methanol Transesterification Methods. *Progress in Energy and Combustion Science*31:466–87.
2. Balat, M., 2009. New Biofuel Production Technologies. *Energy Educ. Sci. Technol. Part A*;22:147–61.
3. Demirbas, C., 2009. The Global Climate Challenge: Recent Trends in  $\text{CO}_2$  Emissions from Fuel Combustion. *Energy Educ. Sci. Technol. Part A*, 22:179–93.
4. Humbad, A., Kumar, S., 2009. Babu, BV., Carbon Credits for Energy Self Sufficiency in Rural India—A Case Study. *Energy Educ. Sci. Technol. Part A*, 22:187–97.
5. Dincer, K., 2008. Lower Emissions from Biodiesel Combustion. *Energy Sources Part A*, 30:963–8.
6. Demirbas, A., Dincer, K., 2008. Sustainable Green Diesel: a Futuristic View. *Energy Sources Part A*. 30:1233–41.
7. Hacisaloglu, S., 2009. Ethanol–Gasoline and Ethanol–Diesel Fuel Blends. *Energy Educ. Sci. Technol. Part A*, 22:133–46.
8. Demirbas, B., 2009. Biofuels for Internal Combustion Engines. *Energy Educ. Sci. Technol. Part A*, 22:117–32.
9. Ozcanli, M., Serin, H., Aydin, K., Serin, S., 2011. Ricinus Communis (Castor Oil) Methyl Ester as a Natural Additive for Biodiesel Fuels. *Energy Education Science and Technology Part A: Energy Science and Research*;27(2):331–336.
10. Serin, H., Ozcanli, M., Gokce., M.K., Tuccar, G., 2013. Biodiesel Production from Tea Seed (*Camellia Sinensis*) Oil and Its Blends with Diesel Fuel. *International Journal of Green Energy*, 10(4):370–377.
11. Yildizhan, S., Yasar, A., 2015. Performance and Emission Characteristics of Diesel Engine



- Operating on Biodiesel and Biodiesel Blended with Methanol and Propanol. *International Journal of Scientific and Technological Research*, 1(1):270-278.
12. Demirbas, A., 2010. Tea Seed Upgrading Facilities and Economic Assessment of Biodiesel Production from Tea Seed Oil. *Energy Conversion and Management*;51:2595-2599.
  13. Anwar, F., Rashid,U.,Ashraf,M., Nadeem , M., 2010. Okra (*Hibiscus esculentus*) Seed Oil for Biodiesel Production. *Applied Energy*;87:779-785.
  14. Balusamy, T., Marappan, R., 2010. Effect of Injection Time and Injection Pressure on CIEngine Fuelled with Methyl Ester of *Thevetiaperuviana* Seed Oil. *International Journal of Green Energy*;7:397-409.
  15. Saribiyik, O.Y., 2010. Ozcanli, M., Serin, H., Serin, S., Aydin, K., Biodiesel Production from *Ricinuscommunis* Oil and Its Blends with Soybean Biodiesel. *Strojniškivestnik- Journal of Mechanical Engineering*, 56:811-816.
  16. Caynak, S., Guru, M., Bicer, A., Keskin, A., İçingur, Y., 2009. Biodiesel Production from Pomace Oil and Improvement of Its Properties with Synthetic Manganese Additive. *Fuel*;88:534-538.
  17. Canakci, M., Gerpen, J.H.V., 2003. Compression of Engine Performance and Emission for Petroleum Diesel Fuel, Yellow Grease Biodiesel, and Soybean Oil Biodiesel. *Trans. ASAE*;46:937-44.
  18. Ozcanli, M., Serin, H., Aydin, K., Serin, S., 2011. *Ricinus Communis* (Castor Oil) Methyl Ester as a Natural Additive for Biodiesel Fuels. *Energy Education Science and Technology Part A: Energy Science and Research*;27(2):331-336.
  19. Karabektas, M., Hosoz, M., 2009. Performance and Emission Characteristics of a Diesel Engine Using Isobutanol–Diesel Fuel Blends. *Renewable Energy*;34:1554-1559.
  20. Yilmaz, N., 2012. Performance and Emission Characteristics of a Diesel Engine Fuelled with Biodiesel–Ethanol and Biodiesel–Methanol Blends at Elevated Air Temperatures. *Fuel*, 94:440–443.
  21. Tsai, J.H., Chen, S.J., Huang, K.L., Lin, W.Y., Lee, W.J., Lin, C.C., Hsieh, L.T., Chiu, J.Y., Kuo, W.C., 2014. Emissions from a Generator Fuelled by Blends of Diesel, Biodiesel, Acetone, and Isopropyl Alcohol: Analyses of Emitted PM, Particulate Carbon, and PAHs. *Science of the Total Environment*;466:195–202.
  22. Yasin, M.H.M., Yusaf, T., Mamat, R., Yusop, A. F., 2014. Characterization of a Diesel Engine Operating with a Small Proportion of Methanol as a Fuel Additive in Biodiesel Blend. *Applied Energy*;114:865–873.
  23. Yasin, M.H.M., Mamat, R., Yusop, A. F., Rahim, R., Aziz, A., Shah, L.A., 2013. Fuel Physical Characteristics of Biodiesel Blend Fuels with Alcohol as Additives. *Procedia Engineering*;53:701–706.
  24. Yildizhan, S., Serin, H., 2015. Biodiesel Production from False Flax (*CamelinaSativa*) Oil and Its Blends with Diesel Fuel. *The Journal of Macro Trends in Energy and Sustainability*;3:24-30.
  25. Sayin, C., Balki, M.K., 2015. Effect of Compression Ratio on the Emission, Performance and Combustion Characteristics of a Gasoline Engine Fuelled with Iso-Butanol/Gasoline Blends. *Energy*;82:550-555.



## Lif Türünün Betonların Yük-Deplasman Davranışı ve Donma-Çözülme Direncine Etkisi

Erdoğan ÖZBAY\*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>İskenderun Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İskenderun, Hatay

Geliş tarihi: 27.01.2016 Kabul tarihi: 08.4.2016

### Özet

Bu çalışmada, farklı lif türlerinin lifli betonların, basınç, eğilme ve donma-çözülme dirençlerine etkisi araştırılmıştır. Su/bağlayıcı oranı 0,35, bağlayıcı miktarı 500 kg/m<sup>3</sup> olan karışımlar hazırlanmıştır. Tüm karışımlarda, bağlayıcının ağırlıkça %40'ı uçucu küldür. Karışımlardan ilki lif ilavesiz; diğerlerine ise %1 oranında çelik, polipropilen (PP) ve polivinil alkol (PVA) lifler katılarak, lif donatılı betonlar elde edilmiştir. Üretilen beton numuneleri üzerinde basınç ve eğilme dayanımı deneyleri yapılmıştır. Eğilme dayanımı deneyi MTS cihazında gerçekleştirilerek yük-deplasman eğrileri elde edilmiştir. Ayrıca, üretilmiş olan prizma numuneler tekrarlı donma-çözülme çevrimlerine maruz bırakılarak, her 30 çevrim sonrasında ağırlık kaybı ve toplamda 300 çevrim sonucunda, numunelerde meydana gelen ağırlık ve dayanım kayıpları belirlenmiştir. Çalışma sonucunda, çelik lifle üretilen betonların PP ve PVA lif kullanılarak üretilen betonlara oranla daha yüksek eğilme ve donma çözülme direncine sahip oldukları görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Lif donatılı beton; Yük-deplasman; Donma-çözülme; Eğilme dayanımı

### Effect of Fiber Type on the Load-Displacement and Freeze-Thaw Behaviors of Concretes

### Abstract

In this study, effect of different fiber types on the compressive and flexural strength and freeze-thaw resistance of fiber reinforced concretes were investigated. Different mix proportions were prepared with constant water-binder ratio of 0,35 and binder content of 500 kg/m<sup>3</sup>. In all mixtures, 40% of binder was replaced with FA. Adding 1% of steel, polypropylene (PP) and polyvinyl alcohol (PVA) fibers, fiber reinforced concretes were produced. Compressive and bending tests were performed using MTS machine so load-displacement graphs are obtained. Furthermore, produced prism specimens were exposed to 300

\* Yazışmaların yapılacağı yazar: Erdoğan ÖZBAY, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İskenderun, Hatay. erdoganozbay@gmail.com

freezing-thawing cycles. Mass loss and reduction in mechanical properties of prisms were measured at each 30 cycles up to 300 cycles. Test results showed that steel fiber reinforced concretes had the relatively higher flexural strength and freeze-thaw resistance than the PP and PVA fiber reinforced concretes.

**Keywords:** Fiber reinforced concretes, Load-displacement, Freeze-thaw; Flexural strength

## 1. GİRİŞ

Bilindiği gibi gevrek bir malzeme olan beton, çekme, yorulma, aşınma dayanımları ve çatlak oluşumu sonrası yük taşıma kapasiteleri bakımından zayıf özelliklere sahiptir. Betona lif ilavesi yapılarak, mekanik özellikleri, sünekliği, tokluğu, aşınma ve çarpma dirençleri ve dayanıklılığı artırılabilir. Lif ilavesi ile beklenen pozitif etkiler, lif tipi, lif miktarı, lif geometrisi, narinlik oranı (lif boyu/lif çapı), lif sünekliği ve lif-matris aderansına bağlı olarak değişiklik gösterir [1]. Ayrıca eklenen liflerin karışımda homojen olarak dağıtılması ve karışımdan sonra bu dağılımın korunmasının sağlanması da liflerin beton özelliklerine yapacağı iyileştirmeyi doğrudan etkilemektedir [2]. Günümüzde çelik ve sentetik lifler beton üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Çelik lif ilavesi ile elde edilen betonlar geleneksel betonlara oranla daha yüksek aşınma direncine sahip olmakta ve çelik lif beton yüzeyinin pullanmasını önleyici etki yapmaktadır. Çağatay ve Dinçer [3] üç farklı lif hacmi (%0,5, 0,75 ve 1,0) ve iki farklı narinlik oranında (45 ve 65) çelik lif ilave ederek ürettikleri normal betonların tokluk ve mekanik özelliklerinde meydana gelen değişimleri araştırmıştır. Aynı çalışmada Çağatay ve Dinçer [3] çelik lif takviyeli betonların gerilme-birim şekil değiştirme eğrilerini modelleyebilmek için basit bir yöntem önermiştir. Önerilen yöntemin, deneysel olarak elde edilen gerilme-birim şekil değiştirme eğrilerini yüksek doğrulukta temsil edebildiği belirtilmiştir. Sentetik lifler ise elastisite modüllerinin betonun elastisite modülüne göre daha düşük ve benzer olması nedeni ile betonun mekanik özelliklerini fazla etkilememekle birlikte özellikle erken yaşlarda büzülmelerden dolayı oluşan içsel gerilmelerin zararlı etkilerini (çatlak oluşması, genişlemesi ve ilerlemesi) azaltmak ve/veya ortadan kaldırmak

için kullanılmaktadır [4-6]. Literatürde yapılmış olan sınırlı sayıda çalışmada, polipropilen ve çelik lif kullanılarak üretilmiş olan betonların donma-çözülme çevrimleri neticesinde ağırlık ve mekanik özelliklerinde meydana gelen değişim araştırılmıştır. Morgan ve arkadaşları [7] polipropilen lif ikamesinin yüksek oranda uçucu kül içeren püskürtme betonların donma-çözülme direncini artırdığını belirlemiştir. Karahan ve Atiş [8] %0,2 oranına kadar polipropilen lif kullanılarak üretilmiş oldukları betonların basınç dayanımı ve elastisite modüllerinde kayda değer bir değişimin olmadığını, porozite, su emme ve kılcallık katsayılarının arttığını, kuruma rötresinde önemli oranda azalma meydana geldiğini, donma-çözülme direncinde ise polipropilen lifsiz betonlara oranla %5 civarında bir iyileşmenin olduğunu belirlemiştir. Mu ve arkadaşları [9] üç farklı su/çimento oranında (0,26, 0,32 ve 0,44) hazırladıkları normal ve çelik lifle güçlendirilmiş betonları yük altında, su ve %3,5 NaCl çözeltisi solüsyonlar kullanarak donma-çözülme çevrimlerine maruz bırakmıştır. Numuneler yüke üç noktadan eğilmede çekme yükleme deneyine tabii tutularak maruz bırakılmıştır. Deney süresince çevrim sayılarına bağlı olarak dinamik elastisite modülü ve numune kütlelerindeki kayıplar ölçülmüştür. Test prosedüründe, deneyin, numunenin dinamik elastisite modülünde %60, kütlelerinde ise %5'den fazla kayıp gerçekleşmesi durumunda bitirileceği belirtilmiştir. Deney sonunda, tuz çözeltisi ile donma-çözülme çevrimlerine maruz bırakılan numunelerin, su ile donma-çözülme çevrimine maruz bırakılan numunelere oranla daha düşük çevrim sayısında deney sonlandırılma eşik değerlerine ulaştıkları görülmüştür. Su/çimento oranı azaldıkça, numunelerin bozulma çevrim sayılarında belirgin bir artış olduğu, numunelerin maruz bırakıldıkları yük seviyesinin artırılması ile de bozulma çevrim sayılarında belirgin bir düşüş meydana geldiği

gözlemlenmiştir. Ayrıca, çelik lif ile güçlendirilen numunelerin çelik lifsiz numunelere göre daha yüksek donma-çözülme çevrim sayılarında bozulma gösterdikleri belirlenmiştir.

Bu çalışma kapsamında, çelik, polipropilen ve polivinil alkol lif ilavesinin betonların, basınç, eğilme ve donma-çözülme dirençlerine etkileri araştırılmıştır. Biri lifsiz (kontrol) olmak üzere toplam dört karışım hazırlanmış ve tüm karışımlarda ağırlıkça %40 oranında uçucu kül kullanılmıştır. Lif içeren karışımlardaki lif hacmi %1'dir. Üretilen lifli beton numuneleri üzerinde tek eksenli basınç, dört noktali eğilme dayanımı ve donma-çözülme direnci testleri yapılmıştır.

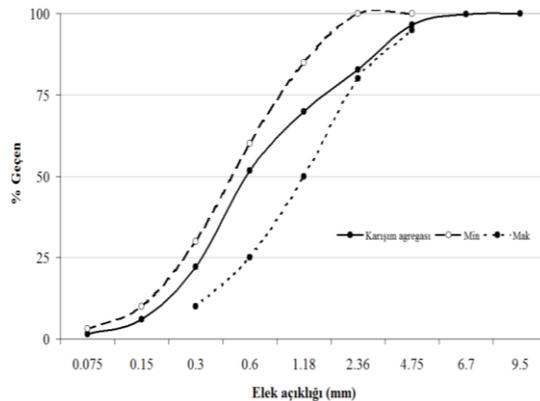
## 2. DENEYSEL ÇALIŞMA

Karışımlarda, fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 1'de verilen CEM I 42.5 R tipi Portland çimentosu ve F-sınıfı uçucu kül kullanılmıştır. İnce agrega olarak doğal kum, iri agrega olarak ise maksimum tane çapı 9,5 mm olan doğal çakıl kullanılmıştır. Karışım agregasının tane dağılımı Şekil 1'de verilmiştir. Çalışmada detayları Çizelge 2'de verilen dört karışım hazırlanmıştır; karışımlardan ilki lif katılmaksızın üretilmiş, diğer karışımlara ise %1 oranında çelik, PP ve PVA lifler katılarak lif donatılı betonlar elde edilmiştir. Kullanılan çelik, PP ve PVA liflerinin geometrik ve mekanik özellikleri Çizelge 3'de özetlenmiştir. Karışımlarda hedeflenen işlenebilirliğin elde edilebilmesi için polikarboksilik eter esaslı yüksek oranda su azaltıcı kimyasal katkı kullanılmıştır. Karışımlarda hava sürükleyici katkı maddesi kullanılmamıştır. Çalışmanın taze beton özellikleri detaylı olarak literatürde [10] mevcuttur. Her bir karışımdan basınç dayanımlarını belirlemek için üç adet 100×200 mm silindir, eğilme ve donma-çözülme dirençlerini belirlemek için ise toplam altı adet 400×100×75 mm prizma numune üretilmiştir. Prizma numuneler, donma-çözülme çevrimleri öncesi ve sonrasında deformasyon kontrollü MTS cihazında dört noktali eğilmede çekme dayanımı deneyine tabii tutularak yük-deplasman eğrileri elde edilmiştir. Eğilme deneyinde mesnetler arası açıklık 355 mm, numune yüksekliği ise 75 mm'dir. Donma-çözülme çevrimine maruz bırakılacak

numuneler üretimden 24 saat sonra kalıplardan çıkarılarak 13 gün boyunca 23±2°C'de nemli ortamda kür edilmiştir. Dökümlerden 14 gün sonra, kiriş numuneler donma-çözülme kabineye aktarılmıştır. Deneyler ASTM C666 standardına göre yapılmıştır [11]. Donma-çözülme çevrimleri 4 ile 5 saat arasında, sıcaklığın 4°C'den -18°C'ye düşürülmesi ve -18°C'den tekrar 4°C'ye çıkarılması şeklinde gerçekleşmiştir. Her 30 donma-çözülme çevrimi sonunda, numuneler çözülmüş durumda iken kabinden çıkartılarak ağırlıkları ölçülmüştür.

Çizelge 1. Çimento ve uçucu külün özellikleri

Kimyasal kompozisyon, %	PÇ	UK
CaO	61,80	5,57
SiO <sub>2</sub>	19,40	59,50
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,30	22,20
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,30	3,90
MgO	0,95	-
SO <sub>3</sub>	3,80	0,19
K <sub>2</sub> O	1,10	1,11
Na <sub>2</sub> O	0,20	2,75
Kızdırma kaybı	2,10	0,21
Fiziksel özellikler		
Özgül ağırlık	3,15	2,18
45 µm elek üzerinde kalan %	12,90	9,60



Şekil 1. Karışım agregası tane dağılımı

**Çizelge 2.** Karışım oranları

Karışım adı	K1	K2	K3	K4
w/b	0,35	0,35	0,35	0,35
Su	175	175	175	175
PÇ	300	300	300	300
UK	200	200	200	200
İnce agrega (kg/m <sup>3</sup> )	826	812	812	812
İri agrega (kg/m <sup>3</sup> )	895	880	880	880
SA (kg/m <sup>3</sup> )	0,6	1,2	1,4	1,4
Çelik lif (kg/m <sup>3</sup> )	0	71,7	0	0
PP lif (kg/m <sup>3</sup> )	0	0	9,1	0
PVA lif (kg/m <sup>3</sup> )	0	0	0	13

Daha sonra numuneler tekrar donma-çözülme kabineine konmuştur. Her seferinde hazneler temizlenmiş ve temiz su ile doldurulmuştur. 300 çevrim sonucunda numunelerde meydana gelen ağırlık kayıpları belirlenerek, numuneler dört noktali eğilmede çekme dayanımı deneyine tabii tutulmuştur. Eğilme dayanımı deneyinde deformasyon kontrollü yükleme yapılmış, yükleme hızı ise 0,005 mm/s olarak belirlenmiştir. Mekanik yüklemeler neticesinde meydana gelen deformasyonlar ayrıca numunenin ortasına monte edilmiş LVDT ile de tespit edilmiştir. Karışımların donma-çözülme direnci üçer numune kullanılarak test edilmiştir.

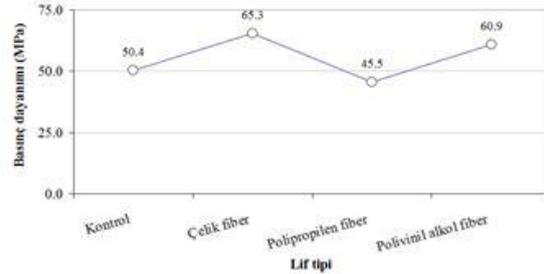
**Çizelge 3.** Kullanılan liflerin özellikleri

Lif türü	Çelik	PP	PVA
Nominal dayanım (MPa)	100	760	1620
Görünen dayanım (MPa)	690	550	1092
Çap (µm)	20	40	39
Boy (mm)	13	19	8
Elastik modülü (GPa)	-	4,11	42,8
Uzama (%)	-	>30	6,0
Özgül ağırlık	7,2	0,91	1,30

### 3. DENEYSEL SONUÇLAR

#### 3.1. Basınç Dayanımı

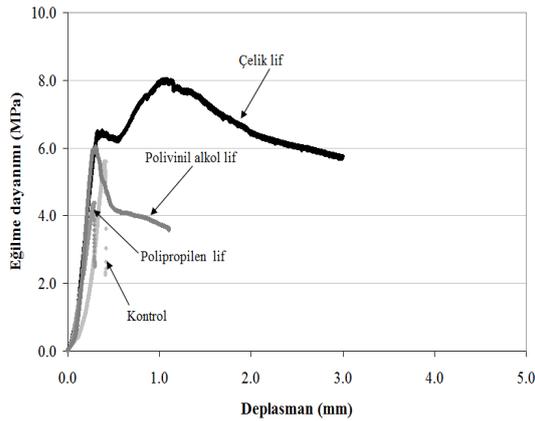
Silindir numuneler üzerinde yapılmış olan basınç dayanımı deney sonuçları Şekil 2'de gösterilmiştir. Şekil 2'de görüldüğü gibi, çelik ve polivinil alkol liflerin kullanımı ile kontrol betonuna göre, beton basınç dayanımında belirgin bir artış meydana gelir iken polipropilen lif kullanımı ile basınç dayanımında düşüş görülmüştür. %1 oranında çelik lif kullanımı kontrol betonuna oranla basınç dayanımında yaklaşık %30 artışa yol açarken polipropilen lif kullanımı ile basınç dayanımında %10 oranında azalma gözlemlenmiştir. Yıldırım ve arkadaşları [12] üç farklı narinlik oranında %0,3 den % 1,2 kadar ilave etmiş oldukları çelik lifler ile üretmiş oldukları kendiliğinden yerleşen betonların basınç dayanımı davranışını incelediklerinde, çelik lif ilavesi ile basınç dayanımının arttığını tespit edip narinlik ve fiber oranına bağlı olarak meydana gelen artışın %40'lara kadar yükseldiğini gözlemlenmiştir.

**Şekil 2.** Basınç dayanımı değişimi

#### 3.2. Eğilme Dayanımı

Lif ilave edilerek elde edilen prizma numuneler üzerinde yapılan dört noktali eğilmede çekme dayanımı deneyine ait tipik eğilme dayanım-deplasman (orta nokta sehim) grafikleri Şekil 3'de verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi, kontrol betonunda maksimum eğilme dayanımı değerine ulaşıldıktan sonra eğilme dayanımında ani bir düşüş (gevrek kırılma) görülmüştür. PP lif kullanımı ile betonun gevrek davranışında bir değişiklik olmadığı gibi eğilme dayanımında düşüş meydana gelmiştir. Bu karışımda %1 gibi yüksek

oranda PP lif kullanımı, döküm sırasında yerleştirme sorunları yaşanmasına sebep olmuştur. İşlenebilirlikteki bariz düşüş ile yerleştirme problemleri yaşanmış ve muhtemelen daha yüksek boşluk oranlı betonlar üretilmiştir. Bu boşlukların bazı bölgelerde çekme dayanımını zayıflattığı ve sünekliği azalttığı düşünülmektedir. Çelik lif kullanımı ile eğilme dayanımında kontrol betonuna kıyasla bariz bir artış meydana gelmiş; maksimum eğilme dayanımının olduğu noktada 1 mm'den daha fazla deplasman gözlemlenmiştir. PVA lif kullanımı ile eğilme dayanımında belirgin bir değişiklik görülmez iken maksimum eğilme dayanımı değerinden sonra malzemede ani bir kırılma görülmemiş, süneklikte artış gözlemlenmiştir



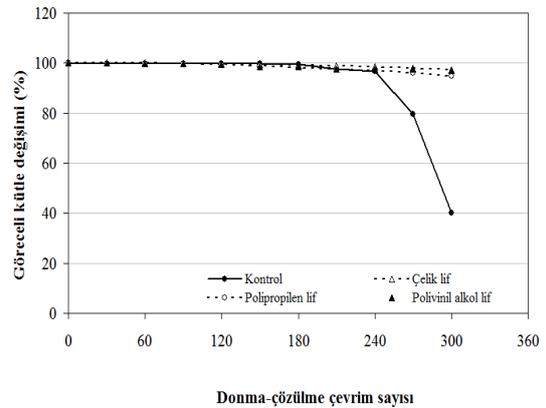
Şekil 3. Eğilme dayanımı-deplasman değişimi

### 3.3 Donma-Çözülme Direnci

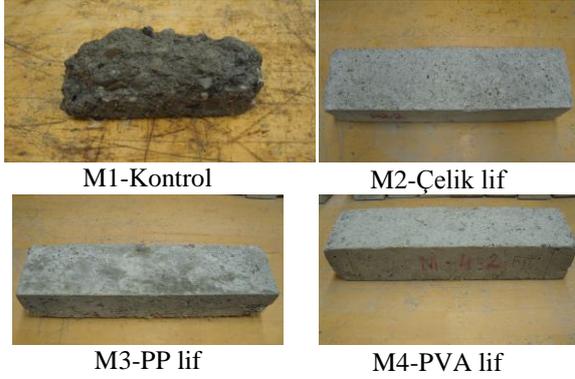
Lif türünün lifli betonların donma-çözülme direncine etkisi numunelerin çevrim sayısına bağlı olarak meydana gelen ağırlık kaybına bakılarak incelenmiştir. Şekil 4'de beton numunelerin kütlelerinde çevrim sayılarına bağlı olarak göreceli kütle ( $100 \cdot (M_i/M_0)$ ) kayıpları verilmiştir.  $M_i$ , belirli bir çevrim sayısından sonraki kütle iken,  $M_0$  çevrimler başlamadan önceki kütlelerdir. Şekilde görüldüğü gibi lif takviyeli beton numunelerin göreceli kütle kayıpları çok düşük mertebelere düşmektedir. Lif türünün lif donatılı betonların göreceli kütle kaybına belirgin bir etkisi olmamıştır.

300 donma-çözülme çevrimi sonunda çelik, PP ve PVA lifli beton numunelerde meydana gelen kütle kaybı sırası ile %2,6, %5,1 ve %3,1'dir. Kontrol betonunda ise 180 donma-çözülme çevrimine kadar kütle kaybı ihmal edilebilecek seviyelerde iken çevrim sayısı 240'a ulaştığında numune ağır hasar görmüş ve 300 donma-çözülme çevrimi sonucunda numune kütlelerinin %60'ını kaybetmiştir. Numunelerin 300 donma-çözülme çevrimleri sonucunda görünüşleri Şekil 5'de verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi kontrol betonu tamamen hasar görünürken, lifli betonların yüzeylerinde pullanma belirlenmiştir.

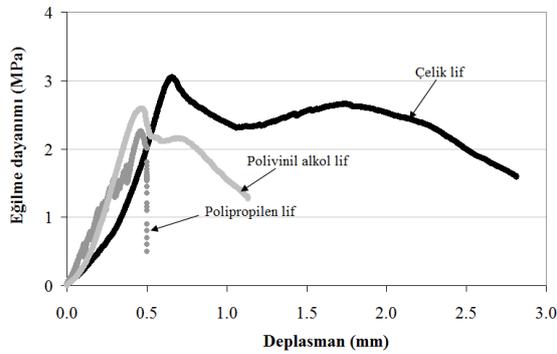
Şekil 6'da 300 donma-çözülme çevrimi sonrası numunelerin tipik eğilme dayanımı deplasman değişimi verilmiştir. Kontrol numunesi 240 çevrimden sonra çok ağır hasar görmüş olduğundan, donma çözülme sonrası eğilme dayanımı belirlenememiştir. Şekil 3 ve 6 beraber incelendiğinde açıkça görüleceği gibi donma-çözülme çevrimleri sonrası lif donatılı betonların eğilme dayanımları ve deplasman kapasitelerinde belirgin bir düşüş meydana gelmiştir. Çelik lif donatılı betonların eğilme dayanımları 300 donma-çözülme çevrimi sonucunda 8 MPa'den 3 MPa'ya kadar düşmüştür. Deplasman kapasitesi ise 1 mm'den 0,67 mm düşmüştür. Donma-çözülme çevrimleri sonucunda her ne kadar çelik lif donatılı betonların eğilme dayanımı ve deplasman kapasiteleri PP ve PVA lif içeren betonlara göre daha yüksek olsa da, 28 günlük eğilme dayanımı ve deplasman kapasitelerine oranla en büyük düşüş çelik lif içeren betonlarda görülmüştür.



Şekil 4. Kütle değişimi



Şekil 5. Donma-çözülme çevrimleri sonrası numune görünümleri



Şekil 6. Donma-çözülme çevrimleri sonrası numunelerin eğilme dayanımı-deplasman ilişkisi

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada amaç, yüksek oranda farklı türlerde lif içeren lif donatılı betonların basınç, eğilme dayanımı ve donma-çözülme dirençlerinde meydana gelebilecek değişiklikleri belirlemektir. Bu kapsamda, sabit su-bağlayıcı oranı ve dozajda, çelik, polipropilen ve polivinil alkol lif türleri kontrol karışımlarına hacimce %1 oranında katılarak lifli betonlar üretilmiştir. Hazırlanan karışımların 28 gün'lük basınç ve eğilme dayanımları ile donma-çözülme çevrimlerine karşı dayanımları ASTM C666 standardı Prosedür A'ya göre tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda, lif türünün lif donatılı betonların basınç ve eğilme dayanımları üzerinde etkin olduğu, çelik ve polivinil alkol lif kullanımının eğilme dayanımı,

deplasman kapasitesi ve sünekliği artırdığı görülmüştür. Polipropilen lif kullanımı ile basınç ve eğilme dayanımlarında azalma gözlemlenmiştir. Lif kullanımının lif donatılı betonların donma-çözülme direncine olumlu katkı yaptıkları, kontrol betonu 180 çevrim sonunda bozulma göstermeye başlayıp 240 çevrimde ağır hasara uğrarken, lif donatılı betonlarda 300 çevrim sonucunda oluşan en yüksek kütle kaybı %5 mertebelerindedir. Donma-çözülme çevrimleri sonucunda lif donatılı betonların eğilme dayanımı ve deplasman kapasitelerinde belirgin düşüşler gözlemlenmiştir.

#### 5. KAYNAKLAR

1. Wafa, F.F., Asbour S.A., 1992. Mechanical Properties of High Strength Fibre Reinforced Concretes, *ACI Materials J*, 89(5):449-55.
2. Unal, B., Köksal, F., Eyyubov, C., 2003. Polipropilen ve Çelik Liflerin Betonun Donma-Çözülme ve Aşınma Direncine Ortak Etkisi, 5. Ulusal Beton Kongresi, İstanbul, s. 345-54.
3. Çağatay, I.H., Dinçer, R., 2011. Modeling of Concrete Containing Steel Fibers: Toughness and Mechanical Properties, *Computers and Concrete*, 8(3):357-369.
4. Krenchel, H., Shah S.P., 1987. Restrained Shrinkage Tests with Polypropylene Fibre Reinforced Concrete and Application, *ACI (SP-105):141-158*.
5. Grzybowski, M., Shah S.P., 1990. Shrinkage Cracking of Fibre Reinforced Concrete, *ACI Materials J*, 87(2):38-48.
6. Kırca, Ö., Şahin, M., 2003. Polipropilen Lif Kullanımının Beyaz Beton Dayanıklılığına Etkisi, 5. Ulusal Beton Kongresi, İstanbul, s. 375-382.
7. Morgan, D.R., Mcaskill, N., Carette, G.G., Malhotra, V. M., 1992. Evaluation of Polypropylene Fiber Reinforced High-Volume Fly Ash Shotcrete, *ACI Materials Journal*, 89:169-77.
8. Karahan, O., Atiş, C.D., 2011. The Durability Properties of Polypropylene Fiber Reinforced Fly Ash Concrete, *Materials and Design*, 32:1044-49.
9. Mu, R., Changwen, M., Xin, L., Wei, S., 2002. Interaction Between Loading, Freeze-Thaw



- Cycles and Chloride Salt Attack of Concrete with and Without Steel Fiber Reinforcement, *Cement and Concrete Research*, 32:1061–6.
10. Ozbay, E., Cassagnebere, F., Lachemi, M., 2010. Effects of Fiber Types on the Fresh and Rheological Properties of Self-Compacting Concretes, *Proceedings of SCC2010 Conference*, Montreal, Canada, pp. 435-44.
  11. ASTM C666-97, 1997. Standard Test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing, *Annual Book of ASTM Standards*, vol. 04.02. West Conshohocken, PA.
  12. Yildırım, H., Tezel, O., Sengul, O., Guner, P., 2010. Influence of Different Fiber Types on the Properties of Self-Compacting Concretes, *Proceedings SCC2010 Conference*, Montreal, Canada, s. 1333-40.



## Mimari Tasarım Bürolarında Çalışan Mimarların Mesleki Tükenmişlik Düzeylerini Etkileyen Demotivasyon Faktörleri

Tülay ÇİVİCİ\*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Balikesir Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Balikesir

Geliş tarihi: 27.01.2016

Kabul tarihi: 25.04.2016

### Özet

Bu çalışmada demotivasyon faktörlerinin tükenmişlik düzeyleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışma kapsamında, Maslach Tükenmişlik Ölçeği ve Oyedele [14] tarafından geliştirilen, demotivasyon faktörleri kullanılarak kuramsal bir model geliştirilmiştir. Bu kuramsal model, demotivasyon faktörlerinin tükenmişlik etkisinin olduğunu önermektedir. Kuramsal modelin ileri sürdüğü önermeler, Türk inşaat sektöründe faaliyet gösteren mimari tasarım bürolarında çalışan 148 mimar üzerinde yapılan anket çalışmasıyla mimarların mesleki tükenmişlik düzeylerini etkileyen demotivasyon faktörleri ampirik olarak test edilmiştir. Kuramsal modelin parametrelerinin test edilmesi için yapısal denklem modeli kullanılmıştır. Araştırma sonuçları; mimarların duygusal tükenme düzeylerinin, kişisel başarıda azalma ve duyarsızlaşma düzeylerine göre yüksek olduğu yönündedir. Ayrıca tükenmişlik üzerinde ağırlıklı olarak proje ile ilgili demotivasyon faktörlerinin etkili olduğunu göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Tükenmişlik, Demotivasyon, Yapısal denklem modeli

### Demotivation Factors on the Job Burnout Levels that Affect the Architects who Work in Architectural Design Firms

### Abstract

This study explores factors that burnout influenced demotivating factors. A conceptual model is developed that builds on Maslach burnout inventory and demotivating factors that are used which is written by Oyedele [14]. The conceptual model proposes that demotivating factors affected burnout. These propositions were empirically tested by a survey of 148 architectural design firms. Structural equation modeling was used to estimate the parameters of conceptual models. The research findings reveal that the architect of emotional exhaustion are higher than depersonalization and diminished personal accomplishment. Research finding also indicate that demotivating factors related to the Project influenced burnout.

**Keywords:** Burnout, Demotivation, Structural equation model

---

\* Yazışmaların yapılacağı yazar: Tülay ÇİVİCİ, Balikesir Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, [tulay@balikesir.edu.tr](mailto:tulay@balikesir.edu.tr)

## 1. GİRİŞ

Eski çağlardan bugüne etkinlik gösteren mimar, inşaat sektöründe yapının çeşitli ölçeklerde biçim ve fonksiyon tasarımı (kentsel tasarım, mimari tasarım, restorasyon, restitüsyon, röleve), yapım yönetimi, şantiye organizasyonu, gibi mesleki hizmet alanlarında önemli görev ve mesleki sorumluluklar üstlenmektedir. Birçok katılımcının (kullanıcı, mal sahibi, mühendis, yüklenici, alt yükleniciler, malzeme sağlayıcılar, vb.) yer aldığı karmaşık bir çalışma ortamında meslek pratiklerini (öntasarım, tasarım, yapım, vb.) gerçekleştirmektedir [1]. Mesleğin kendine özgü gereksinimleri ve sorumlulukları, çalışma ortamı, mimarlar üzerinde olumsuz etkiler bırakmaktadır. Bu etkilerden biri de tükenmişlik sendromudur [2].

Tükenmişlik kavramından ilk kez Graham Greene (1961)'nin, "Bir Tükenmişlik Olayı" adlı eserinde söz edilmiştir. Bir mimarın Avrupa'daki yaşamını bırakıp Afrika ormanlarına kaçıışı anlatılan romanda, kahraman, aşırı bitkindir ve işi için hissettiği öfke duygusu ile birlikte idealizmini de kaybetmiştir [5].

Tükenmişlik sendromu Maslach ve Jackson [6] tarafından; "iş gereği yoğun duygusal taleplere maruz kalan ve sürekli diğer insanlarla yüz yüze çalışmak durumunda olan kişilerde görülen fiziksel bitkinlik, uzun süreli yorgunluk, çaresizlik ve umutsuzluk duygularının, yapılan işe, hayata ve diğer insanlara karşı olumsuz tutumlarla yansması ile oluşan bir sendrom" olarak tanımlanmıştır. Leiter ve Maslach [3]'a göre tükenmişlik, özellikle hizmet sektörü çalışanların karşılaştıkları çalışma koşullarından kaynaklanan insan üzerinde olumsuz etkiler bırakan psikolojik zararlardan biridir.

Tükenmişlik kavramının literatürde incelenmesinde rol oynayan çalışmalardan biri Maslach tarafından geliştirilen Maslach Tükenmişlik Ölçeğidir [6]. Maslach Tükenmişlik Ölçeği tükenmişliği duygusal tükenme, duyarsızlaşma, kişisel başarıda azalma olmak üzere üç düzeyde ölçmektedir. Yapılan

çalışmalarda genel olarak tükenmişlik düzeyleri ve tükenmişlik düzeyine etki eden faktörler incelenmiştir [4, 6, 7, 8, 9, 10]. Tükenmişlik üzerindeki etkisi sıklıkla incelenen kavramlardan biri de motivasyondur [10]. Çalışmalar, çalışma ortamında motivasyonu düşük bireylerle çalışılması veya motivasyonun sağlanamaması halinde bireyin tükenmişlik yaşanması olasılığının yükseldiğini göstermektedir [6, 8, 9, 11, 12, 13].

Bu çalışmada, tükenmişlik üzerinde demotivasyon faktörlerinin etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç için; Türk inşaat sektöründe faaliyet gösteren, mimari tasarım bürolarında çalışan mimarlar çalışmanın hedef kitlesini oluşturmuştur. İlk aşamada mimari tasarım bürolarında çalışan mimarların tükenmişlik düzeylerinin belirlenmesi, tükenmişlik düzeyleri ve demotivasyon faktörleri arasında herhangi bir etkileşim olup olmadığı ortaya konulmaya çalışılmıştır. Sonraki aşamada, mimarların tükenmişlik düzeyleri üzerinde demotivasyon faktörlerinin etki düzeyi incelenmiştir. Çalışmada tükenmişlik düzeyinin belirlenmesinde Maslach Tükenmişlik Ölçeği kullanılmıştır. Tükenmişlik düzeyine etki eden demotivasyon faktörleri için, Oyedele [14]'in çalışmasından yararlanılmıştır. Demotivasyon faktörleri Oyedele [14]'in çalışmasında yer aldığı gibi, proje ile ilgili faktörler, tasarım ekibi ile ilgili faktörler ve organizasyon ile ilgili faktörler, olmak üzere üç başlık altında ele alınmıştır. [14, 15].

## 2. TÜKENMİŞLİK VE MASLACH TÜKENMİŞLİK ÖLÇEĞİ

Tükenmişlik kavramı, ilk ortaya konulduğundan bugüne kadar üzerinde pek çok araştırma yapılmış, tanımlar geliştirilmiştir. Tükenmişlik çalışma ortamında yaşanan stresin ortadan kaldırılmaması sonucu fiziksel sonuçlar da yaratabilen bir sorundur [16]. Maslach [7]'a göre tükenmişlik, çalışma ortamında karşılaşılan stres faktörlerine karşı psikolojik tepkidir. Freudenberger [17], bireyin tükenmişliğinde başarısız olma düşüncesi, doyuma ulaşmayan beklentileri, vb. gibi

nedenlerin etkili olabileceğini öne sürmüş, çalışma hayatını olumsuz etkileyen bir unsur olarak nitelendirmiştir [17].

Tükenmişliğin yaşanmasında temelde iki faktörün etkili olduğu görülmektedir [17]. İlki bireysel özelliklerdir [16]. Bireysel özelliklerden yaş, eğitim, cinsiyet, medeni durum, işe bağlılık, motivasyon, iş dışı yaşamdaki stresler, gerçekçi olmayan beklenti ve hedefler, yaşamını değiştirebilecek olaylar üzerindeki kontrolünün az olması, dış denetim yoğunluğu, üstlerinden gördüğü destek düzeyi, iş doyumunu, dış kontrol odaklı olma, bireyin kendisini işiyle ilgili yetersiz hissetmesi, empati kuramama, vb. tükenmişlik üzerine etkili faktörlerdendir [16, 18, 19, 20]. İkincisi ise çalışma koşulları ve çevresinden kaynaklanan faktörlerdir [16]. Bunlar arasında; çalışma ortamı ve mesleğin kendine özgü özellikleri, yapılan işin niteliği, organizasyonun tipi ve özelliği, iş yükü, iş gerilimi, rol belirsizliği, çalışma zamanı, organizasyonda alınan kararlara katılım, müşteri ilişkileri, yetersiz personel ve teknik donanım, ekonomik ve toplumsal nedenler, aidiyet, ödüller, adalet ve değerler, ilerleme fırsatları, rol çatışması ve belirsizliği, geri bildirim eksikliği, meslekte çalışma süresi, iş yerinde cinsel/duygusal taciz, iş güvenliği, iletişim, vb. faktörleri yer almaktadır [16, 18, 19, 20].

Bireylerin, gerek bireysel özellikleri gerekse çalışma koşulları ve çevresinden kaynaklanan sorunlara tepki düzeyleri farklılık göstermektedir. Bu farklılıkları açıklamak üzere geliştirilen en yaygın modellerden biri de Maslach Tükenmişlik Ölçeğidir [6, 21, 22]. Maslach Tükenmişlik Ölçeği üç düzey ile tanımlamıştır. Bunlar; (1) duygusal tükenme (emotional exhaustion), (2) duyarsızlaşma (depersonalization) ve (3) kişisel başarıda azalma (personal accomplishment) [22].

### 2.1. Duygusal Tükenme

Duygusal tükenme, tükenmişlik durumunun ilk ve en önemli aşamasıdır. Yoğun bir çalışma temposu duygusal tükenmenin zemini için uygun ortam hazırlamakta, bireyin kendini hem duygusal açıdan, hem psikolojik açıdan bitkin ve yorgun

hissetmesine neden olmaktadır. Diğer insanların duygusal beklentileri karşısında bu beklentilere karşılık verebilmek için aşırı performans göstermekte, bir zaman sonra beklentilere cevap veremeyecek duruma gelmektedir [6]. Bu durum bireyin psikolojik olarak duygusal kaynaklarının giderek azaldığını hissetmesine neden olmaktadır. Bu durumdaki birey çevresine fayda sağlayacak durumda değildir, aksine üzerinde hissettiği duygusal yükü hafifletmek için birçok kaçış yoluna başvurabilmekte insanlarla olan ilişkilerini en aza indirmektedir [23]. Halbesleben ve Bowler [24], çalışmada iş performansı üzerinde etkili olan motivasyon gibi psikososyal kaynakların, dolaylı olarak da duygusal tükenmeye zemin hazırlayabileceğini öne sürmektedir.

### 2.2. Duyarsızlaşma

Maslach'a [6, 7] göre duyarsızlaşma tükenmişliğin en problemlili boyutudur. Duyarsızlaşma, yoğun iş temposu içinde bireyin işi ile ilgili idealinin kaybolmasıyla kendini hissettirmektedir. Birey, kendini güçsüz ve yetersiz görmesi sonucu çevresinden kaçış yoluna gitmekte, diğer bireylere karşı bir duvar örmeye başlamaktadır. Karşısındakine kaba davranışlar, aşağılayıcı konuşmalar, vb. olumsuz tutumlar sergileyen birey ilişkilerini en aza indirmekte, çevresine karşı tahammülsüzleşmekte, soğuk davranışlar göstermekte, duyarsızlaşmaya başlamaktadır [6, 25, 2].

### 2.3. Kişisel Başarıda Azalma

Kişisel başarıda azalma, bireyin kendini işi veya mesleği konusunda yetersiz ve başarısız olarak görmesidir. Birey artık çevresine yeterli gelemediğini, çevresine yarar sağlayamayacağını, başarısız olduğunu düşünür. Kendisi hakkında başarısız hükmünü veren birey özsaygısını yitirmiştir [25]. Bu aşamada bulunan birey, tükenmişlik içerisine girmiş demektir. Maslach Tükenmişlik Ölçeği farklı alanda çalışmalarda araştırmacılar tarafından kullanılmıştır [26, 27]. İnşaat sektörü kapsamında yapılan çalışmalar, tükenmişliğin farklı düzeylerde yaşandığını

göstermektedir. Tükenmişliğin farklı düzeyde yaşanmasında çalışma koşullarının önemini vurgulanmıştır. İnşaat sektöründe çalışma koşullarının büro ve şantiye ortamına göre farklılık gösterdiği, şantiyede çalışanlarının büro çalışanlarına göre tükenmişliklerinin yüksek olduğunu ileri sürmektedir. Bulgular, özellikle şantiye çalışanlarının duygusal tükenme ve duyarsızlaşma düzeyinde tükenmişlik yaşadığını göstermektedir [26-28]. Lingard [26], inşaat sektöründe tükenmişlik kavramını incelediği çalışmada, meslek profesyonellerinin aldıkları eğitim ile meslek pratikleri arasındaki farkın tükenmişlik düzeyini etkilediğini savunmaktadır. Çelik ve arkadaşları [29, 30] çalışmalarında, mimarlık öğrencilerinin tükenmişlik düzeylerini incelemiş tükenmişlik düzeyinin düşük olduğu, bunun nedeninin çok yönlü disiplin olması, proje ağırlıklı derslerin her dönem farklı konulu tasarım sürecini içermesi, farklı grup öğretim üyeleri ile çalışılmasının öğrencileri monoton bir yapıdan uzaklaştırdığını savunmaktadır.

### **3. MOTİVASYON VE DEMOTİVASYON KAVRAMLARI**

Motivasyon, bireyin organizasyon içinde davranışlarından, çalışma yaşamındaki performanslarına kadar etkili olan faktörlerden biridir [31-33]. Maslow'a göre, bireyin motivasyonunda, güven, ait olma, başarı temel gereksinimlerdendir. Bu gereksinimler kendi içinde bir sıra izlemektedir. Maslow, doyurulan bir ihtiyacın motive edici etkisini yitireceğini öne sürmektedir [34]. McClelland'a göre motivasyon için başarıma, bağlanma ve güç ihtiyaçlarının karşılanması gerekmektedir [35]. Herzberg'e göre organizasyonda motivasyon faktörleri (çalışma koşulları, iş güvenliği, başarı, tanınma, sorumluluk alma, yükselme olanağı, işin doğası, vb.), bireyin iş başarısı, iş tatmini ve gelişme ile doğrudan ilişkisi bulunmaktadır [15].

Motivasyon faktörlerinin eksikliği, iş yaşamında birey için itici bir gücün, sosyal bir uyarıcının olmaması anlamına gelmektedir. Motivasyon eksikliği yaşayan çalışanların davranışları, işe karşı ilgisizlik, zamanı boşa harcama ve devamsızlık,

problem çözümünün zorluğunun abartılması, tartışma ve şikayetler, problem ve zorluklarla baş etmek için gerekli işbirliğinde eksiklik, değişime karşı direnme olarak ortaya çıkmaktadır [36]. Bu durum demotivasyon olarak tanımlanmaktadır. Kısaca demotivasyon, motivasyonun sağlanmasında etkili olan faktörlerin eksikliği veya var olan motivasyonun kaybedilmesidir.

Motivasyon faktörlerinin bulunması durumunda bireylerin çalışma arzusu artmaktadır. Demotivasyon faktörlerinin varlığında ise işe karşı ilginin ve coşkunun eksikliği veya ortadan kalkması, hayal kırıklığı, işe bağlılığın düşmesi, çalışmamak için söylenme, bireylerin sosyal yaşamında değişiklik, iş başarısının düşmesi, iş tatminsizliği, stres, tükenmişlik vb. gibi belirtiler gösterebilmektedir.

Motivasyon ve demotivasyon kavramı ulusal ve uluslararası literatürde incelenmiştir [14, 15, 31-33]. Motivasyon ve demotivasyon faktörleri inşaat sektörü içinde önem taşımaktadır. Ng vd. [28], inşaat sektöründe proje takımının iletişim ve koordinasyon zayıflığı, takım çalışma arkadaşları arasındaki uyumsuzluk gibi faktörlerin performansı etkileyen demotivasyon faktörlerinden olduğunu öne sürmektedir. Oyedele [14] çalışmada, mimarların çalışma koşullarından kaynaklanan demotivasyon faktörlerini üç başlık altında incelemiştir: (1) proje ile ilgili demotivasyon faktörleri; işverenin kendine has (tanımsız, mantıksız, net olmayan) proje talepleri ve amaçlarının bulunması ve bu taleplerin neden olduğu proje üzerindeki sık yapılan tasarıma yönelik değişiklikler, uzun ve yorucu çalışma saatleri, işveren proje ekibi arasındaki uyumsuzluk, mimarın mesleki gelişimine katkısı olmayan projeler, yetersiz teknolojik donanımlar, (2) tasarım ekibiyle ilgili demotivasyon faktörleri, tasarım ekibi arasındaki yetersiz iletişim, koordinasyon, rekabet, işbirliği, takım üyelerinin eşit sorumluluk bilincini taşınamaması, cinsiyet ayrımcılığı, (3) organizasyon ile ilgili demotivasyon faktörleri ise; yetersiz iş güvencesi, maaş ve prim, kariyer gelişimi ve terfi, kurumsal ödüllendirme, yöneticinin çalışanlara olumsuz tutumları (zorbalık, diktatörlük, vb), adaletsizlik, çalışan- iş görevleri uyumunun sağlanamaması,

çalışma ortamının olumsuz koşulları (kalabalık, ses, vb), olumsuz eleştiriler, aşırı iş yükü, kurumsal planlama ve kontrol yetersizliği, karar verme sürecine katılımın düşük olması ve çalışanların fikirlerine önem verilmemesi, olarak tanımlamıştır [14, 15]. Ünlü [15] çalışmasında, Oyedele [14] tarafından yapılan çalışmanın ülkemiz mimarlık meslek pratiği için incelemiş, mimarların en çok organizasyon ile ilgili demotivasyon faktörlerinden etkilendiğini, en önemli demotivasyon faktörünün işverenin çalışanlara karşı olumsuz tutum ve davranışları, sık yapılan tasarım değişikliği olduğu sonucuna varmıştır.

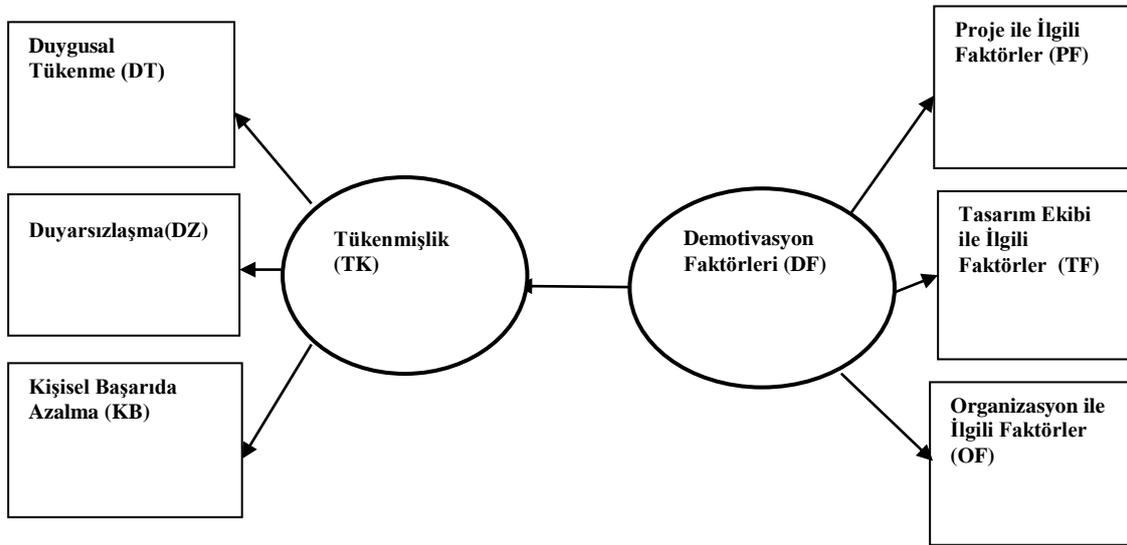
#### 4. ARAŞTIRMA

##### 4.1. Araştırmanın Amacı

Çalışma yaşamında bireyi olumsuz etkileyen faktörlerden biri olan tükenmişlik, tükenmişliğe etki eden faktörler literatürde çeşitli meslek grupları için incelenmiştir. Bu çalışmada Türk inşaat sektöründe yer alan mimari tasarım bürolarında çalışan mimarların tükenmişlik

düzeylerini etkileyen demotivasyon faktörlerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Elde edilen verilerden yola çıkarak mimarların tükenmişlik düzeyleri ve tükenmişlik düzeyine etki eden demotivasyon faktörlerin belirlenmesi, önleyici çözüm önerilerinin sunulması amaçlanmıştır.

Tükenmişlik üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde mimarlık meslek pratiği özelinde az sayıda çalışmanın olduğunu, literatürde bu konuda boşluk bulunduğunu göstermektedir. Çalışma bulguları, literatürdeki bu boşluğu doldurmaya katkı sağlayacağından da önemlidir. Bunun için buraya kadarki bölümde ele alınan kavramsal tanımlar ve değişkenler arasındaki ilişkileri içeren kuramsal bir model geliştirilmiştir. Bu kuramsal model Maslach Tükenmişlik Ölçeği ve Oyedele [14] tarafından geliştirilen demotivasyon faktörlerini içermektedir [13-15]. Kuramsal model tükenmişlik üzerinde demotivasyon faktörlerinin etkisi olduğunu önermektedir. Model önerisi Şekil 1’ de gösterilmiştir. Araştırmanın hipotezleri ise Çizelge 1’ de belirtilmiştir. Araştırmanın belirtilen amaçlarına ulaşabilmesi için önerilen kuramsal model ampirik olarak incelenmiştir.



Şekil 1. Tükenmişlik üzerinde demotivasyon faktörlerinin etkisi için kuramsal bir model önerisi

**Çizelge 1.** Araştırma hipotezleri

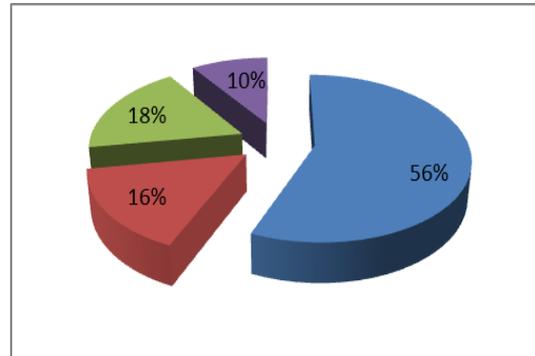
H <sub>1</sub>	Tükenmişlik ile duygusal tükenme arasında olumlu bir ilişki vardır.
H <sub>2</sub>	Tükenmişlik ile duyarsızlaşma arasında olumlu bir ilişki vardır.
H <sub>3</sub>	Tükenmişlik ile kişisel başarıda azalma arasında olumlu bir ilişki vardır.
H <sub>4</sub>	Demotivasyon faktörleri ile proje ile ilgili faktörler arasında olumlu bir ilişki vardır.
H <sub>5</sub>	Demotivasyon faktörleri ile tasarım ile ilgili faktörler arasında olumlu bir ilişki vardır.
H <sub>6</sub>	Demotivasyon faktörleri ile organizasyon ile ilgili faktörler arasında olumlu bir ilişki vardır.
H <sub>7</sub>	Tükenmişlik ile demotivasyon faktörleri arasında olumlu bir ilişki vardır.

**4.2. Araştırma Yöntemi**

Mimari tasarım bürolarında çalışan mimarların tükenmişlik düzeylerini etkileyen demotivasyon faktörlerini incelemeyi amaçlayan bu çalışmada bir anket çalışması geliştirilmiştir. Mimari tasarım bürolarında uygulanmak üzere geliştirilen anket formunda katılımcıların mesleki tecrübeleri, günlük çalışma saati, çalıştığı firma yaşı ve büyüklüğü açık uçlu soru şeklinde yöneltilmiştir. Tükenmişlik ve demotivasyon faktörleri ise “hiç katılmıyorum” ile “tamamen katılıyorum” arasında değişen yedili likert ölçeği kullanılmıştır. Anket formunda katılımcıların tükenmişlik düzeyinin ölçümünde Maslach Tükenmişlik Ölçeği (sorular ve ifadeler) kullanılmıştır [2, 6, 7, 8, 9, 10, 16, 19, 23]. Anket formunda tükenmişlik üç düzeyde ölçülmüştür. Bunlardan birincisi 7 ifadeden oluşan duygusal tükenme (emotional exhaustion), ikincisi 5 ifadeden oluşan duyarsızlaşma (depersonalization) ve sonuncusu 6 ifadeden oluşan kişisel başarıda azalma (personal accomplishment) alt boyuttur. Demotivasyon faktörlerinin ölçümünde ise Oyedele [14]'in çalışmasında tanımladığı demotivasyon faktörlerinden yararlanılmıştır. Anket formunda yer alan demotivasyon faktörleri ise; 14 ifadeden oluşan proje ile ilgili faktörler, 12 ifadeden oluşan tasarım grubu ile ilgili faktörler, 19 ifadeden oluşan organizasyon ile ilgili faktörleri içermektedir.

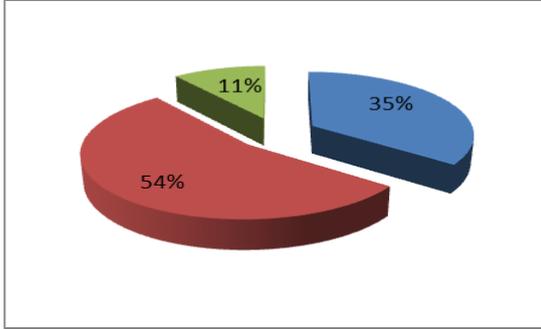
Çalışmanın örneklemini, inşaat sektöründe faaliyet gösteren mimari tasarım büroları dikkate alınarak belirlenmiştir.

Araştırmada mimari tasarım bürolarında çalışan mimarlar araştırmanın hedef yanıtlayıcı kitlesi olarak belirlenmiştir. Örneklem ve hedef yanıtlayıcılar belirlendikten sonra, mimari tasarım bürolarında çalışan mimarlar gerek ziyaret ederek, gerekse e-mail yoluyla temasa geçilip ankete katılmayı kabul edenlerin anket formunu yanıtlaması sağlanmıştır. Anket çalışmasına toplam 156 mimar katılmıştır. Eksik bilgiler nedeniyle 8 anket formu değerlendirme dışı bırakılmıştır. Bu nedenle ankete katılan 148 mimari tasarım bürosunda çalışan mimarın yanıtları değerlendirilmiştir. Katılımcıların mesleki tecrübeleri ve günlük çalışma süreleri Şekil 2 ve Şekil 3’ te verilmiştir. Katılımcıların mesleki tecrübeleri; %56’ sı 1- 5 yıl, %18’i 11-25 yıl, %16’ sı 6-10 yıl, %10’ u 26- üzeri yıldır. Günlük çalışma süreleri ise; %54’ ü 9-11 saat, %35’i 5-8 saat, %11’i 12- üzeri saattir. 12-üzeri günlük çalışma saati aralığı yasal sınırların üzerindedir. Fakat çalışmada bu aralıklar belirlenirken, işyeri dışında çalışma süreleri de dahil edilmiştir.



**Şekil 2.** Katılımcıların mesleki tecrübeleri





Şekil 3. Katılımcıların günlük çalışma saati

### 4.3. Araştırma Sonuçları ve Bulgular

Çalışma kapsamında değerlendirilen kuramsal modelin istatistiksel olarak incelenmesi için anketlerden elde edilen verilerin güvenilirliğinin test edilmesi gerekmektedir. Bundan dolayı veriler, istatistiksel analiz programına (SPSS 16) girilmiştir. Program ile ankette bulunan soruların güvenilirlik analizi yapılmıştır. güvenilirlik analizi ölçüm konuları içinde yer alan ölçüm sorularının kendi içerisindeki tutarlılığını belirlemek amacıyla Cronbach alfa değerine bakılarak yapılmaktadır.

Güvenilirlik analizi sonucunda 0 ile 1 arasında ( $0 \leq \alpha \leq 1$ ) değişen değer olan Cronbach alpha değerinde 1'e yakın değerler ölçümün güvenilir olduğunu ifade ederken 0,55'in altında kalan değerler ise ölçümün güvenilir olmadığını ifade etmektedir [37].

Güvenilirlik analizi sonucu elde edilen çalışma kapsamında incelenen değişkenlerin Cronbach Alpha ( $\alpha$ ) değerleri Çizelge 2'de verilmiştir. Çalışmada; mimarların tükenmişlik düzeylerini ölçmek için kullanılan, Maslach Tükenmişlik Ölçeği güvenilirlik (Cronbach Alpha) katsayısı 0,764 olarak bulunmuştur.

Duygusal tükenme 0,857, duyarsızlaşma 0,787, kişisel başarıda azalma 0,777 olarak bulunmuştur. Demotivasyon faktörlerine ilişkin güvenilirlik (Cronbach Alpha) katsayısı 0,916, proje ile ilgili kriterler 0,856, tasarım grubu ile ilgili kriterler 0,875, organizasyon ile ilgili ifadeler 0,912 olarak bulunmuştur. Değişkenlerin Cronbach Alpha ( $\alpha$ ) değerini karşıladığı görülmüştür (Çizelge 2).

**Çizelge 2.** Araştırmada kullanılan değişkenlerin ortalamaları ( $\mu$ ), standart sapmaları ( $\sigma$ ), Cronbach alfa ( $\alpha$ ) değerleri, korelasyon analizi sonuçları

Değişken	Soru sayısı	Ortalama ( $\mu$ )	Standart sapma ( $\sigma$ )	Cronbach Alfa ( $\alpha$ )	DT	DZ	KB	PF	TF	OF
Firma yaşı	1		-	-	-					
Firma büyüklüğü	2		-	-	-					
DT	7	3,406	1,507	0,857	1					
DZ	5	2,882	1,445	0,787	0,746**	1				
KB	6	2,953	1,291	0,777	0,278**	0,306**	1			
PF	14	5,034	0,988	0,856	0,469**	0,449**	0,098	1		
TF	12	4,570	1,136	0,875	0,442**	0,409**	0,036	0,451**	1	
OF	19	4,621	1,138	0,912	0,398**	0,433**	0,091	0,556**	0,722**	1

p\*\*\* $\leq$ 0,001, p\*\* $\leq$ 0,01, p\* $\leq$ 0,05

Çizelge 2 incelendiğinde kategorik olarak ölçülen değişkenler için güvenilirlik analizi kullanılmadığından dolayı çalışma kapsamındaki

firma yaşı, firma büyüklüğü değişkenleri (firmada çalışan teknik personel ve idari personel sayısı) için Cronbach Alpha ( $\alpha$ ) değeri hesaplanmamıştır.

Çalışmada kullanılan ölçeklerin güvenilirlikleri belirlendikten sonra, tükenmişlik düzeyleri ve demotivasyon faktörleri ortalamalarına değerlendirilip etkinlik düzeyi hesaplanmıştır. Etkinlik düzeyi, genel anlamda davranışların yönelmiş olduğu amaca ulaşma derecesini göstermektedir. Katılımcıların anket formunda yedi noktalı likert ölçeğinde 1'den 7'ye (1=hiç katılmıyorum, 7=tamamen katılıyorum) derecelendirmeleri sonucu her bir tükenmişlik düzeyi ve demotivasyon faktörü için elde edilen verilerin aritmetik ortalamalarının hesaplanması ile elde edilmiştir. Buna göre; Çizelge 2 incelendiğinde etkinliği en yüksek tükenmişlik düzeyinin duygusal tükenme ( $\mu=3,406$ ) olarak bulunmuştur. Duyarsızlaşma ( $\mu=2,882$ ) ve kişisel başarıda azalma ( $\mu=2,953$ ) düzeylerinin ise birbirine yakın ve düşük değer bulunmuştur. Demotivasyon faktörleri değerlendirildiğinde ise; proje ile ilgili demotivasyon faktörlerinin ( $\mu=5,034$ ), tasarım grubu ile ilgili faktörlerden ( $\mu=4,570$ ) ve organizasyon ile ilgili faktörlerden ( $\mu=4,621$ ) daha etkin olduğu bulunmuştur. Bu bulgular değerlendirildiğinde mimarların genel olarak tükenmişlik yaşadıklarını, tükenmişliği ağırlıklı olarak duygusal tükenme düzeyinde yaşadıklarını işaret etmektedir.

Değişkenlere ait ortalamaların değerlendirilmesi yapıldıktan sonra değişkenler arası ilişki düzeyi korelasyon analizi ile belirlenmiştir. Korelasyon analizi iki değişken arasında ilişki olup olmadığını tespit etmek için kullanılmaktadır. Pearson katsayısı (r) ile ifade edilmekte, -1 ile +1 arasında değişmektedir. +1'e yaklaştıkça pozitif güçlü bir ilişkinin varlığından -1'e yaklaştıkça negatif yönde güçlü bir ilişkinin varlığından söz edilmektedir. Bu çalışma kapsamında yapılan anketlerden elde edilen veriler değerlendirilerek tükenmişlik düzeyleri ve demotivasyon faktörleri arasındaki ilişkileri araştırmak için korelasyon analizi yapılmıştır. Bu değişkenler arasındaki ilişkileri araştırmak amacıyla yapılan korelasyon analizi sonuçları Çizelge 2'de verilmiştir. Buna göre; duygusal tükenme ve proje ile ilgili faktörler ( $r=0,469$   $p\leq 0,01$ ), tasarım ekibi ile ilgili faktörler ( $r=0,442$   $p\leq 0,01$ ), organizasyon ile ilgili faktörler ( $r=0,369$   $p\leq 0,01$ ) arasında pozitif anlamlı bir ilişki

vardır. Bulgular, duyarsızlaşma ve proje ile ilgili faktörler ( $r=0,449$   $p\leq 0,01$ ), tasarım ekibi ile ilgili faktörler ( $r=0,409$   $p\leq 0,01$ ), organizasyon ile ilgili faktörler ( $r=0,433$   $p\leq 0,01$ ) arasında pozitif anlamlı bir ilişkinin varlığı göstermektedir. Analiz bulgularında kişisel başarıda azalma faktörünün demotivasyon faktörlerinin hiçbirisi ile anlamlı bir ilişkisine rastlanmamıştır.

Mimari tasarım bürolarında çalışan mimarların tükenmişlik düzeylerini etkileyen demotivasyon faktörlerinin etkisini incelemek amacıyla geliştirilen kuramsal modelin istatistiksel olarak test etmek için kullanılan yöntem önceki çalışmalar ışığında belirlenmiştir [16, 38]. Tükenmişlik üzerine etki eden faktörleri inceleyen çalışmalarda en yaygın kullanılan yöntemlerden biri yapısal denklem modeli (YDM) yöntemidir. YDM ikinci nesil çoklu değişken analizi yöntemlerinden biridir. Yapısal denklem modeli (YDM), gözlenebilen ve gizli değişkenler arasındaki ilişkileri test eden bir istatistiksel yöntemdir. Tükenmişlik, demotivasyon gibi doğrudan gözlemlenemeyen değişkenin, bir ya da birden çok değişken aracılığı ile (tükenmişlik için; duygusal tükenme, duyarsızlaşma ve kişisel başarı, demotivasyon için; proje ile ilgili faktörler, tasarım ekibi ile ilgili faktörler ve organizasyon ile ilgili faktörler) ölçmeye olanak vermektedir [38, 39]. YDM'in bir diğer özelliği gözlenen değişkenlerdeki olası ölçüm hatalarını (e) modele dahil etmesidir [39].

YDM diğer istatistiksel yöntemlerden (regresyon, gibi) ayıran en temel özelliği ise, modelde gösterilen bütün ilişkileri tek defada test edebilme olanağı bulunmasıdır. Değişkenleri ölçmekte kullanılan ölçeklerin güvenilirliğini ve değişkenler arasındaki dolaylı veya doğrudan ilişkileri bütünleşik olarak inceleyen nicel bir yöntemdir [39, 40]. YDM, değişkenler arasındaki dolaylı ve doğrudan ilişkileri, patika katsayıları ( $\beta$ ) ile ifade etmektedir. Modelde yer alan patika katsayılarının hesaplanması sürecinde ise en olası tahmin yöntemini kullanılmaktadır [38]. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen istatistiksel analizler Amos 20,0 adlı istatistiksel yazılımlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Yapısal denklem modelleme ile ilişkili çok sayıda uyum ve anlamlılık testi geliştirilmiştir [39]. Bunlara genel olarak uyum indeksi uygunluğu (Goodness of Fit Index; GFI) ismi verilmiştir.

GFI değerleri 0 ile 1 arasında değişir ve örneklem genişliğine çok duyarlı olduğu için büyük verilerde daha küçük değerler vermektedir. GFI değeri 1,0'e ne kadar yakın olursa uyum o kadar iyi demektir. AGFI ise örneklem genişliği dikkate alınarak düzeltilmiş olan bir GFI değeridir. Örneklemin büyük olduğu durumlarda AGFI daha temsili bir uyum indeksidir. GIF ve AGFI dışında, gözlenen değişkenler arasındaki hatanın derecesi temelinde geliştirmiş olan mutlak uyum indeksleri de kullanılmaktadır. Bunların başında yaklaşık hataların ortalama karekökü (Root Mean Square Error of Approximation, RMSEA) indeksi

gelmektedir. 0,05'e eşit ya da daha küçük olan değerler mükemmel bir uyumu ifade etmektedir.

Çalışmanın bu bölümünde geliştirilen kuramsal model istatistiksel olarak test edilmiştir (Şekil 1). Modelde yer alan demotivasyon faktörlerinin tükenmişlik üzerindeki etkisi yapısal denklem modeli aracılığı ile belirlenmeye çalışılmıştır. Bunu tespit etmek için Amos 20.0 programından faydalanılmıştır. Modelin geçerliliğini ifade eden uyum kriterleri Çizelge 3' de verilmiştir. Modelin uygunluğuna bakıldığında, Araştırma Modeli'ne ait uyum kriter değerleri:  $X^2$ /serbestlik derecesi = 1,735; GFI = 0,947; AGFI = 0,877; NFI = 0,947; CFI = 0,976; ve RMSEA = 0,046 elde edilmiştir. Araştırma modeli' nin istatistiksel açıdan değerlendirildiğinde güvenilir bir yapısal denklem modeli olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır.

**Çizelge 3.** Yapısal denklem modeli uyum kriterleri [45]

	Araştırma Modeli	Eşik Değer
$X^2$ /Serbestlik derecesi	1,735	<3,0
GFI (Uyum İyiliği İndeksi)	0,947	≥0,90
AGFI (Düzeltilmiş Uyum İyiliği İndeksi)	0,877	≥0,80
NFI (Normlaştırılmış Uyum İndeksi)	0,947	≥0,90
CFI (Karşılaştırmalı Uyum İndeksi)	0,976	≥0,90
RMSEA (Yaklaşık Hataların Ortalama Karekökü)	0,046	≤0,05

Çalışmanın bu bölümünde geliştirilen kuramsal model test edilmiştir (Şekil 4). Örnek büyüklüğünü arttırmak amacıyla Amos 20,0 programının Bootstrap algoritması kullanılmıştır. Bootstrap algoritması örnek hacminin yeterli olmadığı durumlarda analiz aşamasında örnek hacmini normal dağılıma göre arttırmak için kullanılmaktadır [örn; 42, 43]. Bu çalışmada Bootstrap sayısı 500 [örn; 43, 44] olarak seçilmiştir.

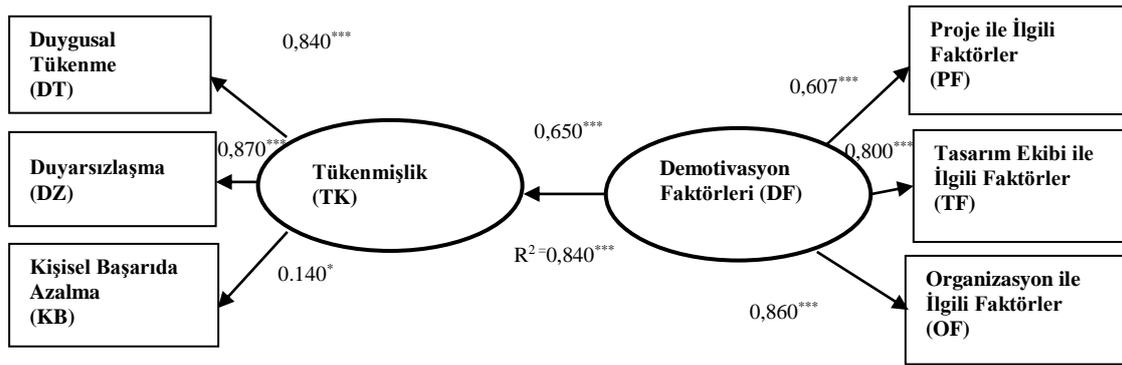
Yapısal denklemin değerlendirilmesinde, bağımlı değişkenlerin determinasyon katsayıları ( $R^2$ ), güvenilirlik düzeyi ( $p$ ) ve değişkenler arasındaki ilişkiler için patika katsayıları ( $\beta$ ) kullanılmaktadır. Yapısal modelin sonuçlarının incelenmesi sonucunda (Çizelge 4), tükenmişliğin açıklanmasında demotivasyon faktörünün etkili olduğunu göstermektedir. Demotivasyon faktörleri

tükenmişliği %84 ( $R^2=0,840$   $p \leq 0,001$ ) oranında açıklama gücüne sahiptir. Bu sonuçlara ek olarak tükenmişlik değişkeni ile duyarsızlaşma ( $\beta=0,870$   $p \leq 0,001$ ), duygusal tükenme ( $\beta=0,840$   $p \leq 0,001$ ), kişisel başarıda azalma ( $\beta=0,140$   $p \leq 0,05$ ) değişkenleri arasındaki patika katsayılarının pozitif anlamlı olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca sonuçlar demotivasyon faktörleri ve proje ile ilgili faktörler ( $\beta=0,607$ ,  $p \leq 0,001$ ), tasarım ile ilgili faktörler ( $\beta=0,800$ ,  $p \leq 0,001$ ), organizasyon ile ilgili faktörler ( $\beta=0,860$ ,  $p \leq 0,001$ ) arasında pozitif anlamlı bir ilişki var olduğunu göstermektedir. tükenmişlik ile demotivasyon faktörleri arasında ( $\beta=0,827$ ,  $p \leq 0,001$ ) olumlu bir ilişki vardır. Elde edilen değerlerin istatistiksel açıdan anlamlı olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara göre, önerilen H1, H2, H3, H4, H5, H6, H7 hipotezleri kabul edilmiştir.

Çizelge 4. Araştırma modeline ilişkin  $\beta$  katsayıları

Değişkenler			$\beta$	Determinasyon Katsayısı ( $R^2$ )
DZ	←	TK	0,870***	
DT	←	TK	0,840***	
KB	←	TK	0,140*	
PF	←	DF	0,607***	
TF	←	DF	0,800***	
OF	←	DF	0,860***	
TK	←	DF	0,650***	0,840***

p\*\*\* $\leq$ 0.001, p\*\* $\leq$ 0.01, p\* $\leq$ 0.05



Şekil 4. Tükenmişlik üzerinde demotivasyon faktörlerinin etkisi için yapısal model sonuçları

## 5. SONUÇLAR

Bu çalışmada inşaat sektöründe faaliyet gösteren mimari tasarım bürolarında çalışan mimarların tükenmişlik düzeyleri üzerinde demotivasyon faktörlerinin etkisi araştırılmıştır. Bunun için, Maslach Tükenmişlik Ölçeği ve Oyedele [14] tarafından tanımlanan faktörler kullanılarak kuramsal model geliştirilmiştir. Kuramsal modelin analizinde yapısal denklem modeli kullanılmıştır. Yapısal modelin analiz sonuçları Şekil 1'de sunulan kuramsal modeli doğrulamaktadır. Bu sonuçlar ışığında demotivasyon faktörleri tükenmişlik üzerinde etkili bir faktördür. Bunun nedeni; demotivasyon faktörlerinin mimarlar üzerindeki olumsuz etkilerinin, onların işe karşı ilgilerinin ve coşkularının azalmasına veya

tamamen ortadan kalkmasına neden olması, bu durumun zaman içinde tükenmişlik yaşamalarında zemin oluşturmasıdır. Elde edilen bir başka sonuç ise; mimarların duygusal tükenme düzeylerinin, kişisel başarıda azalma ve duyarsızlaşma düzeylerine göre yüksek olduğudur. Bu bulgu, inşaat sektöründeki birçok katılımcının yer aldığı çalışma ortamında mimarların, mesleki gereksinim ve sorumluluklarına, yoğun çalışma temposu ve uzun çalışma saatlerinin eklenmesiyle, duygusal tükenme düzeyinde tükenmişlik yaşadıklarını göstermektedir. Öte yandan bulgular mimarların proje ile ilgili demotivasyon faktörlerinin, tasarım ile ilgili ve organizasyon ile ilgili faktörlere göre daha etkili olduğunu göstermektedir. Yanısıra bulgular, proje ile ilgili faktörler ve duygusal tükenme arasında pozitif bir ilişkinin varlığını

göstermektedir. Bunun nedeni, mimarlığın proje bazlı bir meslek olması ve projede oluşacak demotive edici bir unsurun doğrudan mimarı etkilemesidir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda mimarların motivasyonlarının sağlanmasında proje ile ilgili taleplerin ve amaçların açık, net ve mantıklı olarak aktarılması gerekmektedir. Sonuç olarak proje ile ilgili yeterli iletişimin kurulması, gerekli imkanların sunulması mimar üzerindeki tükenmişlik gibi olumsuz etkileri azaltacak işe karşı ilgilerini ve coşkularını arttıracaktır.

Bulgular örneklem ile sınırlıdır. Bu çalışmanın örneklemini genişletilerek inşaat sektöründe faaliyet gösteren diğer meslek profesyonelleri de kapsamı sektör düzeyinde sonuçlara ulaşmayı sağlayacaktır.

## 6. KAYNAKLAR

1. UIA Agreement Text, 1999.
2. Tekin Ö. A., Aydın A., Özmen M., Yaykaşlı M., 2014. Tükenmişlik Sendromu ve Örgütsel Bağlılık: Su Ürünleri İşletmeleri Üzerinde Bir Araştırma, Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi 16, 1,135-158.
3. Leiter, M. P., Maslach, C.. 1988. The Impact of Interpersonal Environment on Burnout and Organizational Commitment, Journal of Organizational Behavior, 9, 4, 297-308.
4. Ardıç K., Polatçı S., 2008. Tükenmişlik Sendromu Akademisyenler Üzerinde bir Uygulama (Gaziosmanpaşa Örneği), Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi 10, 2, 69-96.
5. Başak O., 2015. Tükenmişlik, Türk Aile Hekimliği Dergisi, 19, 1, 1-2.
6. Maslach, C. ve Jackson, S. E., 1981. The Measurement of Experienced Burnout. Journal of Occupational Behaviour, 2, 2, 99-113.
7. Maslach, C. ve Zimbardo P. G., 1982. Burnout -The Cost of Caring, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.
8. Ensari, H., Tuzcuoğlu S., 1995. Marmara Üniversitesine Bağlı Fakültelerde Görev Yapan Yönetici ve Öğretim Elemanlarının Meslekten Yılgınlıklarında Kişilik Özelliklerinin Rolü, Öneri Dergisi, 2, 11, 51- 63.
9. Ergin, C., 1995. Akademisyenlerde Tükenmişlik ve Çeşitli Stres Kaynaklarının İncelenmesi, Hacettepe Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Dergisi, 12, 1, 37 – 50.
10. Aslan, D., Kiper N, Karaağaoğlu E., Topal F., Güdük M., Cengiz Ö. S., 2005. Türkiye’de Tabip Odalarına Kayıtlı Olan Bir Grup Hekimde Tükenmişlik Sendromu ve Etkileyen Faktörler, Türkiye Tabip Odaları Birliği Yayınları, Ankara.
11. Rostami Z., Abedi M. R., Schaufeli W. B., 2012. Dose Interest Predicts Academic Burnout? Interdisciplinary Journal of Contemporary Research in Business, İjrb.Webs.Com, 3, 9.
12. Pines, A.M., Nunes, R., 2003. The Relationship Between Career and Couple Burnout: Implications for Career and Couple Counseling, Journal of Employment Counseling, 40, 2, 50-64.
13. Soysal A., 2011. İş Yaşamında Tükenmişlik, Çimento İşveren Dergisi. [http://www.ceis.org.tr/dergi/2011kasim/makale\\_2.pdf](http://www.ceis.org.tr/dergi/2011kasim/makale_2.pdf), Erişim Tarihi: 15.10.2015
14. Oyedele, L. O., 2012. Analysis of Architects’ Demotivating Factors in Design Firms, International Journal of Project Management, 31, 342-354.
15. Ünlü T., 2014. Mimarları Etkileyen Demotivasyon Kriterlerinin Analitik Hiyerarşi Proses (AHP) ve Analitik Ağ Prosesi (ANP) ile Ağırlıklandırılması, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
16. Arı G. S. ve Bal E. Ç., 2008. Tükenmişlik Kavramı: Birey ve Örgütler Açısından Önemi, Yönetim ve Ekonomi, 15, 1, Celal Bayar Üniversitesi İ.İ.B.F.
17. Freudenberger, H. J., 1974. Staff Burn-Out, Journal of Social Issues, .30, 1, 159-165.
18. Cherniss, C., 1992. Long-term Consequences of Burnout: An Exploratory Study, Journal of Organizational Behavior, 13, 1-11.
19. Torun A., 1997. Stres ve Tükenmişlik, Endüstri ve Örgüt Psikolojisi, Türk Psikologları ve Kal-der Yayınları, (2.Baskı), Ankara.
20. Sürgevil, O., 2005. Tükenmişlik ve Tükenmişliği Etkileyen Örgütsel Faktörler: Akademik Personel Üzerinde Bir Uygulama,

- Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir.
21. Maslach, C., Jackson, S.E., 1981. The Measurement of Experienced Burnout, *Journal of Occupational Behaviour*, 2, 2, 99-113.
  22. Maslach, C., S. E. 1986. Jackson, Maslach Burnout Inventory Manual (2nd Ed.), Palo Alto, Consulting Psychologist Pres.
  23. Telli E., Ünsar A.S., Oğuzhan A., 2012. Liderlik Davranış Tarzlarının Çalışanların Örgütsel Tükenmişlik ve İşten Ayrılma Eğilimleri Üzerine Etkisi: Konuyla İlgili Bir Uygulama, *Electronic Journal of Vocational Colleges*, Aralık.
  24. Halbesleben, J. R. B., Bowler, W. M., 2007. Emotional Exhaustion and Job Performance: The Mediating Role of Motivation, *Journal of Applied Psychology*, 92: 93-106.
  25. Maslach, C., Leiter P. M., 1997. *The Truth About Burnout*, Jossey-Bass, San Francisco.
  26. Lingard, H., 2003. The impact of Individual and Job Characteristics on 'Burnout' Among Civil Engineers in Australia and Implications for Employee Turnover. *Construction Management and Economics*, 21, 69-80.
  27. Yip B., Rowlinson S., 2009. Job Burnout among Construction Engineers Working within Consulting and Contracting Organizations, *Journal of Management in Engineering*, 25, 3,122-130.
  28. Ng, S.T., Skitmore, M.R., Lam, K.C., Poon, A.W.C., 2004. Demotivating Factors Influencing the Productivity of Civil Engineering Projects, *International Journal of Project Management*, 22, 139-146.
  29. Çelik G.T., 2012. Bağrıaçık R., Oral E.L. Mimarlık Bölümü Öğrencilerinin Akademik Tükenmişliği, *Nwsa-Engineering Sciences*, 7, 1, 358-367.
  30. Çelik G. T., Oral E. L., 2013. Burnout Levels and Personality Traits-The Case of Turkish Architectural Students, *Creative Education*, 14, 2, 124-131.
  31. Steers, R.M., Porter, L.W., 1987. *Motivations and Work Behavior*, (4th Ed.), New York: McGraw-Hill.
  32. Koçel, T., 1999. *İşletme Yöneticiliği*. (7.Bas.). Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş., 46, İstanbul.
  33. Balaban B., 2006. Türk İnşaat Sektöründe Çalışanların Motivasyonu Üzerine Kültürün Etkisi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
  34. Maslow A.H., 1970. *Motivation and Personality*, Harper & Row Publishers, USA.
  35. McClelland, D. C., 1961. *The Achieving Society*, Princeton, NY, Nostland.
  36. Doğanlı B., Demirci Ç., 2014. Sağlık Kuruluşu Çalışanlarının Motivasyonlarını Belirleyici Faktörler Üzerine Bir Araştırma, *Yönetim ve Ekonomi*, 21, 1.
  37. Van de Ven, A., Ferry, D., 1979. *Measuring and Assessing Organizations*, Wiley, New York.
  38. Yılmaz, V., Varol S., 2015. Hazır Yazılımlar ile Yapısal Eşitlik Modellemesi: Amos, EQS, Lisrel, Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 44, 28-44.
  39. Byrne, B. M., 2010. *Structural Equation Modeling with AMOS*, Routledge, New York.
  40. Yeniçeri, T., 2005. Mağaza İmajı ve Mağaza İmajı Boyutları Arasındaki İlişkilerin Yapısal Eşitlik Modeli ile İncelenmesi, *Yönetim* 16, 52, 30-53.
  41. Joreskog, K. G., Sorbom, D., 1993. *LISREL 8: Structural Equation Modeling with the SIMPLIS Command Language*, Chicago, IL: Scientific Software International.
  42. Arbuckle, J. L., 1999. *Amos 4.0 Users Guide2*, SPSS Inc.
  43. Dong, L., Neufeld, D., Higgins, C., 2005. Testing Klein and Sorra's Innovation Implementation Model, Presented at Academy of Management Conference, Hawaii.
  44. Bentler, P. M., Chou, C. P., 1987. Practical Issues in Structural Modeling, *Sociological Methods and Research*, 16, 1, 78-117.
  45. Hoyle, R. H., Panter, A. T., 1995. *In Structural Equation Modeling: Concepts, Issues and Applications*, Sage Publications, London, 158-177.

## Spekularit Cevherinin Kalite Özelliklerinin İyileştirilmesi

Hüseyin VAPUR\*<sup>1</sup>, Soner TOP<sup>1</sup>

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

Geliş tarihi: 29.01.2016

Kabul tarihi: 22.03.2016

### Özet

Bu çalışmada Adana/Feke Bölgesi'nden alınan spekularit cevheri için fiziksel ayırma yöntemleri endüstride kullanılabilir özelliklere sahip konsantr elde edilmesi için uygulanmıştır. Kuvars minerali cevherdeki temel safsızlık olarak saptanmıştır. Manyetik zenginleştirme yöntemlerinden kuru manyetik, yaş manyetik ayırma yöntemleri ile gravite ayırma yöntemlerinden sallantılı masa ile ayırma yöntemi uygulanmıştır. Yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırma ile % 62,94 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeren cevherden 6000 Gauss manyetik alan şiddetinde % 92,47 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörlü konsantr %69,91 kazanma verimiyle elde edilebilmiştir. Kuru manyetik ayırma işlemi ile %75,62 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeren konsantr %89,43 verimle kazanılırken sallantılı masa deneylerinde %71,7 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içerikli konsantr % 75,54 kazanma verimiyle elde edilmiştir. Sonuçlar, spekularit cevherinin demir-çelik ve boya endüstrisinde hammadde olarak kullanılabilir özellikte zenginleştirileceğini göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Spekularit, Manyetik ayırma, Sallantılı masa, Cevher zenginleştirme

### Improving of Quality Properties of the Specularite Ore

#### Abstract

In this research, physical separation methods for a specularite ore taken from Adana/Feke region were applied to obtain a concentrate, which is suitable for industrial usages. Quartz mineral in the specularite ore was detected as basic impurity. Dry/wet magnetic separation techniques from magnetic beneficiation methods and shaking table tests from gravity separation methods were applied. The best concentrate with 92,47% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> grade and 69,91% recovery yield could have been obtained from the ore containing 62,94% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> by high intensity wet magnetic separation method at 6000 Gauss magnetic field strength. Also, the concentrate which has 75,62% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> grade with 89,43% yield was enriched by dry magnetic separation while the other concentrate with 71,7% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> grade and 75,54% recovery yield was obtained by shaking table tests. The results show that specularite ores can be beneficiated for using in steelmaking and painting industries as a raw material.

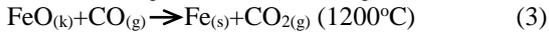
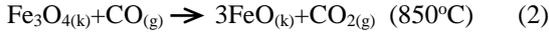
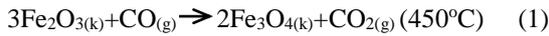
**Keywords:** Specularite, Magnetic separation, Shaking table, Ore processing

---

\* Yazışmaların yapılacağı yazar: Hüseyin VAPUR, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Adana. hvapur@cu.edu.tr

## 1. GİRİŞ

Spekülarit (olijist), demir siyahı rengine kuvvetli metal parlaklığında, porselen üzerinde kırmızı - kırmızı kahverengi bir çizgi bırakan gevrek yapılı bir demir mineralidir ( $Fe_2O_3$ ). Sertliği 6,5 ve yoğunluğu 5,2-5,3 arasındadır. Hidroklorik asitte (HCl) yavaş yavaş erir, üfleçte erimez bariz romboedrik kristalleri olduğu gibi pullu cinsi demir mikası adını almaktadır. Manyetit, ilmenit ve kromit ile karıştırılabilir [1,2]. Spekülarit, korozyona karşı direnç sağlaması dolayısıyla boya endüstrisi ve demir içeriğinden ötürü demir-çelik tesislerinde kullanılabilir. Demir cevherlerinin yüksek fırında indirgenerek pik demir oluşumu için gerekli karbon, fırına beslenen kokun yanması sonucu oluşan CO ve  $CO_2$  gazları yardımıyla oluşur. 1, 2 ve 3 numaralı eşitlikler uyarınca gerçekleşen tepkimeler sonucu pik demir elde edilir.



Demir toplumların ekonomik ve sosyal gelişmelerinde en büyük katkısı olan elementlerden ve endüstrinin temel girdilerinden biridir. 1960-1974 yılları arasında dünya çelik üretimi yıllık %7 ortalama artış hızı ile çok büyük bir gelişme kaydetmiştir. Batı Avrupa ve Japonya'daki büyük bütünleşmiş demir çelik tesislerinin kuruluşları bu dönemin karakteristik endüstriyel yatırımları olmuşlardır. Türkiye'de demir çelik sektörü, başta yassı ve yapısal çelik ürünlerine yönelik yatırımlar olmak üzere, özellikle 2001 yılından sonra, hızlı bir büyüme ivmesi kazanmıştır. 2006-2012 döneminde, Türkiye'nin ham çelik üretim kapasitesi 28,4 milyon ton artışla, 50 milyon ton seviyesine ulaşmıştır. Söz konusu artış, 66 yılda ulaşılan kapasiteden yüzde 130 daha büyük bir kapasitenin, son 6 yılda devreye alındığını göstermesi bakımından önem taşımaktadır.

Ancak yüksek kaliteli paslanmaz çelik üretiminin ülkemizde olmaması önemli bir dezavantajdır. Türkiye, 2012 yılında gerçekleştirdiği 35,9 milyon tonluk ham çelik üretimi ile 2011 yılına kıyasla, 2

sıra birden yükselerek, yılı dünyanın en fazla ham çelik üreten 8'inci ülkesi olarak tamamlamıştır. 2012 yılı verilerine göre, Türkiye ham çelik üretimini kriz öncesi olan 2007 yılındaki seviyesinin yüzde 39 oranında üzerine taşımıştır. Bu yönüyle Türkiye, dünyanın en büyük 10 çelik üreticisi arasında, üretimini kriz öncesi seviyesinin üzerine çıkartan 5 ülke arasında yer almıştır [3-6]. Artan üretimi karşılamak için demir cevherinin ve taş kömürün önemli bir kısmı yurt dışından ithal edilmektedir. Türkiye'de cevher harmanında kullanılmak üzere satın alınan cevherde aranan ortalama kimyasal kompozisyonlar Çizelge 1'de görülmektedir.

Çizelge 1. Demir-çelik tesisleri için ortalama tenör değerleri [5].

İçerik (%)	Doğrudan Şarjlık	Sinterlik
$Fe_2O_3$	91,50	88,65
$SiO_2$ (max)	5,00	5,00
$Al_2O_3$ (max)	1,00	1,50
CaO+MgO (max)	1,00	1,00
S (max)	0,02	0,02
$K_2O+Na_2O$ (max)	0,10	0,10
As (max)	0,01	0,01
Mn (max)	1,50	5,00
Cu (max)	0,01	0,01
P (max)	0,06	0,06
Pb (max)	0,01	0,01
Zn (max)	0,01	0,01
Cr (max)	0,05	0,05
Ni (max)	0,01	0,01

Halen paslanmaz çelik üretilen de Türkiye'nin ham çelik üretimine bakıldığında sürekli bir büyüme ve artış göze çarpmaktadır. Elektrik ark fırınları ve bazik oksijen fırınlarında geri dönüştürülen hurda demir ithalatında birinci sıradaki Türkiye'nin hammaddeden çelik ve kaliteli çelik üretimine hız vermesi gerekmektedir. Ayrıca hurda gemi, askeri teçhizat vb. geri dönüşüm (recovery, recycling or reuse) hammaddeleri zararlı maddeler içerebilmektedir. Özellikle boya sanayi açısından demir oksit pigmentleri doğal ve sentetik olmak üzere başlıca iki gruba ayrılır. Yaygın doğal demir oksit pigmentler Çizelge 2'de gösterilmektedir. Doğal



demir oksit pigmentleri, dört ana bölümde incelenir. Bunlar, ocher (okr), umber (ombra), sienna (siyena) ve kırmızı demir oksitlerdir. Gruplandırmalarında ise ana kriterler renk değişimleri ve kimyasal içerikleridir. Genellikle okrlar sarıdan kırmızıya değişen tonlarda, siyenalar sarıdan turuncuya değişen tonlarda, ombralar ise koyu kahverengi tonlarında değişim gösterir.

**Çizelge 2.** Demir oksit pigmentler (\*kalsine edildiğinde) [9].

Yaygın Demir Oksit Pigmentler		
Mineral	Kompozisyon	Renk(ler)
Götit	$\alpha\text{FeO.OH}$	Sarı, kahverengi
Hematit	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	Kırmızı (pigment olarak)
Lepidokrozit	$\gamma\text{FeO.OH}$	Sarı
Manyetit	$\text{Fe}_3\text{O}_4$	Siyah
Siderite	$\text{FeCO}_3$	Kırmızı*, kahverengi*
Pirit	$\text{FeS}_2$	Kırmızı
Limonit	Hematit, götit, lepidokrozit karışımı, absorbe edilmiş su ile birlikte	Sarı, kahverengi*
Spekülarit	Mikali demir oksit, hematitin mikali bir çeşidi	Demir siyahi, metalik parlaklık

Demir oksit pigmentlerinin kalite sınıfları Çizelge 3'te gösterilmiştir. Mikali demir oksitler spekülar hematit olarak da bilinmektedir. En önemli kaynakları Avusturya, İspanya, Güney Afrika ve Avustralya'dır. Spekülaritin en önemli özelliği termal duyarlılığıdır. Spekülarit minimum %85  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  içeriğine sahip olmalı ve içinde çözünebilen tuzlar minimum olmalıdır. Spekülaritin romboedrik kristalleri olduğu gibi, pullu cinsi demir mikası ismini alır. Demir çelik sektörü için ise  $\text{SiO}_2$  içeriği %5'ten az olmalıdır. Yüksek silis oranı yüksek fırının yapısına uygun değildir. Türkiye'de spekülarit rezervlerinin Adana ve Erzurum bölgelerinde olduğu bilinmektedir [7-9].

Bu çalışmada Adana'nın Feke ilçesine ait

spekülarit cevherinin zenginleştirilmesine yönelik sallantılı masa, yaş manyetik ayırma ve kuru manyetik ayırma testleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen konsantrenin demirçelik ve boya sanayi için kullanılabilmesi amaçlanmıştır.

**Çizelge 3.** Demir oksitlerin boya endüstrisindeki kalite sınıflamaları [9].

Demir Oksit Türü	% $\text{Fe}_2\text{O}_3$			
	A	B	C	D
Kırmızı	95	70	50	10
Sarı	83	70	50	10
Kahverengi	87	70	30	-
Siyah	95	70	-	-
Mikali	85	-	-	-

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

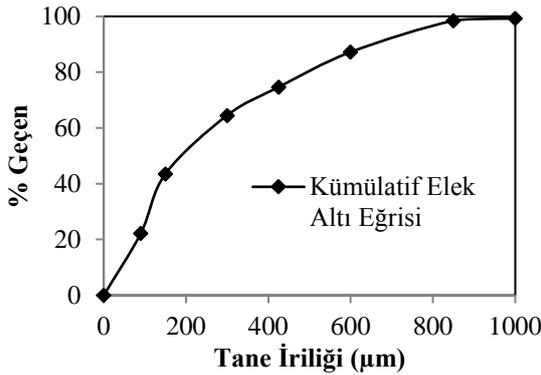
Uzun zamandır devam eden yüksek tüketim artışı kolay zenginleştirilebilir demir rezervlerini azaltmıştır. Ayrıca teknolojinin hızlı gelişimi de demir tenörleri oldukça yüksek, zararlı elementleri mümkün olduğu kadar az konsantreler üretmeyi zorlamaktadır. 15000 Gauss'un üzerinde alan şiddetleriyle çalışan manyetik ayırıcıların ekonomik olarak hematit zenginleştirilmesinde kullanıldığı günümüzde alçak ve yüksek alanda manyetik ayırma-ters flotasyon yöntemlerinin kombinasyonlarıyla, zor zenginleştirilebilen demir cevherleri de başarılı olarak zenginleştirilebilmektedir [3, 10]. Ancak yüksek işletme maliyetleri nedeniyle çok ince öğütme gerektiren yöntemlerin endüstriyel ölçekte kullanımı sınırlıdır. Xiuping ve Arkadaşları [11], safsızlık olarak %13 kalsit, %10 kuvars ve %8 klorit içeren spekülarit cevherini zenginleştirmek için ters flotasyon işlemini uygulamışlardır. Kalsit ve kuvars ilk aşamada anyonik kollektör olan sodyum oleat ile yüzdürülürken, kloriti yüzdürmek için katyonik kollektör olan eter amin kullanılmıştır. Sonuçta %65,28 demir içeren konsantre %79,05 verimle kazanılmıştır.

Wang ve diğerleri [12], %35 demir içeren spekülarit cevherinden yüksek alan şiddetli manyetik ayırma ve ters flotasyon işlemlerinin kombinasyonu ile %66,62 demir içeren

konsantreyi %58,38 verimle kazanmıştır. Wei-guo (2011), ardışık şekilde düşük alan şiddetli manyetik ayırıcı-yüksek alan şiddetli manyetik ayırıcı ve ters flotasyon işlemlerini uygulayarak %64,12 demir içeren konsantreyi %70,39 verimle elde edebilmiştir. Besleme malının %85'inin boyutu 74  $\mu\text{m}$ 'nin altı olarak seçilmiştir. Düşük alan şiddetli manyetik ayırıcının manyetik alan şiddeti 167 kA/m iken yüksek alan şiddetli manyetik ayırıcının manyetik alan şiddeti 0,8 Tesla'dır. Ters flotasyon işleminde kaba flotasyon konsantresi alınmakta iken, artıklara kaçan demir 3 adet süpürme flotasyonunu izleyen temizleme flotasyonu ile kazanılarak verim artışı sağlanmıştır [13]. Literatürde demir cevherinin gang minerallerinden ayırma yönüne yönelik yoğunluk ve manyetik özellik farkı yardımıyla gerçekleştirilen çalışmalar oldukça fazladır [14-17].

### 3. MATERYAL VE METOT

Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölüm Laboratuvarları'na getirilen örnek spekularit cevheri numunesinin konileme-dörtleme işlemi ile numune azaltılmasının ardından kırma+öğütme işlemi ile boyutu küçültülmüştür. Boyut küçültme işleminin ardından yapılan elek analizi sonucu malzemenin tane boyut dağılımı Şekil 1'de görülmektedir.



Şekil 1. Spekularit cevherinin tane boyut dağılımı

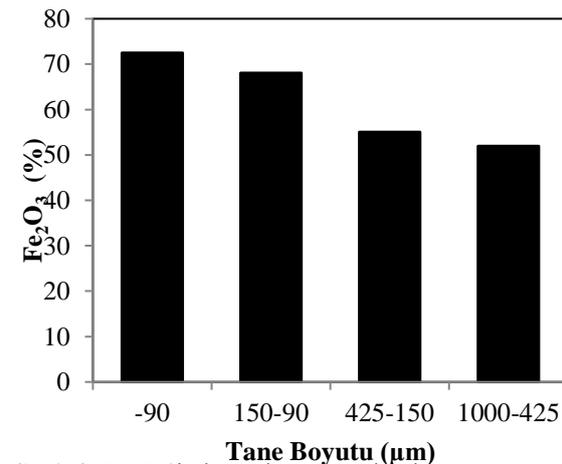
Boyut küçültmenin ardından malzemelerin %80'inin geçtiği tane boyutu (d80) yaklaşık 500  $\mu\text{m}$ 'dir. MiniPal4 PANalytical XRF cihazı ile spekularit numunesine uygulanan analiz sonucu

belirlenen kimyasal içerikler Çizelge 4'te verilmiştir. Rigaku MinFlex II XRD cihazı ile yapılan analiz sonucunda ise numunenin mineralojik içeriği belirlenmiştir (Şekil 2). Çizelge 4 ve Şekil 2'de görüldüğü gibi yüksek  $\text{SiO}_2$  içeriği (>%30) incelenen sipekularit cevherinin endüstriyel kullanımını engellemektedir.

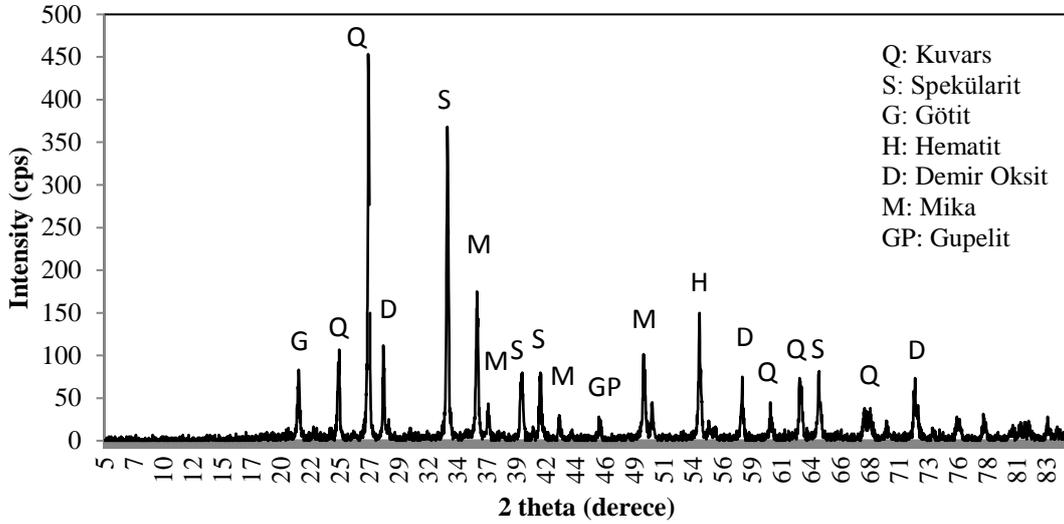
Çizelge 4. Besleme malının kimyasal bileşimi

Bileşen	%
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	62,94
$\text{SiO}_2$	32,70
$\text{Al}_2\text{O}_3$	3,50
$\text{CaO}$	0,10
$\text{V}_2\text{O}_5$	0,03
$\text{K}_2\text{O}$	0,26
$\text{SO}_3$	0,23
$\text{Cr}_2\text{O}_3$	0,03
$\text{CuO}$	0,01
$\text{Rb}_2\text{O}$	0,09
$\text{La}_2\text{O}_3$	0,13

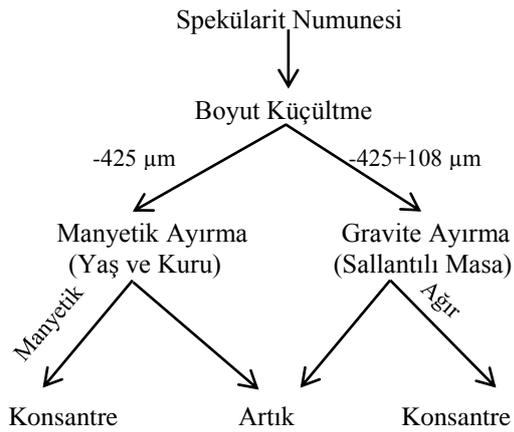
Numunenin demir içeriğine göre yapılan elek metal analizi sonucu demir içeriğinin tane boyutu arttıkça azaldığı belirlenmiştir (Şekil 3). Spekularit numunelere kuru ve yaş manyetik ayırma deneyleri numunesine uygulanan deneylere ait akım şeması Şekil 4'de görülmektedir. 425  $\mu\text{m}$  boyutu altındaki uygulanırken 425-108  $\mu\text{m}$  boyutundaki malzeme lere sallantılı masa deneyleri uygulanmıştır.



Şekil 3.  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 'ün boyutlara göre dağılımı



Şekil 2. Numunenin XRD diyagramı



Şekil 4. Çalışmanın deneysel akım şeması

Yaş manyetik ayırma deneylerinde % 20 katı oranında hazırlanan pulp 300 dev/dk hızda karıştırıldıktan 5 dakika sonra manyetik ayırıcıya beslenmiştir. Testlerde Eriez L4-20 marka laboratuvar ölçekli yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırıcı kullanılmıştır. Kuru manyetik ayırma deneyleri laboratuvar ölçekli Frantz marka kuru manyetik ayırıcı ile gerçekleştirilmiştir. Sallantılı masa testleri Ünal Mühendislik'e ait laboratuvar ölçekli sallantılı masa ile yapılmıştır. Sallantılı masaya yaklaşık 1 kg numune beslenmiş olup su sarfiyatı 10 l/dk olarak gerçekleştirilmiştir.

Sallantılı masa eğimi  $40^\circ$  de çalışılmıştır. Manyetik ayırma deneylerinde manyetik alan şiddeti, sallantılı masa deneylerinde ise genlik değişken parametreler olarak belirlenmiştir.

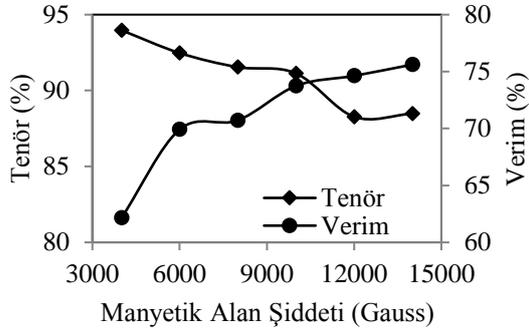
#### 4. DENEYSEL BULGULAR

4000, 6000, 8000, 10000, 12000 ve 14000 Gauss olmak üzere 6 farklı manyetik alan şiddetlerinde gerçekleştirilen manyetik ayırmalar sonucu elde edilen konsantrelerin demir tenörü değerleri ve verimleri Şekil 5'te verilmiştir.

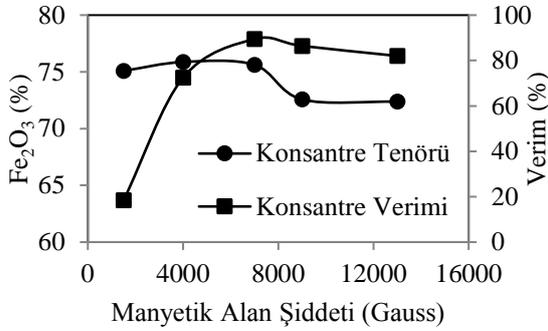
Manyetik alan şiddetinin artmasıyla konsantrenin demir tenörleri azalmaktayken verimlerde artış gerçekleşmiştir. Manyetik alan şiddetinin artmasıyla safsızlıkların (beyaz renkteki kuvars) artışı gözlenmiştir.

Kuru manyetik ayırıcı ile gerçekleştirilen deneylerde %90'a varan verim elde edilmesine rağmen konsantrenin  $Fe_2O_3$  tenörünün %76'nın üzerine çıkmadığı belirlenmiştir (Şekil 6).

Ayrıca sallantılı masa deneylerinde genlik değerinin spekularit cevherinin zenginleştirilmesi üzerine etkileri araştırılmıştır (Şekil 7). Testlerde manyetik ayırma testlerinden farklı olarak ara ürün de elde edilmiştir.



Şekil 5. Yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırma tenör-verim dağılım ilişkisi



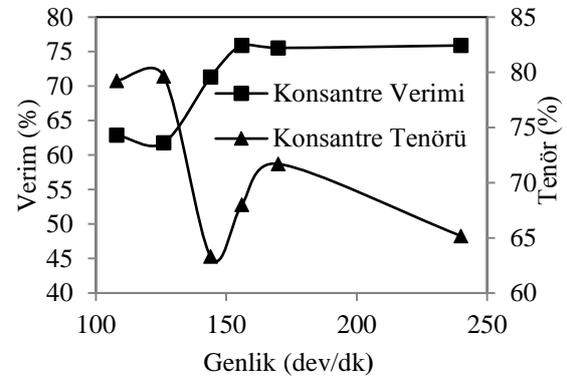
Şekil 6. Kuru manyetik ayırma sonucu elde edilen konsantrelerin tenör ve verimleri

Genlik arttıkça konsantre tenörünün azaldığı fakat miktarının arttığı söylenebilir. Konsantrelerin  $Fe_2O_3$  tenör değerleri yüksek olmasına rağmen ara ürün de oluşması konsantre verimini düşürmüştür. Tesis bazında bir proses düşünüldüğünde ara ürünün de tekrar zenginleştirileceği öngörüldüğünden ara ürün içerikleri dağıtılmış ve

konsantre verimleri Çizelge 5'de verilmiştir.

Çizelge 5. Ara ürün dağıtılmadan önceki ve sonraki verim değerleri (%)

Genlik (dev/dk)	Önce	Sonra
108	62,88	88,36
126	61,79	87,20
144	71,32	87,36
156	75,91	90,55
170	75,54	90,56
240	75,89	89,07



Şekil 7. Sallantılı masa konsantrelerinin verim ve tenör değerleri

6000 Gauss'luk manyetik alan şiddetinde gerçekleştirilen yaş manyetik ayırma testinden elde edilen konsantre, verim (%69,91) ve tenör bakımından endüstriyel ölçekte kullanıma uygun niteliktedir (Şekil 8). Bu malzemenin kimyasal bileşiminde %92,47 oranında  $Fe_2O_3$  bulunmaktadır.



Şekil 8. 6000 Gauss'ta yaş manyetik ayırma ile elde edilen konsantre (koyu renk) ve artık (açık renk)

Yaş manyetik ayırma işleminin kuru manyetik ayırma işleminden daha başarılı olmasının nedeni olarak yaş manyetik ayırma deneylerinde spekülait taneciklerinin yüzeylerinde bulunabilecek safsızlıkların yıkanması suretiyle daha kolay bir ayırım sağlanması gösterilebilir. Kuru manyetik ayırıcıda gang mineralleri ile spekülait taneciklerinin birlikte salkımlaşması daha yüksek tenörde malzeme kazanımını engellemiştir.

Konsantre tenörleri ve kazanma verimleri incelendiğinde spekülait cevherinin zenginleştirilmesi için artandan azalana göre yaş manyetik ayırma, kuru manyetik ayırma ve sallantılı masa (yoğunluk farkına göre) ile ayırmanın tercih edilebileceği saptanmıştır.

## 5. SONUÇLAR

Bu çalışmada spekülait cevherinin fiziksel yöntemlerle zenginleştirilmesi araştırılmıştır. Bu amaçla yaş/kuru manyetik ayırma ve masa ile gravite ayırma deneyleri uygulanmıştır. Yapılan testler ışığında aşağıdaki çıkarımlarda bulunulmuştur:

- Çalışma kapsamında demir-çelik tesislerinde doğrudan şarj malzemesi olarak kullanılabilir Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörüne (>%91,5) ve safsızlık değerlerine sahip spekülait konsantresi yaş manyetik ayırma ile elde edilmiştir.
- Doğal demir oksit pigmenti olarak kullanılabilir tenörlerde spekülait konsantresi (mikali demir oksit için >%85 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) elde edilmiştir.
- Yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırma deneylerinde 4000 Gauss'ta %93,97 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörlü konsantre %62,14 kazanma verimiyle elde edilmiştir. Aynı yöntem ile 6000 Gauss'ta %92,47 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörlü konsantre %69,91 verimle elde edilmiştir. Daha yüksek manyetik alan şiddetlerinde Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörü azalmıştır.
- Kuru manyetik ayırma testlerinde %75,62 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeren konsantre %89,43 verimle kazanılmıştır.

- Sallantılı masa testlerinde % 71,7 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içerikli konsantre %75,54 kazanma verimiyle 170 dev/dk genlik değerinde elde edilmiştir.

## 6. KAYNAKLAR

1. Demir Cevheri ve Teşekkülü, Madencilik, sayı 09/6, 1970.
2. Ata, E., 2005. Divriği-Pınargözü (Sivas), Hekimhan (Malatya) ve Feke (Adana) Demir Cevherleşmelerindeki Hematitlerin Karşılaştırmalı Jeokimyasal İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana
3. Çiçek, T., Çilingir, Y., 2006. Demir Cevherleri ve Zenginleştirme Yöntemleri, (DOI: 10.13140/2.1.5033.5524).
4. T.C. Kalkınma Bakanlığı, Onuncu Kalkınma Planı, Demir-Çelik Çalışma Grubu Raporu, Ankara, 2014.
5. TMMOB, Maden Mühendisleri Odası, Demir Raporu, 2009.
6. TÇÜD, Türkiye Çelik Üreticileri Deneği, Ocak Ayı Bülteni, ([http://www.dcud.org.tr/tr/news.asp?news\\_id=465](http://www.dcud.org.tr/tr/news.asp?news_id=465)), (Erişim tarihi : 10.08.2015), 2014.
7. Potter, M.J., 2004. Iron Oxide Pigments. In: United States Geological Survey. Compiler. Minerals Yearbook: Volume 1-Metals and minerals. United States Department of the Interior.
8. <http://www.boyaturk.com/Haber/Toz-Renkendirici-Demir-Oksitler.html>, (Erişim tarihi: 10.05.2015), 2015.
9. Harben P.W., 1999. The Industrial Minerals Handybook, 3rd Edition. Industrial Minerals Information Ltd, London.
10. Burghardt, O., 1979. Die Qualitätsverbesserung von Eisenerzprodukten Durch Neue Aufbereitungsverfahren, Glückauf Heft 11.
11. Xiuping, G., Wenxin, Q., Zhiqiang, Z., 2004. Experimental Research on Reverse Flotation of an Intergrown Specularite Ore, Metal Mine, - 02.
12. W. Z. Wang, J. R. Zhang, C. G. 2011. Yang, Experimental Research on Beneficiation

- Process for a Specularite Ore, *Advanced Materials Research*, Vol. 304, 387-390, Jul.
13. Wei-guo, C., 2011. Research on Mineral Processing Technique of a Specularite Ore from Xinjiang, *Mining and Metallurgical Engineering*.
  14. Naude, N., Lorenzen, L., Kolesnikov, A.V., Aldrich, C., Auret, L., 2013. Observations on the Separation of Iron Ore in a Prototype Batch Jig, *International Journal of Mineral Processing*, 120, 43-47.
  15. Ezhov, A.M., Shvaljov, Y.B., 2015. Dry Magnetic Separation of Iron Ore of the Bakchar Deposit, *Procedia Chemistry*, 15, 160-166,
  16. Oshitani, J., Kajimoto, S., Yoshida, M., Franks, G.V., Kubo, Y., Nakatsukasa, S., 2013. Continuous Float-Sink Density Separation of Lump Iron Ore Using a Dry Sand Fluidized Bed Dense Medium. *Advanced Powder Technology*, 24, 468-472,
  17. Kumar, D.R., Srinivas, R.D., Ram, R.P.S., 2013. Magnetic Separation Studies for a Low Grade Siliceous Iron Ore Sample, *International Journal of Mining Science and Technology*, 23, 1-5.

## Süt Endüstrisi Arıtma Çamuru Pirolizinde Sıcaklığın ve Parçacık Boyutunun Sentez Gaz Oluşumuna Etkisi

H. Kurtuluş ÖZCAN<sup>\*1</sup>, Atakan ÖNGEN<sup>1</sup>, Emine ELMASLAR ÖZBAŞ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul

Geliş tarihi: 02.02.2016

Kabul tarihi: 14.03.2016

### Özet

Süt endüstrisi atıksu arıtma çamurları genel itibariyle yüksek miktarda organik içeriğe sahiptir. İhtiva ettikleri kalorifik değer bu çamurların alternatif bir enerji kaynağı olarak kullanılabilmelerine olanak sağlamaktadır. Günümüzde faydalanılabilir enerji kaynaklarının kısıtlı olması ve artan enerji ihtiyacını karşılamakta yetersiz kalmasından dolayı alternatif enerji kaynakları için yeni teknolojiler geliştirilmektedir. Piroliz, biyokütleden enerjiyle birlikte katı (biyo çar) sıvı (biyo yağ) gaz (sentez gaz) ürünlerin üretildiği en önemli termokimyasal proseslerden birisidir. Bu çalışmada, süt endüstrisi arıtma çamuru pirolizinde farklı hammadde boyutunun (<0,5 cm, 1-5 cm, 5-10 cm) ve sıcaklığın (500°C, 750°C) sentez gaz oluşumuna etkisi incelenmiştir. Çalışmada, en yüksek kalorifik değere sahip sente gaz, 1-5 cm hammadde boyutu ve 750°C sıcaklıkta, 4394 kcal/m<sup>3</sup> ile elde edilmiştir. Elde edilen sentez gaz miktarları ve ısı değerleri, süt endüstrisi atıksu arıtma çamurlarının alternatif bir enerji kaynağı olarak kullanılabileceği öngörüsünü desteklemiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Piroliz, Arıtma çamuru, Atıktan enerji, Sentez gaz

### Effect of Temperature and Particle Size on Dairy Industry Treatment Sludge Pyrolysis

#### Abstract

Dairy industry wastewater treatment sludge consists of high organic content. The calorific value of wastewater treatment sludge ensures the use of these wastes as an alternative energy resource. New technologies and alternative energy resources have been researched due to ever-increasing need for

\* Yazışmaların yapılacağı yazar: H. Kurtuluş ÖZCAN, İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul. hkozcan@istanbul.edu.tr

energy and limited available energy resources in the world. Pyrolysis is one of the thermochemical technologies for converting biomass into energy and chemical products consisting of liquid bio-oil, solid biochar, and syngas. This study investigated the change in synthesis gas compounds obtained from the pyrolysis of dairy industry wastewater sludge according to the temperature (500°C, 750°C) different particle size (<0,5 cm, 1-5 cm, 5-10 cm). The highest calorific value of synthesis gas obtained from the tests was calculated as 4394 kcal/m<sup>3</sup> with 1-5 cm particle size and at 750°C. Synthesis gas concentration and calorific values obtained from dairy industry waste water sludge supported that this waste could be used as an alternative energy resource.

**Keywords:** Pyrolysis, Treatment sludge, Waste-to-energy, Syngas

## 1. GİRİŞ

Piroliz, bir diğer adıyla karbonizasyon, oksijen yokluğunda organik materyallerin ısı ile kimyasal bozunması olarak tanımlanmaktadır. Bilinen en yaygın piroliz prosesi odun kömürü üretimidir. Pratikte, tamamen oksijensiz ortam sağlayabilmek mümkün olamayacağından pirolitik sistemler temelde stokiometrik olarak belirlenen oksijen miktarından daha az miktarda oksijenle yürütülmektedir. Bu bağlamda, yakma ve piroliz arasında 2 temel farklılık bulunmaktadır. Birincisi, yanma reaksiyonları ısıya açığa çıkaran (ekzotermik) süreçlerken, piroliz ısıya ihtiyaç duyan (endotermik) süreçtir. İkinci farklılık ise, yanma ürünleri olarak CO<sub>2</sub>, su ve kül elde edilirken piroliz sonucunda katran, yağ, zift ve yakıt gaz eldesi mümkündür [1,2].

Piroliz sonucu elde edilen katı ürünler çar, kül ve biyoyakıttır. Char genellikle piroliz katı ürünlerinin en önemlisidir. Piroliz sonucu elde edilen ürünlerin kimyasal kompozisyonunu piroliz şartları belirlemektedir. Genellikle pirolizde sıcaklığın artmasıyla katı ürün oluşumu azalmaktadır. Katı ürünler ısı ve elektrik üretiminde, gazlaştırma işlemleri için hammadde olarak kullanılabilir. Ayrıca, piroliz işlemi ile üretilen katı ürünler aktifleştirilip aktif karbona dönüştürülmektedir [3]. Piroliz sonrası elde edilen bu yan ürünler yanma işlemi için yakıt olarak kullanılabilirler. Ayrıca, piroliz ile elde edilen yakıt ürünlerinde, yanma ürünlerinde gözlenen sülfür gibi kirleticilerin ihtivası daha düşüktür [4]. Piroliz yararlı enerji (yakıt) ve kimyasal maddelerin üretimi için bağımsız bir

işlem olarak da kullanılabilir. Piroliz, kömür, biyokütle gibi hammaddelere uygulanabileceği gibi, farklı kaynaklardan gelen ve çok değişken miktarlarda ve özelliklerdeki katı atıklar için de uygulanabilecek bir enerji dönüşüm sürecidir [5-7].

Piroliz yöntemleri; ısıtma hızı, biyokütlenin alıkonma süresi ve sıcaklık gibi işlem koşullara bağlı olarak ayrılır. Piroliz işlemi genel olarak üç farklı şekilde yürütülür. Bunlar; yavaş piroliz (geleneksel), flaş piroliz ve hızlı pirolizdir. Her piroliz işlemi sonucunda katı, sıvı ve gaz ürün çıkar ama çıkan ürün oranı olarak bir birinden farklılık göstermektedir [8,9]. Piroliz sıcaklığı başta olmak üzere ısıtma hızı, basınç, parçacık boyutu, piroliz ortamı, katalizör, reaktör geometrisi ve reaksiyon süresi piroliz verimlerini etkileyen parametrelerdir [10]. Sıcaklık piroliz işlemi hem ürün verimi hem de ürün bileşimi açısından etkileyen en önemli faktördür. Sıcaklık ile elde edilen ürün arasında yakın bir ilişki vardır. İşlemin sıcaklık düzeyi arttıkça sıvı ve gaz ürün daha fazla elde edilirken, katı ürün oranında azalma görülür. Piroliz işlemi, sıcaklık değerlerine göre üç safha olarak değerlendirilebilir; birinci safha 100-300°C sıcaklık uygulandığı safhadır ve katı ürünler daha fazla elde edilir. İkinci safha ise 500°C'ye kadar sıcaklık uygulandığı aşamadır bu seviyede elde edilen sıvı ürünlerin miktarı artmaktadır. Üçüncü safha ise 700°C'den yüksek piroliz sıcaklığına ulaşılır ve bu safhadan sonra gaz şeklinde çoğunlukla H<sub>2</sub>, CO ve CH<sub>4</sub> elde edilir [11].

Arıtma çamurları atıksuların yapısında bulunan, kendiliğinden çökebilen maddelerin atık sudan



ayrılması veya çeşitli arıtma prosesleri sonucu ortaya çıkan çökelen/yüzdürülen katı maddeleri ifade etmektedir. Arıtma çamurları kaynaklandığı atıksulara bağlı olarak çok farklı fizikokimyasal özelliklerde olabilirler [12]. Arıtma çamurlarının yönetimi ve değerlendirilebilirliği bir çok çalışmacının ilgisini çekmektedir. Evsel atıksu çamurları ya da süt endüstrisi gibi organik madde içeriği yüksek endüstrilerden kaynaklanan arıtma çamurları klasik berteraf yöntemlerine nazaran farklı şekillerde değerlendirilebilmektedir. Günümüzde entegre süt ve süt ürünleri tesislerinin sayısı artmış ve bunun sonucu olarak da bu sanayiden kaynaklanan atıksu miktarı artmıştır. Süt endüstrisi atıksuları yüksek oranda biyolojik parçalanabilir özelliğe sahiptirler ve fiziksel-kimyasal, biyolojik metotlar ile arıtılabilmektedir. Aerobik prosesler, özellikle de aktif çamur tesisleri, süt endüstrisi atıksularının arıtımında sıkça kullanılmaktadır [13]. Bu nedenle bu tesislere ait arıtma çamurları yüksek oranda C ve H içeriğine sahip olmaktadır. Bu özelliklerinden dolayı bu materyallerin termal yollarla berterafı avantajlı olmaktadır [14]. Modern atık yönetimi prensiplerinde atıkların geri kazanımı ve enerji eldesi öncelikli olmaktadır. Bu bağlamda süt endüstrisi atıksu arıtma çamurları gibi yüksek organik madde içeriğine sahip atıksulardan enerji eldesi modern atık yönetim sisteminin bir parçasıdır.

Bu çalışmada, süt endüstrisi atıksu arıtma tesisi çamurlarının sabit yataklı reaktörde piroliz yöntemiyle değerlendirilebilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla farklı sıcaklık ve numune boyutları deneyerek bu parametrelerin oluşan sentez gaz kompozisyonuna etkisi incelenmiştir.

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Literatür incelendiğinde, piroliz ve gazlaştırma gibi termokimyasal yöntemlerin atık yönetiminde sıkça kullanıldığı görülmektedir. Bu işlemler daha çok kömürün gazlaştırılması için kullanılsa da, farklı atık türlerinin pirolizine ve gazlaştırılmasına dair bir çok çalışma bulunmaktadır [15-17]. Arıtma çamurları içerdiği yüksek oranda karbonlu bileşikler dolayısıyla piroliz işlemine uygun

atıklardır. Bu nedenle bir çok araştırmacı hem evsel nitelikli arıtma çamurlarının hem de çeşitli endüstrilerden kaynaklanan çamurların termokimyasal berterafını çalışmışlardır. Han ve arkadaşları [18] çalışmalarında evsel nitelikli arıtma çamurlarının pirolizinde sentez gaz oluşumunu incelemişlerdir. Farklı sıcaklıklar için (500°C, 700°C ve 900°C), sentez gaz kompozisyonunda H<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub> ve CO<sub>2</sub> bileşenlerinin hacimsel yüzdelere ölçmüşlerdir. Ayrıca pirolizden elde edilen sentez gazın kalorifik değerini de belirlemişlerdir. Çalışmada H<sub>2</sub> ve CH<sub>4</sub> açısından zengin sentez gazın 700°C üzerinde elde edildiğini bulmuşlardır.

Liu ve arkadaşları [19] endüstriyel kaynaklı arıtma çamurlarının pirolizini incelemişlerdir. Çalışmada kimya ve kereste endüstrisinden temin edilen arıtma çamurları kullanılmıştır. Bu çalışmada elde edilen bulgulara göre piroliz prosesinde materyallerin temel bozunma aralığı 200°C ile 600°C arasında olmaktadır. Ayrıca piroliz prosesi ile yaklaşık olarak %40 oranında hacimsel atık azaltımı olduğu belirtilmiştir.

Yuan ve arkadaşları [20] çalışmalarında, evsel nitelikli arıtma çamurlarından elde edilen biochar maddesinin karakterizasyonunu yapmış ve bu maddenin tarımsal uygulamalardaki kullanılabilirliğini incelemişlerdir. Çalışmada 300°C ile 700°C arasında değişen sıcaklıklarda piroliz işlemi uygulanmıştır. Piroliz reaksiyonlarında oksijensiz ortamı sağlamak adına 1 L/dk akış hızında azot gazı kullanmışlar ve biochar oluşumunun artan sıcaklığa bağlı olarak azaldığını ortaya koymuşlardır.

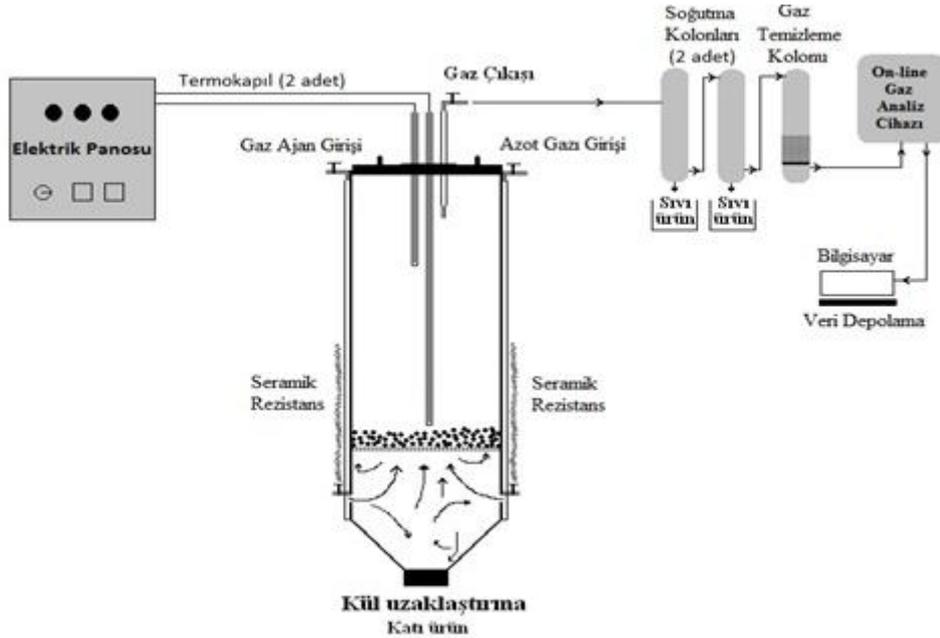
## 3. MATERYAL VE METOT

### 3.1. Deneysel Yöntem

Bu çalışmada süt endüstrisine ait susuzlaştırılmış atıksu arıtma çamuru numunesi kullanılmıştır. Çamur numuneleri <0,5 cm; 1-5 cm; 5-10 cm şeklinde 3 boyutta ayrılmış, ve her birine 500 ve 750°C'de piroliz işlemi uygulanmıştır. Piroliz deneyleri 2 L hacimli sabit yataklı çelik reaktörde gerçekleştirilmiştir. Reaktör, yardımcı olarak

kullanılan gazların (kuru hava, azot vb.) girişine imkan verecek iki adet gaz girişi hattına ve üretilen gazın çıkmasına olanak sağlayan bir adet çıkış hattına sahiptir. Reaktör ağzından gaz kaçağı

olmasını engellemek için saf grafit veya grafit-kurşun sarmal contalar kullanılmıştır (Şekil 1). Piroliz deneylerinde sürükleyici gaz olarak  $N_2$  kullanılmıştır.



Şekil 1. Piroliz reaktörü ve analiz sisteminin şematik gösterimi

### 3.2. Analitik Yöntem

Piroliz süresince oluşan gazın içerisindeki  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $H_2$ ,  $CH_4$ , ve  $O_2$  miktarları hacimsel yüzde olarak ölçülmüştür. Sentetik gaz ölçümleri için ABB marka AO2020 model sürekli gaz analizörü kullanılmıştır. Bu analizler sonucunda elde edilen ölçüm değerleri gaz analiz cihazından veri aktarım kablosu aracılığıyla bilgisayara aktarılmış ve kaydedilmiştir. Elementel analiz deneylerinde, Truspec CHN-S elementel analiz cihazı kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılan arıtma çamuru örneklerinin fiziksel ve kimyasal bazı özelliklerini belirlemek için, nem içeriği, kül içeriği, yanma kaybı ve katı madde içeriği deneyleri standard metotlara göre yürütülmüştür [21, 22].

Çalışmalar sonucunda elde edilen sentez gazların ısı değerlerinin hesaplanması için gaz kompozisyonu içerisinde bulunan  $CO$ ,  $H_2$  ve

$CH_4$ 'e ait üst ısı değerlerinin bilinmesi gerekmektedir. Isıl değer hesaplamaları Çizelge 1'de verilen ısı değerlerinin yardımıyla matematiksel olarak hesaplanmıştır [23].

Çizelge 1. Bazı gazların üst ısı değeri

Gazlar	Yoğunluk ( $kg/m^3$ )	$MJ/m^3$	$kcal/m^3$
$CO$	1,25	12,64	3020
$CH_4$	0,71	39,82	9520
$H_2$	0,08	12,77	3050

## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

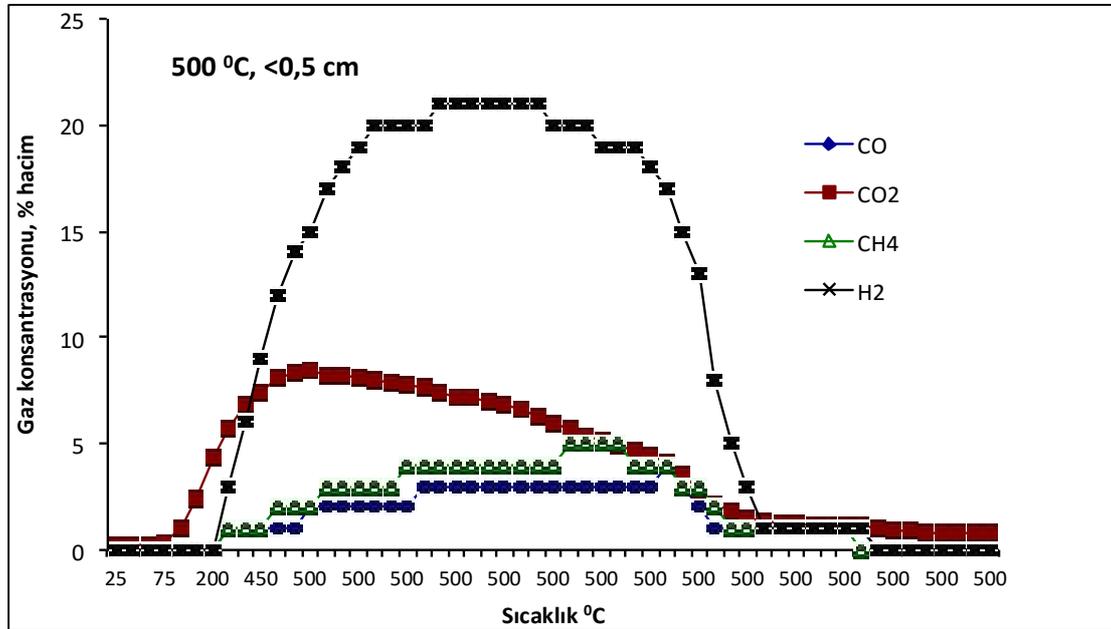
Çalışmanın birinci kısmında, deneylerde kullanılacak süt endüstrisi atıksu arıtma çamurunun bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla elementel analiz, nem oranı, kül miktarı, yanma kaybı, ve

kati madde miktarı belirlenmiştir. Bu deneylerden elde edilen sonuçlar Çizelge 2’de sunulmuştur. Birçok biyokütle kaynağı piroliz ve gazlaştırma gibi termokimyasal proseslere uygun olmasına rağmen, ideal olarak hammaddenin nem içeriği %5-35 aralığında olması istenir. Çizelge 2 incelendiğinde; arıtma çamuru örneklerinin nem içeriğinin %19,85 olduğu görülmektedir. Ayrıca %79,5 kül içeriğine sahip olması örneklerin yüksek miktarda organik içeriğe sahip olduğunun bir göstergesidir. Kalorifik değeri yüksek sentez gaz, daha çok karbon ve hidrojen içeriğe sahip yakıtlardan elde edilmektedir. Bu nedenle, piroliz denemelerine başlamadan önce ham arıtma

çamurunu numunesinin elementel analizi yapılmıştır. Analiz sonucunda numunenin %47,87 karbon ve %8,19 hidrojen içerdiği tespit edilmiştir (Çizelge 2). Bu değerler süt endüstrisi arıtma çamuru örneklerinin piroliz yöntemi için uygun bir hammadde olduğunun bir diğer göstergesidir. Parçacık boyutunun piroliz işlemine etkisini belirleyebilmek adına, üç farklı boyutta ve iki farklı sıcaklıkta deneyler yürütülmüştür. 500°C sıcaklıkta, <0,5 cm, 1-5 cm ve 5-10 cm boyutlu örnekler için elde edilen sentez gaz kompozisyonun zamansal değişimleri Şekil 2, Şekil 3 ve Şekil 4’de sunulmuştur.

**Çizelge 2.** Ham arıtma çamurunun fiziko-kimyasal özellikleri

Kimyasal Analiz, % ağırlık				
Nem	Kül	Yanma Kaybı	Kati Madde	
19,85	79,5	20,4	95,3	
Elementel Analiz, %				
C		H	N	S
47,87		8,19	3,99	-

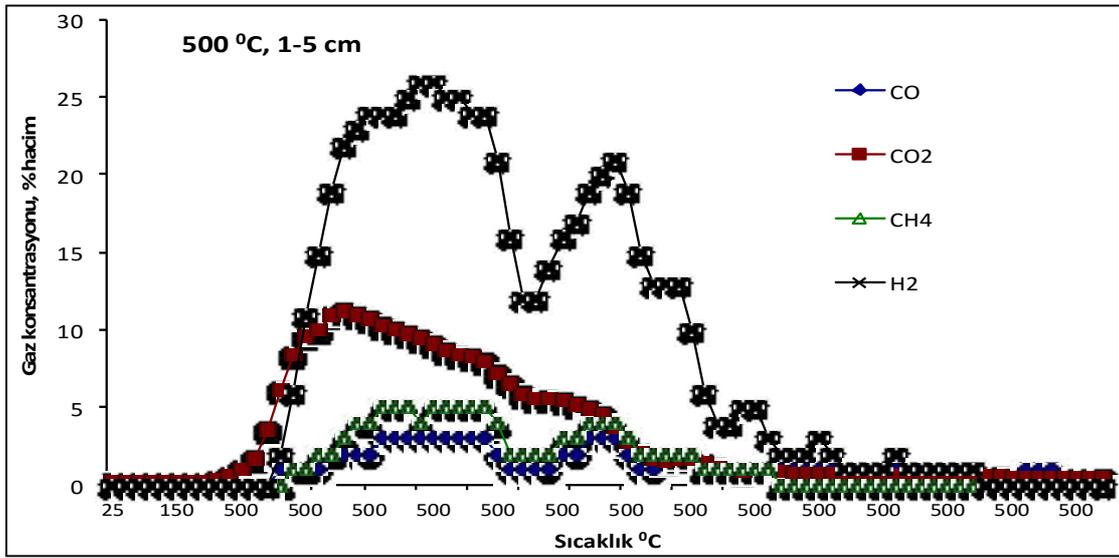


**Şekil 2.** 500°C piroliz işlemine ait sentez gaz analiz sonuçları (Tanecik boyutu <0,5 cm)

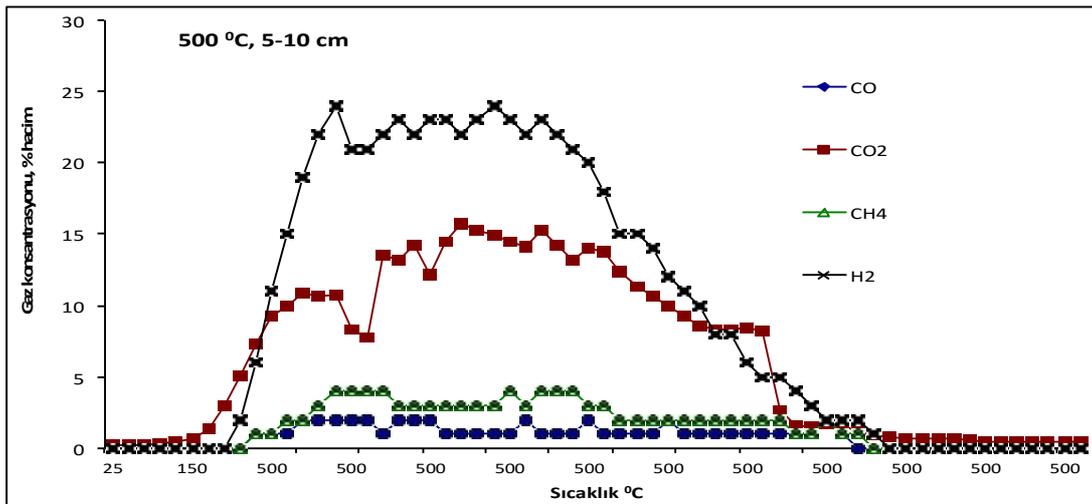
Şekil 2 ve Şekil 3 incelendiğinde; arıtma çamuru örneklerinin termal bozunumunda <0,5 ve 1-5 cm örnekleri için benzer gaz kompozisyonunun olduğu görülmektedir. Her iki parçacık boyutu için 250-300°C civarında sentez gaz oluşumu gözlemlenmeye başlamış ve 500°C sıcaklığa ulaşıldığında sentez gaz bileşenleri maksimum seviyelerine ulaşmıştır. <0,5 boyutunda, H<sub>2</sub> yüzdesi, 450-500°C sıcaklıkları arasında

%19-21 ile maksimum değerine ulaşırken, aynı sıcaklık aralığında, ısıl değer açısından önem taşıyan CH<sub>4</sub> ve CO gazlarının yüzdeleri sırasıyla %5 ve %3 olarak tespit edilmiştir. 1-5 cm örnekleri için elde edilen H<sub>2</sub> değerlerinin en yüksek seviyesi %26 olarak ölçülmüştür (Şekil 3).

CH<sub>4</sub> ve CO ise <0,5 örnekleri ile benzer şekilde sırasıyla %5 ve %3 olarak ölçülmüştür.



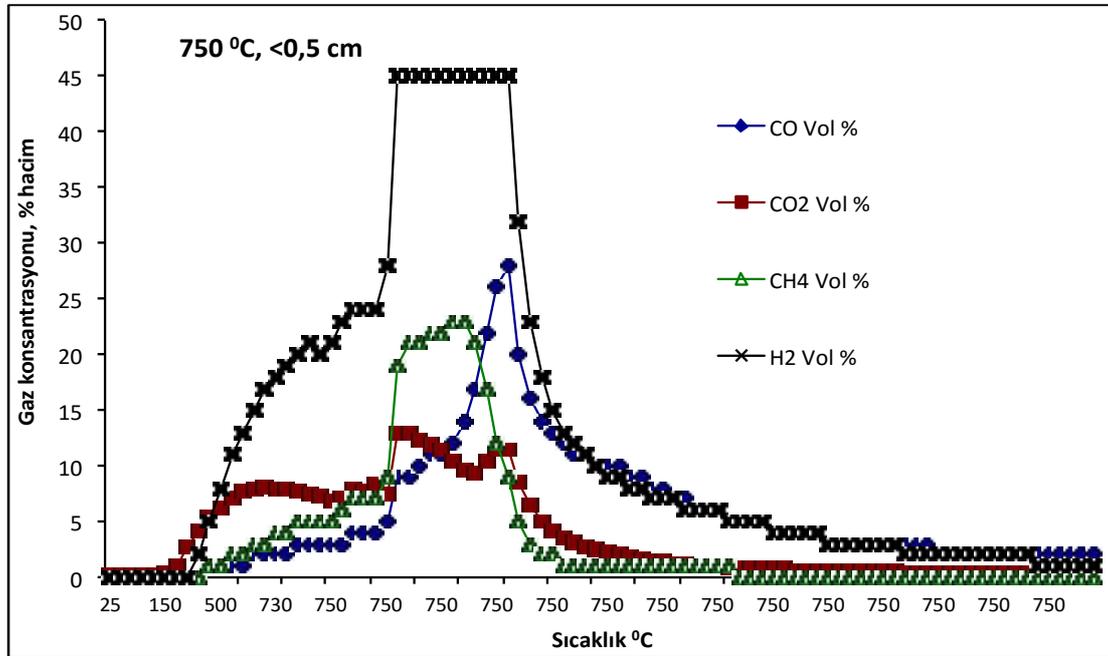
Şekil 3. 500°C piroliz işlemine ait sentez gaz analiz sonuçları (tanecik boyutu 1-5 cm)



Şekil 4. 500°C piroliz işlemine ait sentez gaz analiz sonuçları (tanecik boyutu 5-10 cm)

5-10 cm boyutlu örneklerin pirolizinden elde edilen sentez gaz bileşimi incelendiğinde, diğer iki parçacık boyutundan farklı olarak H<sub>2</sub> değerlerinin bir miktar arttığı görülmektedir (Şekil 4). H<sub>2</sub> değerinin en yüksek seviyesi bu deneyde %24 olarak ölçülmüştür. CH<sub>4</sub>, bu denemede %4 olarak tespit edilmiştir. CO ise, %2 olarak ölçülmüştür. Bu verilerin ışığında, 500°C de yapılan piroliz deneylerinde parçacık boyutunun değişiminin sentez gaz kompozisyonunu etkilediği anlaşılmaktadır. Sentez gazın CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub> ve CO bileşenlerinin yüksek olması doğal olarak ısı değeri arttırmaktadır. Bu doğrultuda, 500°C pirolizlerde elde edilen sentez gazın en yüksek ısı değeri, 1359 kcal/m<sup>3</sup> ile 1-5 cm parçacık boyutunda hesaplanmıştır. Diğer ısı değerleri ise 5-10 cm parçacık boyutu için 1173,2 kcal/m<sup>3</sup>, <0,5 cm parçacık boyutu için 1176 kcal/m<sup>3</sup> olarak bulunmuştur. En yüksek ısı değeri, 450-500°C sıcaklık aralığında elde edilmiştir. Sıcaklığın piroliz ürünlerine olan etkisini incelemek amacıyla aynı parçacık boyutları için 750°C’de deneyler yapılmıştır. Bu deneylere ait sentez gazların sıcaklığa bağlı değişimi Şekil 5, Şekil 6 ve Şekil 7’de

sunulmuştur. 500°C’de yapılan pirolizlere benzer olarak, bu deneylerde de 250°C civarında numunenin bozunmaya başladığı belirlenmiş, özellikle 500°C ve üzerindeki sıcaklıklarda sentez gaz miktarlarının giderek arttığı ve 700-750°C aralığında maksimum mertebelere ulaştığı gözlemlenmiştir. Şekil 5 incelendiğinde <0,5 cm parçacık boyutu için H<sub>2</sub> gazının oluşumunun 300°C den sonra hızla arttığı ve 750°C’de %45 ile maksimum seviyesine ulaştığı görülmektedir. CH<sub>4</sub> ve CO gazları da benzer bir artışla 750°C’de en yüksek değerlerine ulaşmışlardır. CH<sub>4</sub> ve CO gazlarının bu deneylerde ölçülen en yüksek değerleri sırasıyla %23 ve %28’dir. Şekil 6 ve Şekil 7’de sunulan 1-5 cm ve 5-10 cm parçacık boyutlarından elde edilen sentez gaz bileşimi de <0,5 cm parçacık boyutundan elde edilen gaz bileşimiyle benzerlik göstermektedir. H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> ve CO kompozisyonları incelendiğinde bütün parçacık boyutları için H<sub>2</sub>’nin en yüksek değeri %45 olarak hesaplanmıştır. 1-5 cm parçacık boyutu için, CH<sub>4</sub> ve CO gazlarının maksimum yüzdeleri sırasıyla %27 ve %25, 5-10 cm için %23 ve %37 olarak tespit edilmiştir.

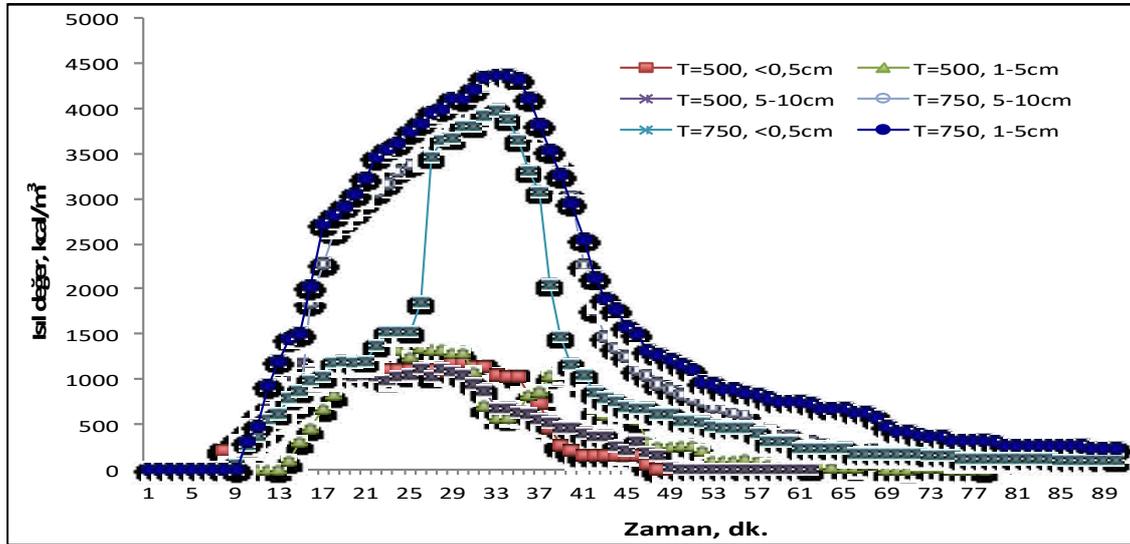


Şekil 5. 750°C piroliz işlemine ait sentez gaz analiz sonuçları (Tanecik boyutu <5 cm)



taneciklerle 5-10 cm boyutundaki taneciklerde ısı değerlerinin birbirine yakın seviyelerde olduğu hesaplanmıştır. 500°C’de yürütülen piroliz deneylerinde parçacık boyutunun artmasının deney sonrasında elde edilen katı kalıntı miktarını arttırdığı ve sentez gaz verimini düşürdüğü görülmektedir (Çizelge 3). Söz konusu sıcaklıklarda yürütülen piroliz deneylerinde en az katı kalıntı ve en yüksek sentez gaz verimine 1-5 cm parçacık boyutunda ulaşılmıştır. 750°C’de

yürütülen deneyler incelendiğinde, parçacık boyutunun elde edilen sentez gaz ve diğer ürünleri (sıvı, katı) çok fazla etkilemediği görülmektedir (Çizelge 3). 750°C sıcaklık için 500°C’ye nazaran daha az katı ve daha fazla gaz ürün elde edilmiştir. Bu durum artan sıcaklıkla birlikte organik maddenin daha yüksek oranda sistemden uzaklaştığının ve sıcaklığın parçacık boyutuna nazaran sentez gaz ve diğer ürünlerin oluşumuna daha etkili olduğunun bir göstergesidir.



Şekil 8. Piroliz süresine bağlı olarak ısı değerlerinin değişimi

Çizelge 3. Piroliz deneyleri sonucunda elde edilen sıvı ve katı ürün miktarı

Piroliz Şartları	Hammadde (g)	Sıvı Ürün (g)	Katı Ürün (g)	Sentez Gaz (g)
<0,5 cm, 500°C	100	25	30	45
1-5 cm, 500°C	100	16	35	49
5-10 cm, 500°C	100	26	34	40
<0,5 cm, 750°C	100	22	26	52
1-5 cm, 750°C	100	20	27	53
5-10 cm, 750°C	100	22	25	53

#### 4. SONUÇ

Süt endüstrisi arıtma çamuru pirolizinde sıcaklık ve parçacık boyutu için optimum işletim şartlarının belirlenmesi ve proses verimi üzerinde yapılan bu

çalışmaya göre, arıtma çamuru kekinde tanecik boyutu arttıkça ısı değerinde düşüş görülmektedir. Tanecik boyutu ve sıcaklığın elde edilen sentez gaz bileşimine etkisi incelendiğinde, sıcaklığın etkisinin daha belirgin olduğu anlaşılmaktadır. Her

ne kadar parçacık boyutu sentez gaz oluşumunu etkilese de, yeterli sıcaklığı ulaşıldığında, parçacık boyutunun elde edilen gaz kompozisyonuna olan etkisinin sıcaklığa nazaran daha az olduğu görülmüştür (Şekil 8). Yürütülen iki farklı sıcaklıkta elde edilen sentez gazlar için elde edilen en yüksek ısı değerleri, 500°C için 1359 kcal/m<sup>3</sup>, 750°C için 4394 kcal/m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçla piroliz sıcaklığının ısı değeri üzerine olan etkisi net olarak gözlenmiştir.

Bu çalışmayla süt endüstrisi atıksu arıtma çamurunun önemli ölçüde ısı değeri sahip olduğu ve termal proseslere uygun bir atık olduğu ortaya konulmuştur. Enerjinin geri kazanımı ve atıklardan enerji eldesi her geçen gün önemini arttırmaktadır. Özellikle arıtma çamurlarının yönetimi konusunda termal yöntemlerin uygulanmasıyla, özellikle organik içeriği yüksek olan arıtma çamurları çevresel bir sorun olmaktan öte alternatif enerji kaynağı olarak kullanılabilir. Böylelikle çevresel bir sorunun çözümüyle birlikte ekonomik kazanç da sağlanmış olacaktır.

## 5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi Tarafından Desteklenmiştir (Proje numarası: 26108).

## 6. KAYNAKLAR

1. Ridout A., Carrier M., Collard F.X., Görgens J., 2016. Energy Conversion Assessment of Vacuum, Slow and Fast Pyrolysis Processes for Low And High Ash Paper Waste Sludge, *Energy Conversion and Management*, 111: 103–114
2. Toraman Y., Topal H., 2003. Katı Atık ve Arıtma Çamurlarının Değerlendirilmesinde Alternatif Termal Teknolojiler ve Uygulamaları Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 18(1):19-33
3. Özcan H.K., Öngen A., Elmaslar Özbaş E., Sivri N., Pangaliyev Y., 2015. Atık Lastiklerden Termokimyasal Yöntemlerle Katı ve Sıvı Ürün Eldesi, 7. Ulusal Katı Atık Yönetimi Kongresi, Gaziantep, Türkiye, 14-16 Ekim 2015.
4. Öngen A., 2011. Endüstriyel Atıklardan Termokimyasal İşlemlerle Sentez Gaz (Syngas) Üretimi, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
5. Ganesapillai M., Manara, P., Zabaniotou A., 2016. Effect of Microwave Pretreatment on Pyrolysis of Crude Glycerol-Olive Kernel Alternative Fuels, *Energy Conversion and Management* 110: 287–295.
6. Chen W., Shi S., Zhang J., Chen M., Zhou, X., 2016. Co-pyrolysis of Waste Newspaper with High-Density Polyethylene: Synergistic Effect and Oil Characterization, *Energy Conversion and Management*, 112: 41–48.
7. Haydarya J., Susa D., Geling V., Cacho F. 2016. Pyrolysis of Automobile Shredder Residue in a Laboratory Scale Screw Type Reactor, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 4: 965–972
8. Pangaliyev Y., 2014. Ömrünü Tamamlamış Lastiklerden Piroliz/Gazlaştırma ile Değerlendirilebilir Ürün Eldesi, Master Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
9. Chhiti Y., Kemiha M., 2013. Thermal Conversion of Biomass, Pyrolysis and Gasification: A Review, *The International Journal of Engineering And Science*, 2 (3), 75-85.
10. Tripathi M., Sahu J.N., Ganesan P., 2016. Effect of Process Parameters on Production Of Biochar From Biomass Waste Through Pyrolysis: A Review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55: 467-481.
11. Basu, P., 2010. Biomass Gasification and Pyrolysis, Elsevier, ISBN: 978-0-12-374988-8
12. Aşık B.B., Katkat A.H., 2004. Gıda Sanayi Arıtma Tesisi Atığının (Arıtma Çamuru) Tarımsal Alanlarda Kullanım Olanakları Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 18(2): 59-71.
13. Gürtekin E., 2009. Ardışık Kesikli Reaktörde Süt Endüstrisi Atıksularının Biyolojik Arıtımı, Selçuk Üniversitesi Müh-Mim. Fakültesi Dergisi, 24(1): 1-6.
14. Han R., Zhao C., Liu J., Chen A., Wang H., 2015. Thermal Characterization and Syngas Production from the Pyrolysis of Biophysical



- Dried and Traditional Thermal Dried Sewage Sludge, *Bioresource Technology*, 198: 276–282.
15. Omoriyekomwan J.E., Tahmasebi A., Yu J., 2016. Production of Phenol-rich Bio-oil During Catalytic Fixed-bed and Microwave Pyrolysis of Palm Kernel Shell, *Bioresource Technology*, 207: 188–196
  16. Chen W., Shi S., Zhang J., Chen M., Zhou X., 2016. Co-pyrolysis of Waste Newspaper with High-Density Polyethylene: Synergistic Effect and Oil Characterization, *Energy Conversion and Management* 112: 41–48.
  17. Bartocci P., D'Amico M., Moriconi N., Bidini G., Fantozzi F., 2015. Pyrolysis of Olive Stone for Energy Purposes, *Energy Procedia*, 82: 374-380.
  18. Han R., Zhao C., Liu C., Chen A., Wang H., 2015. Thermal Characterization and Syngas Production from the Pyrolysis of Biophysical Dried and Traditional Thermal Dried Sewage Sludge, *Bioresource Technology*, 198: 276-282.
  19. Liu G., Song H., Wu J., 2015. Thermogravimetric Study and Kinetic Analysis of Dried Industrial Sludge Pyrolysis, *Waste Management*, 41: 128–133.
  20. Yuan H., Lu T., Huang H., Zhao D., Kobayashi N., Chen Y., 2015. Influence of Pyrolysis Temperature on Physical and Chemical Properties of Biochar made from Sewage Sludge, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 112: 284–289.
  21. SM 2540 E, 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 20<sup>th</sup> Edition, Franson.M.H., American Public Health Association, ISBN:0-87553-235-7.
  22. SM 2540 B, 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 20<sup>th</sup> Edition, Franson.M.H., American Public Health Association, ISBN:0-87553-235-7.
  23. Waldheim L, Nilsson T., 2001. Heating Value of Gases From Biomass Gasification. Report prepared for: IEA Bioenergy Agreement, Task 20 - Thermal Gasification of Biomass, Report no: TPS-01/16, TPS Termiska Processer AB.



## Kalker Taş Duvarlarda Sıcaklık ve Nem Performansının İncelenmesi

**Esmâ MIHLAYANLAR<sup>\*1</sup>, Filiz UMAROĞULLARI<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Trakya Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü, Edirne

Geliş tarihi: 01.02.2016

Kabul tarihi: 27.05.2016

### Özet

Geleneksel yapı malzemeleri arasında yer alan taşın harç, metal kenetler ya da taşların birbirine geçirilmesi ile oluşturulan yığma taş duvarlar; basınç dayanımı yüksek taşıyıcı yapı elemanlarıdır. Çalışmada geleneksel konutlarda kagir yığma taş duvar kesiti üzerinde, ılıman nemli iklim bölgesi özellikleri taşıyan Edirne meteorolojik verileri kullanılarak, WUFI@2D-3 simülasyon programı ile periyodik rejim şartlarında yıllık sıcaklık, su ve nem değerleri hesaplanmıştır. Taş duvarın higrotermal performansında kesitin toplam sıcaklık değeri, Aralık ayında 6,4°C ye kadar düştüğü görülmekte, Temmuz ve Ağustos aylarında 28°C'ye kadar çıkmaktadır. Nem değerleri toplam kesitte Ocak, Şubat, Mart aylarında %79'a kadar çıkmakta en düşük bağıl nem değeri ise %68,5 ile Ağustos ayında görülmektedir. İncelenen taş duvar kesitinde nemlenme durumuna bakıldığında ise yoğuşma açısından risk olmadığı görülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Bina kabuğu, Kalker taş duvar, Sıcaklık ve nem performansı, Wufi

### Investigation Temperature And Humidity Performance at the Limestone Walls

#### Abstract

Masonry stone walls which was created to form stone, as a traditional building material, with mortar, metal clip, or lock the stone each other, are building component with high compressive strength. In study, yearly temperature, water and moisture values are calculated in section of masonry stone wall in traditional buildings according to soft humid climate of Edirne weather conditions with the help of WUFI@2D-3simulation program. Total temperature value of section on stone wall basing on hygrothermal performance of the wall shows that the temperature decreases to 6,4°C in Dec., while it is increasing to 28°C in July and Aug. Moisture values in total section increases to 79% in Jan., Feb. and Mar. but lowest relative humidity value is 68,5% in Aug. In moisture condition of the investigated stone wall section, there is not any risk in terms of condensation.

**Keywords:** Building envelope, Limestone walls, Temperature and humidity performance, Wufi

---

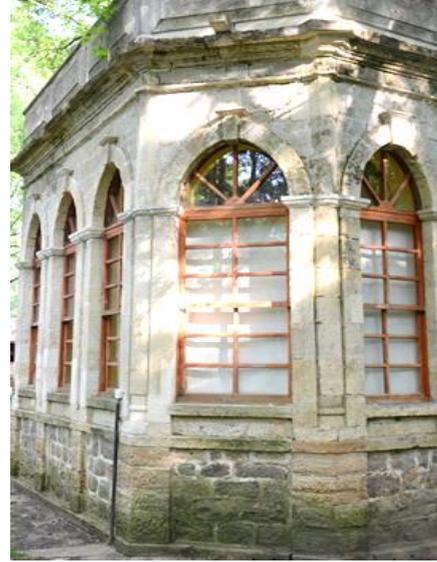
\*Yazışmaların yapılacağı yazar: Esmâ MIHLAYANLAR, Trakya Ün. Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Edirne emihlayanlar@trakya.edu.tr,

## 1. GİRİŞ

Bina kabuğu, yağış, sıcaklık, rüzgâr, nem, ses gibi yapıyı dış etkenlerden koruma ve bina içindeki konfor koşullarını sağlamada önemli rol oynar. Kâgir dış duvarlar yapı bünyesinde mekânları oluşturma, dış etkilerden koruma ve strüktürel olarak taşıma görevlerini üstlenmektedirler [1]. Doğal taş, kerpiç ve tuğla bileşenleri ile oluşturulan kâgir yığma binalar tarihsel süreç içinde önemli bir yere sahiptir. Günümüzde artan enerji ihtiyacı ve enerji kaynaklarının azalmasındaki tehlike ve çevresel etkiler tüm dünyada enerjinin ve enerji kaynaklarının verimli kullanımının önemini arttırmıştır. Özellikle binalarda kullanılan enerjinin verimli olması için binaların tasarım ve uygulama aşamalarında önlemler alınması gerekliliğini ortaya koymuştur [2].

Taş gibi geleneksel yapı sistemleri ile yapılan binalar; doğal, geri dönüşümlü, konforlu yaşam çevreleri oluşturmaları nedeniyle sürdürülebilir mimarlık tasarım kriterlerini de barındırmaktadır [3]. Türkiye’de geleneksel yapı sistemi ile yapılmış oldukça fazla yığma kâgir yapı bulunmaktadır. Farklı coğrafi bölgelerinde taş gibi yerel malzemelerle oluşturulmuş geleneksel yapılar açısından zengin bir potansiyele sahiptir [4,5]. Doğal taşlar özellikle geleneksel konut mimarisinin ana malzemelerinden biridir.

Traklar tarafında kurulmuş olan Edirne tarihi bir kent olup, geleneksel yapı sistemleri ile oluşturulmuş pek çok yapıya sahiptir (Şekil 1). Camii, kervansaray vb. gibi büyük mimari örneklerinin yanında özellikle konutlarda bodrum ve zemin katlarda taş yığma sistem kullanılmıştır. Kaleiçi, Karaağaç, Ağaçpazarı, Karanfiloğlu gibi semtlerinde geleneksel konut potansiyeli açısından çok fazla örnek barındırmaktadır. Günümüzde bu konutların tekrar kullanımı ile ilgili koruma ve onarım çalışmaları yapılmakta ve böylelikle sürdürülebilirlik sağlanmaktadır. Çalışma kapsamında konut yapılarında 50 cm kalınlığında kalker taşından yapılan yığma taş duvarlar ele alınmıştır (Şekil 2-3). Taş duvar kesitinde toplam sıcaklık, nem ve nemlenme durumu incelenmiştir.



Şekil 1. Geleneksel taş duvarlar



Şekil 2. Taş duvarların kullanımı



Şekil 3. Taş duvarların kullanımı

## 2. TAŞ DUVARLAR

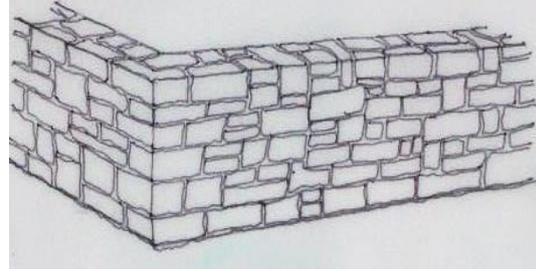
Doğal taşlar, tek bir mineralin çok sayıda ya da çeşitli minerallerin bir araya gelmesinden oluşan kayalardır. Yapı sektöründe masif ve kaplama taşı olarak kullanılmaktadır [6]. Yapı taşları ocaktan çıktıktan sonra duvarda kullanılabilir hale gelmeden önce elle veya makine ile işlenebilmektedir [7].

Dayanım, sertlik, işlenebilirlik, gözeneklilik, erişilebilirlik vb nedenlerle yüzyıllardır tercih edilen taş duvarlar özelliklerine göre taşıyıcı, bölücü, kaplama ve çevresel kontrol elemanlarını kontrol eden tabakalardan oluşmaktadırlar [8]. Doğal veya yapay taşlar yangına dayanıklı yanmaz malzeme olarak kabul edilmektedir. Masif duvarların yoğunlukları yüksek olduğundan ısı depolama değerleri de yüksektir.

Bu olumlu özelliklerinin yanı sıra yapıya önemli bir yük getirmeleri, işlem ve uygulama zorlukları ile birlikte kullanım alanında yer kaplamaları açısından günümüzde ancak özel amaçlarla tercih edilmektedir. Ancak yöresel malzeme olarak belirli bölgelerde ana yapı malzemesi olarak önemini korumaktadır [9].

Yapı taşları ocak, yağmur ve sis, yoğuşma ve kılcallık nedenleriyle bünyesinde nem bulundurmaktadır. Çeşitli şekillerde nem, tüm malzemelerde olduğu gibi yapı taşlarının da bozulmasına neden olmaktadır. Bunun dışında ısı, sıcaklık, güneş, hava kirliliği vb atmosferik etkiler

de taşların bozulmasında etkindir [6]. Geleneksel taş duvar örgüsü Şekil 4'te gösterilmektedir.



Şekil 4. Geleneksel taş duvar örgüsü

Taşıyıcı duvarlar; üzerine gelen yükleri alarak temele aktaran duvarlardır. Taşıyıcı doğal taş duvarlar sadece bodrum ve zemin katlarda kullanılabilirlerdir.

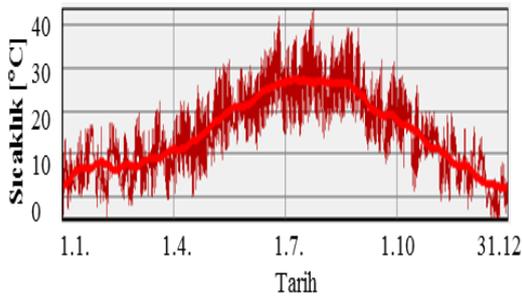
Kagir duvarların higrotermal performansı ile ilgili olarak Holm ve Künel'in çalışmalarında 2 yıllık sürede farklı kesit özelliklerine sahip kagir duvarların su içeriğini 2 boyutlu Wufi-2D ile hesaplanmıştır. Kagir duvarlardaki su içeriğini azaltmaya yönelik iyileştirme yöntemleriyle zamana bağlı olarak su ve nem davranışları izlenmiştir [10]. Ayrıca Krus, çalışmasında doğal taş duvarların nem dengesindeki değişimin duvara olan zarar verici etkileri incelenmiştir. Çalışmada ölçüm ve hesap sonuçları karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir [11]. Bu çalışma kapsamında da konut yapılarında taşıyıcı yığma kalker kesme blok taş duvarlar ele alınarak duvar kesitinde nemlenme durumu incelenmiştir.

## 3. YÖNTEM

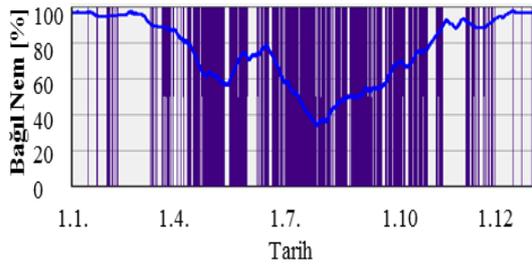
Günümüzde duvar konstrüksiyonlarının higrotermal performansını belirlemek için geliştirilen bilgisayar programları araştırmalarda kullanılmaktadır [12]. WUFI@2D-3 simülasyon programı bu amaç için kullanılan ve çalışmalarda kabul gören bilgisayar modellerinden biridir [13,14, 15]. Wufi programı, Hartwig M. Künel'in doktora tezi kapsamında geliştirilmiş, tek ve çift boyutlu hesaplama modelidir [16]. "CEN EN 15026 Hygrothermal performance of building components and building elements — Assessment of moisture transfer by numerical simulation",

standardına göre hesap yapmaktadır. Model standart malzeme özelliklerine (nem depolama, geçirgenlik fonksiyonları vb) ihtiyaç duymaktadır. Gerçek iklim şartları altındaki bileşenlerin davranışlarını araştırmak amacıyla, ölçülmüş iklim verilerini kullanır. İlk inşaat nemi ile birlikte, bileşenlerin kuruma zamanını, yoğuşma riski, yağmur etkisi ve farklı parametreler altındaki duvar ve çatıların hidrotermal performansı için kullanılmaktadır [14, 17, 18, 19].

Bu çalışmada geleneksel yapım sisteminde yaygın olarak kullanılan yığma kalker kesme blok taş duvar kesiti üzerinde, Edirne ili meteorolojik verileri kullanılarak, WUFI@2D-3 simülasyon programı ile periyodik rejim şartlarında sıcaklık, su ve nem değerleri hesaplanmıştır. Edirne ili iklim verileri meteorolojiden alınan veriler doğrultusunda 1 yıllık saatlik, Ortalama Sıcaklık (°C), Mahalli Basınç, Bağıl Nem (%), Güneşlenme Şiddeti (J/cm<sup>2</sup>), verileri olarak WUFI@2D-3 programına girilmiştir (Şekil 5-6).



Şekil 5. Edirne iline ait yıllık dış sıcaklık değerleri

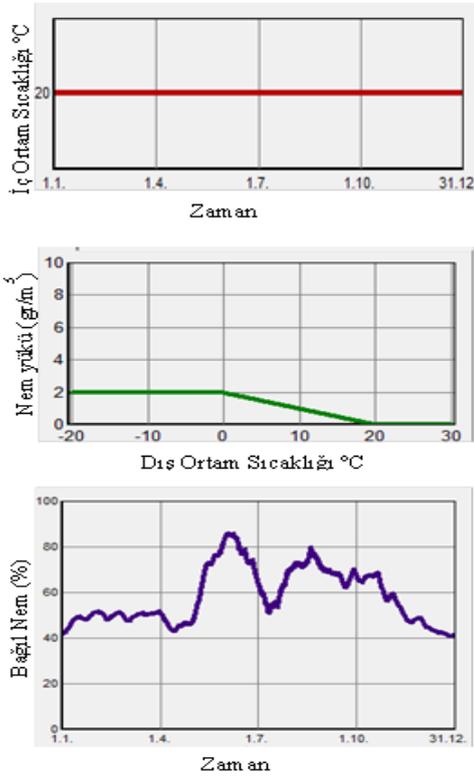


Şekil 6. Edirne iline ait yıllık dış ortam bağıl nem değerleri

İç ortam iklim verilerinde ve higrotermal performansın hesaplanmasında TS EN 13788 “Bina bileşenlerinin ve bina elemanlarının nemli ortamda ısı performansını - Kritik yüzey nemini ve bina bileşenlerinin içindeki yoğuşmayı önlemek için iç yüzey sıcaklığı - Hesaplama metodları- Hygrothermal performance of building components and building elements – Internal surface temperature to avoid critical surface humidity and interstitial condensation Calculation methods” standardı esas alınmıştır. Şekil 7’de standartta belirtilen, zamana bağlı, iç ortam, dış ortam ve bağıl nem değerleri verilmiştir.

26° 33’ Doğu, boylam, 41°40’ Kuzey enlem, 51 m yükseltide olan Edirne ılıman nemli iklim bölgesi özelliklerini taşımaktadır [20]. Çizelge 1’de Edirne dış sıcaklık ortalama değerleri verilmiştir. Yazları ılıman, kışları az soğuk karakterlidir. Genelde yaz ve kış aylarındaki sıcaklık farkının az olduğu, insan konforuna en yakın özellikler gösteren iklimdir. Ancak yükseklik ve deniz kenarında olma durumlarına göre yaz ve kış aylarında, az veya çok sıcaklık farkları oluşabilmektedir. Yağışlar mevsimlere dağılmıştır ve genellikle Ocak, Şubat, Haziran aylarında görülmektedir. En sıcak aylar Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarıdır. Bu iklimin en önemli özelliği yağış miktarının ve nemin yüksek oluşudur [21].

Öncelikle incelenecek duvar kesiti ve bu kesiti oluşturan malzeme özellikleri belirlenmiştir (Şekil 8, Çizelge 2). İncelenen duvar, sıvasız yığma kagir doğal taş olarak kalker kesme taşından 50 cm kalınlığında ve 106 cm yüksekliğinde yatayla 90° açı yapacak şekilde düşey bir duvar kabul edilmiştir. Taş duvarı oluşturan kesme taş blok, duvar kalınlığı boyunca devam eden genişlikte ve 20 cm yükseklikte kabul edilmiştir. Taşların birleşiminde 1,5 cm kalınlıkta melez harç kullanıldığı varsayılmıştır. Duvar yönü kuzey olarak seçilmiştir.

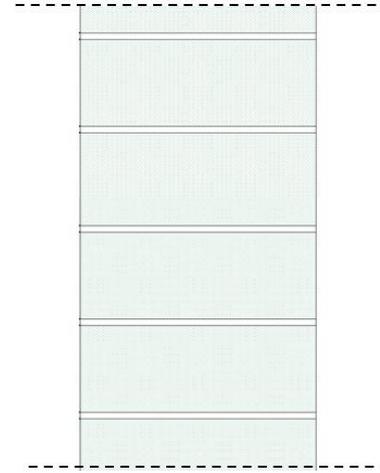


Şekil 7. TS EN 13788'deki zamana göre iç ortam, dış ortam ve bağıl nem değerleri

Çizelge 1. Edirne dış sıcaklık ortalama değerleri [22].

Dış ortam / Aylar	Ort. Sıcaklık °C	Ort. Mak. Sıcaklık °C	Ort. Min. Sıcaklık °C	Bağıl nem % *
Ocak	2,4	6,2	-0,8	82
Şubat	4,4	8,9	0,8	75
Mart	7,6	13,0	2,9	73
Nisan	12,9	19,2	7,1	69
Mayıs	17,9	24,5	11,4	65
Haz.	22,0	28,8	15,0	61
Tem.	24,2	31,2	17,3	57
Ağus.	23,5	30,8	16,3	58
Eylül	19,6	27,1	13,0	63
Ekim	13,8	20,3	8,5	73
Kasım	9,1	14,1	5,0	80
Aralık	4,6	8,3	1,3	83

\* Binalarda Isı Yalıtım Kuralları TS 825 den alınmıştır.



Şekil 8. 50 cm kalınlığındaki duvar kesiti

Çizelge 2. Çalışmada kullanılan doğal taş ve harç özellikleri

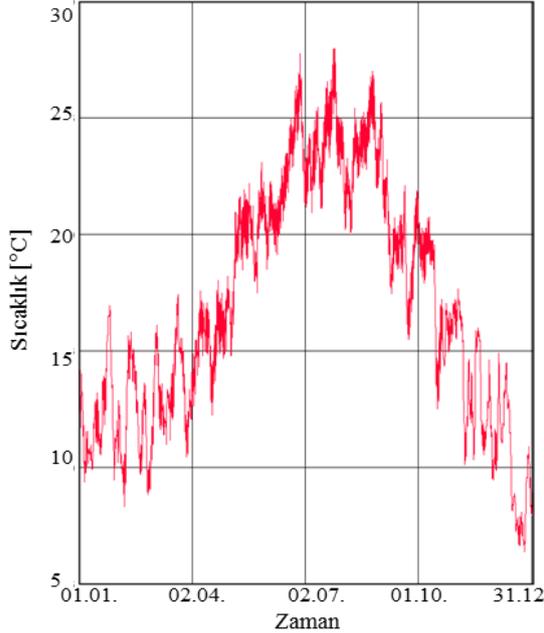
Malzeme	Doğal taş (kalker taşı)	Harç (kireç çimento harcı)
Kalınlık, d (cm)	50	1,5
Yoğunluk, $\delta$ (kg/m <sup>3</sup> )	2440	1900
Gözeneklilik, Porozite (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	0,13	0,24
Özgül ısı kapasitesi, c (J/kg.K)	850	850
Isıl iletkenlik, $\lambda$ (W/mK)	2,25	0,8
Su buharı difüzyon direnç faktörü, $\mu$ (-)	140	19

### 3.1. Hesaplamalar

Yapı dış kabuğu dış ortam sıcaklığı ve güneş ısınımı ile etkileşim halinde olduğundan yüzey sıcaklıkları ve bu yüzeyden iletilen ısı akısı zamana bağlı olarak sürekli değişmektedir. Bu durum, yapı kabuğunu oluşturan yapı elemanının cinsine ve kalınlığına bağlıdır. Binalar için değişken rejimde ısı iletimi, ısı akısının 24 saatlik bir periyotla sinüzoidal değişim gösterdiği periyodik rejim şartlarında yapılmaktadır [14, 16,

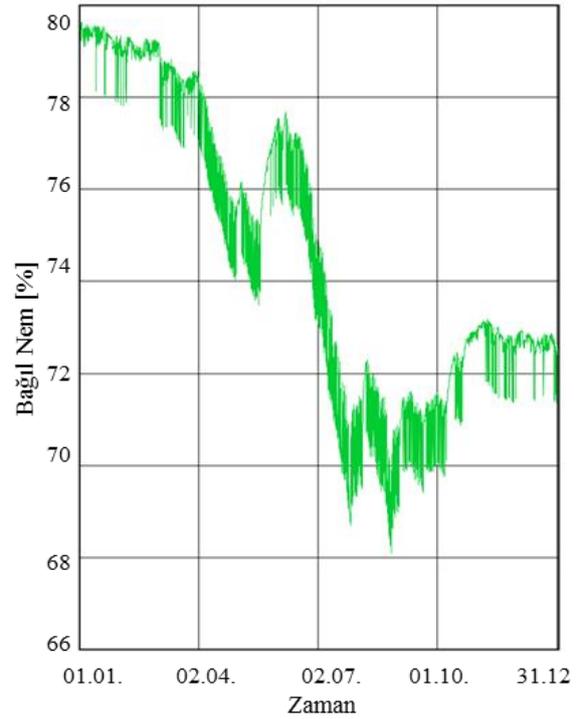
23]. Değişken rejim şartlarında elemanın ısı direncinin yanı sıra, elemandan ısının geçiş hızı ve elemanda ısının depolanabilme kapasitesi de önemlidir. Bu özellikler üzerinde, elemanı oluşturan malzemelerin ısı iletkenliğinin yanında özgül ısılarının ve yoğunluklarının da önemi büyüktür. Türkiye’de değişken rejimde ısı özellikler TS EN ISO 13786 standardında görülmektedir, fakat standartta nem geçişi ile ilgili hesaplama metotları mevcut değildir. Uluslararası değişken rejimde hesaplama metotlarına bakıldığında Karagiozis-2001 ve Künz-2003 metotları görülmektedir ve Künz-2003 bilimsel yayınlarda kabul gördüğü tespit edilmiştir [12, 14, 18, 24, 25].

Şekil 9-12 arasında taş duvar kesitinin Wufi WUFI@2D-3 simulasyon programı ile elde edilen bir yıllık periyottaki aylık ortalama değerleri gösterilmektedir. Aşağıda taş duvar kesitinin toplam sıcaklık, bağıl nem, su içeriği ve nemlenme durumu sonuç grafiklerinin zamana bağlı olarak değişimi verilmektedir.



Şekil 9. Doğal taş duvarın yıllık toplam sıcaklık grafiği

Şekil 9’da 50 cm kalınlığındaki taş duvar kesitinde toplam sıcaklık dağılımı değerlerine bakıldığında, sıcaklığın Aralık ayında 6,4°C ye kadar düştüğü görülmektedir. Temmuz ve Ağustos aylarında duvar kesitinin toplam sıcaklık değeri 28°C ye kadar çıkmaktadır. Edirne dış sıcaklık değerlerine bakıldığında (Çizelge 1) Aralık ayında ortalama sıcaklık 4,6°C, maksimum ortalama sıcaklık 8,3°C, minimum ortalama sıcaklık 1,3°C olarak değişmektedir. Bu durumda duvar kesitinin sıcaklık ortalaması ile minimum ortalama ve dış sıcaklık arasındaki fark 5,1°C olarak görülmektedir. Şekil 10’da duvar kesitinde toplam bağıl nem değerleri Ocak, Şubat, Mart aylarında %79’a kadar çıktığı görülmektedir. Kesitin en düşük toplam bağıl nem değeri ise %68,5 ile Ağustos ayında görülmektedir.

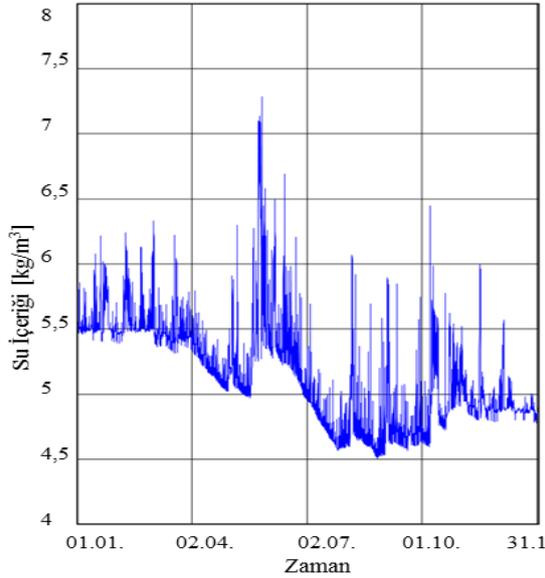


Şekil 10. Doğal taş duvarın yıllık toplam bağıl nem grafiği

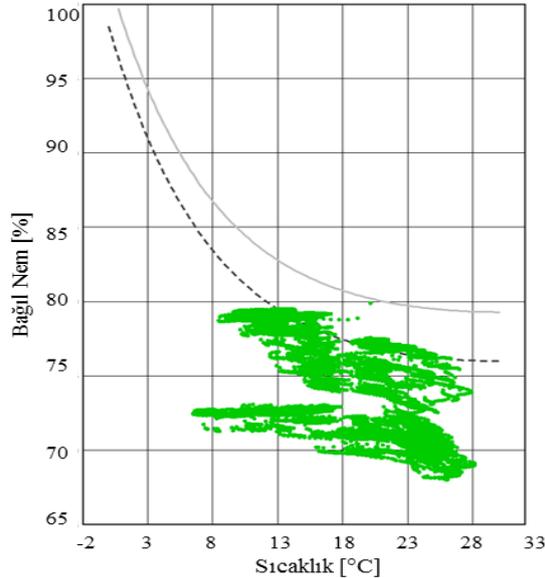
Bağıl nem değerlerinde izlenen farklar aylara göre büyük farklılıklar göstermemektedir. Şekil 11’de su içeriği değerleri verilmektedir. Bu değerler



Ağustos ayında  $4,5 \text{ kg/m}^3$ 'e kadar düşmekte en fazla su miktarı  $7,3 \text{ kg/m}^3$  olarak Mayıs ayında görülmektedir. Şekil 12'de taş duvarın toplam nemlenme durumu verilmektedir.



Şekil 11. Doğal taş duvarın yıllık toplam su içeriği grafiği



Şekil 12. Doğal taş duvarın yıllık toplam nemlenme durumu

Duvarın higrotermal performansına baktığımızda limit 1'e ulaşmasına rağmen, limit 2'ye çıkmamaktadır. Limit 1 suda ayrışabilen malzemelerin sınır değerlerini limit 2 ise suda çözünmeyen malzemelerin sınır değerlerini göstermektedir [24]. Taş duvarlar limit 2 olarak kabul edilmektedir ve nemlenme durumuna bakıldığında yoğuşma açısından risk olmadığı görülmektedir. Çizelge 3'de incelenen taş duvar kesitinin toplam sıcaklık, nem ve su içeriği değerlerinin minimum, maksimum ve ortalama değerleri verilmektedir.

Toplam kesit sıcaklığı  $6,4^{\circ}\text{C}$  ile  $28^{\circ}\text{C}$  arasında, ortalama  $16,9^{\circ}\text{C}$  olarak değişmektedir. Bağıl nem değerleri %68,5 ile %79 arasında, ortalama %74,2 olarak değişmektedir. Su içeriği  $2,4 \text{ kg/m}^3$  ile  $4,7 \text{ kg/m}^3$  arasında, ortalama  $2,8 \text{ kg/m}^3$  olarak değişmektedir.

Çizelge 3. Taş duvar kesitinde sıcaklık, nem ve su içeriği değerleri

Taş duvar	Sıcaklık (°C)			Nem İçeriği (%)			Su İçeriği (Kg/m <sup>3</sup> )		
	Min.	Max.	Ot.	Min.	Max.	Ot.	Min.	Max.	Ot.
Toplam kesit	6,4	28	16,9	68,5	79	74,2	2,4	4,7	2,8

#### 4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Duvar konstrüksiyonunun sıcaklık, su ve nem performansı deneyler ile belirlenebilmekte ancak bu durum zaman ve maliyet gerektirmektedir. Bu nedenler duvar konstrüksiyonlarının nem performansının belirlenmesinde bilgisayar modelleri kullanımının yaygınlaşmasını sağlamaktadır. Bu çalışmada da Wufi simülasyon programı ile Edirne iklim verileri kullanılarak Taş duvar kesitindeki sıcaklık, su ve nem performansları periyodik rejim şartlarına göre incelenmiştir.

WUFI@2D-3 programı ve EN 13788 iç ortam iklim verilerine göre incelenen 50 cm'lik taş duvar kesitinde toplam sıcaklık maksimum 28°C'e çıktığı görülmüştür. Nem içeriği toplam kesitte %79'a kadar çıkmakta su içeriği 2,4 kg/m<sup>3</sup> ile 4,7 kg/m<sup>3</sup> arasında değişmektedir. Taş duvar kesitinde nemlenme durumuna baktığımızda taş duvar kesitinde yoğunlaşma açısından risk olmadığı görülmektedir.

Ülkemizdeki mevcut geleneksel yapı stoğu içerisinde yığma kâgir yapılar önemli bir yere sahiptir. Özellikle bu yapıların günümüzde yeniden kullanımı veya yeniden inşa edilmeleri söz konusu olduğunda, yapılan çalışma ile taş duvarlarla inşa edilen yapılarda higrotermal performans açısından sorun yaşanmayacağı araştırma sonuçlarında belirlenmiştir.

## 5. KAYNAKLAR

1. Yücesoy, L., 1998. Temeller, Duvarlar, Döşemeler, Yem Yayınevi, İstanbul.
2. Kartal, S., Yılmaz Erten, Ş., Chousein, Ö., 2014. Bioklimatik Mimarinin Enerji Verimliliği Açısından Önemi ve Uygulama Örnekleri, I. Ulusal Yapı Fiziği V. Çevre Kontrolü Kongresi, İstanbul, s: 343-352.
3. Temur, H., 2011. Edirne Geleneksel Konut Mimarisinin Sürdürülebilirlik Bağlamında Enerji Verimliliği ve Isıl Analiz Açısından Değerlendirilmesi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi Mimarlık Anabilim Dalı, Edirne.
4. Esin, T, Yüksek İ., 2010. Ecological Analysis of Building Elements of Traditional Buildings in Rural Area of the Thrace Region (in Turkey). Journal of Environmental Protection Ecology 11(2): 471-484.
5. Şerefhanoglu Sözen M, Gedik Zorer G., 2007. Evaluation of Traditional Architecture in Terms of Building Physics: Old Diyarbakır houses. Building and Environment 42 (4): 1810-1816.
6. Küçükaya, A. G., 2014. Yapı Taşlarının Restorasyonu, Özlem Matbaacılık ve Reklamcılık, İstanbul.
7. Binan. M., 1961. Tabii Taş Duvarlar, İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, İstanbul.
8. Gür. N. V., Deniz. Ö. Ş., Ekinci. S., 2012. Kagir Yığma Duvarlarda Taşıyıcı Malzeme ve Bileşenler, 6. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu, Bursa.
9. Eriç, M., 2002. Yapı Fiziği ve Malzemesi, Literatür Yayıncılık, İstanbul.
10. Holm, A., Künel, H.M., 2000. Two-Dimensional Transient Heat and Moisture Simulations of Rising Damp with Wufi 2d, 12. IBMac, Madrid, İspanya.
11. Krus, M., 1998. Hygrothermal Calculations Applied to Water-Repellent Surfaces-Validation and Application, Proceedings Second International Conference on Surface Technology with Water Repellent Agents, ETH Zürich S: 169-176.
12. Pehlevan, A., Yaşar, Y., Maçka, S., 2011. Higrotermal Performans Açısından Duvar Konstrüksiyonu Tasarımında Bilgisayar Modellerinin Kullanımı, X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir.
13. Karoglou M., Moropoulou, A., Krokida, M.K., Maroulis, Z.B., 2007. A Powerful Simulator for Moisture Transfer in Buildings, Building and Environment 42, p.902-912.
14. Kwiatkowski, J., Woloszyn, M., Roux, J.J., 2009. Modelling of Hysteresis Influence on Mass Transfer in Building Materials, Building and Environment 44, p.633- 642.
15. Woloszyn, M., Rode, C., 2008. Tools for Performance Simulation of Heat, Air and Moisture Conditions of Whole Buildings, Build Simul 1: p.5-24.
16. Künel, H.M., 1995. Simultaneous Heat and Moisture Transport in Building Components, PhD-Thesis, Fraunhofer Institute of Building Physics.
17. Künel, Hartvig, M., 1998. Effect of Interior and Exterior Insulation on the Hygrothermal Behaviour of Exposed Walls, Materials and Structures, vol.31, p.99-103.
18. Künel, H.M., Zirkelbach, D., Sedlbauer, K., 2003. Predicting Indoor Temperature and Humidity Conditions Including Hygrothermal Interactions with the Building Envelope, Proceedings of 1st International Conference on

- Sustainable Energy and Green Architecture, Building Scientific Research Center (BSRC), King Mongkut's University Thonburi, Bangkok.
19. Künzel, H.M., Holm, A., Zirkelbach, D., Karagiozis, A.N., 2005. Simulation of Indoor Temperature and Humidity Conditions Including Hygrothermal Interactions with the Building Envelope, *Solar Energy* 78, p. 554-561.
  20. <http://www.climate-charts.com/Locations/t/TU17050.php>, erişim tarihi 20.01.2016.
  21. Göksu Ç., 1999. Güneş Kent, Göksu yayınları 3: 88-134.
  22. <http://www.mgm.gov.tr>, erişim tarihi: 26.01.2016.
  23. Gaur, R.C., Bansal, N.K., 2000. Effect of Moisture Transfer Across Building Components on Room Temperature, *International Journal of Building and Environment* 37, p.11-17.
  24. Umaroğulları, F., Gedik, G. Z., Mıhlayanlar, E., 2011. Periyodik Rejimde Yalıtımlı ve Yalıtımsız Betonarme Duvarlarda Yoğuşma Denetimi: Edirne Örneği, *Megaron e-dergi* 6, sayı no:1.
  25. Nussbaumer, T., Wakili, K.G., Tanner Ch., 2006. Experimental and Numerical Investigation of the Thermal Performance of a Protected Vacuum Insulation System Applied to a Concrete Wall, *Applied Energy* 83, p.841-855.



## Denizden Su Alma Yapısı ve Binası Performans Analizi ve Güçlendirilmesi

Gökhan GÜRSOY\*<sup>1</sup>, Hüseyin R. YERLİ<sup>1</sup>

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

Geliş tarihi: 01.02.2016

Kabul tarihi: 14.03.2016

### Özet

Depreme karşı güçlendirme çalışmalarında mevcut yapıların modellenmesi için tahribatlı testler büyük önem arz etmektedir. Mevcut yapı malzeme özellikleri modelleme çalışmalarının doğru sonuç vermesini sağlamaktadır. Bu çalışmada Rus standartlarına göre tasarlanmış ve 1974 yılında yapımı tamamlanmış olan pompa binası ele alınmıştır. Bina; denizden su alma yapısı, su kamaraları, pompa temelleri, betonarme taşıyıcı sistem ve çelik çatıdan teşkil edilmiştir. Mevcut yapı analizi için zemin sondaj çalışmaları yapılmış, dalgıç marifeti ile video ve fotoğraflar çekilmiş, karot numuneleri alınmış, donatıların örnekleme metodu ile çap ve adet kontrolleri yapılmıştır. Alınan ölçüm sonuçlarından hareketle yapının mevcut durumu paket programlar ile modellenerek analiz edilmiştir. Yapılan analizden elde edilen sonuçlara göre gerekli kesit artışları tespit edilmiş ve uygulanması gereken güçlendirmeler projelendirilerek gerekli yapı elemanlarında uygulanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Yapıların depreme karşı güçlendirmesi, Yapısal deprem mühendisliği, Yapı eleman ve sistemlerinin analizi

### Performance Analysis and Strengthening of Water Intake Structure and Building

#### Abstract

Destructive tests have much importance for modelling existing structures of the studies of the strengthening for the earthquake. Existing building materials properties provide the accuracy of the modeling study. In this study, The Pump House which was designed according to the Russian standarts and which was completed construction in 1974 is discussed. Sea Water Intake Buildings has been formed from waterpools, pumps, reinforced concrete system and steel roof. For analysis of the existing structure; ground drilling work was done, video and photos taken with divers ingenuity, core samples were taken and the pieces of rebar diameter were examined. The structure was modelled according to the results by

---

\* Yazışmaların yapılacağı yazar: Gökhan GÜRSOY, Çukurova Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Müh. Bölümü, Adana. eng.gursoy@gmail.com

using computer softwares. Obtained results from the analysis determined by increases in the required section. According to the results the necessary work to strengthen the structure were applied and described by prepared projects.

**Keywords:** Seismic retrofit of structures, Structural earthquake engineering, Analysis of structural elements and systems

## 1. GİRİŞ

Teknolojideki hızlı gelişmeler inşaat mühendisliğinde de önemli aşamaların alınmasını sağlamıştır. Bu gelişmelerden en dikkat çekici olanlarından bir tanesi de yapının mevcut durumunun incelenmesi konusunda geliştirilen yöntemlerdir.

Mevcut yapıların deprem performansının tespit edilebilmesi için incelenen yapının bütün bileşenleri ile yeniden modellenmesi gerekmektedir. Bu aşamada incelenen yapının uygulama projelerine başvurulmakta eğer projelere ulaşılamıyorsa röleve çalışmaları yapılmaktadır. Kesit ve ölçülerin projelerden okunmasının ardından malzeme özelliklerinin tespiti için deneylerin yapılması gerekmektedir. Bu çalışmalar tahribatlı ve tahribatsız olarak ikiye ayırabiliriz. Tahribatlı muayenede yapı üzerinden karot numunesi alınarak ilgili standartlar doğrultusunda basınç testine tabi tutulmakta ve yıllar içerisinde kesit özelliğinde bir değişim olup olmadığını tespit edilmektedir.

Sahada yapılan muayeneler sonucunda elde edilen veriler bilgisayar ortamında girilerek, paket programlar yardımı ile analiz edilmektedir. Analiz sonuçlarına göre yapının performansı yorumlanmakta ve gerekli güçlendirme tekniğine karar verilmektedir. Yapının mevcut malzeme özelliğine göre; mantolama, karbon fiber, çelik takviye gibi güçlendirme teknikleri uygulanabilmektedir.

### 1.1. Tesis Hakkında Teknik Bilgiler

333 No.lu Deniz Suyu Pompa İstasyonu ve Su Kamaraları, İskenderun Demir Çelik A.Ş. (İSDEMİR) fabrikasında kullanılan soğutma suyunu temin etmek için inşa edilmiştir. Fabrika,

Hatay iline bağlı İskenderun ilçesinde bulunmaktadır.

Söz konusu bina ve su kamaraları 1971 yılında geçerli olan Rus (GOST) şartnamelerinde verilen tasarım kriterlerine göre hazırlanmış ve binanın bu kriterlere uygun olarak inşa edildiği kabul edilmiştir. Aşağıda mevcut yapıda kullanılan Rus standardı karşılaştırmaları yer almaktadır:

Beton Sınıfları	Çelik Çekme Çubuğu (Akma)
B250 - C20	AI:2400 kg/cm <sup>2</sup>
B300 - C25	AII:3000 kg/cm <sup>2</sup>
B350 - C30	AIII:4000 kg/cm <sup>2</sup>

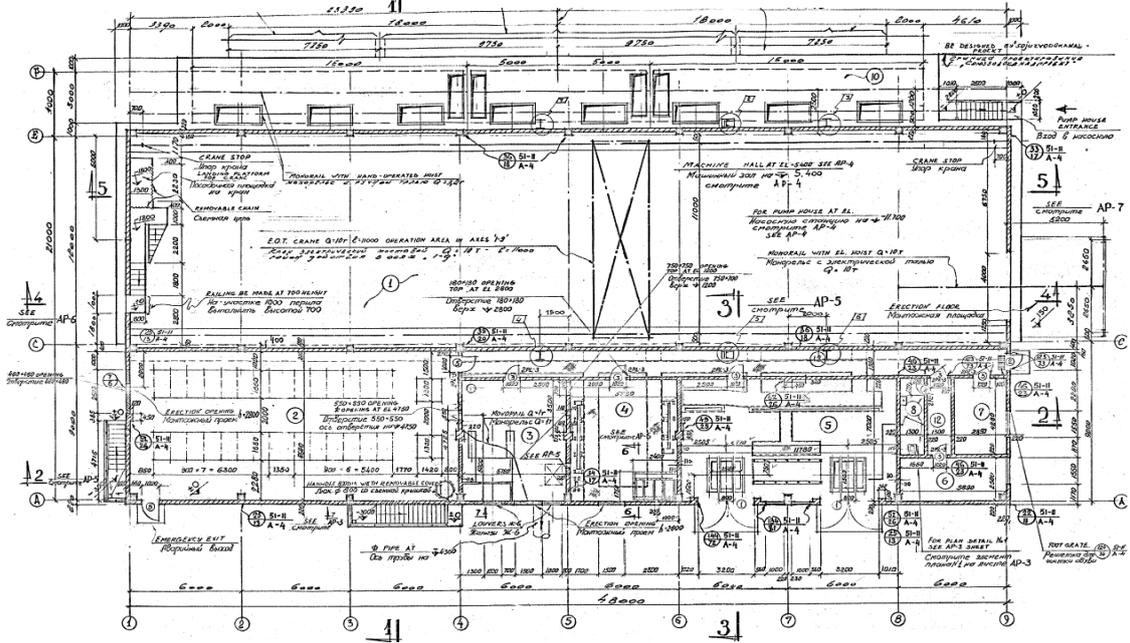
Denizden su alma tesisi, enerji tesislerinde kurulu olan buhar türbini ve turbo körük kondenserlerinde yoğunlaştırıcı akışkan olarak kullanılan deniz suyunu sağlamaktadır. Ayrıca yaz aylarında merkezi soğutma istasyonuna kondenser soğutma suyu olarak deniz suyu göndermektedir.

Deniz suyu pompa istasyonunda her biri 11,000 m<sup>3</sup>/saat kapasiteli, çalışma basıncı 3,8 bar olan 8 adet pompa ve 1 adet yüksek fırın projesi kapsamında kurulumu yapılan 7,500 m<sup>3</sup>/saat kapasiteli 4,2 bar basıncında pompa bulunmaktadır. Mevsim şartlarına ve üretime bağlı olarak 4-6 adet pompa çalışmaktadır.

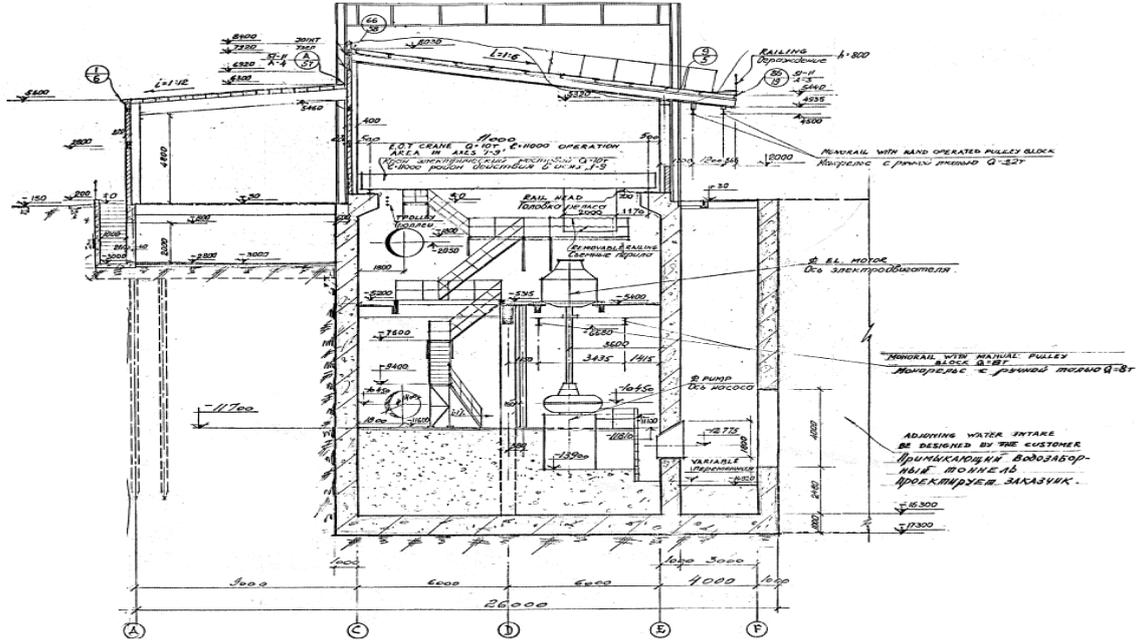
Tesis havuz yapısı ile deniz arasında yaklaşık 100 m uzunluğunda üçlü menfez bulunmaktadır. Bu kanal yardımı ile deniz suyu cazibesi ile tesise gelmekte ve pompa marifeti ile işletmeye aktarılmaktadır.



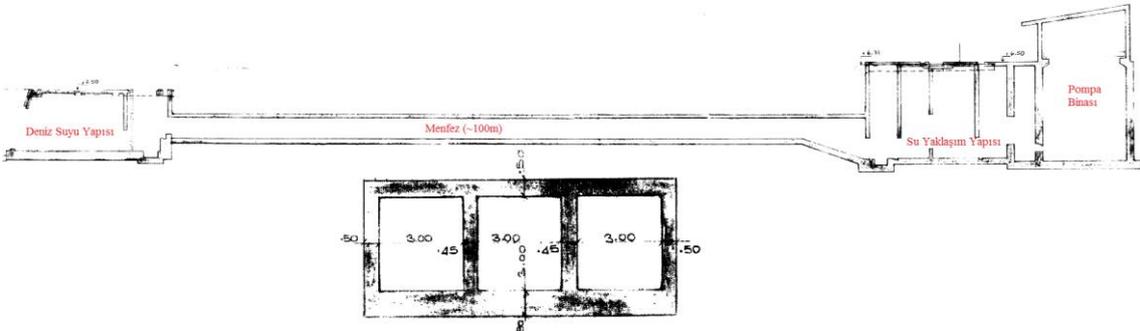
Şekil 1. Tesis genel görünüşü



Şekil 2. Tesis ±0,00 kotu plan



Şekil 3. Tesis kesiti



Şekil 4. Menfez kesitleri

## 2. MATERYAL VE METOT

70'li yıllardan günümüze kadar yıpranmış yapının mevcut durum analizi ilgili Türk standart ve yönetmelikleri uyarınca yapılmıştır (TS EN 13791,TDY, TS500, TS498).

Yapılan çalışmalar aşağıda özetlenmektedir:

- 1- Toplam 6 adet karot numune alınarak mevcut beton kalitesi belirlenmiştir.
- 2- Betonarme elemanların donatılarında örnekleme metoduyla çap ve adet kontrolleri yapılmış ve yapılan uygulamanın projelerle uygunluğu teyit edilmiştir.
- 3- Su kamaralarında dalgıç marifetiyle su altı video ve fotoğraf çekimleri yapılarak kamaraların mevcut durumları incelenmiştir.



4- Proje bölgesindeki zemin yapısının irdelenmesi amacıyla 5 adet 25 m derinliğinde sondaj yapılarak bir Geoteknik Rapor hazırlanmıştır.

Mimari projeleri 1978 yılında hazırlanan ve 2004 yılında mevcut binanın yanında inşa edilen ilave yapılar da inceleme çalışmalarına dahil edilmiştir.

Saha çalışmalarında elde edilen veriler ve orijinal projeler kullanılarak incelenen yapılar SAP2000 bilgisayar programı yardımı ile modellenerek analiz edilmiştir. Analizlerden elde edilen kesit tesirleri ile saha çalışmalarında elde edilen veriler değerlendirilerek binalarla ilgili güçlendirme gereksinimleri ve öneriler belirlenmiştir. Binalar ayrıca STA4CAD betonarme bina analiz programında da modellenerek SAP2000 paket programından elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

2004 yılında inşa edilen ilave yapılar ise sadece mimari projelerinin bulunması sebebiyle STA4CAD programında modellenerek analiz edilmiştir.

### 3. BULGULAR

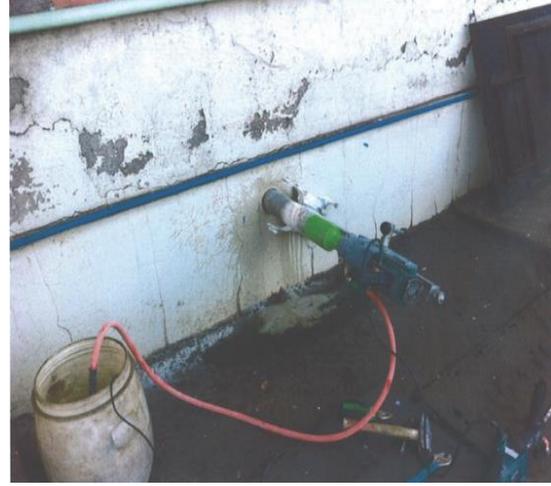
#### 3.1. Saha Çalışmalarından Elde Edilen Veriler

##### 3.1.1. Karot Numune Alımları

İnceleme konusu tüm binaların mevcut beton kalitesinin belirlenmesi için 6 farklı noktadan karot numuneler alınmıştır. Alınan numuneler laboratuvar ortamında basınç testlerine tabi tutularak incelenmiştir.

Alınan 6 adet karot numunenin laboratuvar ortamında yapılan basınç deneylerinden elde edilen dayanım değerleri 18,76 ila 46,43 N/mm<sup>2</sup> arasında değişmektedir. Beton dayanım değerlerinin geniş aralıkta olmasının nedeni pompa istasyonu binası ile eklentilerinin farklı zamanlarda inşa edilmesi olarak düşünülmektedir.

Su kamarasından alınan numunenin basınç dayanımı 34,32 N/mm<sup>2</sup> (yaklaşık C30) olarak bulunmuştur. Ancak burada dalgıç marifetiyle yapılan detaylı incelemede pas paylarının yer yer



Şekil 5. Karot resimleri

döküldüğü ve numunenin pas payının üzerinde kalan kısımdan alındığı göz önünde bulundurulmalıdır. Bu bölgede pas paylarının dökülmüş olması ileriye dönük ciddi bir donatı korozyonu riskini de beraberinde getirmektedir.

Binalardan alınan karot numune sonuçlarına göre her bir binadaki ortalama eşdeğer küp basınç dayanımı aşağıda verilmiştir:

Pompa istasyonu binası:

$$(45,1 + 34,3 + 19,39) / 3 = 32,93 \text{ (C 25)}$$

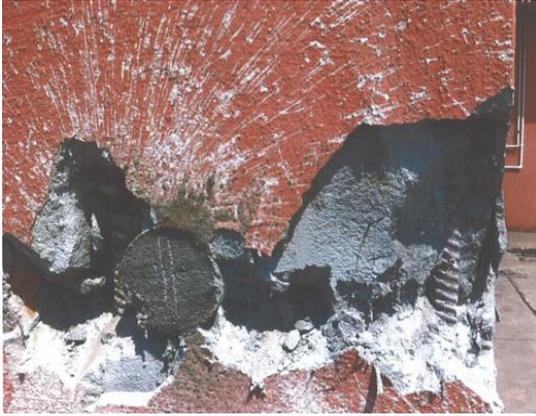
Kontrol binası: 46,43 (C 35)

İlave binalar:  $(33,04 + 18,76) / 2 = 25,9$  (C 20)

### 3.1.2. Betonarme Donatısı Kontrolleri

Binaların projelerinde verilen betonarme donatılarının çaplarının ve adetlerinin kontrolü seçilen 5 adet betonarme elemanda uygulanan ultrasonografik ve mekanik incelemeler yardımı ile yapılmıştır. Ultrasonografik ölçüm ile elemanın donatı adeti belirlenmiş olup ilave olarak inceleme bölgesinde pas payları sıyrılarak açığa çıkan donatı çeliklerinin çapları ölçülmüştür.

Ultrasonografik ve mekanik inceleme ile epoksi tamir harcı kullanılarak yapılan onarımlara ait fotoğraflar Şekil 6 ve Şekil 7'de görülmektedir.



Şekil 6. Donatı tespiti, onarım-1



Şekil 7. Donatı tespiti, onarım-2

Yerinde yapılan ölçümlerden elde edilen sonuçlar ile projelerdeki betonarme detayları karşılaştırıldığında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

- Donatı adetleri ve aralıkları projelerde belirtilenler ile uyumludur.
- Su ile temas etmeyen yüzeylerde donatı korozyonu tespit edilmemiştir. Donatı çapları projelerde belirtilenler ile uyumludur.
- İlave binalar ile ilgili betonarme projeler bulunmadığı için bu binaların betonarme elemanlarının donatı yüzdesi yerinde yapılan incelemelerle uyumlu olarak kabul edilmiştir.
- Su ile temas eden yüzeylerde (su kamaralarının içinde) pas paylarında yer yer dökülmeler ve betonda derin çatlaklar tespit edilmiştir.

Bu veriler ışığında mevcut projelerdeki donatı adet ve çapları doğru kabul edilerek hesaplar yapılmıştır.

### 3.1.3. Su Altı İnceleme Sonuçları

Pompa istasyonu binasına hizmet vermekte olan su kamaralarının mevcut durumlarının incelenmesi amacıyla dalgıç marifetiyle su altında video ve fotoğraf çekimleri yapılmıştır. Bu inceleme sırasında dalgıçların güvenliklerini gözlemlemek için 3 adet kamaraya pompa operasyonu ile uyumlu olarak farklı zamanlarda dalışlar yapılmıştır.

Özellikle su altındaki kısımlarda daha iyi çekim yapılabilmesi için yer yer midye grupları temizlenmiştir.

Gerek su altı video çekimleri ve gerekse fotoğraf çekimlerinden yapılan incelemeler neticesinde su kamaralarındaki duruma ilişkin değerlendirmeler aşağıdadır;

- Su kamaralarının betonarme duvarlarında ciddi pas payı hasarları ve buna bağlı donatı korozyonları mevcuttur.
- İnşaat sırasında yapılan muhtemel yanlış uygulamalar ve zaman içinde meydana gelen hareketler sonucunda duvarlarda derin çatlaklar meydana gelmiştir. Bu çatlakların betonarme duvarların taşıma gücünü ciddi oranda azalttığı kanaatine varılmıştır.



Şekil 8. Su altı durum tespiti

- Su kamaralarının içindeki yardımcı çelik konstrüksiyon elemanlar (giyotin kızakları vb.) korozyon nedeniyle kısmen veya tamamen erimiş ve kullanılamaz hale gelmiştir.
- Projelerde o zaman kullanılan standartlardan kaynaklanan geniş donatı ve etriye aralıkları tespit edilmiştir. Bu durum su kamaralarında yapılan incelemelerde de tespit edilmiştir.

### 3.1.4. Geoteknik Rapor Çalışmaları

Pompa İstasyonu'nun bulunduğu bölgedeki zemin koşullarını belirlemek için binaların çevresinde seçilen 5 adet noktada her biri 25 m derinliğinde sondajlar yapılmıştır. Sondaj yerleri mevcut mekanik ve elektrik altyapısının elverdiği ölçüde binanın etrafına homojen olarak dağılacak şekilde seçilmiştir.

Sondaj çalışmaları sırasında yerinde yapılan deneyler ve ölçümler ile sondajlardan alınan zemin numunelerinin laboratuvar ortamında deneyleri yapılarak bir zemin etüt raporu hazırlanmıştır.

### 3.2. Analiz Çalışmaları

Yükler  
Ölü Yük (G) : Zati Yükler

Çatı Kaplama: Hareketli Yük ile beraber Çatı Kaplama Zati Ağırlığı ( 150 kg/m<sup>2</sup>)  
Q: Hareketli Yükler (Çatıda 100 kg/m<sup>2</sup>, Döşemelerde 200 kg/m<sup>2</sup> alınmıştır)  
Dolgu Beton: Bina tabanında kullanılan dolgu betonunun ağırlığı (2,4 t/m<sup>2</sup>)  
Dolu Boru: Bina içindeki ana su borusunun ağırlığı. Boru ağırlığı (0,69 t/m) ve içindeki suyun ağırlığı (1,539 t/m) beraber (2,23 t/m) alınmıştır. Bu ağırlık 40 cm genişliğindeki döşeme şeridinde yayılı yük (2,23 / 0,4 = 5,575 t/m<sup>2</sup>) olarak etki ettirilmiştir.

Pompa: 8 adet pompanın ağırlıkları (Her biri 7,5 ton alınmıştır).

Rüzgar ve deprem yükleri, yürürlükteki yönetmeliklere göre girilmiştir. Bina perdelerine etkileyen dinamik toprak basıncı ve bina üst yapısına etkileyen eşdeğer deprem kuvveti alan yükü (area load) olarak etki ettirilmiştir. Bu yükler 0 ila 23 /m<sup>2</sup> arasında değişen değerler olarak hesaplanmıştır.

Rüzgar Yükü:  
Rüzgar Hızı: (0-8 m arası için) 28 m/sn  
q = 0,5 kN/m<sup>2</sup>

Düzlemsel yüzeylerle sınırlanmış yapı elemanları: C = 1,2



Şekil 9. Geoteknik rapor çalışmaları

Rüzgar Kuvveti:  $1,2 \times 0,5 = 0,6 \text{ kN/m}^2 = 0,06 \text{ t/m}^2$   
(1)

Basınç:  $0,8 \times 0,06 = 0,048 \text{ t/m}^2$

Emme:  $0,4 \times 0,06 = 0,024 \text{ t/m}^2$

Çatıya Etkiyen Eşdeğer Deprem Kuvveti:

T(1): 0,66 sn (Y - Enine Yön)

T(1) > T(B) = 0,40 sn

Deprem Bölgesi: 1

Etkin Yer İvmesi: 0,4g

Yapı Önem Katsayısı: 1,5

Süneklik Düzeyi Normal Sistem koşulu geçerli

$(b/2t < 0,5\sqrt{(E_s/\sigma_a)})$

$0,5 \sqrt{(2,1 \times 10^6/2400)} = 14,79$

$b/2t \quad I400 = 14,01$

Buna göre R = 5

$S(T) = 2,5 \times (0,4/0,66)^{0,8} = 1,675$

$A(T) = 0,4 \times 1,5 \times 1,675 = 1$

W = 299 ton (SAP2000'den)

$V_t = (299 \times 1) / 5 = 59,8 \text{ ton}$

T(2) : 0,151 sn (X - Boyuna Yön)

R = 5, S(T) = 2,5, A(T) =  $0,4 \times 1,5 \times 2,5 = 1,5$   
W = 642,24 ton (SAP2000'den) (hareketli yük dahil)

$V_t = (299 \times 1,5) / 5 = 89,7 \text{ ton}$

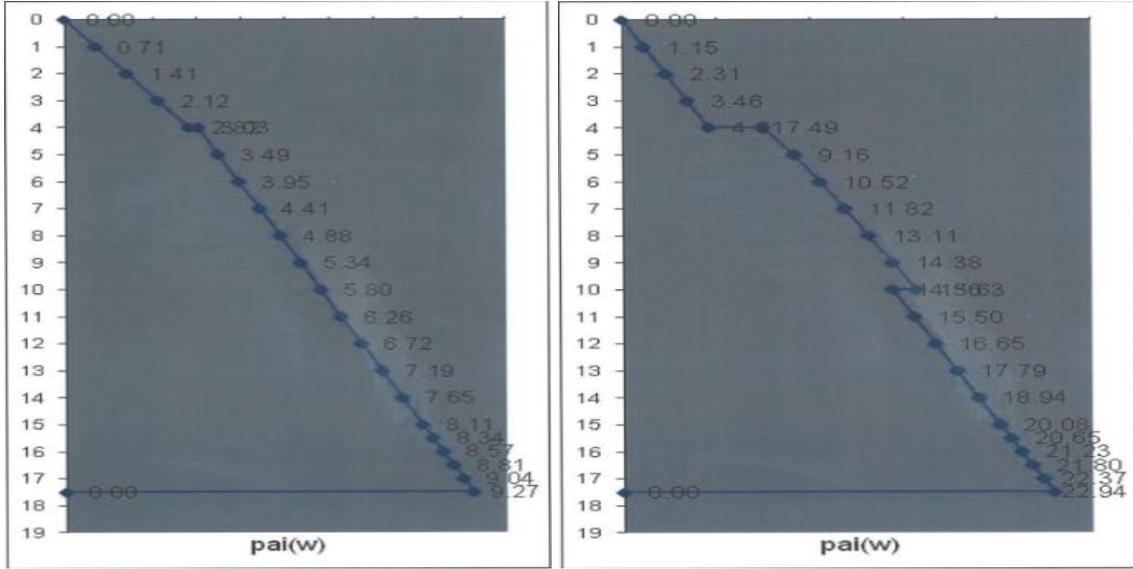
Sükunetteki toprak basıncı depremsiz ve depremlı halde hesap edilerek modele etki ettirilmiştir.

Depremlı haldeki toprak basıncı hesabında DLH 2008 Deprem Teknik Şartnamesinde verilen hesap yöntemi kullanılmıştır. Her iki durum için oluşan toprak basıncı diyagramları aşağıda verilmiştir.

Düşey eksen m cinsinden derinliği gösterirken yatay eksen t/m cinsinden toprak basıncını göstermektedir:

### 3.3. Model Çalışmaları

Pompa istasyonu binası SAP2000 bilgisayar programında modellenirken yukarıda bahsedilen yükler kullanılmıştır.



Şekil 10. Sükunetteki toprak basınç diyagramı (depremsiz ve depremli durum)

Analiz sonucunda elde edilen kesit tesirlerine göre binayı oluşturan taşıyıcı elemanların (betonarme kolon, betonarme perde, betonarme kiriş, çelik kolon, çelik kiriş vs.) kesit ve donatı ihtiyaçları irdelenerek mevcut durumla karşılaştırılmıştır.

Ayrıca mevcut yapı STA4CAD bilgisayar programı ile de modellenmiştir. Yapılan incelemede STA4CAD bilgisayar programı ile yapılan analizden elde edilen sonuçlarla SAP2000 bilgisayar programı ile yapılan analizden elde edilen sonuçların uyumlu olduğu görülmüştür.

Pompa istasyonu binası için oluşturulan STA4CAD bilgisayar programı modeli ile SAP2000 bilgisayar programı modelinin görünümü Şekil 11'de sunulmuştur.

Gerek işletme durumu ve gerekse deprem durumundaki yüklemeler için -16,30 m ve -11,70 m kotları arasında dökülmüş olan BS120 dolgu betonunun etkisi de göz önünde bulundurulmuştur.

Sonuç olarak, toprak perdelerinde oluşan eğilme momenti değerleri mevcut taşıma kapasiteleri sınırları içinde kalmaktadır. Söz konusu dolgu

betonunun modellenmesi Şekil 12'de görülmektedir.

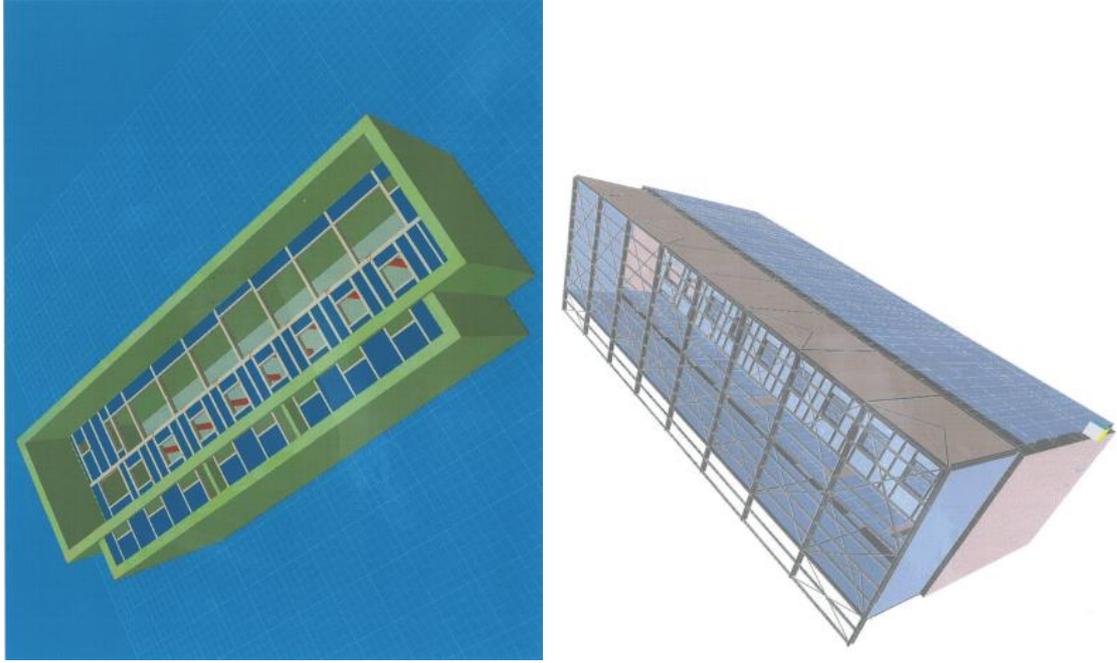
### 3.3.1. Taban plağı -Zemin Etkileşimi

Taban plağının altında hazırlanan zemin etüt raporu doğrultusunda zemin için 10,000 t/m<sup>2</sup>lik bir yatak katsayısı tanımlanmıştır.

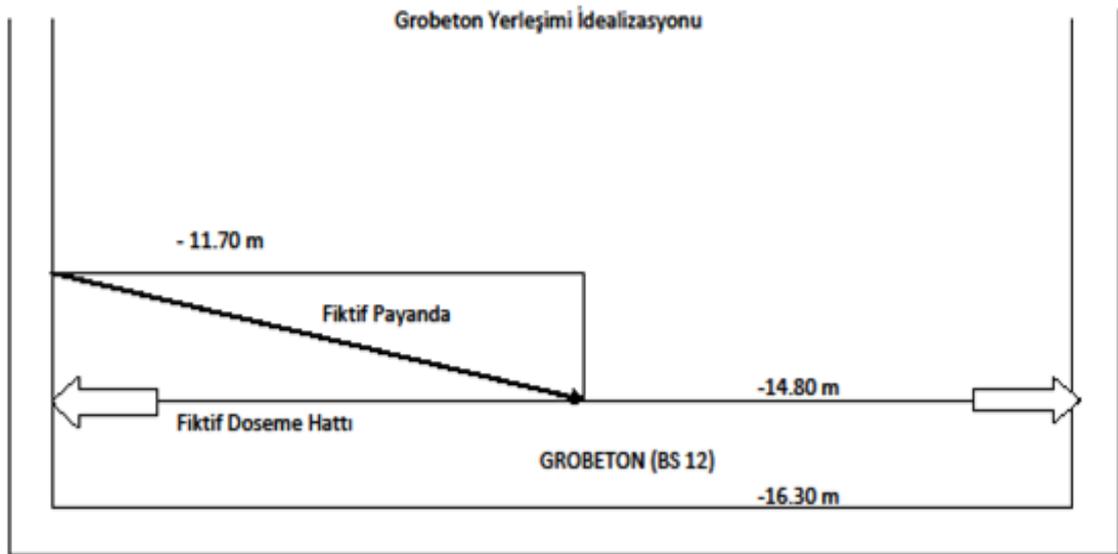
Ayrıca modelin stabilitesinin sağlanması amacıyla bina tabanının 4 köşesindeki düğüm noktalarında x ve y yönündeki yatay deplasmanlar tutulmuştur.

Analiz sonucunda taban plağı düğüm noktalarındaki maksimum deplasman değeri 0,003299 m olarak belirlenmiştir. Buna göre taban plağı altındaki maksimum gerilme 1,33 deprem azaltma katsayısı göz önünde bulundurularak:

$0,003299 \times 10,000 / 1,33 = 24,99 \text{ t/m}^2 < Z_{em} = 40 \text{ t/m}^2$  sonucuna varılmıştır. Burada bina içindeki dolgu betonunun taban plağı ile etkileşimi ve plağın eğilme rijitliğine katkısı zemin gerilmelerinin sınırlandırılmasında etkili olmuştur.



Şekil 11. STA4CAD ve SAP2000 modelleri



Şekil 12. Grobeton idealizasyonu

**Çizelge 1.** Perde moment taşıma kapasitesi

Perde Konumu	Donatı Yönü	Donatı	İşletme Durumu (Tm)	Deprem Durumu (Tm)
Kara T. Bina Perdesi	Düşey	Ø25/20	54	70
Kara T. Bina Perdesi	Yatay	Ø20/10	68	89
Deniz T. Bina Perdesi	Düşey	Ø20/20	35	45
Deniz T. Bina Perdesi	Yatay	Ø20/10	68	89
Su Kam. Dış Perdesi	Düşey	Ø25/20	54	70
Su Kam. Dış Perdesi	Yatay	Ø25/10	105	136
Bina Yan Perdeleri	Düşey	Ø25/20	54	70
Bina Yan Perdeleri	Yatay	Ø20/20	35	45

### 3.3.2. Betonarme Kolonlar

Binanın içinde bulunan 50×50 cm ebatlarındaki betonarme kolonlarda oluşan kesit tesirleri analiz sonuçlarından belirlenmiştir. Söz konusu ebatlardaki kolonların hesap sonucu elde edilen

kesit tesirlerine göre ihtiyacı olan donatı adetleri STA4CAD bilgisayar programının tekil kolon hesabı modülü ile belirlenmiştir. Yapılan hesap sonucunda kolonlardaki mevcut donatıların yetersiz olduğu ve güçlendirme ihtiyacının bulunduğu görülmüştür (Çizelge 2).

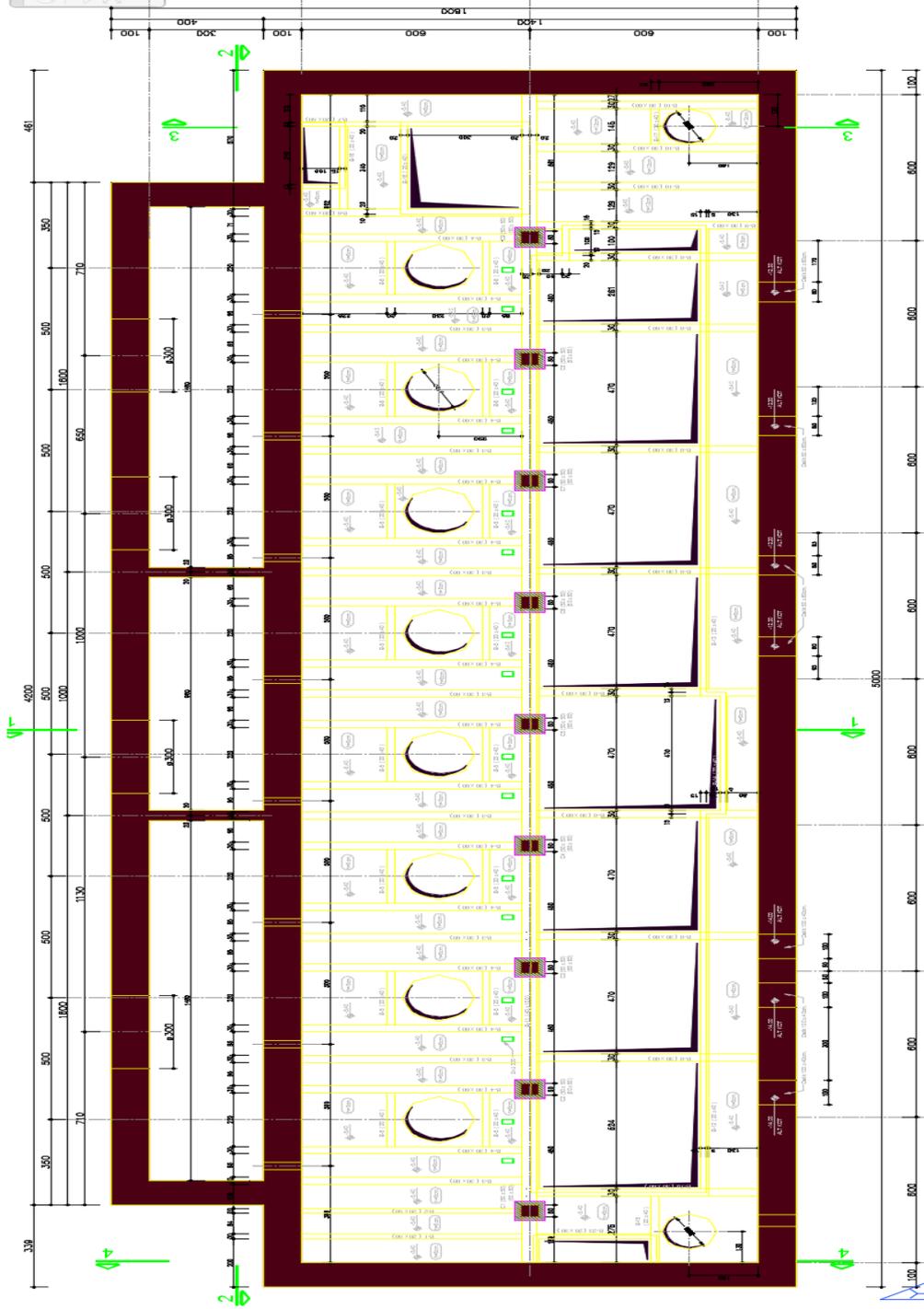
**Çizelge 2.** Betonarme kolon karşılaştırması

Kolon	N	M	V	Beton Sınıfı	Mevcut Donatı	Gereken Donatı
K1 (50/50)	33,1	3,7	0,6	C25	10Ø16	14Ø16
K2 (50/50)	45,9	2,5	0,23	C25	10Ø16	14Ø16
K3 (50/50)	41,3	2,7	0,23	C25	10Ø16	14Ø16
K4 (50/50)	41,9	3,0	0,3	C25	10Ø16	14Ø16
K5 (50/50)	41,8	2,9	0,3	C25	10Ø16	14Ø16
K6 (50/50)	42,1	2,9	0,3	C25	10Ø16	14Ø16
K7 (50/50)	41,9	2,5	0,3	C25	10Ø16	14Ø16
K8 (50/50)	43,3	2,2	0,15	C25	10Ø16	14Ø16
K9 (50/50)	56,5	2,3	0,2	C25	10Ø16	14Ø16

### 3.3.3. Betonarme Kirişler

Analiz sonucunda betonarme kirişlere etkiyen kesit tesirleri elde edilmiştir. Bu değerlere göre kirişler için gerekli olan donatı miktarları STA4CAD programının tekil kiriş hesabı modülü ile belirlenmiştir.

Yapılan hesap sonucunda kirişlerdeki mevcut donatıların yeterli olduğu ve güçlendirme ihtiyacının bulunmadığı görülmüştür. Aynı şekilde kirişler arasında bulunan ve tabla görevi gören döşemelerde de sorun teşkil edecek bir durum olmadığı görülmüştür (Çizelge 3).



Şekil 13. Güçlendirme teknik detayları-1





**Çizelge 3.** Betonarme kiriş karşılaştırması

Kiriş	Beton	Mevcut Donatı	Gereken Donatı
B (20/60)	C25	4Ø18	3Ø12
B (30/60)	C25	4Ø25	5Ø14
B (20/40)	C25	4Ø18	2Ø12
B (20/50)	C25	2Ø25	3Ø12
B (40/100)	C25	4Ø22	10Ø12

#### 4. SONUÇ

Su kamaralarının duvarları deniz suyunun zararlı etkilerinden ciddi biçimde etkilenmiştir. Bu bölümde gerek duvarlarda ve gerekse üst döşemenin alt kısımlarında pas payı dökümleri ve donatı korozyonu gözlemlenmiştir.

Yapılan saha incelemesi sonucunda su kamaralarının betonarme duvarlarında ve döşemelerinde irili ufaklı hasarların bulunduğu ve bu kısımların rehabilite edilmesi gerektiği gerçeği ortaya çıkmıştır.

Pompa istasyonu perde duvarları güncel şartnamelerde verilen yükler ve kriterler açısından yeterli bulunmuştur. Pompa istasyonu perde duvarlarında herhangi bir ilave önlem alınmasına gerek duyulmamıştır.

Pompa istasyonu betonarme kolonlarında donatı çap ve adetleri (donatı oranı) yetersiz bulunmuştur. Betonarme mantolama yöntemi ile güçlendirme yapılması gerektiğine karar verilmiştir.

Pompa istasyonu betonarme kirişleri ve döşemelerinde mevcut kesit alanları ve donatı oranları yeterli bulunmuştur.

Yetersiz kesitler için hazırlanan uygulanacak çizim detayları Şekil 13,14’de verilmiştir.

#### 5. KAYNAKLAR

1. Galal, K., Arafa, A., Ghobarah A., 2005. Retrofit of RC Square Short Columns, Engineering Structures, Volume 27, No. 5, pages 801–813, April.
2. Minafo, G., 2015. A Practical Approach for the Strength Evaluation of RC columns Reinforced with RC Jackets,” Engineering Structures, Volume 85, pages 162-169.
3. Teknik Rapor, 2011. Pompa İstasyonu Mevcut Durumunun Statik Yönden İncelenmesi.
4. TS 500, 2000. Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
5. TS EN 13791, 2010. Basınç Dayanımının Yapılar ve Ön Dökümlü Beton Bileşenlerde Yerinde Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
6. TS 498, 1997. Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
7. DLH Kıyı ve Liman Yapıları, Demiryolları, Hava Meydanları İnşaatları Deprem Teknik Yönetmeliği, T.C. Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, 2008.
8. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Esaslar, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2007.

## Alkol ve Katalizör Miktarlarının Farklı Katalizörlerle Üretilen Kanola Biyodizelinin Dönüşüm Oranı ve Yakıt Özellikleri Üzerindeki Etkisi

Ceyla ÖZGÜR\*<sup>1</sup>

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

Geliş tarihi: 02.02.2016

Kabul tarihi: 08.03.2016

### Özet

Bu deneysel çalışmada transesterifikasyon yöntemiyle farklı katalizör ve alkol miktarlarında sodyum hidroksit (NaOH) ve potasyum hidroksit (KOH) katalizörleri kullanılarak kanola biyodizeli üretilmesi amaçlanmıştır. Üretilen biyodizel örneklerinin dönüşüm oranı, viskozite, yoğunluk ve soğuk akış özellikleri ölçülmüş ve karşılaştırma yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre en yüksek verim ve en düşük soğuk akış özellikleri NaOH kullanıldığında üretilen biyodizel de %0,75 katalizör oranı ve 6:1 alkol/yağ mol oranında; KOH kullanıldığında üretilen biyodizel için %1,00 katalizör oranı ve 9:1 alkol/yağ mol oranında elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kanola biyodizeli, Katalizör, Viskozite, Soğuk akış özellikleri

### The Impacts of Alcohol and Catalyst Amounts on Conversion Rate and Fuel Properties of Canola Biodiesel Produced by Using Different Catalysts

### Abstract

In this experimental study, it is aimed to produce canola biodiesel from transesterification method with different amounts of catalyst and alcohol/molar ratio by using sodium hydroxide (NaOH) and potassium hydroxide (KOH) as catalyst. The conversion ratio, viscosity, density and cold flow properties of produced biodiesel samples were measured and compared. According to the acquired results, the highest yield and the lowest cold flow properties were obtained with 0,75% catalyst concentration and 6:1 alcohol/oil molar ratio for biodiesel production by using sodium hydroxide, 1,00% catalyst concentration and 9:1 alcohol/oil molar ratio for biodiesel production by using potassium hydroxide.

**Keywords:** Canola biodiesel, Catalyst, Viscosity, Cold flow properties

---

\* Yazışmaların yapılacağı yazar: Ceyla ÖZGÜR, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü, Adana. [cgungor@cu.edu.tr](mailto:cgungor@cu.edu.tr)

## 1. GİRİŞ

Günümüzde nüfusun her geçen gün artması ve teknolojik alanda yapılan gelişmeler enerji tüketiminde artışa yol açmaktadır bu durumda çevre kirliliğinde büyük bir rol oynamaktadır [1]. Fosil kökenli yakıtların hava kirliliğine sebep olması ve fosil yakıt rezervlerinin azalması araştırmacıları alternatif yakıt arayışına itmektedir [2]. Petrol bağımlılığını azaltmak için biyodizel gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının gelişimi çok önemlidir. Biyodizelin en önemli avantajları yenilenebilirliği, yüksek oranda biyolojik bozunabilirliği, yüksek parlama noktası ve düşük emisyon miktarlarıdır [3]. Biyodizelin pek çok avantajı bulunduğu gibi bazı dezavantajları da vardır. En önemli dezavantajlarından birisi de viskozitesinin ve soğuk akış özelliklerinin dizel yakıtına oranla daha yüksek olmasıdır [4,5]. Biyodizel kanola, soya, palm, pirinç, mikroalg, vb. pek çok yağdan elde edilebilir [6-9]. Transesterifikasyon yöntemi biyodizel üretiminde en çok tercih edilen yöntemdir. Transesterifikasyon yöntemi kullanılarak gliserin esaslı triesterlerin alkil esaslı monoesterlere dönüştürülmesi sağlanmış olur.

Transesterifikasyon reaksiyonunda, ucuz olması ve reaksiyona kolay girmesinden dolayı alkol olarak metanol kullanılır. Bu reaksiyonda katalizör olarak asidik, bazik veya enzim katalizörleri kullanılır, bazik katalizörler diğer katalizörlere oranla daha hızlı reaksiyona girdiği için daha çok tercih edilirler [10]. Metil ester dönüşüm miktarını etkileyen en önemli parametrelerden bir diğeri de alkol–yağ molar oranıdır. Stokiyometrik transesterifikasyon reaksiyonu, 1 mol gliserid ile 3 mol alkol reaksiyona girerek 3 mol yağ asidi ile 1 mol gliserol oluşturur [11].

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Çıldır ve Çanakçı [12] çalışmalarında ayçiçek yağı, mısırözü yağı ve kolza yağından biyodizel üretmişlerdir. Laboratuvar ortamında transesterifikasyon yöntemi kullanılarak katalizör ve alkol miktarının transesterifikasyon reaksiyonu üzerindeki etkisini araştırılmışlardır. Elde edilen

sonuçlara göre esterlerin dönüşüm oranları, gliserin miktarları, kinematik viskoziteleri, yoğunlukları, akma noktaları, asit numaraları ve parlama noktaları ölçülmüştür. Sonuç olarak; ayçiçek, kolza, mısırözü yağlarından elde edilen metil esterlerin, yüksek akma noktasındaki problemin giderilmesinden sonra dizel motorlarında yakıt olarak kullanılabileceği görülmüştür.

Azcan ve Danişman [13] pamuk yağından sodyum hidroksit ve potasyum hidroksit katalizörleri eşliğinde metanol ile transesterifikasyonunu incelemiştir. Gerçekleştirilen parametrik çalışmalara bağlı olarak optimum reaksiyon koşulları (reaksiyon sıcaklığı, reaksiyon süresi, katalizör oranı) belirlenmiştir.

Chuah ve arkadaşları [14] yaptıkları çalışmada atık pişirme yağlarından biyodizel üretiminde optimum reaksiyon parametrelerini karşılamışlardır. Çalışmalarında alkol/yağ oranını: 1:4-1:7 aralığında, katalist miktarını ağırlıkça %0,5-1,25 aralığında ve reaksiyon sıcaklığını 50-65°C aralığında değiştirmişlerdir. Sonuçlar incelendiğinde en fazla dönüşüm oranı 1:6 molar oranında %1 katalizör miktarında 60 °C de bulunmuştur.

Tomasevic ve Marinkovic [15] çalışmalarında kızartma yağının metanolizini araştırmışlardır. Yağ/alkol oranı, katalizör miktarının, reaksiyon sıcaklık ve reaksiyon süresinin ürün verimini ve saflığını ne şekilde etkilediğini incelemişlerdir. Elde ettikleri verilerden % 1 potasyum hidroksitle 25°C’de de, 1:6 yağ/alkol molar oranında, 30 dakika reaksiyon süresinde üretilen biyodizelin, dizel motorunda kullanıma uygun bir biyodizel olduğunu bulmuşlardır.

Bu çalışmanın amacı sodyum hidroksit (NaOH) ve potasyum hidroksit (KOH) katalizörleriyle üretilen kanola biyodizelinin üretimi esnasında katalizör miktarı ve alkol/yağ molar oranının metil ester dönüşüm oranı üzerine etkilerinin incelenmesi ve elde edilen biyodizellerin dizel yakıtına oranla daha yüksek olan viskozite ve soğuk akış özelliklerinin iyileştirilmesidir.

### 3. MATERYAL VE METOT

#### 3.1. Materyal

Bu çalışmada biyodizel transesterifikasyon yöntemi kullanılarak üretilmiştir. Biyodizel üretiminde hammadde olarak marketten elde edilen kanola yağı, alkol olarak %99,9 saflıkta metil alkol ve katalizör olarak potasyum hidroksit (KOH) ve sodyum hidroksit (NaOH) kullanılmıştır.

#### 3.2. Metod

Yapılan deneysel çalışmada kullanılan biyodizel kanola yağından transesterifikasyon yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. Biyodizel üretimi sırasında katalizör olarak yağın kütlece %0,25, 0,50, 0,75, 1,00, 1,25 ve 1,50 oranlarında NaOH ve KOH kullanılmıştır. Ayrıca, alkol/yağ mol oranı 3:1, 5:1, 6:1 ve 9:1 olarak değiştirilmiştir. Biyodizel üretiminde kullanılan yağ, katalizör ve alkol miktarları hassas terazide ölçülmüştür. Metanol ve katalizör ayrı bir cam kaptaki manyetik karıştırıcı kullanılarak karıştırılmıştır. Daha sonra bu karışım önceden 65°C 'ye ısıtılmış yağ içersine ilave edilerek reaksiyon başlatılmıştır. Karışım bir saat sürede 800 devir/dakika hızla karıştırılarak reaksiyon gerçekleştirilmiştir. Reaksiyon süresince sıcaklık 60°C'de sabit tutulmuştur. Ardından karışım bir süre ile ayırma hunisine koyulmuş bu sayede biyodizelin gliserin fazından ayrılması sağlanmıştır. Son olarakta elde edilen biyodizel ılık su ile yıkanmış, 105°C'de bir saat kurutulduktan sonra filtreleme işlemine tabi tutulmuştur. Deneyler sonucunda elde edilen biyodizellerin viskozite, yoğunluk, akma noktası, bulutlanma noktası ve soğuk filtre tıkanma noktaları ölçülmüştür. Biyodizel üretimi ve elde edilen yakıtların yakıt özellikleri Çukurova Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan biyodizellerin analizinde KEM DA130 yoğunluk ölçme cihazı, Tanaka AKV-202 kinematik viskozite ölçüm cihazı, Tanaka MPC-102 akma-bulutlanma noktası tayin cihazı ve Tanaka AFP-102 soğuk filtre tıkanma noktası tayin cihazı kullanılmıştır. Elde edilen biyodizel dönüşüm

oranı aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmıştır [16]:

$$\%Dönüşüm Oranı = \frac{\text{Gram cinsinden üretilen metil ester miktarı}}{\text{Gram cinsinden reaksiyonda kullanılan yağ miktarı}} \times 100 \quad (1)$$

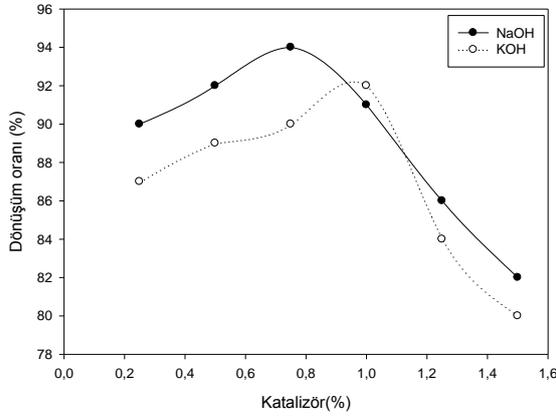
### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Yapılan bu çalışmada sodyum hidroksit (NaOH) ve potasyum hidroksit (KOH) katalizörleri kullanılarak farklı katalizör ve alkol miktarlarında elde edilen kanola biyodizelinin dönüşüm oranı, viskozite, yoğunluk ve soğuk akış özellikleri ölçülmüştür.

#### 4.1. Katalizör Miktarının Transesterifikasyona Etkisi

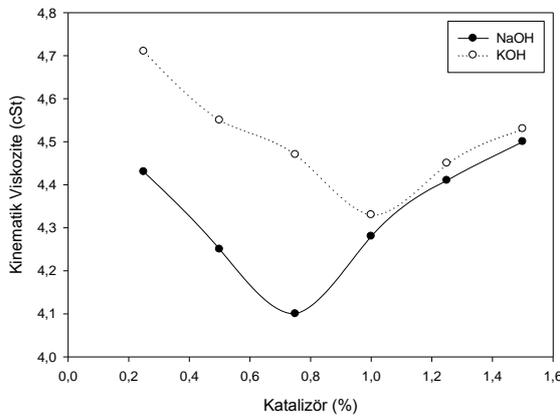
Deneyler esnasında katalizör miktarı yağın kütlece % 0,25, 0,50, 0,75, 1,00, 1,25 ve 1,50 oranlarında değiştirilmiş olup, alkol/yağ oranı 6:1, reaksiyon sıcaklığı 60°C ve reaksiyon süresi 60 dakikada sabit tutulmuştur. Şekil 1'de NaOH ve KOH katalizörleri ile üretilen kanola yağı biyodizelinin % dönüşüm oranlarının katalizör miktarları ile değişimi verilmiştir. Elde edilen verilere göre NaOH katalizörü için maksimum %94, KOH katalizörü için maksimum %92 olduğu belirlenmiştir. Reaksiyonda kullanılan katalizör miktarı %0,25'den %1,00 oranına arttıkça biyodizel dönüşüm oranlarında artış gözlemlenmiştir. Bu da reaksiyon içerisinde katalizör bulunmasının reaksiyon oranını arttırdığının güçlü bir kanıtıdır. Ne var ki %1 katalizör miktarından sonra dönüşüm oranlarında önemli bir düşüş görülmektedir. Bunun nedeni de %1'den yüksek miktarda katalizör oranında sabunlaşmanın meydana gelmesi ve bu sebeple biyodizel verimin azalması olarak yorumlanmaktadır [14,17]. Şekil 2'de NaOH ve KOH katalizörleri ile üretilen kanola biyodizellerinin % katalizör miktarları göz önünde bulundurularak viskozitelerindeki değişim verilmiştir. Elde edilen verilere göre KOH kullanımında %1,00 katalizör oranında ve NaOH kullanımında ise %0,75 katalizör oranında en

*Alkol ve Katalizör Miktarlarının Farklı Katalizörlerle Üretilen Kanola Biyodizelinin Dönüşüm Oranı ve Yakıt Özellikleri Üzerindeki Etkisi*



**Şekil 1.** Katalizör miktarının dönüşüm oranı üzerine etkisi

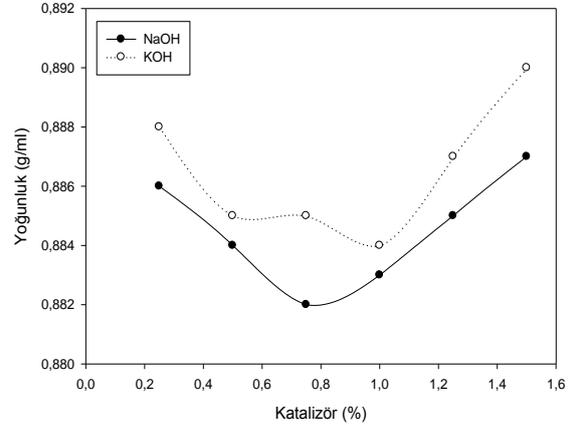
düşük viskozite değerleri ölçülmüştür. Daha önce yapılan çalışmalar incelendiğinde biyodizel veriminin artmasının viskoziteyi azalttığı gözlemlenmiştir ve optimum katalizör miktarından sonra sabunlaşmanın meydana gelmesi biyodizel verimini azalttığından dolayı viskozitenin artışına sebep olmaktadır [5,17].



**Şekil 2.** Katalizör miktarının kinematik viskozite üzerindeki etkisi

Şekil 3'de görüldüğü üzere düşük katalizör miktarlarında yoğunluk düşük iken katalizör miktarı arttıkça yoğunluğun arttığı belirlenmiştir. KOH kullanımında %1,00 katalizör oranında 0,884 g/ml, NaOH kullanımında ise %0,75

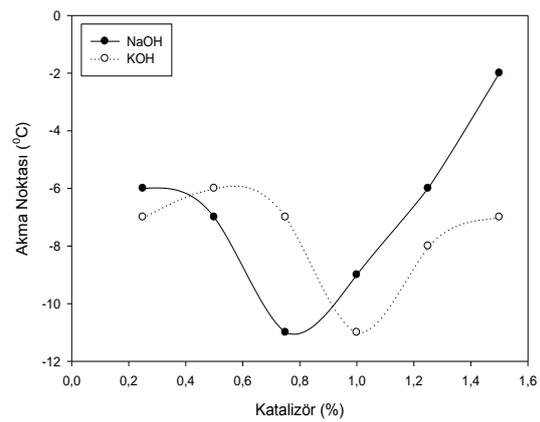
katalizör oranında 0,882 g/ml ile en düşük yoğunluk değerleri elde edilmiştir.



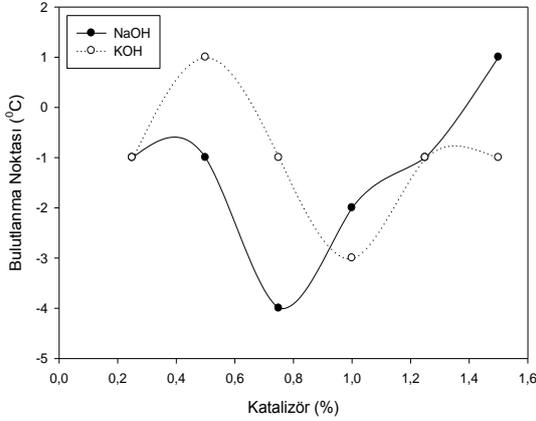
**Şekil 3.** Katalizör miktarının yoğunluk üzerindeki etkisi

Katalizör miktarının soğuk akış özellikleri üzerindeki etkileri sırasıyla Şekil 4, Şekil 5 ve Şekil 6'da verilmiştir. Şekil 4, 5 ve 6 incelendiğinde katalizör miktarı arttıkça soğuk akış özelliklerinin düştüğü optimum katalizör miktarına geldikten sonra ise soğuk özelliklerinin arttığı gözlemlenmiştir.

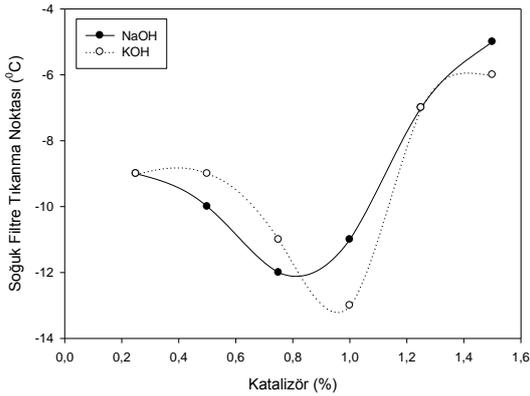
Özellikle katalizör miktarı %1,25 ve 1,50'de soğuk akış özelliklerinde önemli bir ölçüde artış görülmüş olup bunun nedeni yüksek katalizör oranlarında reaksiyonun tamamlanmamasıdır [18].



**Şekil 4.** Katalizör miktarının akma noktası üzerindeki etkisi



Şekil 5. Katalizör miktarının bulutlanma noktası üzerindeki etkisi

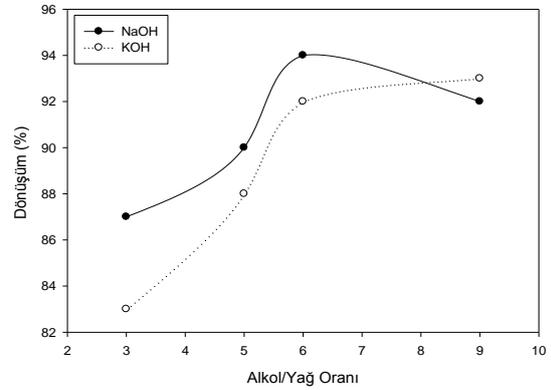


Şekil 6. Katalizör miktarının soğuk filtre tıkanma noktası üzerindeki etkisi

#### 4.2. Alkol/Yağ Oranının Transesterifikasyona Etkisi

Metil ester dönüşümünü etkileyen en önemli etkenlerden bir tanesi de alkol/yağ molar oranıdır [14]. Yapılan çalışmada alkol/yağ oranı 3:1, 5:1, 6:1 ve 9:1 oranlarında değiştirilmiş olup, katalizör miktarı NaOH katalizörü için % 0,75 oranında, KOH katalizörü için %1,00 oranında, reaksiyon sıcaklığı 60°C ve reaksiyon süresi 60 dakikada sabit tutulmuştur. Şekil 7'de NaOH ve KOH katalizörleri ile üretilen kanola yağı biyodizelinin

% dönüşüm oranlarının alkol/yağ oranı ile değişimi verilmiştir. Şekil 7 incelendiği zaman NaOH katalizörü için maksimum dönüşüm miktarı 6:1 alkol/yağ oranında %94 olarak, KOH katalizörü için maksimum dönüşüm miktarı 9:1 alkol/yağ oranında %93 olarak belirlenmiştir. Transesterifikasyon reaksiyonunda fazla miktarda alkol kullanıldığında ester faz ile gliserin fazın ayrıştırılması zor olduğundan çözünürlük içerisinde bir miktar gliserin kalır. Çözelti içerisinde gliserin kalması reaksiyonun yönünü de düşer [5,19].

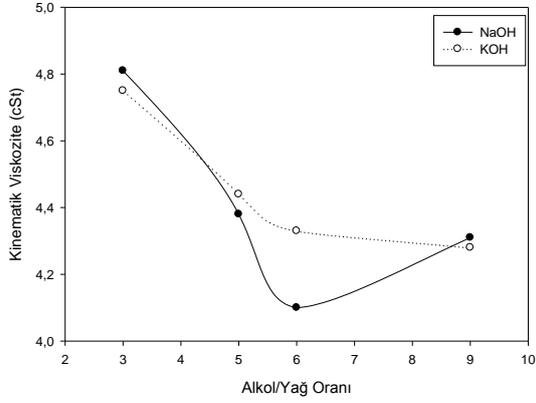


Şekil 7. Alkol/yağ oranının dönüşüm oranı üzerine etkisi

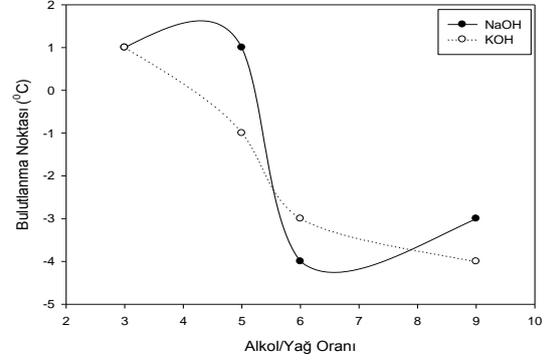
Şekil 8 ve Şekil 9'da alkol/yağ oranının NaOH ve KOH katalizörleri ile üretilen kanola biyodizellerinin viskoziteleri ve yoğunlukları üzerindeki değişimleri verilmiştir. Elde edilen veriler incelendiğinde optimum alkol/yağ oranına ulaşılan kadar kinematik viskozitenin azaldığı, daha sonra arttığı belirlenmiştir. NaOH katalizörü için 6:1 mol oranında 4,1 cSt, KOH katalizörü için 9:1 oranında 4,28 cSt ile en düşük kinematik viskozite değerlerine ulaşılmıştır.

Alkol/yağ oranının soğuk akış özellikleri üzerindeki etkileri sırasıyla Şekil 10, Şekil 11 ve Şekil 12'de verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre reaksiyon içerisindeki alkol oranı arttıkça soğuk akış özelliklerinde bir yükseliş görülmektedir. En düşük soğuk akış özellikleri 6:1 ve 9:1 alkol/yağ molar oranlarında saptanmıştır.

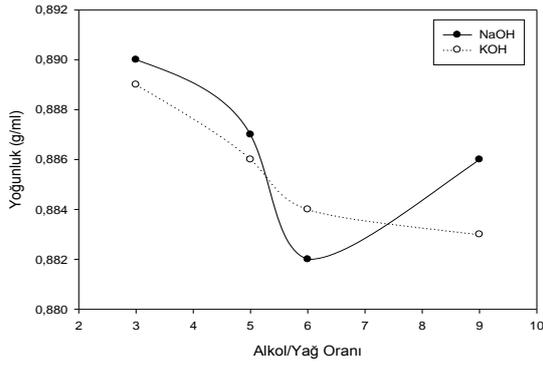
*Alkol ve Katalizör Miktarlarının Farklı Katalizörlerle Üretilen Kanola Biyodizelinin Dönüşüm Oranı ve Yakıt Özellikleri Üzerindeki Etkisi*



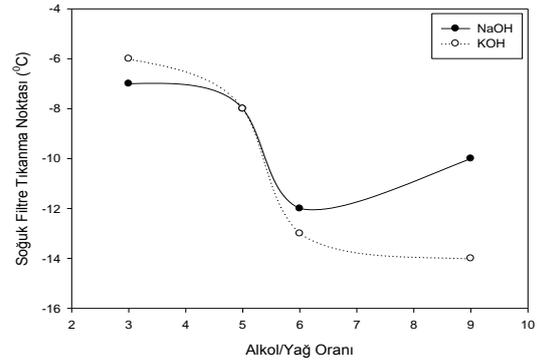
**Şekil 8.** Alkol/yağ oranının kinematik viskozite üzerindeki etkisi



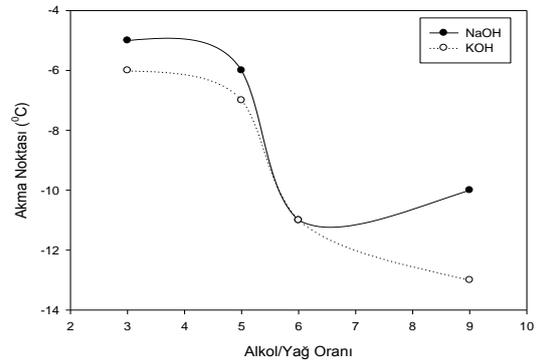
**Şekil 11.** Alkol/yağ oranının bulutlanma noktası üzerindeki etkisi



**Şekil 9.** Alkol/yağ oranının yoğunluk üzerindeki etkisi



**Şekil 12.** Alkol/yağ oranının soğuk filtre tıkanma noktası üzerindeki etkisi



**Şekil 10.** Alkol/yağ oranının akma noktası üzerindeki etkisi

## 5. SONUÇLAR

Yapılan deneysel çalışmada farklı katalizörlerle üretilen kanola biyodizelinin üretim sürecinde katalizör miktarının ve alkol/yağ molar oranının metil ester dönüşüm oranı ve yakıt özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Deneysel çalışma sonuçları aşağıda özetlenmiştir:

En yüksek metil ester dönüşüm oranı NaOH katalizörü kullanılarak üretilen biyodizel için %0,75 katalizör oranı ve 6:1 alkol/yağ mol oranında %94; KOH katalizörü kullanılarak üretilen biyodizel için %1,00 katalizör oranı ve 9:1 alkol/yağ mol oranında %93 olarak ölçülmüştür.



Transesterifikasyon yöntemiyle NaOH katalizörü kullanılarak üretilen biyodizel için en düşük viskozite değeri %0,75 katalizör oranı ve 6:1 alkol/yağ mol oranında; KOH katalizörü kullanılarak üretilen biyodizel için %1,00 katalizör oranı ve 9:1 alkol/yağ mol oranında elde edilmiştir.

En düşük soğuk akış özelliklerini veren katalizör ve alkol miktarlarında NaOH katalizörü ile üretilen biyodizel için akma noktası -11, bulutlanma noktası -4 ve soğuk filtre tıkanma noktası -12 olarak, KOH katalizörü ile üretilen biyodizel için de akma noktası -13, bulutlanma noktası -4 ve soğuk filtre tıkanma noktası -14 olarak ölçülmüştür.

## 6. KAYNAKLAR

1. Çelik, M., Solmaz, H., Yücesu, H.S., 2015. Pamuk Metil Esterine N-Heptan Katkısının Motor Performansı ve Yanma Karakteristiklerine Etkilerinin İncelenmesi, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., 30(3):361-369.
2. Aktaş, A., Sekmen, Y., 2008. Biyodizel ile Çalışan bir Dizel Motorda Yakıt Püskürtme Avansının Performans ve Egzoz Emisyonlarına Etkisi, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., 23(1):199-206.
3. Shah, M., Ali, S., Tariq, M., Khalid, N., Ahmad, F., Khan, M.A., 2014. Catalytic Conversion of Jojoba Oil into Biodiesel by Organotin Catalysts, Spectroscopic and Chromatographic Characterization, Fuel, 118:392-397.
4. Boshui, C., Yuqiu, S., Jianhua, F., Jiu, W., Jiang, W., 2010. Effect of Cold Flow Improvers on Flow Properties of Soybean Biodiesel, Biomass and Bioenergy, 34:1309-1313.
5. Gülüm, M., Bilgin, A., Çakmak, A., 2015. Sodyum Hidroksit (Naoh) ve Potasyum Hidroksit (KOH) Kullanılarak Üretilen Mısır Yağı Biyodizellerinin Optimum Reaksiyon Parametrelerinin Karşılaştırılması, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., 30(3):503-511.
6. Valente, O.S., Silva, M.J., Pasa, V.M.D., Belchior, C.R.P., Sodre, J.R., 2010. Fuel Consumption and Emissions from a Diesel Power Generator Fuelled with Castor Oil and Soybean biodiesel, Fuel, (89):3637-3642.
7. Benjumea, P., Agudelo, J., Agudelo, A., 2008. Basic Properties of Palm Oil Biodiesel-Diesel Blends, Fuel, 87:2069-2075.
8. Evangelista, J.P.C., Chellappa, T., Coriolano, A.C.F., Fernandes Jr., V.J., Souza, L.D., Araujo, A.S., 2012. Synthesis of Alumina Impregnated with Potassium Iodide Catalyst for Biodiesel Production from Rice Bran Oil, Fuel Processing Technology, 104:90-95.
9. Tüccar, G., Aydın, K., 2013. Evaluation of Methyl Ester of Microalgae Oil as Fuel in a Diesel Engine, Fuel, 112:203-207.
10. Karabaş, H., 2013. Ayçiçek Yağı Biyodizelinin Ester Dönüşüm Oranı Üzerine Etkili Olan Parametrelerin Optimizasyonu, Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 10(1):1-5.
11. Kafadar, A.B., 2010. Yağlardan Biyodizel Eldesine Etki Eden Faktörlerin Araştırılması, Doktora Tezi, Dicle Üniversitesi.
12. Çıldır, O., Çanakçı, M., 2006. Çeşitli Bitkisel Yağlardan Biyodizel Üretiminde Katalizör ve Alkol Miktarının Yakıt Özellikleri Üzerine Etkisinin İncelenmesi, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 21, No 2, 367-372.
13. Azcan, N., Danışman, A., 2006. Pamuk Yağından Transesterifikasyon ile Biyodizel Eldesi. Yedinci Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, 5-8 Eylül.
14. Chuah, L.F., Yusup, S., Aziz, A.R.A., Bokhari, A., Klemeš, J.J., Abdullah, M.H., 2015. Intensification of biodiesel synthesis From Waste Cooking Oil (Palm Olein) in a Hydrodynamic Cavitation Reactor: Effect of Operating Parameters on Methyl Ester Conversion, Chemical Engineering and Processing, 95:235-240.
15. Tomasevic, A.V., Marinkovic, S.S.; 2003. Methanolysis of Used Frying Oils, Fuel Process Technology, 81:16.
16. Altaie, M.A.H., Janius, R.B., Rashid, U., Yap, Y.H.T., Yunus, R., 2015. Cold Flow and Fuel

- Properties of Methyl Oleate and Palm-Oil Methyl Ester Blends, *Fuel*, 160:238–244.
- 17.** Gülüm, M., Bilgin, A., 2014. Çeşitli Üretim Parametrelerinin NaOH Kullanılarak Üretilen Mısır Yağı Biyodizelinin Bazı Yakıt Özelliklere Etkisi, 7. Otomotiv Teknolojileri Kongresi, Bursa, 26-27 Mayıs.
- 18.** Rasimoglu, N., Temur, H., 2014. Cold Flow Properties of Biodiesel Obtained from Corn Oil, *Energy*, 68:57-60.
- 19.** Meher, L.C., Vidya Sagar, D., Naik, S.N., 2006. Technical Aspects of Biodiesel Production by Transesterification-a Review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 10:248-268.

## Çolaklı (Elazığ) Çevresindeki Plütonik Kayaçların Mineralojik, Petrografik ve Jeokimyasal Özellikleri

Gizem ARSLAN<sup>1</sup>, Melahat BEYARSLAN\*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Elazığ

Geliş tarihi: 02.02.2016

Kabul tarihi: 11.05.2016

### Özet

İnceleme alanı, Çolaklı (ELAZIĞ) çevresinde yaklaşık 130 km<sup>2</sup>'lik bir alanı kapsamaktadır. Çalışma alanında yaşlıdan gence doğru Üst Kretase yaşlı Elazığ Magmatitleri, Orta Eosen-Üst Oligosen yaşlı Kırkgeçit Formasyonu, Üst Miyosen-Alt Pliyosen yaşlı Karabakır Formasyonu ve Pliyo-Kuvaterner yaşlı Palu Formasyonu yüzelemektedir. Elazığ Magmatitleri inceleme alanında granit, granodiyorit, tonalit, diyorit ve kuvars diyorit gibi derinlik; mikrodiorit ve aplit gibi yarı derinlik kayaçlarıyla temsil olunmaktadır. Elazığ Magmatitleri'ni uyumsuz olarak örten Kırkgeçit Formasyonu; kumtaşı ve marnlardan meydana gelmiştir. Kendisinden yaşlı birimleri uyumsuz olarak örten Karabakır Formasyonu, inceleme alanında bazaltlardan oluşmaktadır. Karasal konglomeralardan meydana gelen Palu Formasyonu ise çalışma alanının en genç birimidir. Çalışma alanındaki asidik bileşimli kayaçlarda yapılan analiz sonuçlarına göre; bu kayaçlar magmatik seri olarak subalkalen karakterli ve I-tipi granitoyid özelliğinde olup, tektonik olarak ise, volkanik yay granitoyidleri (VAG) ve çarpışmayla eş yaşlı granitoyidleri (Syn-COLG) alanında yer almaktadır. Elazığ Magmatitleri'ne ait olan Çolaklı (Elazığ) çevresi plütonik kayaçları ada yaylarında oluşmuş yay magmatizması ürünüdürler.

**Anahtar Kelimeler:** Plütonik kayaç, Petrografi, Volkanik yay, Elazığ magmatitleri, Çolaklı, Elazığ

### Mineralogical, Petrographical and Geochemical Characteristics of Plutonic Rocks in the Çolaklı (Elazığ) Region

#### Abstract

The studied area covers an area about 130 km<sup>2</sup> in the Çolaklı (ELAZIĞ) environment. The units of studied area from the oldest to the youngest; Upper Cretaceous Elazığ Magmatites, Middle Eocene-Upper Oligocene Kırkgeçit Formation, Upper Miocene-Lower Pliocene Karabakır Formation and Plio-Quaternary Palu Formation are exposed. In the studied area, the Elazığ Magmatites is represented by

---

\* Yazışmaların yapılacağı yazar: Melahat BEYARSLAN, Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Elazığ, melahat.beyarslan@gmail.com

plütonic rocks such as granite, granodiorite, tonalite, diorite, quartz diorite; subvolcanic rocks such as microdiorite and aplite. Kırkgeçit Formation covers an angular unconformity Elazığ Magmatics and this formation consists of sandstone and marls. Karabakır Formation comprising basalts overlap on older units with an unconformity. Palu Formation composed of terrestrial conglomerate is the youngest unit in the studied area. According to the geochemical analysis results, it defined that this magmatic rocks have subalkaline characteries and I-type granitoid plotted volcanic arc granitoids (VAG) and syn-collision granitoids (Syn-COLG). The intrusive rocks in studied area belong to Elazığ Magmatics are products of island arc magmatism.

**Keywords:** Plutonic rock, Petrography, Volcanic arc, Elazig magmatics, Çolaklı, Elazığ

## 1. GİRİŞ

Bu çalışma ile Elazığ ili kuzeyinde yüzeyleyen Çolaklı çevresi plütonik kayaçların mineralojik, petrografik ve jeokimyasal özelliklerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Çalışmanın konusu Elazığ Magmatitleri'ne ait olan Çolaklı (Elazığ) çevresi plütonik kayaçlarını sınıflandırmak ve jeokimyasal özelliklerinden yararlanarak magmanın kökenini ve jeotektonik ortamını belirlemektir.

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bölgenin ekonomik değere sahip cevherleşmeler açısından zengin oluşu, bölgesel ölçekli yapısal unsurların (Kuzey Anadolu Fayı, Doğu Anadolu Fayı) varlığı, büyük mühendislik yapılarının (Keban, Karakaya Barajları gibi) varlığı ve bölgenin jeotektonik evrimini açıklamaya katkısı olabilecek magmatik kayaçların geniş yüzeylemeler sunması, jeolojik açıdan bölgenin önemini artırmıştır. Tüm bu unsurları bir arada taşıyan bölge gerek Türk, gerekse yabancı birçok yer bilimcinin dikkatini çekmiş ve bölgede değişik amaçlı birçok çalışmanın yapılmasına temel oluşturmuştur. Perinçek [1], bölgesel ölçekte yaptığı çalışmalarda Doğu Toros Orojenik Kuşağı'nda yüzeyleyen birimlerin dağılımını, konumunu, petrografi, petroloji ve stratigrafisini değişik zaman aralıklarında değişik bölgelerde incelemiştir. Araştırmacı, elde ettiği bulgulara dayanarak, bu kuşağın tektonik evrimini levha tektoniği kuramıyla irdelemiştir. Bingöl [5],

Elazığ-Pertek-Kovancılar çevresinde yaptığı çalışmalarda, Yüksekova Karmaşığı (Elazığ Magmatitleri)'nin petrografi ve petrolojisini inceleyerek, karmaşığın oluşum ortamını açıklamaya çalışmıştır. Araştırmacı, Yüksekova Karmaşığı (Elazığ Magmatitleri)'ni kalkalkali bir magmadan türemiş ada yayı ürünü olarak değerlendirmiş ve karmaşığın Üst Kretase sonu tektonik hareketler ile, Keban Metamorfileri tarafından üzerlendiğini belirtmiştir. Bingöl [7], Yüksekova Karmaşığı (Elazığ Magmatitleri)'ni oluşturan kayaçların gabrodan granite kadar geniş bir bileşim farklılığı sunduğunu ve bu kayaçların dalma-batma olaylarının üç evresinde oluştuğunu belirtmiştir. Araştırmacı, birinci ve ikinci evrede ada yayı kayaç topluluğunu karakterize eden gabro, diyorit, monzonit, tonalit ve granodiyoritlerin oluştuğunu; üçüncü evrede ise kıta-ada yayı çarpışma zonunu karakterize eden granitlerin oluştuğunu belirtmiştir. Turan [8], Baskil-Aydınlı yöresinde yaptığı çalışmada Yüksekova Karmaşığı'nın, Neotetis'in güney kolu üzerinde Senoniyen süresince hüküm süren dalma-batma zonunda oluşmuş ada yayı ürünleri olduğunu açıklamıştır. Akgül [9], Piran Köyü (Keban) çevresinde Yüksekova Karmaşığı (Elazığ Magmatitleri) üzerinde yaptığı petrografik ve petrolojik çalışmada karmaşığı oluşturan kayaçların bölgeye üç farklı evrede yerleştiğini; birinci evrede bazik plütonik ve volkanik kayaçların, ikinci evrede asit plütonik ve volkanik kayaçların, üçüncü evrede ise artık magmadan türeyen aplit ve lamprofirlerin geliştiğini belirtmiştir. Turan [10], Elazığ yakın çevresindeki tektonik yapıları ve bunların bölgenin jeolojik evrimindeki yerini açıklamıştır. Yazar, bölgenin

orojenik kuşaklara özgü kıvrımlı ve özellikle kırıklı türden yapılar bakımından oldukça zengin olduğunu ve bu yapıların Neotetis'in güney kolunun Üst Kretase-Alt Miyosen arasındaki kapanma ve sonuçta Orta Miyosen'deki nihai kıvrımına bağlı sıkışma rejimi altında meydana geldiğini belirtmiştir. İnceöz [11], Harput (Elazığ) yakın kuzeyi ve doğusunda yaptığı çalışmada; inceleme alanında görülen değişik litolojilerdeki kayaların birbiriyle olan ilişkilerini belirlemiş, bölgenin 1/25.000 ölçekli harita düzeyinde ayrıntılı tektonik yapıları ortaya çıkarıp, bu yapılardan yararlanarak bölgenin tektonik evrimine yorum getirmiştir. Kürüm [12], Elazığ kuzeybatısındaki genç volkanitlerin petrolojik özelliklerini incelemiş ve çalışma bölgesindeki volkanizmanın Üst Miyosen'de kalkalkalen özellikte, daha sonra çok az oranda toleyitik ve en son aşamada da önemli ölçüde alkalin özellikte olduğunu belirtmiştir. Bingöl ve Beyarşlan [13], Elazığ Magmatitleri'nin petrografisini ve jeokimyasını incelemişlerdir. Araştırmacılar, arazi ve jeokimyasal verilere dayanarak; Elazığ Magmatitleri'ni oluşturan kayaların Üst Triyas'tan itibaren açılmaya başlayan Neotetis'in güney kolunun Üst Kretase'den itibaren kuzeye doğru dalımı ve buna bağlı olarak üstteki levhada meydana gelen supra-subduction zonu ofiyolitleri (Kömürhan Ofiyoliti) üzerinde gelişen kalkalkalen seriye ait ve ada yayı magmatizması ürünleri olduğunu belirtmişlerdir.

Beyarşlan [14], Serince-Harput çevresindeki granitik kayaları ve kökenlerini incelemiştir. İnceleme alanındaki granitik kayalar Elazığ Magmatitleri'nin diyorit ve tonalitleri içerisinde intrüzif kütleler halinde bulunurken, volkanit ve volkanoklastitleri içerisinde dayk ve silller halinde görülmektedir. İnceleme alanı doğusunda ise Elazığ Magmatitleri'nin üzerinde geliştiği okyanus kabuğuna ait gabro ve diyabazları kesmektedir. Elazığ Magmatitleri'nin Elazığ civarında yaygın biçimde yüzeyleyen ve yitim zonu üzerindeki levhada açılmaya bağlı (SSZ) olarak gelişen ofiyolitler (Guleman, Kömürhan, İspendere) üzerinde oluşmuş tipik ada yayı malzemesi olduğu kabul edilmiştir.

### 3. METERYAL VE METOD

Çalışmalar, literatür, arazi, laboratuvar ve büro çalışmaları olmak üzere dört aşamada gerçekleştirilmiştir. İnceleme alanının 1/25.000 ölçekli haritası İnceöz (1994) tarafından yapıldığından, ayrıca haritalama çalışması yapılmamış ve bu haritadan çalışmalarımızda yararlanılmıştır [11]. Arazi çalışmaları sırasında birimlerin birbiriyle olan ilişkileri araştırılıp, petrografik ve jeokimyasal incelemeler için çok sayıda örnek alınmıştır. Alınan kayaç örneklerinden; laboratuvarda petrografik ince kesitler hazırlanmış, yapılan bu kesitler polarizan mikroskopta incelenerek mineralojik ve petrografik özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Petrografik olarak incelenmiş örneklerden jeokimyasal analizler yapılması için daha az altere olan örnekler seçilmiş ve bunlardan analiz yaptırılmıştır.

Analizler Canada ACME analitik laboratuvarında ICP-MS yöntemi ve Canada ACTLAB'da Triton-MC (Mass Spectrometer) yöntemi kullanılarak yaptırılmıştır. Arazi ve laboratuvar çalışmalarından sonra elde edilen veriler değerlendirilerek inceleme alanındaki plütonik kayaların kökeni, oluşum ortamları ve oluşum şartları belirlenmiştir.

### 4. GENEL JEOLJİ

Çolaklı plütonik kayaları Elazığ ilinin kuzeyinde, Keban Baraj Gölünün güneyinde yüzeylemektedir (Şekil 1). Bu bölgede yüzeyleyen plütonik kayalar granit grubu kayalar ve diyorit grubu kayalar olmak üzere iki birime ayrılırlar.

Diyorit grubu kayalar plütonik kayalarının tabanını oluşturmakta ve granit grubu kayalar tarafından kesilmektedir. Her ikigrup kayaç uyumsuz olarak Orta Eosen-Oligosen yaşlı Kırgeçit Formasyonu, Üst Miyosen-Alt Pliyosen yaşlı Karabakır Formasyonu, Pleistosen yaşlı Elazığ volkanitleri, Pliyo-Kuvaterner yaşlı Palu Formasyonu ve güncel alüvyonlarla örtülmektedirler (Şekil 2).

#### 4.1. Elazığ Magmatitleri

Elazığ civarında ve çalışma alanında geniş bir yüzeylemeye sahip olan, ilk defa Perinçek [1, 2] tarafından Hakkari ili Yüksekova ilçesi yakınlarında Yüksekova Karmaşığı adıyla tanımlanan ve Hakkari'den başlayarak Kahramanmaraş'a kadar yayılım gösteren birimin devamı olan Elazığ Magmatitleri pek çok araştırmacı tarafından çalışılmıştır. Oldukça geniş bir alanda yüzeyleme sunan birim, litolojik özellikleri bakımından bölgesel farklılıklar göstermektedir. İşte bu bölgesel farklılıklardan yola çıkan araştırmacılar Yüksekova Karmaşığı'nın Elazığ çevresinde daha düzenli bir istif sunduğunu belirtip, birimin Elazığ çevresindeki yayılımı için bu adlamanın daha uygun olacağını düşünmüşlerdir. Bölgesel farklılıklar bir yana bırakılacak olursa Elazığ Magmatitleri çoğunlukla gabro, diyabaz, diyorit, monzonit, tonalit, granodiyorit, granit, bazalt, andezit, piroklastit ve pelajik sedimentlerden oluşmaktadır [11]. Elazığ ve çevresinde magmatitler üzerinde ayrıntılı petrografik ve petrolojik incelemeler yapan Bingöl [5] karmaşığın genel olarak gabro, diyorit, monzonit, tonalit ve granodiyorit gibi derinlik kayaçları; bazalt, andezit, dasit ve genellikle andezitik piroklastitler ve tüm bunları kesen granitik kayaçlar ve volkanosedimanlardan oluştuğunu belirtmektedir. Yazar, birimin bu şekilde düzenli bir istif göstermesinden dolayı Yüksekova Karmaşığı'ndan farklı olduğunu belirtip, "Elazığ Magmatitleri" olarak adlandırmıştır. Bingöl ve Beyarslan [13], Elazığ Magmatitleri'nin birbirini kesen diyorit, tonalit, granodiyorit ile bunlar üzerinde yer alan bazaltik yastık lavlar, bazaltik-andezitik lav akıntıları, andezitik piroklastitler, volkanosedimanlar ve tüm derinlik ve yüzey kayaçlarını kesen granit dayk ve intrüzyonları, andezitik lav ve piroklastitler ile volkanosedimanları kesen dasit daykları ve dasit domlarından oluştuklarını kabul etmektedirler.

Birçok araştırmacı (Perinçek ve Özkaya, [15]; Turan, [8]; Turan ve Bingöl, [16]; Bingöl, [5, 6, 7]; Beyarslan, [17]; Bingöl ve Beyarslan, [18]; Beyarslan, [19]) birimin yaşını Üst Kretase ve/veya Senoniyen olarak değerlendirmişlerdir. Elazığ

Magmatitleri'nin oluşumu hakkında değişik araştırmacılar aynı veya birbirine yakın görüşler ileri sürmüşlerdir. Bingöl [5], magmatitlerin kısmen okyanusal kısmen de kıtasal kabuk üzerinde gelişen ada yayı ürünleri olduğunu belirtmiştir. Yazgan [20], birimin alkaliye eğimli kalkalkalen özellikte olduğunu ve bir kıta kenarı magmatizması ya da kısmen okyanusal kabuk üzerinde gelişmiş bir ada yayı ürünü olarak yorumlamıştır. İnceleme alanında Elazığ Magmatitleri; granitik kayaçlar ve diyorit grubu kayaçlar olmak üzere iki birime ayrılmış ve incelenmiştir.

##### 4.1.1. Granitik Kayaçlar

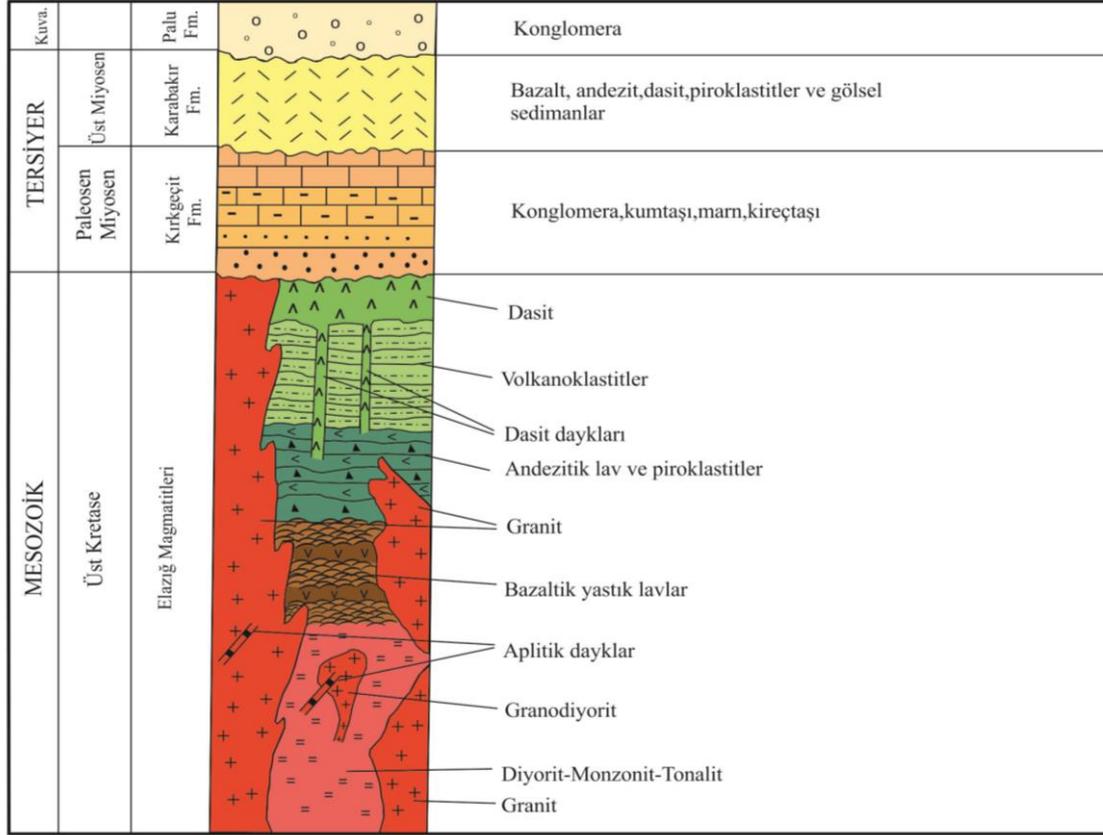
Kızıldağ, Karadağ ve Serince ve Çolaklı köyleri çevresinde yüzeylemeler sunmaktadır (Şekil 1). Genellikle açık pembe renkli kayaçlar granitten tonalite kadar değişen bileşime sahiptirler. Araziye bu litolojik birimleri birbirinden ayırmak mümkün değildir. Bol çatlaklı, ileri derecede ayrılmış yüzeylere sahiptirler. Bu kayaçlar kalınlıkları milimetreden santimetreye kadar değişen felsik (aplitik) dayklar ve diyorit daykları tarafından kesilmektedirler (Şekil 3). İncelenen granitik kayaçların en önemli özelliklerinden biriside içermiş oldukları mafik mikrogranüler anklavlardır. Bu tür anklavlar genellikle oval, merceksi ve elipsoid şekilli olup, birkaç santimetre büyüklüğündedirler. İçerisinde bulunduğu granitik kayaçla herhangi bir reaksiyon göstermemektedirler (Şekil 4).

##### 4.1.2. Diyorit Grubu Kayaçlar

Diyorit grubu kayaçlar, Kızıldağ'ın batı ve kuzeybatısında, Meşeliköy çevresinde, Yılangeçiren Köyü'nün doğu ve batısında, Obuz Köyü'nün güney ve doğusunda yüzeylemektedirler. Yüzlekler altere olmuş yüzeylere sahiptir. Genellikle gri renkli, hafifçe yeşilimsi renklidirler (Şekil 5). Araziye diyorit grubunu oluşturan farklı litolojik birimleri mineralojik ve dokusal olarak ayırmak imkansızdır. Ayrıca, bazı bölgelerde özellikle mafik minerallerin oranlarındaki artışlar gözlenebilmektedir.



Çolaklı (Elazığ) Çevresindeki Plütonik Kayaçların Mineralojik, Petrografik ve Jeokimyasal Özellikleri



Şekil 2. İnceleme alanındaki birimler arasındaki ilişkileri gösteren geliştirilmiş stratigrafik kesit ([13]'den değiştirilerek alınmıştır).



Şekil 3. Elazığ Magmatitleri'ne ait granitik kayaçlardaki aplitik damarlar ve arenalar (37S 0525271D/4290362K)





Şekil 4. Elazığ Magmatitleri'ne ait granitik kayaçlar içerisindeki anklavlar (37S 0525271D/4290362K)



Şekil 5. Elazığ Magmatitleri'ne ait granitik kayaçlar ile diyorit grubu kayaçlar arasındaki intrüzif dokanak (37S 0525822D/4289834K)

### 3. PETROGRAFI

#### 3.1. Diyorit Grubu Kayaçlar

İnceleme alanında geniş bir yayılım gösteren

diyorit grubu kayaçlar diyorit, kuvars diyorit ve damar kayaçlarından oluşmaktadır. Esas olarak plajiyoklas ve hornblendlerden oluşan kayaç az oranda da kuvars ve opak mineral içermektedir. Diyoritlerde plajiyoklaslar, özşekilli ve yarı özşekilli kristaller halindedir. Genel olarak plajiyoklaslarda albit, albit+karlsbad türü ikizlenmeler görülmekle birlikte, ezilme zonu yakınından alınan örneklerdeki ikizlenmelerinde deformasyondan dolayı bükülmeler ve silinmeler gösteren kristaller de vardır. Bu durum düşük dereceli metamorfizma koşullarına işaret etmektedir. Ayrıca, plajiyoklaslarda karbonatlaşma, sosuritleşme türü alterasyonlar görülmektedir. Plajiyoklaslar kayaç içerisinde yaklaşık olarak %60-65 oranında bulunmakta olup, albit ikizine göre yapılan sönme açısı tayinlerinde plajiyoklas türü andezin olarak belirlenmiştir. Hornblend mineralleri yarı özşekilli ve özşekilsiz kristaller halinde olup, yeşilimsi tonlarda bir pleokroizmaya sahiptirler. Diyorit grubu kayaçlar içerisinde bulunan kuvars diyoritler, mineralojik ve optik özellikleri bakımından diyoritlere benzemektedirler. Ancak, arazide dağılımları tam

olarak belirlenememekle birlikte kuvars oranındaki artış dikkate alınarak kuvars diyorit olarak tanımlanmışlardır. Diyoritlerden farklı olarak daha fazla oranda opak mineral içeren bu kayaçlardaki kuvarslar genellikle özşekilsiz kristaller halinde, dalgalı sönmelidirler ve %5'ten fazla orana sahip oldukları için bu kayaçlar kuvars diyorit olarak isimlendirilir. Kuvars diyoritlerde plajiyoklaslar, özşekilli ve yarı özşekilli kristaller halindedir. Genel olarak plajiyoklaslarda albit, albit+karlsbad türü ikizlenmeler gözlenmektedir. Kuvars diyoritlerde görülen hornblendler, genellikle yarı özşekilli ve özşekilsiz kristaller halindedir. Az oranda da iri taneli özşekilli kristallere de rastlanmaktadır. Bunlar yeşilimsi tonlarda pleokroizmaya sahiptirler. Tektonizmaya bağlı olarak düşük dereceli metamorfizmanın izlerini taşımaktadırlar. Bu sebeple iri hornblend kristalleri içerisinde lifsi tremolit-aktinolit kapantuları görülmektedir. Ayrıca, bu kristallerin çevresi yoğun bir şekilde opak mineraller ile sarılmıştır. Diyorit grubu kayaçlar içerisinde, diyoritlerden farklı renklere sahip ve diğer diyoritik kayaçları kesen daha ince taneli mikrodioritlere de rastlanmaktadır. Bunlarda diyoritlerle aynı mineralojik petrografik özelliklere sahip olup, daha ince tanelidirler. Diyorit grubu kayaçlarda genel olarak subhedral granüler doku görülmekle birlikte, ayrıca poikilitik dokuya da rastlanmaktadır (Şekil 6). Poikilitik dokuda büyük boy amfibol kristalleri bulunmaktadır ve bu amfibol kristalleri içerisinde farklı mineraller olarak opak mineraller ve plajiyoklaslar küçük boy kristaller şeklinde görülmektedir.

## **5.2. Granit Grubu Kayaçlar**

Granit Grubu Kayaçlar, çalışma alanında geniş bir yayılım sunan granit, granodiyorit ve tonalit bileşimli kayaçlardan oluşmaktadır.

### **5.2.1. Granitler**

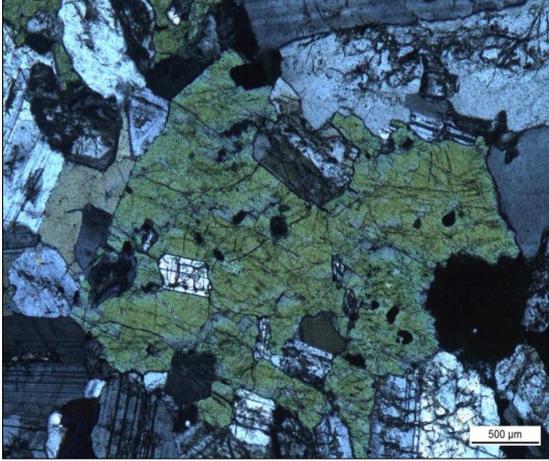
Granitler esas olarak kuvars, plajiyoklas, K-feldispat, biyotit, amfibol ve opak minerallerden oluşmaktadır. Granitler içerisindeki kuvarslar değişik boyutlu olup, özşekilsiz kristaller halindedir ve deformasyondan kaynaklanan dalgalı sönmeye gösterirler. Ayrıca, diğer minerallerin ara boşluklarını doldurmaktadırlar ve kayaç içerisinde

yaklaşık %20-25 civarında bir orana sahiptirler. Kayaç içerisindeki plajiyoklaslar, özşekilli ve yarı özşekilli kristaller halindedir. Yoğun olarak albit, albit+karlsbad ikizi gösteren plajiyoklaslardaki alterasyon etkileri sonucunda serizitleşme, sosuritleşme ve karbonatlaşma görülmektedir. Serizit mineralleri ince pulcuklar halinde gelişmiş olup, yer yer mineral içerisinde dağılmış bir şekilde bulunmaktadır. Albit ikizi gösteren kristallerde 8°-15°'lik sönmeye açılarına göre plajiyoklasların albit-oligoklaz türünde olduğu saptanmıştır. Plajiyoklaslar, kayaç içerisinde yaklaşık olarak %30-35 oranında bulunmaktadır. Granitler içerisinde bulunan K-feldispatlar oldukça iri taneli, genellikle özşekilsiz veya yarı özşekilli kristaller halinde olup, ikizlenmelerine dayanarak bunların ortoklas bileşiminde olduğu söylenebilir. Bazı kristallerde çok belirgin olmasa da ince dilinim izlerine rastlanmaktadır. Ayrıca yoğun altereli olup, büyük bir kısmı pertitik özellik gösteren alkali feldispatlarda yer yer karbonatlaşma görülmektedir. Kayaç içerisinde alkali feldispatların oranı yaklaşık %25-30 civarındadır. Mafik mineral olarak biyotit ve amfibol mineralleri bulunmaktadır. Kayaç içerisinde % 5-10 oranında bulunmaktadır. Biyotitler, levhamsı-prizmatik ve çubuksu kristaller halindedir; ancak tamamen oksitlenmişlerdir. Tek yönde dilinimi, kahverengi pleokroizması ve D-B yönünde en karanlık durumunu alması ile diğer minerallerden ayrılırlar. Biyotitlere oranla daha az bulunan amfiboller, yeşilimsi pleokroizmaya sahip olup, yarı özşekilli veya özşekilsiz kristaller halindedir.

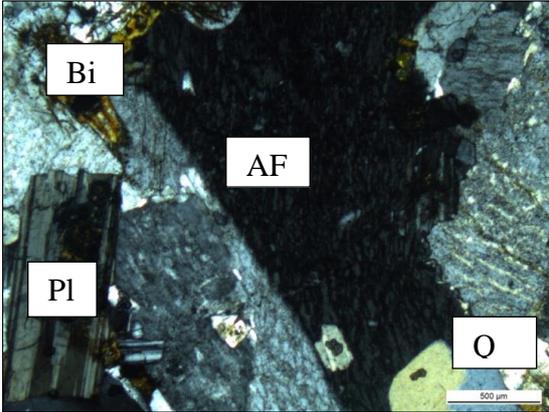
Yer yer kloritleşme izlenmektedir. Bunlardan başka tali olarak yer yer boşlukları dolduracak şekilde opak mineraller görülmektedir. Granitlerde genellikle özşekilli, yarı özşekilli ve özşekilsiz kristallerin oluşturduğu subhedral granüler doku (Şekil 7) ve K-feldispatlar ile kuvarsların iç içe büyüme gösterdiği grafik doku izlenmektedir.

### **5.2.2. Granodiyoritler**

Granodiyoritler, esas olarak plajiyoklas, kuvars, K-feldispat, biyotit ve amfibol; ikincil bileşen olarak da klorit, çok az miktarda opak minerallerden oluşmaktadır. Granodiyoritlerde plajiyoklaslar



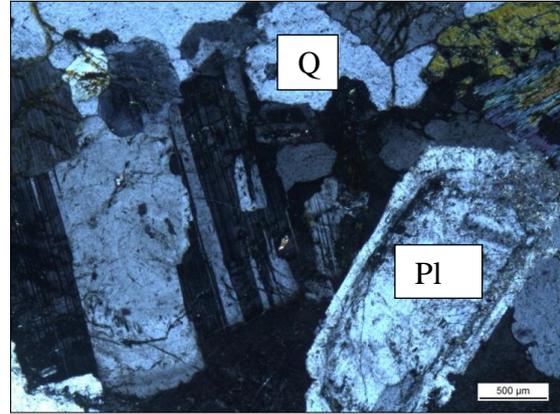
**Şekil 6.** Elazığ Magmatitleri'nin diyorit grubu kayaların gösterdiği poikilitik doku (4x/0,10 büyütme objektif Çift Nikol)



**Şekil 7.** Granitlerdeki subhedral granüler doku ve alkali feldispat minerallerinde pertitleşme (Q: Kuvars, A.F: Alkali Feldispat, Pl: Plajiyoklas, Bi: Biyotit. 4x/0,10 büyütme objektif Çift Nikol)

özşekilsiz ve yarı özşekilli kristaller halinde olup, çoğunlukla normal zonlanma göstermektedirler. Ayrıca albit+karlsbad ikizi gösteren plajiyoklas kristallerine de rastlanmaktadır. Plajiyoklaslarda, karbonatlaşma, serizitleşme türü alterasyonlar görülmektedir. Plajiyoklaslar, kayaç içerisinde yaklaşık %50-55 civarında bulunmaktadır. Granodiyoritler içerisindeki kuvarslar genellikle özşekilsiz kristaller halinde olup, deformasyon

geçirmiş olanlar dalgalı sönme göstermektedirler. Kayaç içerisindeki oranları yaklaşık %20-25 civarındadır. Kayaç içerisinde az oranda bulunan K-feldispatlar çoğunlukla iri kristalli olup, pertitik yapı gösteren yarı özşekilli veya özşekilsiz kristaller halinde bulunmaktadır. Kayaç içerisinde %15-20 civarında bulunmaktadır. Mafik mineral olarak bulunan biyotit ve hornblendler ise, değişik boyut ve şekillerde olup, yer yer kenarları boyunca kloritleşmişlerdir. Granitlere oranla hornblend oranlarında artış gözlenmektedir. Opak mineraller ise, daha az oranda bulunmaktadır. Granodiyoritlerde genelde subhedral granüler doku görülmektedir (Şekil 8). Az oranda grafik dokuya da rastlanmaktadır.

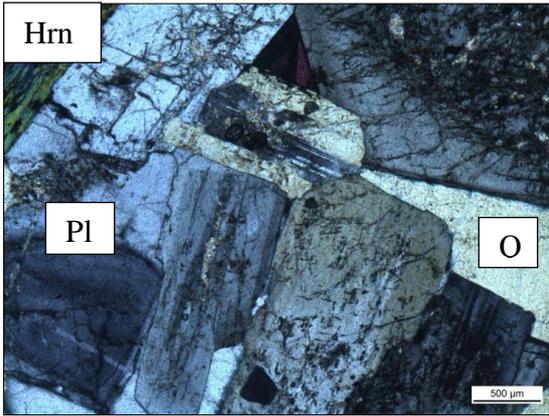


**Şekil 8.** Elazığ Magmatitleri'nin granitik kayalara ait granodiyoritlerin gösterdiği subhedral granüler doku (Q: Kuvars, Pl: Plajiyoklas. 4x/0,10 büyütme objektif Çift Nikol)

### 5.2.3. Tonalitler

Granitik grubu kayaçlar içerisinde yer alan tonalitler, esas olarak plajiyoklas, kuvars, hornblend ve biyotit; az oranda da opak minerallerden oluşmaktadır. Tonalitlerde plajiyoklaslar özşekilli ve yarı özşekilli kristaller halindedir. Yaygın olarak albit, albit+karlsbad ikizlenmesi göstermelerine rağmen, normal zonlu yapıya sahip kristaller de bulunmaktadır. Plajiyoklas kristallerinde albit ikizine göre yapılan sönme açısı tayinlerinde 13°-22°'lik sönme açılara sahip oldukları ve plajiyoklas türü

An 29-42 bileşimine sahip olup, oligoklas-andezin türünde olduğu saptanmıştır. Alterasyon türü olarak sosuritleşme ve serizitleşme görülmektedir. Kayaç içerisinde plajiyoklaslar, yaklaşık %55-65 civarındadır. Kayaç içerisinde %20-25 gibi bir orana sahip olan kuvarslar, genellikle özşekilsiz ve yarı özşekilli olup, ara boşlukları dolduran kristaller halinde bulunmaktadır ve dalgalı sönme gösterenlerine de rastlanmaktadır. Mafik bileşen olarak bulunan hornblendler ise, yeşil renkte pleokroizmasıyla tanınmaktadır ve özşekilsiz veya yarı özşekilli kristaller halindedirler. Kayaç içerisinde %15-20 civarında bir orana sahiptirler. Tonalitlerde yaygın olarak özşekilli, yarı özşekilli ve özşekilsiz kristallerin oluşturduğu subhedral granüler doku gözlenmektedir (Şekil 9).



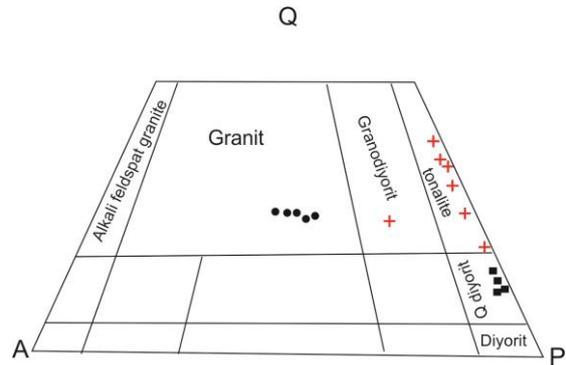
Şekil 9. Elazığ Magmatitleri'nin granitik kayaçlara ait tonalitlerdeki subhedral granüler doku (Q: Kuvars, Pl: Plajiyoklas, Hrn: Hornblend. 4x/0.10 büyütme objektif. Ç.N.)

## 6. JEOKİMYASAL ÖZELLİKLER

### 6.1. Ana Oksit, İz element ve Nadir Toprak Element Jeokimyası

Çalışma konusunu oluşturan Çolaklı (Elazığ) çevresindeki Elazığ Magmatitleri'ni kimyasal olarak sınıflandırmak ve jeokimyasal özelliklerinden yola çıkarak, magmanın kökenini ve tektonik oluşumunu belirlemek amacıyla asidik

bileşimli 16 adet örneğin kimyasal analizleri yapılmıştır. Analizler, Canada ACME analitik laboratuvarlarında ICP-MS (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer) yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Magmatik kayaçların majör ve iz element içeriklerini belirleyen temel etken magmanın türediği kaynağın bileşimi ve oluşumu sırasında geçirdiği süreçlerdir. Bu amaçla jeokimyasal verilerden yararlanarak çalışma konusu kayaçların türleri, magmanın türü, kimyasal özellikleri ve oluşum ortamı ile bölgenin jeotektoniğinin ortaya konulması amaçlanmıştır. Analizi yaptırılan örneklerin ana element oksit bileşenleri, iz element ve Nadir Toprak Element içerikleri Çizelge 1'de verilmiştir. Oksit değerlerinden elde edilen sonuçların mikroskopta yapılan petrografik incelemelerle uyum sağladığı QAP diyagramında görülmektedir (Şekil 10).



Şekil 10. Elazığ Magmatitleri'ne ait örneklerin normatif bileşenlerine göre QAP diyagramında gösterimi

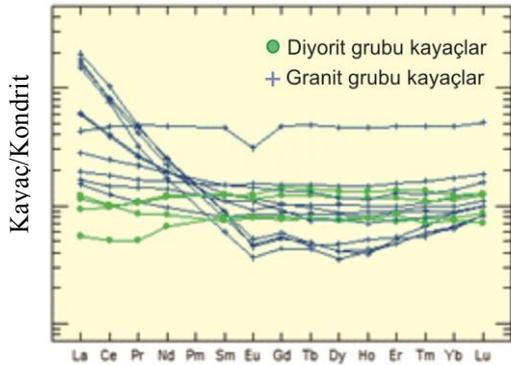
Debon ve Le Fort [21, 22] tarafından önerilen ve kayaç oluşturucu ana felsik minerallerin (kuvars, plajiyoklas, K-feldispat) ana element içeriklerine dayalı Q-P diyagramına göre 6 örnek tonalit alanına, 5 örnek granit alanına, 4 örnek kuvars diyorit alanına ve 1 örnek de granodiyorit alanına düşmektedir (Şekil 11). Örneklerin dağılımları incelendiğinde ince kesitlerle ve normatif bileşenlerle uyum sağladıkları görülmektedir. Magmatik kayaçlar, seri karakteri açısından genel olarak subalkalen, alkalen ve peralkalen kayaç serileri adı altında incelenirler. Bunlardan subalkalen kayaç serileri de kalkalkalen ve toleyitik serilere ayrılırlar. İnceleme alanındaki

**Çizelge 1.** Elazığ Magmatitleri'ne ait kayaçların ana oksit, iz element ve nadir toprak element içerikleri

ÖRNEK ADI	GA-3	GA-9	GA-12	GA-13	GA-14	GA-15	BA-1	BA-2	BA-6	BA-7	BA-8	BA-14	GB-3	GB-4	GB-13	GB-15
<b>Ana Oksit</b>																
SiO <sub>2</sub>	73,7	65,16	73,26	53,39	55,15	58,57	74,3	73,35	74,91	52,18	48,43	71,08	50,68	72,88	73,93	71,46
TiO <sub>2</sub>	0,09	0,34	0,09	0,4	0,4	0,4	0,07	0,10	0,04	0,64	0,59	0,30	0,69	0,31	0,21	0,36
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,75	16,27	13,79	15,36	15,43	13,37	13,59	13,97	13,71	17,71	14,46	14,89	19,65	14,05	12,14	14,52
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,60	4,65	1,79	7,20	7,23	6,99	1,47	1,50	0,80	9,62	10,70	3,09	9,38	2,99	3,15	3,10
MnO	0,03	0,09	0,01	0,14	0,15	0,17	0,01	0,03	0,29	0,18	0,2	0,03	0,18	0,03	0,03	0,07
MgO	0,04	1,47	0,07	9,22	7,41	7,53	0,08	0,07	0,03	5,45	10,25	0,90	4,30	0,82	0,08	0,70
CaO	0,49	4,51	0,8	9,38	9,70	8,60	0,65	0,87	0,36	9,77	12,38	3,60	11,09	3,46	5,60	3,89
Na <sub>2</sub> O	4,02	3,66	4,15	2,43	2,24	2,47	4,14	4,23	4,23	2,43	1,04	4,33	2,18	4,17	3,48	4,20
K <sub>2</sub> O	5,26	2,58	5,06	0,21	0,36	0,31	4,84	5,01	5,14	0,22	0,14	0,28	0,19	0,14	0,09	0,16
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	<0,01	0,06	<0,01	0,01	0,02	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	0,03	0,01	0,05	0,04	0,06	<0,01	0,07
<b>TOPLAM</b>	<b>99,90</b>	<b>99,86</b>	<b>99,90</b>	<b>99,79</b>	<b>99,81</b>	<b>99,81</b>	<b>99,91</b>	<b>99,89</b>	<b>99,89</b>	<b>99,82</b>	<b>99,71</b>	<b>99,86</b>	<b>99,81</b>	<b>99,95</b>	<b>99,93</b>	<b>99,94</b>
<b>İz Element</b>																
Ba	393	580	313	57	103	98	330	443	18	64	30	141	34	66	9	80
Ga	14,4	13,6	15,0	10,9	11,9	11,5	14,6	14,1	11,8	14,9	12,7	11,9	15,3	11,9	17,7	12,4
Hf	5,0	3,1	5,8	1,3	1,4	1,7	4,1	4,5	2,5	1,1	0,7	3,7	1,2	3,5	6,8	3,5
Nb	16,2	6,3	18,4	0,7	0,7	0,7	14,4	16,7	12,3	0,6	0,3	4,8	0,6	1,3	3,7	1,0
Rb	324,2	74,3	32,6	3,9	4,8	4,3	308,7	300,9	688,9	3,9	2,4	3,5	4,3	1,9	1,2	1,2
Sr	141,0	270,6	141,6	121,6	131,4	111,5	137,6	183,8	7,2	173,1	139,1	277,5	207,5	170,2	188,0	187,2
Ta	0,9	0,4	0,9	<0,1	<0,1	<0,1	0,9	0,9	1,4	<0,1	<0,1	0,4	<0,1	<0,1	0,2	<0,1
Th	32,6	6,2	35,0	0,7	0,6	0,6	27,7	22,2	25,4	0,3	<0,2	6,1	0,3	0,6	0,7	0,6
U	3,7	1,2	5,2	0,2	0,2	0,2	9,8	7,8	2,7	<0,1	<0,1	1,4	<0,1	0,3	0,2	0,2
V	10,0	74	11,0	180,0	200	186,0	11,0	10,0	<8,0	235,0	350,0	37,0	298,0	32,0	<8,0	40,0
Zr	217,5	124,0	223,3	41,5	37,8	50,0	173,8	192,3	41,0	35,8	20,0	151,4	39,5	136,1	259,2	121,5
Y	7,9	15,2	9,7	12,3	13,1	16,3	7,9	8,4	60,1	19,8	11,3	11,2	17,9	23,8	70,8	18,9
Cu	2,9	4,6	2,5	12,0	23,4	10,7	2,3	1,7	1,9	85,2	46,1	2,4	13,9	4,5	5,2	2,3
Pb	4,6	1,3	6,5	1,0	0,3	0,4	3,2	3,9	2,3	0,5	2,1	1,2	0,3	0,1	0,4	0,2
Zn	25,0	16,0	74,0	12,0	14	14,0	82,0	16,0	6,0	18,0	7,0	31,0	11,0	20,0	6,0	16,0
<b>Nadir Toprak Element</b>																
La	46,5	14,1	41,2	2,9	3,6	3,9	35,4	38,3	33,8	2,2	1,3	14,5	2,7	4,6	10,2	6,7
Ce	63,1	23,8	48,5	6,2	7,6	9,0	46,2	50,6	70,7	5,9	3,1	24,8	6,1	11,1	28,7	15,0
Pr	4,55	2,46	3,96	0,81	1,02	1,36	3,05	4,41	7,95	1,02	0,48	2,55	1,0	1,57	4,59	2,09
Nd	11,4	9,1	10,3	3,9	4,5	6,5	8,0	11,8	27,1	5,7	3,1	9,2	5,5	7,5	22,4	8,9
Sm	1,35	1,94	1,21	1,13	1,22	1,68	0,91	1,37	5,10	1,85	1,22	1,66	1,91	2,27	7,01	2,29
Eu	0,26	0,67	0,27	0,46	0,49	0,53	0,21	0,3	0,04	0,72	0,46	0,63	0,66	0,89	1,80	0,83
Gd	1,08	2,13	1,12	1,64	1,76	2,10	0,89	1,2	5,30	2,92	1,57	1,87	2,52	3,11	9,77	2,75
Tb	0,18	0,36	0,17	0,29	0,32	0,38	0,16	0,18	1,07	0,52	0,29	0,28	0,46	0,56	1,82	0,49
Dy	1,04	2,21	1,19	1,95	2,13	2,61	0,89	1,04	7,82	3,37	1,89	1,95	2,97	3,74	11,84	2,96
Ho	0,24	0,50	0,29	0,44	0,46	0,56	0,23	0,22	1,94	0,75	0,44	0,40	0,66	0,83	2,60	0,64
Er	0,79	1,50	0,89	1,21	1,44	1,62	0,79	0,86	5,96	2,22	1,38	1,26	1,92	2,56	7,80	2,11
Tm	0,15	0,25	0,17	0,20	0,23	0,27	0,15	0,14	1,01	0,34	0,18	0,20	0,28	0,41	1,20	0,32
Yb	1,12	1,66	1,49	1,33	1,52	2,02	1,08	1,14	7,51	2,08	1,27	1,47	1,91	2,93	8,02	2,31
Lu	0,21	0,28	0,25	0,22	0,25	0,32	0,21	0,21	1,16	0,32	0,18	0,25	0,31	0,47	1,29	0,40



yapılan Nadir Toprak Element (REE) analiz sonuçları Çizelge 1’de verilmiştir. Bu veriler ışığında hazırlanan Kondrit’e göre normalize edilmiş Nadir Toprak Element (REE) diyagramına bakıldığında Hafif Nadir Toprak Elementleri (LREE) bakımından zenginleşme ve Ağır Nadir Toprak Elementleri (HREE) bakımından ise yatay veya yataya yakın bir trend gözlenmektedir. Ayrıca, bu genel özelliklerin dışında Eu açısından negatif bir anomali izlenmekte olup, bu durum da feldispat fraksiyonlanması ile açıklanabilir (Şekil 14). Ayrıca buna ek olarak hazırlanan Kayaç/İlksel Manto Spider diyagramı’nda (Şekil 15) Rb, Nb, Ti elementlerinde negatif anomali izlenmektedir. Hafif Nadir Toprak Element (LREE) ve Büyük İyon Litofil Elementler (LILE)’ce zenginleşmesi, U/Nb, Th/Yb değerlerinin yüksek, Nb/La, Ti/Eu oranlarının düşük olması bu kayaçların volkanik yay özelliği taşıdıklarını ve ergime kamasında mantonun dalan kabuktan türeyen akışkanlarca zenginleştiğini (Pearce, 1983) veya kaynak mantonun hafifçe zenginleştiğini göstermektedir.



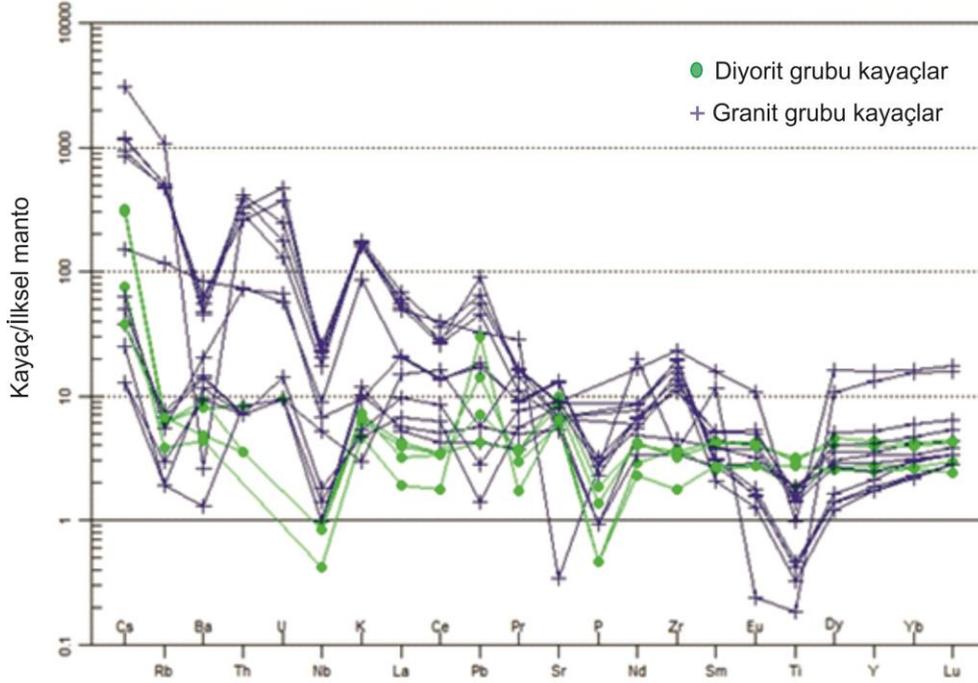
**Şekil 14.** Çolaklı plütonik kayaçlarının Kondrit’e göre normalize edilmiş Nadir Toprak Element (REE) diyagramı [29].

## 7. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Çalışma alanında Elazığ Magmatitleri’ne ait olan Çolaklı (Elazığ) çevresindeki plütonik kayaçlar, esas olarak granitik ve diyoritik kayaçlardan oluşmaktadır. İnceleme alanının en yaşlı birimini oluşturan Üst Kretase yaşlı Elazığ

Magmatitleri’ndeki granitik kayaçlar; granit, granodiyorit ve tonalitler olup, diyoritik kayaçlar ise, diyorit ve kuvars diyoritlerdir. Bölgede granit, tonalit ve diyoritler daha baskın olup, I-tipi granitoidlerin litolojik ve jeokimyasal özelliklerine sahiptirler. Elazığ Magmatitleri ile ilgili olarak yapılan çalışmalarda granitoidlerin I-tipi granitoid bileşiminde olduğu konusunda birleşen araştırmacılar kayaçların kökeni hakkında farklı görüşler belirtmişlerdir [20], [9], [30].

Yazgan [20], Malatya-Elazığ çevresindeki magmatik kayaçlarda yaptığı çalışmalarda, kalkalkalen bileşimli bu kayaçların genç ve kalın olmayan bir kıta kabuğu üzerine yerleşen etkin bir kıta kenarı ürünü olduğunu belirtmiştir. Baskil (Elazığ) çevresindeki magmatik kayaçlarda çalışma yapan Akgül, M. [30] ise, bu magmatitlerin granitik ve diyoritik bileşimli olduklarını belirtip, granitlerin çarpışma kökenli, diyoritlerin ise volkanik yay kökenli olduklarını ileri sürmektedir. Araştırmacı, farklı iki kökenli bu magmatitlerin oluşumunun, yitim mekanizmasıyla değil de çarpışma ile açıklanabileceğini belirtmiştir. Bingöl [6] ve Akgül, [9] ise, Elazığ Magmatitleri’nin kısmen okyanusal, kısmen de kıtasal kabuk üzerinde gelişen ada yayı ürünleri olduğunu ileri sürmektedirler. Turan ve arkadaşları’da “Doğu Toroslar’ın Jeodinamik Evriminin Elazığ Civarındaki Özellikleri” konulu çalışmalarında, Elazığ Magmatitleri’nin Bitlis-Pütürge masifi ile Keban Metamorfileri arasında gelişen ve Neotetis’in bir kolu durumunda olan okyanus tabanı ve yay malzemesi ürünü olduğunu belirtmişlerdir [31]. Doğu Toroslar’da inceleme yapan tüm araştırmacılar [32], [20], [5], [6], [33], [34], [7], [35], Arap Levhası ile Anadolu Levhası (Keban-Malatya ve Bitlis-Pütürge Masifleri) arasında Neotetis’in açılmaya başladığını ve Üst Kretase’den itibaren de kuzeye doğru dalması sonucu, okyanus kabuğunun yok olduğunu kabul etmektedirler (Şekil 16). Dalmanın devam ettiği Üst Kretase periyodunda, üstteki okyanusal kabukta oluşan gerilme rejimi sonucunda, yeni okyanusal kabuk oluşumu başlamıştır. Bu zonda oluşan birim ofiyolitleri vermektedir [13], [36].

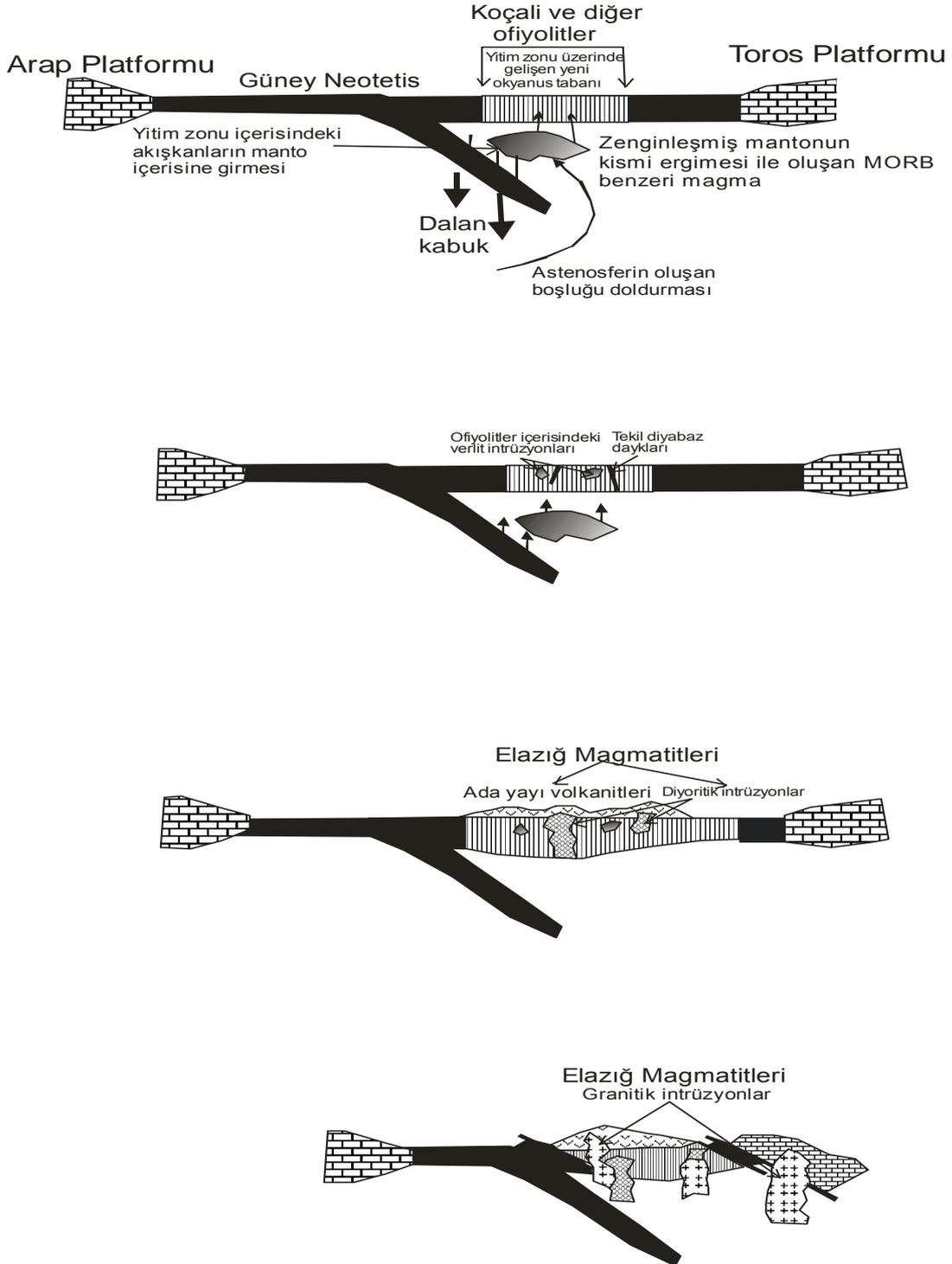


Şekil 15. Elazığ Magmatitleri'ne ait kayaçların Kayaç/İlksel Manto Spider Diyagramı'ndaki dağılımı [29]

Üst Kretase sonuna doğru, bu yeni okyanus kabuğu üzerinde gelişmeye başlayan bir ada yayı izlenmektedir. Bu yay ürünleri de Elazığ Magmatitleri'ni vermiştir. Oluşan kayaçlar, K-G yönlü sıkışma sonucunda, kuzeydeki Anadolu Levhası'nın güneye doğru ada yayı üzerine itilmesi ve parçalanarak Bitlis-Pütürge ve Keban-Malatya Masifleri olarak ayrılması ve buna bağlı olarak kabuk kalınlaşması sonucu, yüksek H<sub>2</sub>O basıncı ve sıcaklıklarda gabroların metamorfize olması ve daha sonra kısmi ergimeye uğraması ile oluşan eriyik kısmen kabuğun üst kesimlerindeki gabrolar ve üstteki ada yayı malzemesi içerisine sokulduğu gabroların metamorfizmasına ve amfibolitlerin oluşumuna neden olmaktadır [36]. Üst Kretase sonuna doğru üst levhadaki ofiyolitler, ada yayı malzemeleri (Elazığ Magmatitleri) ve Keban-Malatya Metamorfitleri güneye doğru itilmişlerdir. Ancak, tüm birimler, bugünkü konumlarını Alt

Miyosen sonrası Doğu Toroslar'daki bindirmelere bağlı olarak almışlardır [36]. Sonuç olarak, elde edilen veriler ışığı altında, Çolaklı (Elazığ) çevresindeki plütonik kayaçlardaki iz elementler ve Nadir Toprak Element (REE) konsantrasyonları, bu kayaçların dalan levhadan türeyen akışkanlarca zenginleşmiş bir kaynaktan oluştuğunu, Ağır Nadir Toprak Elementler (HREE) ve HFS elementlerin düşük değerlerde olması ise, bu kaynağın tüketilmiş bir manto kaynağı olduğunu vermektedir. Litolojik ve jeokimyasal veriler ile daha önce yapılmış çalışmalara göre; Çolaklı (Elazığ) çevresi plütonik kayaçlarının Üst Kretase sonlarına doğru gelişmeye başlayan bir ada yayını veren subalkalen karakterli yitim ile ilişkili bir magmanın ürünü olduğunu ve Alt Miyosen sonrası tektonik hareketlerle bugünkü konumlarını aldıkları söylenebilir.





Şekil 16. Elazığ Magmatitleri'nin oluşumunu gösteren tektono-magmatik model [37]

## 8. KAYNAKLAR

1. Perinçek, D., 1979a. Palu-Karabegan-Elazığ-Sivrice-Malatya Alanının Jeolojisi ve Petrol İmkanları. T.P.A.O. Rapor No: 1361.
2. Perinçek, D., 1979b. The geology of Hazro-Korudağ - Çüngüş-Maden - Ergani - Hazar-Elazığ - Malatya Area. Guide Book, T.J.K. yayını, 33s.
3. Perinçek, D., 1980a. Arabistan Kıtası Kuzeyindeki Tektonik Evrimin, Kıta Üzerinde Çökelen İstifteki Etkileri. Tür. 5. Petrol Kong., Tebligler, 77-93.
4. Perinçek, D., 1980b. Bitlis Metamorfileri'nde Volkanitli Triyas. T.J.K. Bült., 23, 201-211.
5. Bingöl, A.F., 1982. Elazığ-Pertek-Kovancılar Arası Volkanik Kayaçların Petrografik İncelenmesi. F.Ü. Fen Fak. Derg., 1, 9-21.
6. Bingöl, A.F., 1984. Geology of the Elazığ Area in the Eastern Taurus Region. In Tekeli, O. and Göncüoğlu, M.C., eds., "Geology of the Taurus Belt", p.209-217.
7. Bingöl, A.F., 1988. Petrographical and Petrological Features of Intrusive Rocks of Yüksekova Complex in the Elazığ region (Eastern Taurus-Turkey). Journ. F.Ü., 312, 1-17.
8. Turan, M., 1984. Baskil-Aydınlar (Elazığ) Yöresinin Stratigrafisi ve Tektoniği. Doktora Tezi, F.Ü. Fen Bilimleri Enst. 185s. (yayınlanmamış).
9. Akgül, B., 1993. Piran Köyü (Keban) Çevresindeki Magmatik Kayaçların Petrografik ve Petrolojik Özellikleri. Doktora Tezi, F.Ü. Fen Bilimleri Enst., 125s. (yayınlanmamış).
10. Turan, M., 1993. Elazığ ve Yakın Civarındaki Bazı Önemli Tektonik Yapılar ve Bunların Bölgenin Jeolojik Evrimindeki Yeri. A. Suat Erk Jeoloji Sempozyumu, Bildiriler, Ankara Üniv. Fen Fak., 193-204, Ankara.
11. İnceöz, M., 1994. Harput (Elazığ) Yakın Kuzeyi ve Doğusunun Jeolojik Özellikleri. Doktora Tezi, F.Ü. Fen Bilimleri Enst. 112s.
12. Kürüm, S., 1994. Elazığ Kuzeybatısındaki Genç Volkanitlerin Petrolojik Özellikleri. Doktora Tezi, F.Ü. Fen Bilimleri Enst., 107s. (yayınlanmamış).
13. Bingöl, A.F., Beyarslan, M., 1996. Elazığ Magmatitleri'nin Jeokimyası ve Petrolojisi. K.T.Ü. 30. Yıl Sempozyumu Bildiri Metinleri. s.208-224.
14. Beyarslan, M., 2000. Serince-Harput (Elazığ) Çevresindeki Granitik Kayaçlar ve Kökeni. Geosound, 37, 105-116.
15. Perinçek, D., Özkaya, İ., 1981. Arabistan Kıtası Kuzey Kenarının Tektonik Evrimi. H.Ü. Yerbilimleri Derg., 8, 91-101.
16. Turan, M., Bingöl, A.F., 1991. Kovancılar-Baskil (Elazığ) Arası Bölgenin Tektonostratigrafik Özellikleri. Ç.Ü. Ahmet ACAR Jeoloji Sempozyumu, Tebligler, 213-227.
17. Beyarslan, M., 1991. İspendere (Kale-Malatya) Ofiyolitlerinin Petrografik Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, F.Ü. Fen Bilimleri Enst., 57s. (yayınlanmamış).
18. Bingöl, A.F. ve Beyarslan, M., 1995. Elazığ Magmatitleri'nin Jeokimyası ve Petrolojisi. K.T.Ü. 30. Yıl Sempozyumu Bildiri Özleri. s.15.
19. Beyarslan, M., 1996. Kömürhan Ofiyolit Biriminin Petrografik ve Petrolojik İncelenmesi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü., Elazığ Doktora Tezi, 103s.
20. Yazgan, E., 1981. Doğu Toroslar'da Etkin Bir Paleokıta Kenarı Etüdü (Üst Kretase-Orta Eosen) Malatya-Elazığ, Doğu Anadolu: H.Ü. Yerbilimleri Derg., 7, 83-104.
21. Debon, F., Le Fort, P., 1982. A Chemical-Mineralogical Classification of Common Plutonic Rocks and Associations, Transactions of the Royal Soc. Edingburgh. Earth Sci. 73, 135-149.
22. Debon, F., Le Fort, P., 1988. A Cationic Classification of Common Plutonic Rocks and their Magmatic Associations: Principles, Method, Applications. Bull. Miner. 111, 493-510.
23. Irvine, T.N., Baragar, W.R.A., 1971. A Guide to the Chemical Classification of the Common Volcanic Rocks. Canadian Journal of Earth Sciences, 8, 523-548.
24. Pearce, J.A., Harris, N.B.W., Tindle, A.G., 1984. Trace Element Discrimination Diagrams for the Tectonic Interpretation of Granitic Rocks. J. Petrol. 25, 954-983.

25. Chappell, B.W., White, A.J.R., 1974. Two Contrasting Granite Types, *Pacific Geology*, 8, 173-174.
26. White, A. J. R. and Chappell, B. W., 1977. Ultrametamorphism and Granitoid Genesis. *Tectonophysics*, 43, 7-22.
27. Collins, W.J., Bams, S.D., White, A.J.R. ve Chappell, B.W., 1982. Nature and Origin of A-Type Granites with Particular Reference to South Eastern Avustralia. *Con trib. Mineral. Petrol.*, 80, 189-200.
28. Pearce, J.A., 1983, Role of the Sub-Continental Lithosphere in Magma Genesis at Acrive Continental Margins: p. 230-249 in, Hawkesworth, C.J. and Norry, M.J., eds., *Continental Basalts and Mantle Xenoliths*, Shiva Publishing Ltd., Cambridge, Mass., 272 p.
29. Sun, S., Mc Donough, W.F., 1989. Chemical and Isotopic Systematic of Oceanic Basalts. Implications for Mantle Compositionand Processes. In: Saunders, A.D., Norry, M.J. (eds.), *Magmatism in the Ocean Basins*, Special Publication 42. Geological Society of London, 312 pp.
30. Akgül, M., 1991. Baskil (Elazığ) Granitoidinin Petrografik ve Petrolojik Özellikleri. *Yerbilimleri Geosound*, 18, 67-78.
31. Turan, M., Bingöl, A.F. ve Aksoy, E., 1993. Doğu Toroslar'ın Jeodinamik Evriminin Elazığ Civarındaki Özellikleri. *H.Ü. Yerbilimleri 25. yılı Sempozyumu*, Ankara.
32. Ricou, L. E., Argyriadis, I., Marcoux, J., 1975. U Axe Calcaire du Taurus Un Alignement de Fenetres Arabo-Africains Sous des Nappes Radiolaritiques, Ophiolitiques Et Metamorphiques. *Bull. Soc. Geol. Fr.*, Ser. 7, 17, 1024-1044.
33. Şengör, A.M.C., Yılmaz, Y., 1983. Türkiye'de Tetis'in evrimi; Levha Tektoniği Açısından Bir Yaklaşım. *TJK Yerbilimleri Özel Dizisi*, No. 1, 75 s.
34. Michard, A., Whitechurch, H., Ricou, L.E., Montigny, R., Yazgan, E., 1985. Tauric Subduction (Malatya–Elazığ Province) and Its Bearing on the Tectonics of the Tethyan Realm in Turkey. In: Dixon JE, Robertson AHF (eds) *The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean*. Geol Soc Spec Publ Lond, 361-373.
35. Yılmaz, Y., Yiğitbaş, E., Genç, Ş. C., 1993. Ophiolitic and Metamorphic Assemblages of Southeast Anatolia and Their Significance in the Geological Evolution of the Orogenic Belt. *Tectonics*, 12(5), 1280-1297.
36. Beyarslan, M., Bingöl, A. F., 2000. Petrology of a Supra-Subduction Zone Ophiolite (Elazığ, Turkey). *Can. J. Earth Sci.*, 37, 1411-1424.
37. Beyarslan M., Bingöl A.F., Rizeli M.E., 2014. Koçali (Adıyaman) Ofiyolitindeki Manto Peridotitlerinin Jeokimyası (Ana Oksitler, İz Elementler, Platin Grubu Elementler) ve Petrolojisi, Proje No: MF.12.35.



## İnşaat Mühendisleri Özelinde Meslek Etiğinin Algılanma ve Uygulanma Düzeyi

Olcay GENÇ<sup>\*1</sup>, Ercan ERDİŞ<sup>1</sup>, Hilmi COŞKUN<sup>1</sup>

<sup>1</sup>İskenderun Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İskenderun, Hatay

Geliş tarihi: 01.02.2016

Kabul tarihi: 11.05.2016

### Özet

Etik kelimesi Yunanca kökenli olup töre bilimi, ahlak bilimi, ahlaki, ahlakla ilgili gibi ifadelerle tanımlanmaktadır. Çalışma hayatındaki davranışları yönlendiren mesleki etik ise, etik prensipler ve standartların toplamı şeklinde ifade edilebilir. Bu çalışmanın amacı ise, Türk inşaat sektöründe çalışan inşaat mühendislerinin etik ve mesleki etik konusundaki yaklaşımlarını anlamak, bu kişilerin meslek hayatlarında etik olmayan bir durum karşısında verdikleri tepkiyi ölçmek, sektörde en çok hangi etik dışı davranışların sergilendiğini tespit etmek, bu tip davranışlarda bulunan kişilere nasıl ve ne şekilde yaptırımların uygulanabileceğini belirlemek ve etik olmayan davranışlarda bulunulmaması için olası çözüm önerilerini saptamaktır. Bunun için web tabanlı olarak hazırlanan bir anket, meslek odaları vasıtasıyla Türkiye'nin çeşitli illerinde, kamu ve özel sektörde çalışan inşaat mühendislerine ulaştırılmıştır. Çalışma sonucunda; inşaat mühendislerinin etik dışı davranışlarda bulunmaması için, bu konudaki meslek etiği ilke ve kodları ile yasal mevzuatın bir an önce, tüm paydaşların önerileri doğrultusunda oluşturulmasının gerekliliği vurgulanmış, işverenlerin ve çalışanların meslek etiği konusunda duyarlılıklarını artıracak eğitimlerin verilmesinin önemine değinilmiş ve bu konuda ayrıca iç ve dış denetimlerin yapılmasının önemli olduğu belirtilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Etik, Mesleki etik, Mühendislik etiği

### The Level of Perception and Implementation of Professional Ethics in Civil Engineering Perspective

#### Abstract

Ethics that is a Greek origin word is described as related to morals, moral, and morality. The sum of the guiding ethical principles and standards of behavior in working life is called professional ethics. The main purpose of this study is to describe the ethical perception of civil engineers in Turkey. In this framework, the civil engineers' responses against unethical situations in their working environment, which unethical behavior is most exhibited by the technical staff working in the construction sector, how and which sanctions can be applied to those found in unethical behavior, and the possible solutions for not showing

---

\* Yazışmaların yapılacağı yazar: Olcay GENÇ, İskenderun Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İskenderun, genc\_olcay@hotmail.com

unethical behaviors are tried to be determined. A web-based questionnaire prepared for this purpose and the questionnaire was delivered to civil engineers who work in Turkish public and private sectors through chambers of civil engineering. In conclusion; it is stressed that the principles and codes of professional ethics with a needed state of the legislation should be established at once with the participation of all stakeholders to discourage civil engineers from engaging in unethical behaviors. Also it is mentioned that providing education to increase the awareness about professional ethics to employers and workers is important. Furthermore, it is emphasized that the internal and external audits should be conducted on this topic.

**Keywords:** Ethics, Occupational ethics, Engineering ethics

## 1. GİRİŞ

Etik terimi Yunanca karakter, töre, kültür anlamlarına gelen ethos kelimesinden gelmiş olup, töre bilimi, ahlak bilimi, ahlaki, ahlakla ilgili şeklinde tanımlanmaktadır.

Ülkemizde genellikle ahlak ve etik sözcükleri eş anlamlı olarak bilinmekte ve kullanılmaktadır. Etik; anlamı kişilere ve toplumlara göre değişen, insanın kendine ve çevresindeki diğer insanlara karşı iyi davranması için, kendini uymaya zorunlu hissettiği manevi görevler ve bunlara ilişkin kurallar bütünü iken, ahlak ise; belirli bir dönemde yaşamış toplumların benimsemiş oldukları, bireylerin birbirleriyle ilişkilerini düzenleyen kurallar bütünüdür [1]. Ahlak, yaşadığımız topluma göre değişen ve genellikle çoğunluk tarafından doğru kabul edilen değerlerin toplamıdır. Doğru olduğu hissedilen kavram ve tutumlar ahlaka uygun, yanlış olduğu hissedilenler ise ahlaka aykırı olarak kabul edilir. Bu durum toplumdan topluma farklılık gösterebilmektedir. Özetle belirtmek gerekirse; etik, doğru ve yanlış davranış teorisi; ahlak ise onun pratiğidir. İlkeler söz konusu olduğunda etik kavramı, davranış söz konusu olduğunda ise ahlak kavramı kullanılır [2, 3].

Toplumsal yaşam içerisinde; bireylerin ayrı ayrı veya topluluklar halinde, diğer bireyler veya topluluklara karşı uyması gereken birtakım ahlaki kurallar vardır. Bu kurallar genel olarak; toplumun bütün üyelerine saygılı olmak, farklı kültürlere ve düşüncelere karşı hoşgörülü olmak, eşitlik, kaynakların adil olarak dağıtılması vb. şeklinde sıralanabilir. Ortak etik değerler ise; doğruluk,

dürüstlük, güvenilir olma, sadakat, adalet, vatandaşlık sorumluluğuna sahip olma vb. şeklinde sıralanabilir.

Bu çalışmanın amacı, kamu ve özel sektörde çalışan inşaat mühendislerinin etik ve mesleki etik algısını anlamak, bu kişilerin iş hayatlarında etik olmayan bir durum karşısında verdikleri tepkiyi ölçmek ve inşaat sektöründe çalışan teknik elemanların bilerek veya bilmeyerek en çok hangi etik dışı davranışları sergilediklerini belirleyerek, etik dışı davranışlarda bulunanlara nasıl ve ne şekilde bir yaptırımın uygulanabileceğini tespit etmek ve etik dışı davranışlarda bulunulmaması için olası çözüm önerilerini saptamaktır.

## 2. MESLEK ETİĞİ

Ahlak öncelikle toplumların temel taşı olan aileden öğrenilir. Aile içerisindeki ahlaki davranış biçimleri ile teorik ahlak öğretisinin uyumlu olması gerekmektedir. Aksi takdirde bireyin ahlaki gelişimi bundan olumsuz yönde etkilenebilir [3]. Bu da kişinin özel yaşamında ve çalışma hayatında ahlaki davranış sergilemesini engeller veya belirlenmiş etik ilkelere uyumunu zorlaştırır.

Etik yapısal ve içerik olarak;

- Genel Etik
- Meslek Etiği
- Görev Etiği

olmak üzere üç aşamada incelenebilir [1]. Çalışma hayatındaki davranışları yönlendiren, onlara rehberlik eden etik prensipler ve standartların

toplamı mesleki etik olarak adlandırılır. Bu prensip ve standartlar temel olarak belirli bir meslek grubuna/üyelerine emreden, onları belli kurallara göre davranmaya zorlayan, kişisel eğilimlerini sınırlayan, yetersiz ve ilkesiz üyeleri meslekten dışlayan, rekabeti düzenleyen ve hizmet ideallerini korumayı amaçlayan mesleki ilkelerdir. Bu ilkeler; doğruluk, güvenilirlik, yeterlilik, mesleğe bağlılık ve yasalara uyma şeklinde özetlenebilir [3, 4].

Diğer mesleklerle karşılaştırıldığında toplum, mühendisleri günlük yaşamdaki birçok faaliyet ve olaydan direkt sorumlu tutmaktadır [5, 6]. Dolayısıyla bizler için meslek etiği ilkelerinin algılanma ve uygulanma düzeyi son derece önem arz eden bir husus olarak karşımıza çıkmaktadır.

Dünyada mühendislik alanında var olan ilk etik kurallar Amerikan Elektrik Mühendisleri Enstitüsü (AIEE) tarafından 1912 yılında gerçekleştirilmiştir [7]. 1976 yılında Illinois Teknoloji Enstitüsünde çeşitli mesleklerde yer alan etik değerler ve koyulmuş olan kurallarla ilgili çalışma yapmak üzere bir Etik Çalışma Merkezi (CSEP) kurulmuştur. Bugün CSEP kütüphanesinde yaklaşık 10 farklı ülkeden 21 farklı birlik tarafından oluşturulmuş 90 adet etik kuralı bulunmaktadır. Amerikan Ulusal Profesyonel Mühendisler Birliği (NSPE) tarafından da temel mühendislik etik ilkeleri aşağıdaki gibi tanımlanmıştır [7]:

- Mühendisler, mesleki görevlerini yerine getirirken toplumun güvenliğini, sağlığını ve refahını en önde tutacaklardır.
- Mühendisler, sadece kendi uzmanlık alanlarındaki hizmetleri vermelidirler.
- Mühendisler, yalnızca objektif ve gerçek resmi raporlar yayınlacaklardır.
- Mühendisler, mesleki konularda her işveren veya müşteri için güvenilir vekil olarak davranacaklar ve çıkar çatışmalarından kaçınacaklardır.
- Mühendisler, hizmetlerinin geçerliliği konusunda mesleki itibarlarını oluşturacak ve diğerleriyle haksız rekabete girmeyeceklerdir.
- Mühendisler; mesleki doğruluğunu, onurunu ve değerini yüceltmek ve geliştirmek için çalışacaklardır.

- Mühendisler, mesleki gelişmelerini kendi kariyerleriyle devam ettirecekler ve kendi kontrolleri altındaki mühendislerin mesleki açıdan gelişmeleri için olanaklar sağlayacaklardır.

Ülkemizde ise mühendislik etiği adı altında hazırlanmış özel resmi bir düzenleme olmamasına rağmen, 5176 sayılı Kamu Görevlileri Etik Kurulu Kurulması ve Bazı Kanunlarda Değişiklik Yapılması Hakkında Kanunun 3 ve 7. maddelerine dayanılarak 2005 yılında hazırlanmış olan ve belirli kamu daireleri ile bunların personelini kapsayan “Kamu Görevlileri Etik Davranış İlkeleri ile Başvuru Usul ve Esasları Hakkında Yönetmelik” çıkarılmıştır. Bu yönetmelikte belirtilen etik davranış ilkeleri ana başlıklar halinde sıralanmıştır [8]:

- Görevin yerine getirilmesinde kamu hizmeti bilinci,
- Halka hizmet bilinci,
- Hizmet standartlarına uyma,
- Amaç ve misyona bağlılık,
- Dürüstlük ve tarafsızlık,
- Saygınlık ve güven,
- Nezaket ve saygı,
- Yetkili makamlara bildirim,
- Çıkar çatışmasından kaçınma,
- Görev ve yetkilerin menfaat sağlamak amacıyla kullanılmaması,
- Hediye alma ve menfaat sağlama yasağı,
- Kamu malları ve kaynaklarının kullanımı,
- Savurganlıktan kaçınma,
- Bağlayıcı açıklamalar ve gerçek dışı beyan,
- Bilgi verme, saydamlık ve katılımcılık,
- Yöneticilerin hesap verme sorumluluğu,
- Eski kamu görevlileriyle ilişkiler,
- Mal bildiriminde bulunma.

Ülkemizde mühendislik etiği adına resmi bir düzenleme olmamasına rağmen mühendis odalarının kabul ettiği, NSPE etik ilkelerine paralel ilkeler mevcuttur. Ülkemizde ayrıca temel etik ilkelerden yararlanılarak “Mühendislik Yemini” adı altında aşağıdaki yemin oluşturulmuş ve günümüzde, ülkemizdeki birçok mühendislik fakültesi mezuniyet törenlerinde mezun olan mühendisler tarafından okunmaktadır.

Mühendislik Yemini [9]:

“Bana verilen mühendislik unvanını, sağladığı yetkilerin ve yüklediği sorumlulukların bilincinde olarak ülkenin ve tüm dünyanın yararı için tarafsız ve doğru davranmaya, meslek yaşamı boyunca doğaya ve insanlığa zarar vermemeye, bilgi ve becerilerimi sürekli geliştirerek mesleğin saygınlığını, etkinliğini ve toplumun yaşam kalitesini yükseltmeye özen göstereceğime ant içerim.”

### 3. MATERYAL ve METOT

Bu çalışma, web tabanlı bir anketin analizine yöneliktir. Anketin ilk kısmında; etik algısı, herhangi bir eylemi etik açıdan değerlendirirken ve etik olduğuna karar verirken hangi uygun olan yaklaşımın dikkate alınması gerektiği, yapılacak bir işte etik olarak uygun görülmeyen bir durum karşısında sergilenen tutumun ne olduğu, Türkiye’de inşaat sektöründe çalışan teknik elemanların bilerek veya bilmeyerek mesleki görevlerini yerine getirirken etik olmayan ne tip davranışlar sergiledikleri, etik olmayan davranış ve uygulama içindeki bir teknik elemana nasıl ve ne şekilde bir yaptırımın uygulanması gerektiği ve teknik elemanların etik dışı davranışlarda bulunmaması için olası çözüm önerileri sorgulanmıştır. Hazırlanan anket, meslek odaları vasıtasıyla Türkiye’nin çeşitli illerinde kamu ve özel sektörde çalışan inşaat mühendislerine ulaştırılmıştır. Link, bir kişinin anketi birden fazla kez yanıtlamasını engellemek amacıyla her bilgisayarda yalnızca bir kez çalışacak şekilde programlanmıştır. Araştırmanın evreni Türkiye genelinde kamu ve özel sektörde çalışan inşaat mühendisleri olup, örnek uzayı ise 114 adet inşaat mühendisidir.

### 4. ARAŞTIRMA BULGULARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Çalışmanın bulgular kısmı; ülkemiz kamu ve özel sektöründe çalışan inşaat mühendislerinin mesleki etik algısını anlamak, iş hayatlarında etik olmayan bir durum karşısında verdikleri tepkiyi ölçmek, inşaat sektöründe çalışan teknik elemanların

bilerek veya bilmeyerek en çok hangi etik dışı davranışları sergilediklerini belirlemek, etik dışı davranışlarda bulunanlara nasıl ve ne şekilde bir yaptırım uygulanması gerektiğini tespit etmek ve etik dışı davranışlarda bulunulmaması için olası çözüm önerilerinin değerlendirilmesi ve yorumlanması üzerine kurgulanmıştır.

**Çizelge 1. İnşaat mühendislerinin etik algısı**

Aşağıdaki etik ile ilgili düşüncelerden hangisini onaylamaktasınız?	Evet Hayır	
	%	%
Etik, düşünsel düzeyde iyi veya kötü yöndeki sınırsız özgürlüğü temsil eder.	26,3	73,7
Etik olmayan düşünce yoktur, etik olmayan davranış vardır.	50,9	49,1
Etik ne yapılabileceği hakkında yargılara varmaz, eylemin ahlaki olması için nasıl davranılması gerektiği konusunda yardımcı olur.	86,8	13,2
Etik düşünce, uygulamada ahlaki açıdan yapılması gerekli bir davranışı reddedebilir, hatta ahlaka aykırı davranabilir.	17,5	82,5

Çizelge 1 incelendiğinde katılımcıların çoğunun (%86,8) etiğin ne yapılabileceği hakkında yargılara varmadığı, eylemin ahlaki olması için nasıl davranılması gerektiği konusunda yardımcı olduğu konusunda hemfikir iken, en az konsensüs (%17,5) etik düşüncenin, ahlaki açıdan yapılması gerekli bir davranışı reddedebileceği, hatta ahlaka aykırı davranabileceği görüşünde sağlanmıştır.

Çizelge 2 incelendiğinde, ankete katılan inşaat mühendislerinin %58,8’inin bir eylemi etik açıdan değerlendirirken ahlaki yargı ve ahlaki davranış açısından içselleştirilmiş rasyonel ve tutarlı bir inceleme yaptığı, %28,1’inin yapılan/yapılacak eylemin yararlarını ve zararlarını analiz ettiğini, %13,2’sinin ise durumların algılanış biçimleri üzerine odaklanarak ciddi bir araştırma yaptığı görülmektedir.



**Çizelge 2.** İnşaat mühendislerinin bir eylemi etik açıdan değerlendirirken sergiledikleri yaklaşım

Herhangi bir eylemi etik açıdan değerlendirirken ve etik olduğuna karar verirken hangi yaklaşım size en uygundur?	Verilen Cevapların Frekansı ve Yüzdesi	
	f	%
Ahlaki yargı ve ahlaki davranış açısından içselleştirilmiş rasyonel, tutarlı bir inceleme yaparım.	67	58,8
Yapılan/yapılacak eylemlerin varılmak istenen hedefe ne ölçüde ulaştığını gözlemler ve buna göre bir değerlendirme yaparak, yararlarını ve zararlarını analiz ederim.	32	28,1
Durumların algılanış biçimleri üzerine odaklanarak ciddi bir araştırma yaparım.	15	13,2

**Çizelge 3.** İnşaat mühendislerinin etik olarak görmedikleri bir iş karşısındaki tutumu

Yapacağınız bir işte etik olarak uygun görmediğiniz bir durum karşısında tutumunuz ne olur?	Verilen Cevapların Frekansı ve Yüzdesi	
	f	%
İşi yapmamak	32	28,1
İşi sorgulamadan yapmak	3	2,6
İstifa etmek	0	0,0
Yöneticiyi ikna etmek	79	69,3

Çizelge 3 incelendiğinde ankete katılanların %69,3'ünün, etik olarak uygun görmedikleri bir iş ile karşılaştıklarında bu işi yapmak yerine yöneticilerini aksi yönde ikna etmeye çalışmayı tercih ettiği, %28,1'inin karşılaştıkları etik dışı işi yapmadığı, %2,6'sının ise bu tür bir işi sorgusuz sualsiz yapmayı tercih ettikleri görülmektedir. Çizelge 4 incelendiğinde, katılımcıların %37,7'sinin etik olmayan davranışta bulunan bir

teknik elemanın uyarılması gerektiği kanaatindeyken %17,5' u ise kınanması gerektiğini düşünmektedir.

**Çizelge 4.** Etik dışı davranışta bulunan teknik elemanlara uygulanması gereken yaptırımlar

Sizce etik olmayan davranış ve uygulama içindeki bir teknik elemana nasıl bir yaptırım uygulanmalıdır?	Verilen Cevapların Frekansı ve Yüzdesi	
	f	%
İşten çıkarma	18	15,8
Meslekten ihraç	11	9,6
Kınama	20	17,5
Uyarı	43	37,7
Herhangi bir yaptırım uygulanmamalı	2	1,8
Diğer	20	17,5

Diğer seçeneğini seçen %17,5' lik bir kesimin büyük çoğunluğu (%60), etik dışı davranışların önce uyarılması gerektiğini, daha sonra işten çıkarma, meslekten ihraç vb. yaptırımlarla cezalandırılması taraftarı iken, %15' i ise etik dışı davranışta bulunanlara eğitim verilmesinin gerekli olduğu yönünde görüş bildirmişlerdir. Çizelge 5 ağırlıklı ortalamalar göz önüne alınarak incelendiğinde, ankete katılan inşaat mühendislerinin mesleki görevlerini yerine getirirken bilerek veya bilmeyerek sergiledikleri etik olmayan davranış biçimi olarak ilk sıraya, bazı teknik elemanların işyerlerindeki diğer teknik elemanların ayağını kaydırmaya yönelik davranışlar sergilemelerini koymuşlardır. İkinci sırada ise, tasarım ve inşaat aşamaları esnasındaki

mesleki konularda, gerek iş kaygısı, gerekse donanımlı olmamaları, ya da mesleki kaygı taşımaları ve bu nedenle, herhangi bilgi veya durumu işveren ya da müşterilerine bildirmemek yer almaktadır. En az yaşanan etik dışı davranış olarak ise, kendi işverenlerinin bilgisi olmaksızın,

kendi düzenli işlerinin dışındaki mesleki konularda hizmet sunabilmek şeklinde görüş belirtmişlerdir.

**Çizelge 5.** Türkiye’de inşaat sektöründe çalışan teknik elemanların sergiledikleri etik dışı davranışlar

Türkiye’de inşaat sektöründe çalışan teknik elemanların bilerek veya bilmeyerek mesleki görevlerini yerine getirirken aşağıda belirtilen ve etik olmayan ne tip davranışlar sergilemektedirler? (En çok yaşanan 1, en az yaşanan 6.)	1		2		3		4		5		6		Ağr. Ort.
	f	%	f	%	f	%	f	%	f	%	f	%	-
Tasarım ve inşaat aşamaları esnasındaki mesleki konularda, gerek iş kaygısı, gerekse donanımlı olmamaları mesleki kaygı taşımaları ve bu nedenle, herhangi bilgi veya durumu işveren ya da müşterilerine bildirmemek.	29	25,4	16	14,0	22	19,3	16	14,0	14	12,3	17	14,9	3,82
Uzmanlık alanı dışındaki işlerde veya kendilerinin doğrudan kontrolü altında hazırlanmamış projelerde çalışmak.	15	13,2	17	14,9	17	14,9	25	21,9	20	17,5	20	17,5	3,32
Hazırladıkları resmi evraklarda, beyanlarda ve şahitliklerde tamamen objektif ve gerçekçi olamamak.	16	14,0	20	17,5	21	18,4	16	14,0	26	22,8	15	13,2	3,47
Buldukları hizmetler sırasında hakkı olmayan ücret, mal veya benzeri şeyleri talep ve kabul etmek.	17	14,9	22	19,3	16	14,0	22	19,3	16	14,0	21	18,4	3,47
Kendi işverenlerinin bilgisi olmaksızın, kendi düzenli işlerinin dışındaki mesleki konularda hizmet sunmak.	14	12,3	14	12,3	12	10,5	17	14,9	28	24,6	29	25,4	2,97
Bazı teknik elemanların işyerlerinde, diğer teknik elemanların ayağını kaydırmaya yönelik davranışlar sergileyebilmesi.	23	20,2	25	21,9	26	22,8	18	15,8	10	8,8	12	10,5	3,97

**Çizelge 6.** Teknik elemanların etik dışı davranışlarda bulunmaması için atılması gereken adımlar

Teknik elemanların etik dışı davranışlarda bulunmaması için çözüm önerileriniz neler olabilir, önem derecesini belirtiniz?	Çok Önemli		Önemli		Kararsız		Önemli Değil		Hiç Önemli Değil		Ağr. Ort.
	f	%	f	%	f	%	f	%	f	%	
Mesleki etik ile ilgili yasal mevzuatın bir an önce oluşturulması	48	42,1	44	38,6	10	8,8	7	6,1	5	4,4	4,08
İşverenlerin ve çalışanların etik konusunda duyarlılığı artıracak eğitimler verilmesi	44	38,6	49	43,0	11	9,6	5	4,4	5	4,4	4,07
İnşaat işlerinde bu doğrultuda yapılacak denetimlerin artırılması	47	41,2	39	34,2	10	8,8	13	11,4	5	4,4	3,96
Meslek etik ilke ve kodlarının tüm paydaşların önerileri doğrultusunda oluşturulması	38	33,3	43	37,7	20	17,5	10	8,8	3	2,6	3,90

Çizelge 6, 5'li Likert ölçeğine göre değerlendirilmiş olup çok önemli seçeneğine 5, hiç önemli değil seçeneğine 1 puan olacak şekilde seçenekler arasında puanlama yapılmış ve ağırlıklı ortalamalar çıkarılmıştır. Bu değerlendirmeye göre ankete katılan inşaat mühendisleri, teknik elemanların etik dışı davranışlarda bulunmaması için kendilerine sunulan çözüm önerilerinin hepsini önemli derecede değerlendirmişlerdir. Önem derecesinde mesleki etik ile ilgili yasal mevzuatın bir an önce oluşturulması 4,08 ağırlıklı ortalama ile ilk sırada değerlendirilirken, meslek etiği ilke ve kodlarının tüm paydaşların önerileri doğrultusunda oluşturulması 3,90 ağırlıklı ortalama ile son sırada yer almaktadır.

## 5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Amacı, ülkemiz kamu ve özel sektöründe çalışan inşaat mühendislerinin mesleki etik algısını, iş hayatlarında etik olmayan bir durum karşısında verdikleri tepkiyi, inşaat sektöründe çalışan teknik elemanların bilerek veya bilmeyerek en çok hangi etik dışı davranışları sergilediğini, etik dışı davranışlarda bulunanlara nasıl ve ne şekilde bir yaptırım uygulanması gerektiğini ve etik dışı davranışlarda bulunulmaması için çözüm önerilerini saptamak olan bu çalışmada, konu ile

ilgili Türkiye genelinde özel ve kamu sektöründe çalışan 114 inşaat mühendisinin görüşlerine başvurulmuştur. Elde edilen sonuçlar ışığında, Türkiye'de kamu ve özel sektörde çalışan inşaat mühendislerinin; sadece kavram olarak etik algısına sahip oldukları, bir eylemi etik açıdan değerlendirirken genellikle ahlaki yargı ve ahlaki davranış açısından içselleştirilmiş rasyonel ve tutarlı bir inceleme yaptıkları, etik dışı davranış olarak daha çok meslektaşlarının ayağını kaydırmaya yönelik davranışlar sergiledikleri, etik olarak uygun görmedikleri bir iş ile karşılaştıklarında ise, çoğunlukla bu işi yapmak yerine yöneticilerini aksi yönde ikna etmeye çalıştıkları, etik olmayan davranışta bulunan bir teknik elemanın ise öncelikle uyarılması gerektiği görüşünde oldukları sonucuna varılmıştır. Çalışmada, ülkemizdeki teknik elemanların etik dışı davranışlarda bulunmaması için atılması gereken adımlar ise aşağıdaki şekilde sıralanmıştır:

- Meslek etiği ilke ve kodları tüm paydaşların önerileri doğrultusunda oluşturulmalıdır.
- Mesleki etik ile ilgili yasal mevzuat bir an önce oluşturulmalıdır.
- İşverenlerin ve çalışanların mesleki etik konusundaki duyarlılığını artıracak eğitimler verilmelidir.

- Sektör ve şirket bazında bu doğrultuda iç ve dış denetimler yapılmalıdır.

## 6. KAYNAKLAR

1. Gençoğlu, T.M., 2008. Mühendislikte Etik, TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası Ankara Şubesi Haber Bülten, 5:26-31.
2. Ulutaş, A., Mühendislikte Etik, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Öğrenci Üye Kurultayı Bildiriler Kitabı, 165-168, İzmir.
3. M.E.B., 2006. Meslek Etiği, Meslekî Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi, 64s, Ankara.
4. Farahani, F.M., Farahani, F.F., 2014. The Study on Professional Ethics Components Among Faculty Members in the Engineering, Procedia Social and Behavioral Science, 116:2085-2089.
5. Ooi, C.P., Tan, T.T.M., 2015. Effectiveness of Workshop to Improve Engineering Students' Awareness on Engineering Ethics, Procedia Social and Behavioral Science, 174:2343-2348.
6. Demirkol, M., Bilim ve Mühendislik Etiği, İmalat Mühendisliğine Giriş Ders Notları, Işık Üniversitesi, İstanbul.
7. Korhan, O., 2010. Profesyonel Mühendislik Etiği, Emo Bilim, 42-44.
8. Kamu Hizmetlerinin Sunumunda Uyulacak Usul ve Esaslara İlişkin Yönetmelik, <http://www.etik.gov.tr/Mevzuat.aspx?id=3> (Erişim Tarihi 25.01.2016)
9. İnşaat Mühendisleri Odası, [http://www.imo.org.tr/imo\\_hakkinda/muhendis\\_in\\_yemini.php#.VyhVxmNeStk](http://www.imo.org.tr/imo_hakkinda/muhendis_in_yemini.php#.VyhVxmNeStk) (Erişim Tarihi 25.01.2016)

## Performance Analysis of Solar Powered Absorption Refrigeration System for Mersin Province

Beşir ŞAHİN<sup>1</sup>, Mehmet BİLGİLİ<sup>\*2</sup>, Altan ÇETİNGÖZ<sup>1</sup>, Nazım KURTULMUŞ<sup>3</sup>

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

<sup>2</sup>Çukurova Üniversitesi, Ceyhan Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Adana

<sup>3</sup>Adana Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 04.02.2016

Kabul tarihi: 09.03.2016

### Abstract

In this study, performance analysis of solar-powered absorption refrigeration (SPAR) system is evaluated using hourly atmospheric air temperature and solar radiation data in Mersin city. Ammonia-water (NH<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O) as refrigerant-absorbent pair and evacuated tube solar collector are selected for the design of the SPAR system. First, hourly cooling loads of the selected building are calculated. Then, thermodynamic analysis of the SPAR system is conducted according to this cooling load and required solar collector area is calculated for the air-conditioned space. Obtained results show that the maximum coefficient of performance (COP) value is observed in May, while the lowest value is seen in July and August. When the maximum solar radiation rate is observed to be 0,878kW/m<sup>2</sup> on 23 June at 01:00 p.m., the COP is calculated as 0,434. Finally, the optimum collector area is determined to be 50 m<sup>2</sup> for air-conditioned space area of 30 m<sup>2</sup>.

**Keywords:** Absorption refrigeration system, Ammonia-water, Evacuated tube solar collector, Solar radiation, Thermal energy

### Mersin İli için Güneş Enerji Destekli Absorpsiyonlu Soğutma Sisteminin Performans Analizi

### Özet

Bu çalışmada, Mersin iline ait saatlik atmosfer hava sıcaklığı ve güneş ışınım verileri kullanılarak güneş enerjisi destekli absorpsiyonlu soğutma (SPAR) sisteminin performans analizi yapılmıştır. Güneş enerjisi destekli absorpsiyonlu soğutma sisteminin tasarımında soğutucu-soğurgan çifti olarak amonyak-su (NH<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O) ve vakum tüplü güneş kolektörü tercih edilmiştir. İlk olarak, seçilen binanın saatlik soğutma

\* Yazışmaların yapılacağı yazar: Mehmet BİLGİLİ, Ceyhan Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Adana. mbilgili@cu.edu.tr

yükü hesaplanmıştır. Sonra, bu soğutma yüküne göre sistemin termodinamik analizi yapılmış ve soğutulacak bölge için gerekli güneş kolektör alanı hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre maksimum etkinlik katsayısı, (COP) Mayıs ayında, minimum etkinlik katsayısı, (COP) ise Temmuz ve Ağustos aylarında elde edilmiştir. Birim alana gelen maksimum güneş ışınım değeri, 23 Haziran günü saat 13.00'de  $0,878 \text{ kW/m}^2$  olduğunda, COP değeri 0,434 olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak,  $30 \text{ m}^2$ 'lik soğutulacak bölge için optimum güneş kolektör alanı  $50 \text{ m}^2$  olarak hesaplanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Absorpsiyonlu soğutma sistemi, Amonyak-su, Vakum tüplü güneş kolektörü, Güneş ışınımı, Isıl enerji.

## 1. INTRODUCTION

Solar energy can be used in three main ways, and it is important to distinguish between these three types: passive heat, solar thermal and photovoltaic energy. Solar photovoltaic system have the widespread application due to its high power to weight ratio, simple, compact in size, less maintenance and no moving parts [1]. Solar thermal technologies contribute significantly to the hot water production in many countries, and increasingly to space heating and air-conditioning as well as industrial processes [2]. In summer, particularly under tropical climate, air conditioning has the highest energy expenditure in buildings [3]. In this context, improvements in energy efficiency should be achieved or alternative air-conditioning technologies should be developed for residential and commercial buildings. One of the important methods to reduce the energy consumption is the use of solar air-conditioning systems. Solar energy usage for comfort cooling purpose in buildings offers advantages of using an inexhaustible and free heat source to meet comfort cooling needs most of the time. Considering that comfort cooling demand increases with the intensity of solar radiation. For this reason, solar air-conditioning has been considered as a logical solution [4].

In Turkey, the yearly average solar-radiation is  $3.6 \text{ kWh/m}^2$  day, and the total yearly radiation period is 2610 hours. Especially, the south coast cities of Turkey which attract intensive attention as a touristic places have considerable population and hot climate. Therefore, air conditioning is vitally important due to the indoor comfort conditions especially in summer season [5].

Due to these reasons, solar energy can be used in the application of absorption refrigeration systems. Solar-powered absorption refrigeration (SPAR) system can be both economic and ecological applications by combining the need for comfort cooling of buildings with a high rate of availability of solar energy [6,7]. Absorption refrigeration systems are thermally activated and they do not require high input shaft power. Therefore, where power is unavailable and expensive, available waste heat, geothermal and solar heat can be used as a heat source for absorption machines. Since no chlorofluorocarbons (CFCs) are used, absorption refrigeration systems are appropriate for preserving the environment. In addition, they do not contribute emissions to the ozone depletion or to the global warming. Although absorption refrigeration systems seem to provide many advantages, their COP is too low and initial investment cost is very high [4,8]. The most important parameter is the performance of solar collectors in the design of absorption cooling machine. If the fluid temperature reaches  $150^\circ\text{C}$ , the performance of absorption refrigeration machines can be doubled leading to a high COP value comparing to the case of the fluid temperature of  $90^\circ\text{C}$  where single-acting systems are used causing a lower COP value. The one of the main difference between absorption refrigeration and conventional mechanical vapor compression system is the use of absorbent refrigerant pair instead of compressor. In this way the system does not need a high power input for the mechanical compressor.

The use of vapor absorption systems by means of solar thermal energy has been generated a high

interest in the last decades [9]. Thermodynamic analysis and establishment of the design parameters before constructing the SPAR system are substantially important in terms of evaluation of the economic performance. The objective of the present study is to analyze the performance of the SPAR system with an air-conditioned space of 30 m<sup>2</sup> for Mersin province in Turkey. First, hourly cooling loads of the selected building are calculated. According to this cooling load, the thermodynamic analysis of the SPAR system is conducted and later optimum size of solar panel is determined for the air-conditioned space.

## 2. MATERIAL AND METHODS

Schematic diagram of the SPAR system is presented in Figure 1. It consists of three main parts: a solar collector, a storage tank and a vapor absorption air conditioning system. Absorption refrigeration system which uses ammonia-water (NH<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O) as a working fluid consists of four heat exchangers: generator, absorber, condenser and evaporator. An evacuated tube collector is preferred as a solar collector. Because of its design, evacuated tube solar collector captures almost all of the solar radiation. Its efficiency is much higher than the flat plate collectors.

The mass and energy balance equations are used in the analysis of the SPAR system. All components of the system are counted to have an individual control volume [4,10]. Equations (1) and (2) should be used for mass balance where  $\dot{m}$  (kg/s) represents mass flow rate and  $x$  represents mass concentration of the NH<sub>3</sub>.

$$\sum \dot{m}_i - \sum \dot{m}_0 = 0 \quad (1)$$

$$\sum (\dot{m} \cdot x)_i - \sum (\dot{m} \cdot x)_0 = 0 \quad (2)$$

The first law of thermodynamics for steady flow process is presented in Eq. (3). In this equation,  $h$  (kJ / kg) is enthalpy,  $Q$  (kW) is heat transfer and  $W$  (kW) is the shaft power.

$$\sum (\dot{m} \cdot h)_i - \sum (\dot{m} \cdot h)_0 + [\sum Q_i - \sum Q_0] + W = 0 \quad (3)$$

Equations of (4), (5) and (6) are used in order to determine heat transfer capacity of the generator. In these equations,  $\dot{m}_3$ ,  $\dot{m}_4$  and  $\dot{m}_7$  represent mass flow rates of the rich solutions of heat exchanger, the weak solution returning from the generator and the ammonia vapor exiting from generator, respectively.  $Q_G$  indicates the heat entered to the generator. Here,  $h_3$ ,  $h_4$  and  $h_7$  symbolize the enthalpies of the rich solution, the weak solution and ammonia vapor, respectively.

$$\dot{m}_3 = \dot{m}_4 + \dot{m}_7 \quad (4)$$

$$\dot{m}_3 x_3 = \dot{m}_4 x_4 + \dot{m}_7 \quad (5)$$

$$Q_G = \dot{m}_7 h_7 + \dot{m}_4 h_4 - \dot{m}_3 h_3 \quad (6)$$

Equations (7), (8) and (9) are obtained from equations (4) and (5). Here,  $f$  which is stated below is the mass flow rate ratio.

$$f = \frac{\dot{m}_3}{\dot{m}_7} = \frac{1 - x_4}{x_3 - x_4} \quad (7)$$

$$\frac{\dot{m}_3}{\dot{m}_7} = \frac{\dot{m}_4}{\dot{m}_7} + 1 \quad (8)$$

$$\frac{\dot{m}_4}{\dot{m}_7} = f - 1 \quad (9)$$

Equations (10) and (11) are obtained by applying laws of mass and energy balances to the condenser.  $Q_C$  indicates the amount of heat exiting from the condenser, while  $\dot{m}_8$  represents the saturated liquid. And,  $h_7$  and  $h_8$  symbolize enthalpy of ammonia entering and exiting the condenser, respectively.

$$\dot{m}_7 = \dot{m}_8 = \dot{m}_{ref} \quad (10)$$

$$Q_C = \dot{m}_{ref} (h_8 - h_7) \quad (11)$$

Equations (1) and (3) are applied between inlet and outlet of evaporator to obtain equations (12) and (13) assuming that there is a steady flow and no shaft power is needed.  $Q_E$  indicates the heat taken from the air-conditioned space. Here  $\dot{m}_9$  represents

liquid ammonia after expansion valve,  $\dot{m}_{10}$  represents ammonia vapor exiting from evaporator and  $h_9$  and  $h_{10}$  symbolize the enthalpy of liquid ammonia and ammonia vapor respectively.

$$\dot{m}_9 = \dot{m}_{10} = \dot{m}_{ref} \quad (12)$$

$$Q_E = \dot{m}_{ref} (h_{10} - h_9) \quad (13)$$

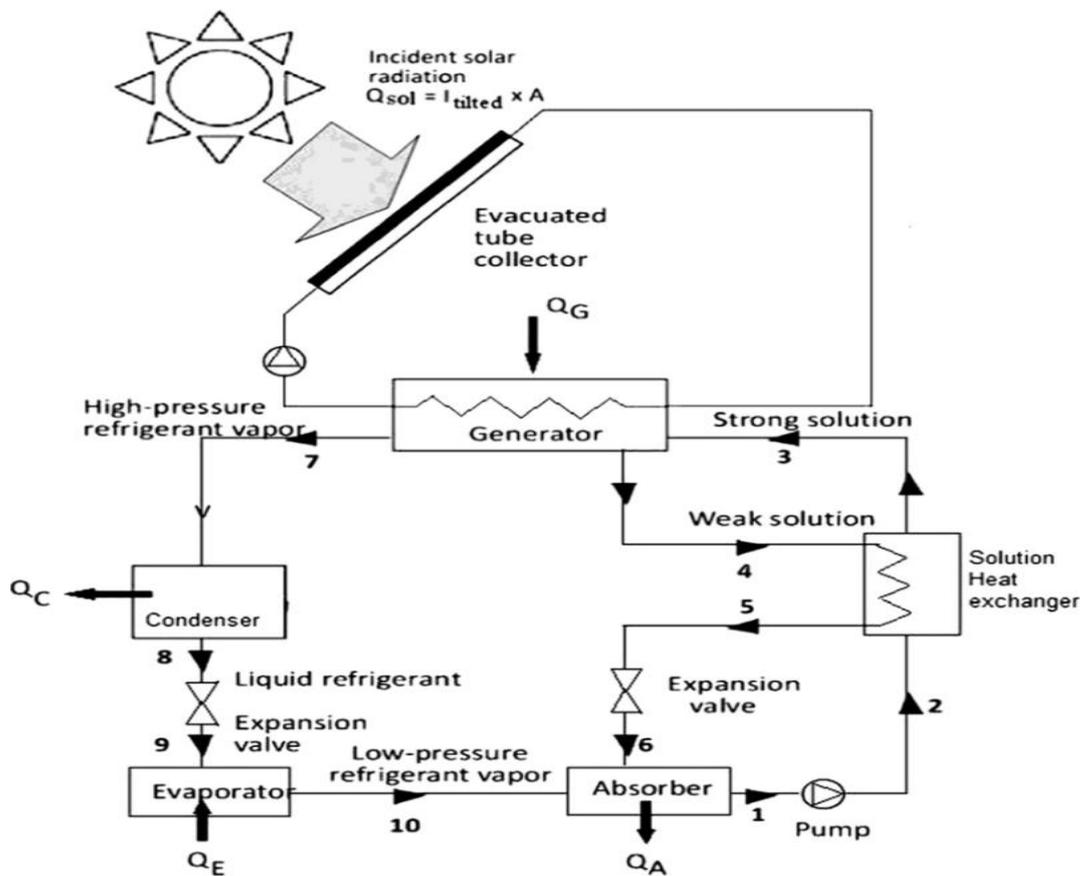


Figure 1. Components of the solar powered absorption refrigeration system [4]

Equations of (14), (15) and (16) are derived using one dimensional continuity and first law thermodynamic equations to the absorber. Here,  $\dot{m}_1$  and  $\dot{m}_6$  represent the rich solution that exits in the absorber and the weak solution returning from the generator, respectively. Secondly,  $h_1$  and  $h_6$  symbolize the enthalpy of the rich solution leaving

the absorber and the weak solution returning from the generator, respectively.  $Q_A$  is the heat taken out from the absorber. Lastly,  $q_A$  (kJ/kg) is the heat dissipated per unit mass.

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_{10} + \dot{m}_6 \quad (14)$$



$$Q_A = \dot{m}_1 h_1 - \dot{m}_{10} h_{10} - \dot{m}_6 h_6 \quad (15)$$

$$q_A = f \cdot h_1 - h_{10} - (f - 1) \cdot h_6 \quad (16)$$

The energy balance applied to the entire system shows that the sum of incoming and out coming heat transfers must be zero. The Eq. (17) is obtained when the system is considered to be steady-state process and hence heat losses and the pump work are neglected.

$$Q_C + Q_A = Q_G + Q_E \quad (17)$$

The cooling coefficient of performance COP is obtained by ratio of evaporator heat load and generator heat load.

$$COP_{cooling} = \frac{Q_E}{Q_G} = \frac{\dot{m}_{10} h_{10} - \dot{m}_9 h_9}{\dot{m}_7 h_7 + \dot{m}_4 h_4 - \dot{m}_3 h_3} \quad (18)$$

$Q_{sol}$  (kW) is solar radiation received with the solar collector,  $A$  is the surface area of solar collector,  $I$  (kW/m<sup>2</sup>) is the solar radiation,  $Q_{sol-gen}$  (kW) shows the heat transferred from the solar collector to the generator and  $\eta$  symbolizes the thermal efficiency of solar collector.

$$\eta = \frac{Q_{sol-gen}}{Q_{sol}} \quad (19)$$

Here,  $\tau$  and  $\alpha$  represent coefficient of the transmission and absorption coefficient, respectively,  $U$  is the overall heat transfer coefficient (W/m<sup>2</sup>K),  $F$  is the solar-collector efficiency factor,  $T_w$  (°C) and  $T_A$  (°C) indicate temperatures of the mean water and the atmospheric air, respectively. Typical values of  $\tau\alpha$  and  $U$  for the evacuated tube collector are commonly taken as 0.84-0.86 and 0.8 W/m<sup>2</sup> K, respectively.

$$Q_{sol} = I \cdot A \quad (20)$$

$$Q_{sol-gen} = F \cdot A[(\tau\alpha)I - U(T_w - T_A)] \quad (21)$$

By using Eqs. (20) and (21), solar collector efficiency can be written as:

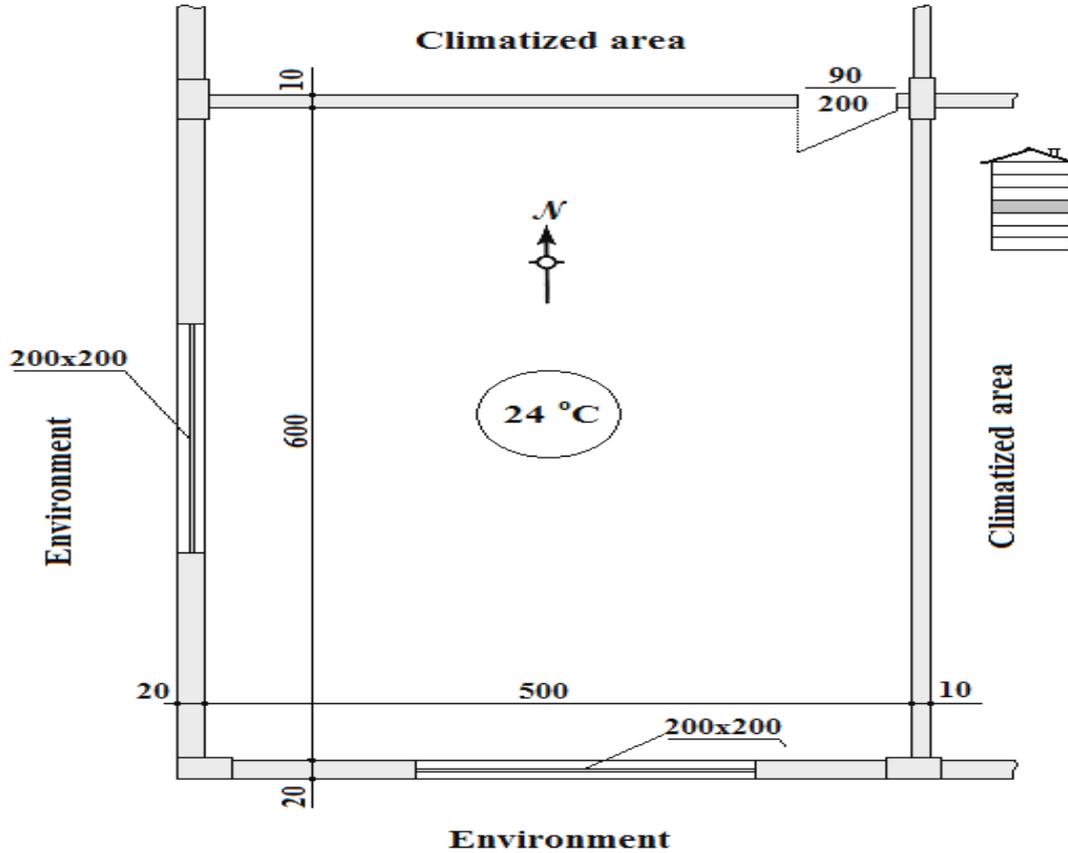
$$\eta = F \cdot (\tau \alpha) - \frac{F U (T_w - T_A)}{I} \quad (22)$$

### 3. RESULTS AND DISCUSSION

Average values of solar radiation,  $I$  and atmospheric air temperature,  $T_A$  are obtained by taking the mean hourly values of temperature and solar radiation between 1999 and 2008. These data are taken from the weather station of Turkish State Meteorological Service situated in the province of Mersin (with coordinates of 36,8 latitude and 34,63 longitude at an altitude of 3,4 m). By considering human comfort, the indoor air temperature,  $T_i$  is taken as 24°C.

Schematic diagram of the air-conditioned space is shown in Figure 2. It is located south and west exposure. There are two windows with 2m×2m size on both exposures. External wall thickness is 0,2 m and internal wall thickness is 0,1 m. Air-conditioned space floor area is 30 m<sup>2</sup> and its size is 5m×6m. Air-conditioned space's height is 3 m and so its volume is 90 m<sup>3</sup>. Wall transmission is taken as 25 m<sup>2</sup>. Window and skylight solar areas are taken as 8 m<sup>2</sup>.

In the calculation of heat gain, overhead lighting load is taken as 750 W and electric equipment load is taken as 500 W. Four people are supposed to live in the air-conditioned space and 130 W loads per person are taken. Safety factor is 15%. It is assumed that there are no heat gains through the doors, floor and roof, since they have the same temperature as the air-conditioned space. Heat gains due to infiltration and ventilation are ignored. The hourly comfort cooling load capacity of air conditioned space,  $Q_E$  is determined by using the Cooling Load Hourly Analysis Program (HAP) 4.4. HAP is a computer tool which assists engineers in designing HVAC systems for commercial buildings. It is a tool for estimating loads and designing systems, as well as for simulating energy use and calculating energy costs. It uses the ASHRAE-endorsed transfer function method for load calculations and detailed 8,760 hour-by-hour energy simulation techniques for the energy analysis.



**Figure 2.** Schematic representation of the air-conditioned space

The hourly cooling loads,  $Q_E$  on the 23<sup>rd</sup> days of five-months are presented in Figure 3. The hourly comfort cooling load,  $Q_E$  takes different values during the day. It reaches its highest value at 03:00 p.m. in August and September; at 04:00 p.m. in May, June and July. The  $Q_E$  values vary between 2,60 kW and 5,19 kW in May, between 3,80 kW and 8,59 kW in June, between 4,06 kW and 9,06 kW in July, between 3,88 kW and 9,61 kW in August, between 3,69 kW and 10,27 kW in September. Amongst five-months, the highest  $Q_E$  values are found in September.

The SPAR system is designed for the air-conditioned space described in the previous

section.  $NH_3$  temperature of generator outlet,  $T_G$  is 110°C and evaporation temperature,  $T_E$  is 10°C. Condensing and absorber temperatures,  $T_C$  and  $T_{AB}$  are assumed to be the same because they release their heat to the same heat sink.

Condensing temperature,  $T_C$  is thought to be 10°C higher than the atmospheric air temperature,  $T_A$ . For 23<sup>rd</sup> of five selected months,  $COP_{cooling}$  value of the SPAR system varies during the day as seen in Figure 4.  $COP_{cooling}$  value varies ranging from 0,41 to 0,49. The highest values of  $COP_{cooling}$  occur in May, while the lowest values of  $COP_{cooling}$  take place in July and August.

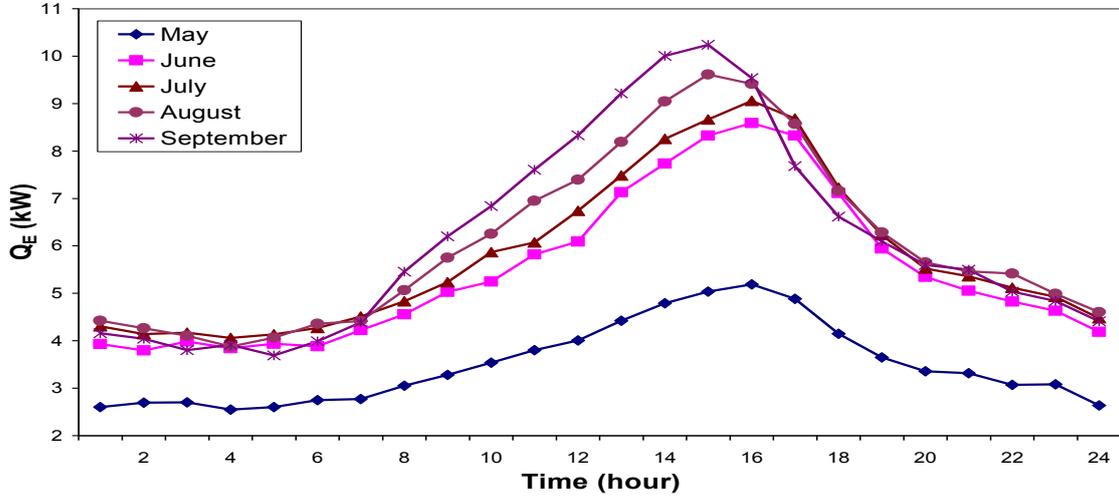


Figure 3. Variations of hourly values of  $Q_E$  on the 23<sup>rd</sup> days of five-months

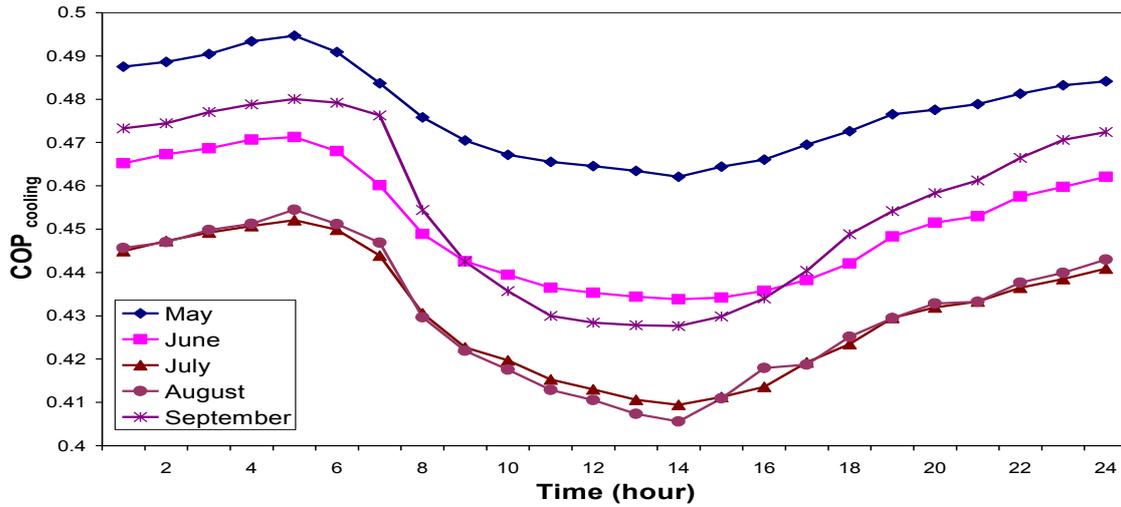


Figure 4. Variations of hourly values of  $COP_{cooling}$  on the 23<sup>rd</sup> days of five-months

Proper solar collector areas,  $A$  are needed for providing the necessary comfort cooling capacity between 7:00 a.m. and 7:00 p.m. Because the low levels of solar radiation effects occur during morning and evening hours the necessary solar radiation collector area,  $A$  is obviously calculated quite large. Therefore, ensuring air-conditioning with solar energy, physically and economically to be adequate in terms of time, for example, taking the SPAR system in operation between 9:00 am

and 4:00 pm the optimum solar collector area,  $A$  should be determined accordingly. The required solar collector area,  $A$  is presented in Figure 5 for duration of time between 08:00 a.m. and 05:00 p.m. As seen in the figure, the required collector area takes the lowest values in May due to the lowest values of the atmospheric air temperature,  $T_A$  and the higher values of the solar radiation,  $I$ . The required collector area is higher in September due to the lowest values of the solar radiation,  $I$

and the higher values of the atmospheric air temperature,  $T_A$ . According to this, the optimum solar collector area required for the air-conditioning system is determined as  $50 \text{ m}^2$ .

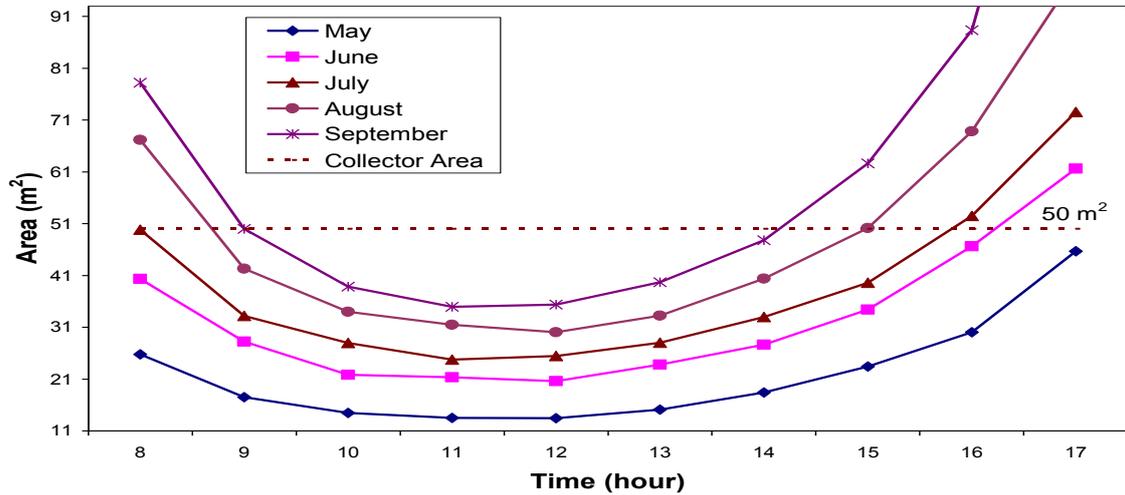


Figure 5. The collector area required for air-conditioning between 08:00 a.m. and 05:00 p.m.

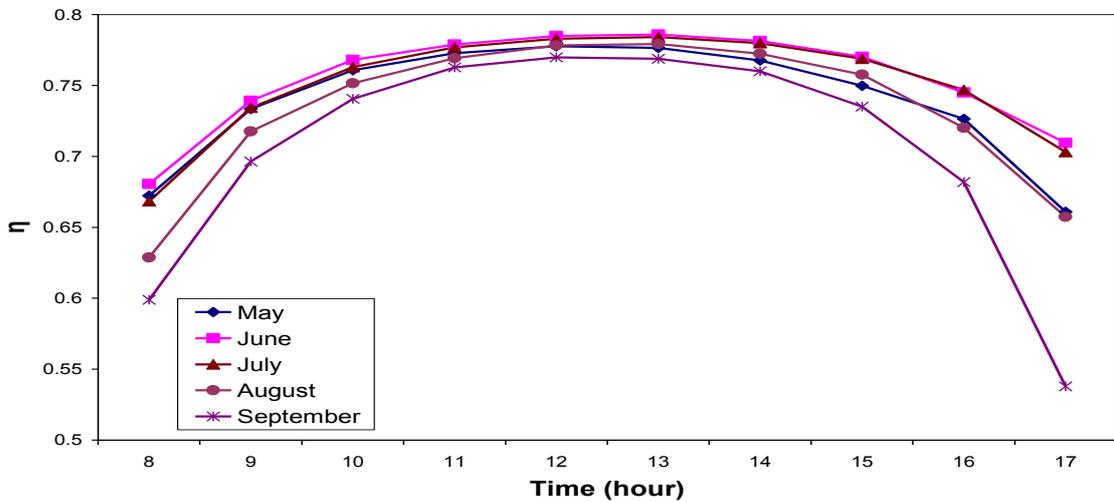


Figure 6. Variation of hourly efficiency of solar collector on the 23<sup>rd</sup> days of five-months

Hourly efficiency of solar collector on the 23<sup>rd</sup> days of five-months is shown in Figure 6. Solar collector efficiency is directly proportional to the atmospheric air temperature,  $T_A$  and solar radiation,  $I$ . Therefore, solar collector efficiency,  $\eta$  increases towards the noon time and then it starts

to decrease. The solar radiation is more decisive than the atmospheric air temperature,  $T_A$  on the efficiencies of solar collector. Levels of atmospheric air temperatures,  $T_A$  are lower in May comparing to the value obtained in September but solar radiation,  $I$  level is higher in May comparing

to September. Therefore, solar collector efficiency,  $\eta$  is higher in May than in September. Between the hours ranging from 08:00 a.m. to 05:00 p.m., the value of solar collector efficiency,  $\eta$  increases from 0,66 to 0,78 in May, from 0,68 to 0,79 in June, from 0,67 to 0,78 in July, from 0,63 to 0,78 in August and finally from 0,54 to 0,77 in September.

#### 4. CONCLUSION

This study investigates the SPAR system by using hourly atmospheric air temperature,  $T_A$  and solar radiation,  $I$  data in Mersin province of Turkey. The obtained results show the benefits and features of using solar energy in the air-conditioning technology. The following conclusions can be drawn from the present study:

- Atmospheric air temperature,  $T_A$  is the most important factor affecting COP<sub>cooling</sub>. Atmospheric air temperature,  $T_A$  is inversely proportional to the value of COP<sub>cooling</sub>.
- COP values vary during the day of months considered, for example, ranging from 0,46 to 0,49 in May, from 0,43 to 0,47 in June, from 0,41 to 0,45 in July, from 0,40 to 0,45 in August, from 0,43 to 0,48 in September.
- The highest COP values occur in May, while the lowest COP values occur in July and August.
- The maximum solar efficiency is observed on the 23<sup>rd</sup> of June at 01:00 p.m. This solar efficiency is calculated as 0,8, while solar radiation,  $I$  is 878 W/m<sup>2</sup>.
- According to the results, the optimum required collector area is determined as 50m<sup>2</sup> for air-conditioned space area of 30 m<sup>2</sup>.

#### 5. REFERENCES

1. Gupta, B.L., Bhatnagar, M., Mathur, J., 2014. Optimum Sizing of PV Panel, Battery Capacity and Insulation Thickness for a Photovoltaic Operated Domestic Refrigerator. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 7:55-67.
2. REN21, 2014. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, Renewables 2014 Global Status Report, <http://www.ren21.net>.
3. Pires, L., Silva, P.D., Gomes, J.P.C., 2013. Experimental Study of an Innovative Element for Passive Cooling of Buildings. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 4:29-35.
4. Ozgoren, M., Bilgili, M., Babayigit, O., 2012. Hourly Performance Prediction of Ammonia-Water Solar Absorption Refrigeration. *Applied Thermal Engineering*, 40:80-90.
5. Babayigit, O., Aksoy, M.H., Ozgoren, M., Solmaz, O., 2013. Investigation of Absorption Cooling Application Powered by Solar Energy in the South Coast Region of Turkey. *EPJ Web of Conferences*, 45:01100.
6. Ali, A.H.H., Noeres, P., Pollerberg, C., 2008. Performance Assessment of an Integrated Free Cooling and Solar Powered Single-Effect Lithium Bromide-Water Absorption Chiller. *Solar Energy*, 82:1021-1030.
7. Ramesh, R., Murugesan, S.N., Narendran, C., Saravanan, R., 2015. Cascaded Energy Plant Using Ammonia Absorption Refrigeration System for Combined Cooling and Heating Applications. *Science and Technology for the Built Environment*, 21:290-299.
8. Du, S., Wang, R.Z., Xia, Z.Z., 2015. Graphical Analysis on Internal Heat Recovery of a Single Stage Ammonia-Water Absorption Refrigeration System. *Energy*, 80:687-694.
9. Lecuona, A., Ventas, R., Venegas, M., Zacarias, A., Salgado, R., 2009. Optimum Hot Water Temperature for Absorption Solar Cooling. *Solar Energy*, 83,1806-1814.
10. Cimsit, C., Ozturk, I.T., Kincay, O., 2015. Thermoeconomic Optimization of LiBr/H<sub>2</sub>O-R134a Compression-Absorption Cascade Refrigeration Cycle. *Applied Thermal Engineering*, 76:105-115.



## Elazığ Bölgesi Kromitit ve Yan Kayaçlarına ait PGE İçerikleri ve Jeokimyasal Yorumu

Gülşah ÖZEK<sup>\*1</sup>, Muharrem AKGÜL<sup>2</sup>, Nusret NURLU<sup>3</sup>, Nil YAPICI<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Elazığ Belediyesi, İşletme ve İştirakler Müdürlüğü, Elazığ

<sup>2</sup>Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fak., Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Elazığ

<sup>3</sup>Çukurova Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fak., Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Adana

<sup>4</sup>Çukurova Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fak., Maden Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 08.02.2016

Kabul tarihi: 28.03.2016

### Özet

Çalışma alanında, dünit ve kromitit içeren harzburgitlerden oluşan tektonitler ile dünit, verlit, klinopiroksenit, gabrolardan oluşan kümülatlar ve tüm bu birimleri kesen tekil diyabaz daykları, levha dayk karmaşığı ve bazik volkanik kayaçlar bulunmaktadır. Ayrıca kayaç ve kromit örneklerinden Pt, Pd, Rh ve Au için ICP-MS yöntemi ile, Ir ve kromitlerin iz element içerikleri ise Nötron Aktivasyon yöntemi ile analiz edilmiştir. analiz sonuçları ilksel manto değerlerine göre normalleştirilmiş ve sonuçlar spider diyagramlarında değerlendirilmiştir. Buna göre kayaçlarda; Rh negatif bir anomali gösterip mantoya göre fakirleşmekte, Pt mantoya yakın ve mantoya göre fakirleşmekte, Pd mantoya yakın mantoya göre zenginleşmekte olup Au ise yine mantoya göre zenginleşmektedir. Ir oranı 45-440 arasında değişmekte, Rh oranı 0,05-5,56 arasında ve Pt oranı ise 0,1 ile 23 arasındadır ve örneklerin Irarsit olduğu, kromitlere ait Pd/Ir'e karşı Pt/Pt\* verilerine göre ise astenosferik kompozisyona sahip oldukları belirlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Guleman, Ofiyolit, Kromit, PGE (platin grubu elementler), Elazığ

### Platin Group Elements (PGE) Contents and Interpretation Geochemistry of Chromite Deposits with Host Rocks in Guleman (Elazığ) Region

#### Abstract

Guleman ophiolite made up of tectonites which comprises dunite and chromite bearing harzburgites and cumulates which contain dunites, wehrlite, clinopyroxenite, gabbros, diabase dykes, sheeted dyke complex and basic volcanites are other constituents of the ophiolite. rocks samples and chromite ore samples were analyzed for Pt, Pd, Rh and Au using ICP-MS and for Ir and trace elements using

\* Yazışmaların yapılacağı yazar: Gülşah ÖZEK, Elazığ Belediyesi, İşletme ve İştirakler Müdürlüğü, Elazığ, gozek80@gmail.com

Neutron Activation Methods. The analytical data are normalized for primitive mantle and used in spider diagrams. These diagrams illustrate that the rocks have negative anomalies for Rh, Pt is close to mantle values, Pd close or show enrichment and Au is enriched in comparison to the mantle. The PGE contents of ore samples vary. Ir shows positive anomaly, Rh negative, Pt and Pd are close to or richer, and Au is richer than the mantle values. Samples are determined as Irarsite, according to Ir ratio 45-550 wt% - Rh ratio of 0,05-5,56 wt%- Pt ratio also 0,1-23 wt% and Chromites have the asthenospheric composition with reference to PGE data.

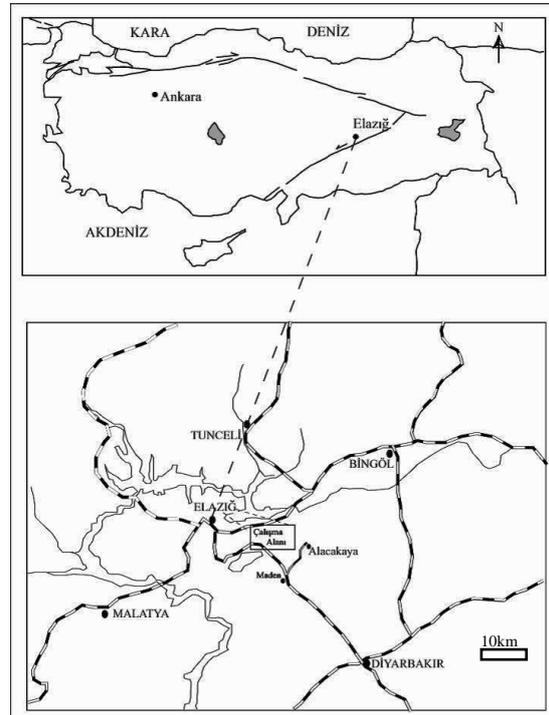
**Key Words:** Guleman, Ophiolite, Podiform chromites, PGE (platinum group elements), Elazığ

## 1. GİRİŞ

İnceleme alanı, Elazığ ilinin yaklaşık 80 km GD'sunda ve Alacakaya ilçesi sınırları içinde yer almaktadır (Şekil 1). Guleman Bölgesinde birçok kayaç topluluğu bulunmaktadır. Bunları yaşlıdan gence Paleozoyik yaşlı Bitlis Metamorfileri, Üst Kretase yaşlı Guleman Ofiyoliti, Üst Meastrihtiyen- Orta Eosen yaşlı Hazar Grubu, Orta Eosen yaşlı Maden Karmaşığı ve Miyosen yaşlı Lice Formasyonu oluşturmaktadır. Alp-Himalaya orojenik sistemi içinde önemli bir yere sahip olan Türkiye, yaklaşık olarak D-B uzanımlı tektonik kuşaklar arasında (Pontidler, Anatolidler, Toridler ve Kenar kıvrımlar) Paleotetis ve Neotetis okyanusal basenlerinin kalıntılarını içermektedir [1-3]. Güneydoğu Anadolu'da kuzeydoğu-güneybatı doğrultulu Türkiye, Kıbrıs ve Suriye'yi içine alan kuzey ve güney olmak üzere iki farklı ofiyolit kuşağının olduğu bilinmektedir [4-7].

Kuzeyde yer alan ofiyolit kuşağı, Toros platformu ile Bitlis-Pütürge masifi arasında yer alan Göksun, İspendere, Kömürhan, Guleman ve Killan ofiyolitlerini kapsamaktadır. Başpınar, 'Guleman (Elazığ) Bölgesi Krom Yataklarının Platin Grubu Element (PGE) içerikleri ve Jeokimyası' konulu bu çalışmada; ofiyolitik kütlelerin petrografik ve jeokimyasal açıdan incelenmesi, bu kayaçlar içerisinde yer alan krom yataklarının ve yan kayaçlarının jeolojisi ve mineralojisinin incelenmesi, kromit ve yan kayaçlarının Platin Grubu Element (PGE) içerikleri tespit edilip elde edilen jeokimyasal verilerin değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Kromit yatakları yaklaşık 200 km<sup>2</sup>'lik bir alanı kaplayan Jura-Alt Kretase oluşum yaşındaki Guleman Ofiyoliti içerisinde podiform tipte geliştiği, Krom cevherleşmelerinin ofiyolitik birimin peridotitik kayaçlar (dünit, harzburjit) içerisinde yer aldığı daha önceki yıllarda bölgede yapılan genel jeoloji, petrografi ve tektonik ağırlıklı çalışmalarda değişik araştırmacılar tarafından incelenmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru haritası



Ancak krom cevherleşmesinin platin grubu elementlerin araştırılmasına ait ayrıntılı bir çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışma da bölgede yapılan çalışmalara ilaveten krom cevherleşmesinin Platin Grubu Elementler açısından incelenmesi amaçlanmıştır. Özkan (1982, 1983a, 1983b, 1984), Guleman ofiyoliti üzerinde yaptığı değişik amaçlı çalışmalarında, Guleman ofiyolitinin Güneydoğu Anadolu Tersiyer sürüklenme kuşağı içinde yer alan ultramafik-mafik kütlelerden biri olduğunu belirtmiş ve birimin tektonik dilimlenmeyle parçalanmış eksik bir ofiyolit topluluğunu temsil ettiğini belirtmektedir [8-10]. Page ve arkadaşları (1984), 'Guleman Bölgesi Batı Kef Kromit Yatakları Platin Grubu Elementlerin Dağılımı' adlı çalışması, Türkiye'deki ofiyolitlerin PGE içeriklerinin saptanması, bunun Batı Kef yatağındaki metallerle karşılaştırılması ve yine bu bulguların dünyanın diğer bölgelerinde ofiyolitlerin PGE içerikleriyle karşılaştırmak amacıyla yapılmıştır [11]. Engin ve Özkan (1985), Guleman bölgesinin yapısal durumunu ve peridotitlerin petrografisini incelemişler [12]. Bingöl (1986), Guleman ofiyolitinin petrografisini ve petrolojisi üzerine yaptığı çalışmalarda, bunların yüksek sıcaklıklarda plastik deformasyon geçirmiş tektonitler ve deforme olmamış kümülatlardan oluştuğunu ve İspendere Ofiyoliti'nin Guleman Ofiyoliti'nin batı uzantısı olduğunu kabul etmiştir [13]. Özsoy (2001), Ayıpınar krom cevherleşmesini incelemiş buradaki cevherleşmenin ortomagmatik evrede kristal eriyik farklılaşması ile okyanus ortası sırtlarda oluştuğu sonucuna varmıştır [14]. Örün (2002), Rut ve Lasir bölgesi krom yataklarının jeolojisi ve jeokimyasal özelliklerini incelemiştir [15]. Çelik (2003), 'Mastar Dağı (Elazığ GD'su) çevresinin stratigrafik ve tektonik özellikleri' konulu çalışmasında inceleme alanı içerisinde yer alan Hazar Karmaşığı, Maden Karmaşığı ve Guleman Ofiyolitini ayrıntılı bir şekilde incelemiştir [16]. Kılıç (2005), 'Hazar Gölü (Sivrice-Elazığ) Güneyinin Petrografik ve Petrolojik Özellikleri' konulu çalışmasında inceleme alanı içinde yer alan Guleman Ofiyolitlerini incelemiş ve bu ofiyolitde manto kayacı olarak harzburjitin olması, kalın ve değişik litolojide bir gabro seviyesinin bulunması Guleman Ofiyolitinin harzburjit tip ofiyolit (HOT)

olduğunu, gerek harzburjitlerin varlığı gerekse jeokimyasal verilere dayanarak Guleman Ofiyolitinin bir Supra-Subduction tip ofiyolit olduğunu belirtmiştir [17].

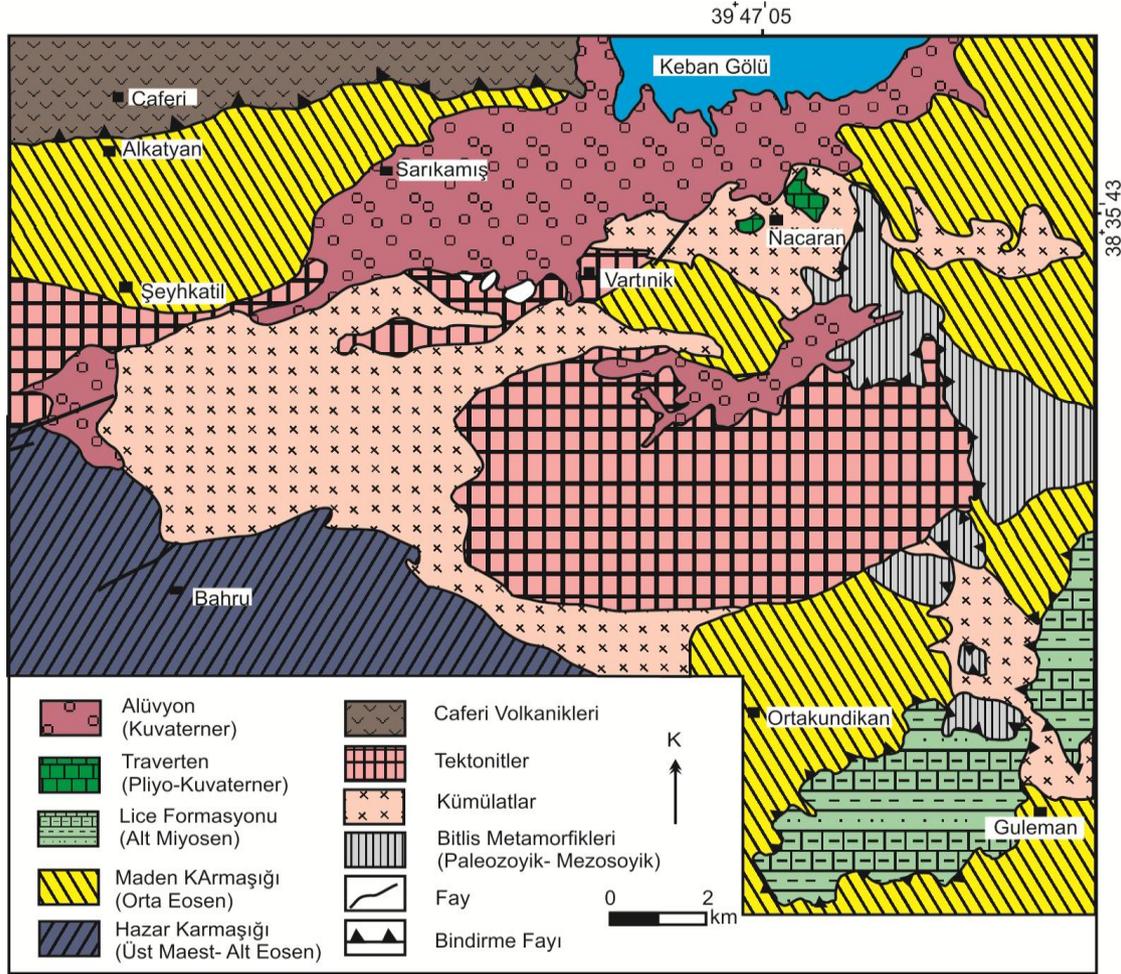
## 2. GENEL JEOLJİ

İnceleme alanında birçok kayaç topluluğu bulunmaktadır (Şekil 2, 3). İnceleme alanında kayaçlar geniş çerçevede incelendiğinde başlıca iki yapısal birime ayrılabilir. Bunlardan Lice Formasyonu ve Bitlis Metamorfittleri otokton, Guleman Grubu, Hazar Karmaşığı ve Maden Karmaşığı ise allohton birimlerdir. Bitlis Metamorfittleri Guleman Ofiyolitleri üzerine tektonik dokanakla gelmektedir. Hazar Karmaşığı ve Maden Karmaşığı bu birimi uyumsuz olarak örtmekte ve bu birimler Alt Miyosen yaşlı Lice Formasyonu üzerine bindirmişlerdir (Şekil 3).

### 2.1. Litoloji

Guleman Ofiyoliti; başlıca dünit ve kromitit içeren harzburjitlerden oluşan tektonitler ile bunların üzerine açılı uyumsuzlukla gelen dünit, verlit, klinopiroksenit, tabakalı gabrolardan oluşan kümülatlar, tüm bu birimleri kesen tekil diyabaz daykaları ile ve bazik volkanik kayaçlardan oluşmaktadır (Şekil 4-8). Tektonitler inceleme alanında daha çok krom cevherleşmelerinin yer aldığı Sori bölgesinde görülmektedir. Başlıca harzburjit ve dünitten oluşur ve dünitlerin harzburjitlere göre bağıl miktarları daha azdır. Ultramafik tektonitler, sadece manto sıcaklık ve basınç koşullarında oluşabilen plastik deformasyon, kısmi ergime ve rekristalizasyon yapı ve dokularını gösterirler [8].

Kümülatlar tektonitleri çevreler konumda olup Baltaş (Nacaran) köyü civarında ve inceleme alanının batısında yer almaktadır (Şekil 1). Tektonitlerin üzerinde dünitlerle başlayıp harzburjit, gabrolara kadar uzanan ve kristal çökelişi süreciyle oluştuklarını belgeleyen tipik yapı ve dokular sunan kümülatlar grubu kayaçlar, 2800 m kalınlığında bir magmatik seri olup kristal yerleşme proseslerine katkıda bulunan yapı ve dokular gösterirler [9]. Bazik volkanik kayaçlar ise



Şekil 2. Guleman bölgesinin jeoloji haritası [9]

inceleme alanında Caferi köyü yakınlarında yüzeylemektedir (Şekil 1).

### 2.1.1. Yaş

Özkan (1982), Guleman Ofiyoliti üzerine yaptığı çalışmalar sonucu birime Üst Jura-Alt Kretase [8], Bingöl (1984, 1986) Geç Jura-Erken Kretase [13, 18], Sungurlu (1979), Elazığ-Hazar-Palu çevresinde yaptıkları çalışmalarda Guleman Grubu'nda ilk kez rastladıklarını belirttikleri volkanitlerle girik olarak gözlenen kırmızı renkli kireçtaşlarından almış oldukları kayaç örneklerinde *Globotruncana* sp., *Globotruncana stuarti*,

*Globotruncana lapparenti*, *Globotruncana arca* ve *Heterohelix* sp. fosillerini tespit ederek Kampaniyen-Alt Maastrichtiyen yaşını birim için önermişlerdir [19]. Kılıç (2005), inceleme alanının batısında birim üzerine yaptığı çalışmada; Guleman Ofiyoliti'nin Neotetis'in güney kolunun, Üst Kretase' de kuzeye doğru dalmasıyla, dalan kabuk üzerindeki okyanusal kabukta meydana gelen açılmaya bağlı olarak gelişen okyanus kabuğu ürünleri olduğu belirlenmiş ve dolayısıyla da yaşının Üst Kretase olması gerektiği belirtmektedir. Yapılan bu çalışmada Guleman Ofiyolitinin yaşı için Üst Jura-Alt Kretase yaşı benimsenmiştir [17].

YAŞ	GRUP	BİRİM	KALINLIK	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
ORTA EOSEN	MADEN KARMAŞIĞI	Alt volkanik ve sedimanter	1000-3000m		Mafik volkanitler( andezit-bazalt), aglomera ve tuf
		Lot volkanik ve sedimanter	> 200 m		Yanal ve düşey girik mafik volkanikler karbonatlı kumtaşı, kireçtaşı, çamurtaşı
ÜST MEASTRIHTİYEN ALT EOSEN	HAZAR KARMAŞIĞI	2250 m	2250 m		Fosilli kireçtaşı
					Yer yer volkanik ara katkılı Kumtaşı-kiltaşı-şeyl-marn-killi kireçtaşı ardalımsı
					Konglomera
JURA - ALT KRETASE	GULEMAN GRUBU	Bantlı Gabro	100-900m		Bantlı gabro ve pegmatitik dayklar
		Peridotit	> 3000 m		Kromit cevherleşmeleri Dünit, harzburgit, lertzolit ve piroksenit yığışmaları
ALT MIOSEN	LİCE FORM.	Filiş	> 150 m		Seyrek kireçtaşı arakatmanlı, şeyl-kumtaşı ardalımsı

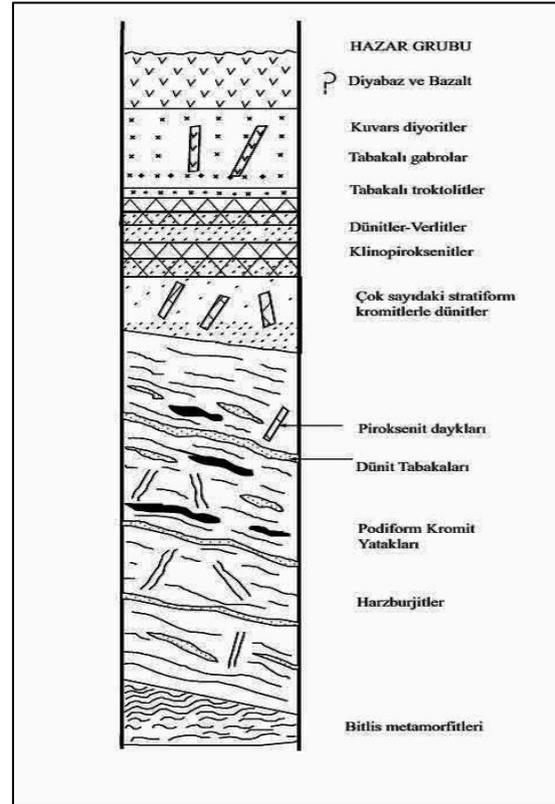
Şekil 3. Guleman bölgesinin genelleştirilmiş tektonostratigrafik kesiti [20].



Şekil 4. Guleman ofiyolitine ait genel bir görünüm. Bakış yönü batı Kef tepeden kuzeydoğuya doğrudur.



Şekil 5. Guleman ofiyolitine ait genel bir görünüm. Bakış yönü Batı Kef tepeden doğuya doğrudur.



Şekil 6. Guleman ofiyolitinin genelleştirilmiş bölgesel kesiti ([13]'den değiştirilerek).

## 2.1.2. Petrografi

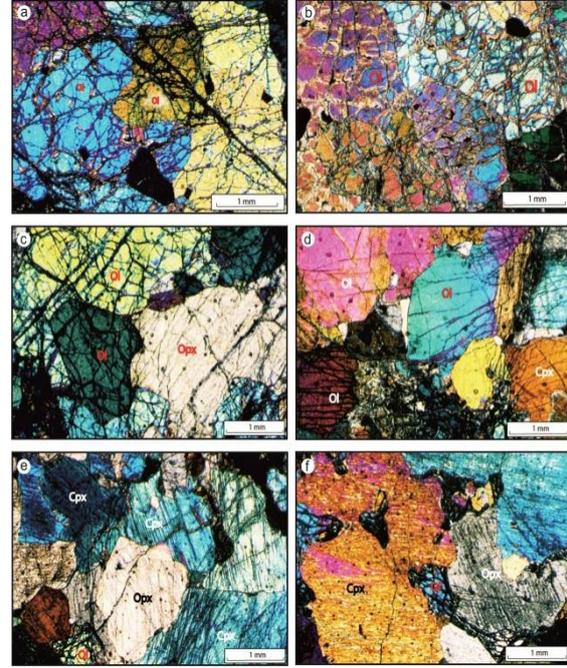
### 2.1.2.1. Tektonitler

Tektonitler inceleme alanında dünit ve harzburjit litolojisinde izlenmektedir. Bu kayaçlar daha çok krom cevherleşmesinin yer aldığı Sori bölgesinde yaygın olarak görülmekte ve arazide yeşilimsi sarı renkte, bol kırıklı, çatlaklı bir görünümündedirler.

Dunitler; granuler ve elek doku sunmakta ve %90-92 oranında olivin, %3-4 ortopiroksen ve eser miktarda serpantin minerallerinden oluşmaktadırlar (Şekil 7a,b). Harzburjit türü kayalar ise granuler, poikilitik, elek doku göstermekte, yaklaşık %50-60 oranında olivine, %30-35 ortopiroksen, %5-7 ojit, %1-2 serpantin ve %1-2 oranında kromit minerallerinden oluşmaktadırlar (Şekil 7c).

### 2.1.2.2. Kümülatlar

İnceleme alanında kümülat grubu kayaçlar başlıca; dünit, verlit, klinopiroksenit, olivinli gabro, gabro tüm bu birimleri kesen tekil diyabaz daykları, levha dayk karmaşığı ve bazik volkanik kayaçlardan oluşur. Dunitler; granuler doku sunmaktadırlar ve yaklaşık olarak %70-92 oranında olivin, %5-20 oranında krom kristalleri ve eser miktarda serpantin mineralleri içermektedirler (Şekil 8). Çalışma alanında izlenen verlit türü kayalar; Olivinler kayacın yaklaşık %65-70'ini oluşturup genellikle özşekilsiz kristaller halinde izlenmekte, Klinopiroksenler kayacın yaklaşık olarak %25-30'unu oluşturup yarı özşekilli ve özşekilsiz kristaller halinde bulunmakta ve ojit türü minerallerden oluşmaktadırlar yine bu kayaçlar içerisinde iz miktarda ortopiroksen, krom ve serpantin türü minerallere rastlanmıştır. Klinopiroksenitler ise granüler dokuya sahip, %87-92 oranında ojit türü mineraller, %4-6 olivin, %3-4 oranında ortopiroksen ve iz miktarda krom minerallerinden meydana gelmektedirler (Şekil 7 d ,e, f). Olivinli gabrolar yaklaşık olarak %50-60 plajiyoklas, %40-50 klinopiroksen ve %10'dan az olivinden oluşurlar. Kümüllüs fazlı oluşturan plajiyoklaslar, özşekilsiz ve yarı özşekilli kristaller halindedir (Şekil 8 a).



Şekil 7. a) İri kristalli öz şekilsiz olivinlerin mikroskopta görünümü, b) parçalanmış olivinlerin mikroskopta görünümü, c) Tektonitlere ait harzburjitlerin mikroskopta görünümü, (d) Kümülatlara ait verlitin mikroskopta görünümü, (e) Adkümülat doku gösteren klinopiroksenitin mikroskopta görünümü, (f) Mezokümülat doku gösteren klinopiroksenitin mikroskopta görünümü. Cpx: Klinopiroksen, Opx: Ortopyroxen, Ol: olivin Ç.N X 32.

Gabrolar ise granuler-poikilitik doku sunmaktadırlar ve ortalama %40-50 klinopiroksen, %50-60 plajiyoklasdan oluşmuş kayaçlardır. İnceleme alanından derlenen diyabazlar ise tekil diyabaz daykları ve levha dayk karmaşığı şeklinde bulunmaktadır ve %60-70 plajiyoklas, %20-30 klinopiroksen ve %10 civarında da amfibol ve klorit, epidot gibi ikincil minerallerden oluşmuştur (Şekil 8 b).

İnceleme alanında diyabazlar; tekil diyabaz daykları şeklinde bulunmaktadır. Tekil diyabaz dayklar arazide bej ile koyu gri renk tonlarında görülmektedir. Esas olarak plajiyoklas ve

piroksenden daha az oranlarda amfibol, olivin, epidot minerallerinden meydana gelmiştir. Tekil diyabaz daykları; %60-70 plajiyoklas, %20-30 klinopiroksen ve %10 civarında da amfibol ve klorit, epidot gibi ikincil minerallerden oluşmuştur (Şekil 8 c, d,e).

Bazaltlar Guleman Grubunun en üst kısımlarını oluşturmaktadır. Bu kayalarda mikrolitik porfirik doku izlenmekte hakim mineral plajiyoklaslarla temsil edilmektedir. %20-25 oranında piroksen, %15-17 oranında olivin izlenen kayalarda eser miktarda epidot, kalsit türü mineraller bulunmaktadır (Şekil 8f, g, h).

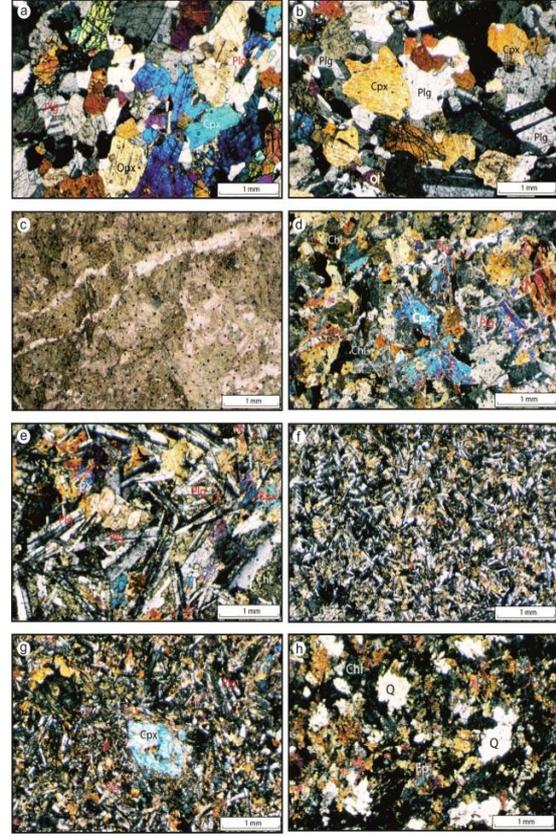
### 3. GULEMAN OFİYOLİTİNİN VE KROMLARIN PGE İÇERİĞİ

#### 3.1. PGE'lerin Jeokimyası

Birbirine benzer fiziksel ve kimyasal özellikler gösteren, rutenyum (44Ru), rodyum (45Rh), palladyum (46Pd), osmiyum (76Os), iridyum (77Ir) ve platin (78Pt)'den oluşan ve periyodik cetvelde VIII A grubunda yer alan elementler platin grubu elementler (PGE) olarak adlandırılırlar. Bu çalışmada 8 adet kayaç örneği (dünit, harzburjit, piroksenit, gabro) ve 20 adet kromit örneği Canada ACME analitik laboratuvarlarında analiz edilmiştir.

Analizlerde Pt, Pd, Rh ve Au için ICP-MS yöntemi, Ir ve kromitlerin iz element içerikleri için ise nötron aktivasyon yöntemi kullanılmıştır. Bu analiz sonuçları Çizelge 1'de verilmiştir.

Guleman ofiyoliti çok değişken PGE içeriği ve oranlarını gösterir. Örneğin Rh kayalarda 0,05 ppb'lerde seyrederken krom örneklerinde 0,05 ppb'den 5,56 ppb'ye çıkmakta, Pt kayalarda 0,9 ppb ila 17,3 ppb iken krom örneklerinde 0,1 ppb ila 19,6 ppb arasında değişmekte, Pd kayalarda 1,6 ppb ile 16,2 ppb arasında iken krom örneklerinde 0,5 ila 29,3 ppb arasında, Ir ise kromlarda 24 ppb'lerden 440 ppb'ye çıkmaktadır (Şekil 9). Guleman ofiyotinin Au içeriği kayalarda 2 ppb ile 7 ppb arasında değişmekte



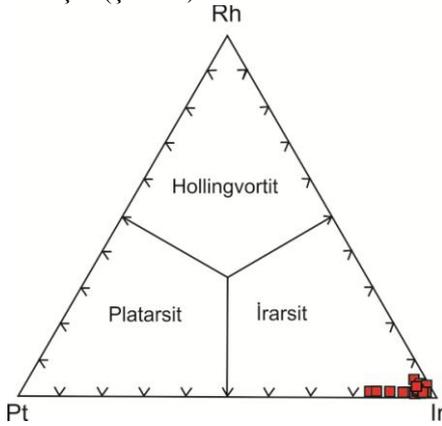
Şekil 8. a)Kümülatlara ait gabroların mikroskobik görünümü, b) mezokümülat doku gösteren klinopiroksenli gabroların mikroskobik görünümü, c) tekil diyabazların tek nikol mikroskobik görünümü, d) tekil diyabazlarda görülen intergranüler dokunun mikroskobik görünümü., e) tekil diyabaz dayklarında görülen intergranüler dokunun mikroskobik görünümü, f), bazaltlarda görülen intersertal dokunun mikroskobik görünümü. g), bazaltlarda görülen mikroporfirik dokunun mikroskobik görünümü. h) bazaltlarda alterasyon sonucu gelişen epidot, klorit, ikincil kuvarslar. Ol: olivin, Opx: ortopiroksen, Cpx: klinopiroksen, Plg: plajiyoklas, Chl: klorit, Ep: epidot, Q: ikincil kuvars. Çift nikol X 32.

Çizelge 1. Guleman ofiyolitine ait kayaç ve krom örneklerinin PGE ve bazı element içerikleri

		Öm. no	Cr	Pt	Pd	Rh	Ir	Pd/Ir	Au	Ni	Co	Cu	Zn	
			%	ppb				ppm						
İksel Manto Değeri				8,3	4,4	1,6	4,4	1,00	1,2					
KAYAÇ	Harzburjit	2	0,853	10,7	10,3	0,05	-	-	7	2149	110	15	33	
		3	1,146	8,7	5,4	0,05	-	-	4	2227	116	7	32	
	Dümit	7	1,047	8,8	8,5	0,05	-	-	5	1919	112	17	34	
		15	0,513	8,3	7	0,05	-	-	2	2227	113	5	31	
	Gabro	G-1	0,230	17,3	12,1	0,05	-	-	5	256	58	44	19	
		G-2	0,230	0,9	1,6	0,05	-	-	4	165	55	22	26	
	Piroksenit	P-1	0,694	16,3	16,2	0,05	-	-	3	239	46	6	8	
		P-2	0,414	2,7	8,5	0,05	-	-	4	218	59	33	36	
KROMİT	Tenkella	CA-5	34	2	6	0,05	50	0,12	2	2100	187	-	300	
		CA-9	36	2,7	5,4	0,05	99	0,05	2	2100	181	-	240	
	Ayı Damar	CA-13	38	8,4	15,4	1,5	230	0,07	2	1200	203	-	380	
		CA-17	42	3,5	5,7	0,05	110	0,05	1	1600	215	-	280	
	Uzun Damar I	CA-24	30	1,4	6,4	0,05	86	0,07	9	1800	166	-	260	
		CA-27	28	2,2	6,2	0,79	99	0,06	6	1600	170	-	270	
	Uzun Damar II	CA-32	34	4,2	5,6	0,05	83	0,06	3	1100	184	-	310	
		CA-39	33	2,4	5,5	0,05	110	0,05	5	1500	200	-	300	
	Tepebaşı	CA-41	34	19,1	24	0,93	160	0,15	4	1600	185	-	240	
		CA-46	36	5,7	5	0,05	170	0,03	8	1700	196	-	250	
	KAPIN	KAPIN	CK-1	38	23	29,3	1,69	130	0,22	21	3000	219	-	280
			CK-2	36	15	25,6	0,94	230	0,11	47	2200	194	-	280
	CK-3		37	19,6	13,6	0,83	120	0,11	7	1700	207	-	360	
	ŞABATA	ŞABATA	CS-1	35	8,4	7	5,56	440	0,02	4	1400	187	-	280
CS-2			35	2	5,1	3,98	80	0,07	12	1600	176	-	230	
BATTI KEF	BATTI KEF	CB-1	24	0,1	0,5	1,68	45	0,01	1	2300	180	-	210	
		CB-4	31	0,8	0,8	1,96	50	0,02	2	2400	187	-	270	
		CB-7	16	0,2	0,5	0,06	-24	-	1	2300	163	-	230	
DOĞU KEF	DOĞU KEF	CD-2	33	2,1	3,3	0,10	110	0,03	3	1600	200	-	380	
		CD-3	38	1,5	1	0,85	110	0,01	2	1800	225	-	350	

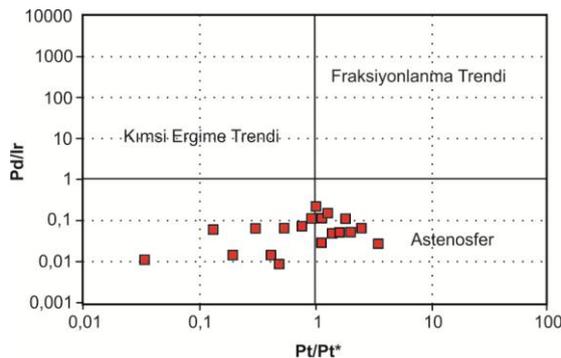
iken krom örneklerinde 1 ppb'den 47 ppb'ye birimin Ni içeriği ise kayalarda 218 ppm ile 2227 ppm arasında, krom örneklerinde ise 1100 ppm'den 2400 ppm'e çıkmaktadır (Çizelge 1).

Ir oranı 45-440 arasında değişmekte, Rh oranı 0,05-5,56 arasında ve Pt oranı ise 0,1 ile 23 arasındadır ve örneklerin Irarsit olduğu belirlenmiştir (Şekil 9).



Şekil 9. Ru-Rh-Ir üçlü diyagramı

Kromitlere ait Pd/Ir'e karşı Pt/Pt\* (Pt/Pt\* [Pt/1020/(Rh/200)×(Pd/545)1/2] [21] diyagramı incelendiğinde kromitlerin astenosferik kompozisyona sahip oldukları gözlenmiştir (Şekil 10).

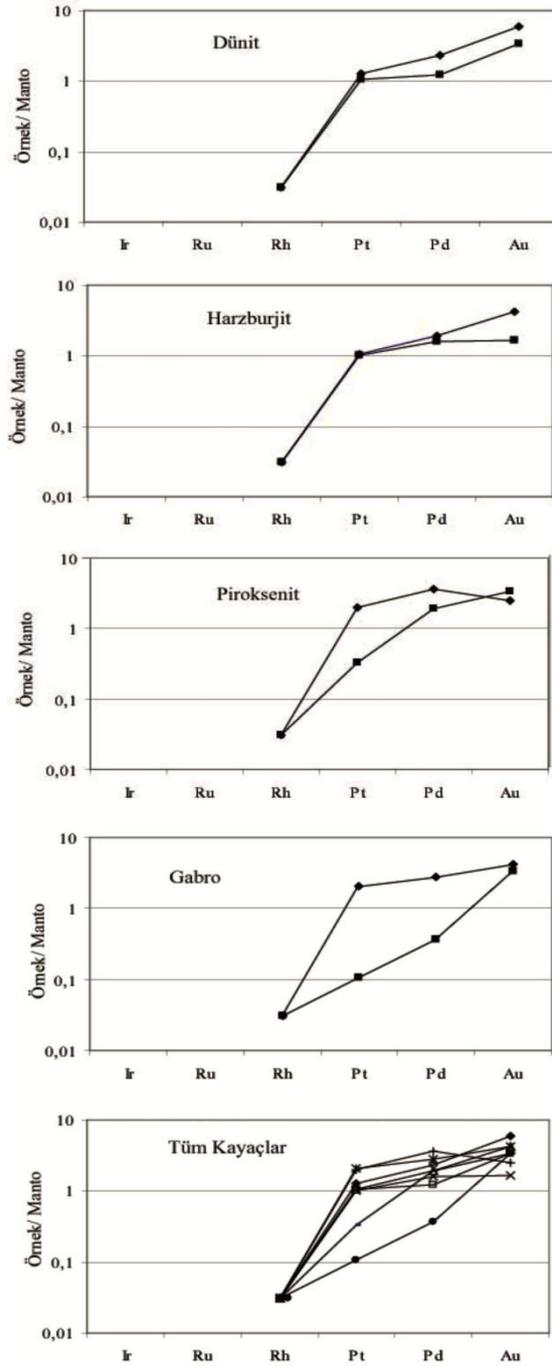


Şekil 10. Guleman ofiyolitlerine ait kromitlerden hazırlanmış Pd/Ir'e karşı Pt/Pt\* diyagramı Fraksiyonlanma ve kısmi ergime trendleri Garuti et al. (1997)'den alınmıştır [21].

Elde edilen analiz sonuçları ilksel manto değerlerine göre normalleştirilmiş ve sonuçlar spider diyagramlarında kullanılmıştır (Şekil 11) [22].

Bu sonuçlara göre dünit ve harzburjit PGE'lerce benzer davranış göstermektedirler. Bu kayalarda Rh negatif bir anomali gösterip ilksel mantoya göre fakirleşmiştir. Pt ve Pd mantoya yakın değerler gösterirken, Au'nun mantoya göre zenginleştiği görülmektedir. Piroksenit ve gabrolar da PGE'lerce benzer davranış göstermektedirler. Rh yine negatif bir anomali gösterirken, Pt piroksenit ve gabroların birer örneklerinde pozitif anomali gösterirken diğerlerinde negatif anomali göstermektedir. Pd piroksenitlerde ilksel mantoya göre zenginleşmişken, gabrolarda bir örnek mantoya göre fakirleşmiş bir örnekte mantoya göre zenginleşmiştir.

Au ise yine pozitif bir anomali göstermekte ve mantoya göre zenginleştiği görülmektedir. Tüm kayalar için yapılan diyagramda özetle; Rh negatif bir anomali göstermekte, Pt ve Pd mantoya yakın ve mantoya göre zenginleşmekte, Au ise yine mantoya göre zenginleştiği görülmektedir (Şekil 11). Pd ve Ir astenosferde aynı seviyede konsantrasyon olduklarından dolayı farklılaşmamış malzemenin Pd/Ir oranı 1 civarında olması gerekir. Pd/Ir oranı magma fraksiyonlaşmasında farklılaşma ile birlikte yükselir. Yani Pd/Ir oranı arttıkça magma fraksiyonlaşması ilerlemiştir [21]. Guleman Ofiyolitine ait kayalarda Ir analizi yapılmamıştır. Fakat Pd değerleri dünit ve harzburjitten, piroksenit ve gabrolara doğru artmaktadır (Çizelge.1). Buda magmanın fraksiyonlaşması yada magma odasında kısmi ergime derecesinin artmasıyla ilişkilidir. Ni/Cu oranı ise ters davranış şekli gösterir. İlksel manto Ni/Cu değeri 71,4'dür. Bu değer magma kristalleşme fraksiyonlaşmasının artmasıyla azalır [21]. Guleman Ofiyolitine ait kayaların Ni/Cu oranı harzburjitlerde 200,73, dünitlerde 186,75, piroksenitlerde 11,83, gabrolarda ise 6,35'dir. Bu değerlerin dünit-harzburjit-piroksenit-gabrolara doğru gittikçe azaldığı görülmektedir. Buda magma fraksiyonlaşmasının artmasıyla Ni/Cu oranının azaldığını göstermektedir [21].



Şekil 11. Guleman Ofiyolitine ait dünit, harzburjtit, piroksenitin, gabro ve tüm kayaçlar PGE spider diyagramları.

Krom örneklerinin PGE içerikleri de ilksel mantoya göre normalleştirilmiş ve sonuçlar spider diyagramlarında değerlendirilmiştir (Şekil 12). Buna göre Kapın bölgesinde, Ir ilksel mantoya göre 40-50 kat zenginleşmekte, Rh mantoya yakınlık gösterirken, Pt ve Pd mantoya göre zenginleşmekte, Au ise mantoya göre 40-50 katın üzerinde zenginleştiği görülmektedir (Şekil 12). Ayıpınar bölgesinde, Ir ilksel mantoya göre zenginleşmekte, Rh negatif anomali gösterip fakirleşmekte, Pt mantoya yakın ancak çoğu örnek negatif bir anomali göstermekte ve mantoya göre fakirleşmektedir. Pd mantoya yakın fakat çoğu örnekler mantoya göre zenginleşmekte ve Au ise yine mantoya göre zenginleşmektedir (Şekil 12).

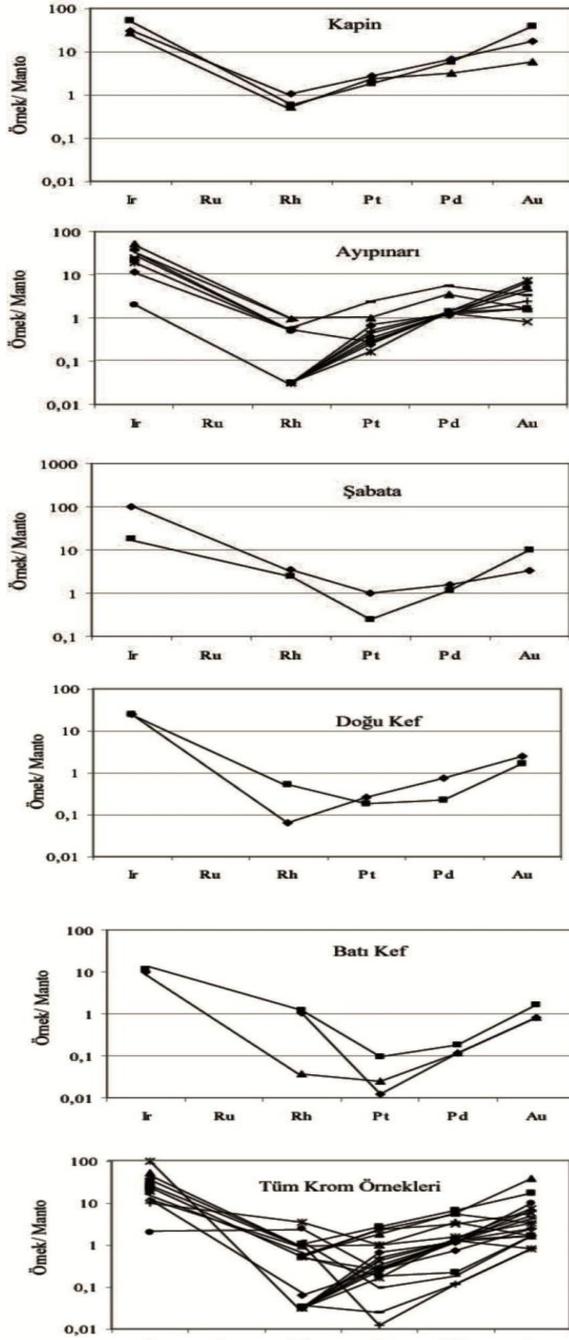
Şabata bölgesinde, Ir ilksel mantoya göre 30-40, Rh 5-6 kat zenginleşmekte, Pt mantoya yakın ve mantoya göre fakirleşmekte, Pd mantoya yakın ve mantoya göre zenginleşmekte, Au ise yine mantoya göre zenginleşmektedir. Doğu ve batı Kef bölgelerinde, Ir, ilksel mantoya göre zenginleşmekte, Rh, Pt, Pd mantoya göre fakirleşmekte ve Au ise yine mantoya göre zenginleşmektedir. Tüm krom örnekleri için yapılan diyagramda; Ir, ilksel mantoya göre zenginleşmekte, Rh negatif bir anomali gösterip fakirleşmekte, Pt mantoya yakın ve mantoya göre fakirleşmekte, Pd mantoya yakın ve mantoya göre zenginleşmekte ve Au ise mantoya göre zenginleşmektedir (Şekil 12).

Pd-Ir ikili diyagramı incelendiğinde örneklerin meteoritik alana düştükleri, yine Pt' ye karşılık Ir diyagramına göre örnekler kondritik alana düşmektedirler (Şekil 13).

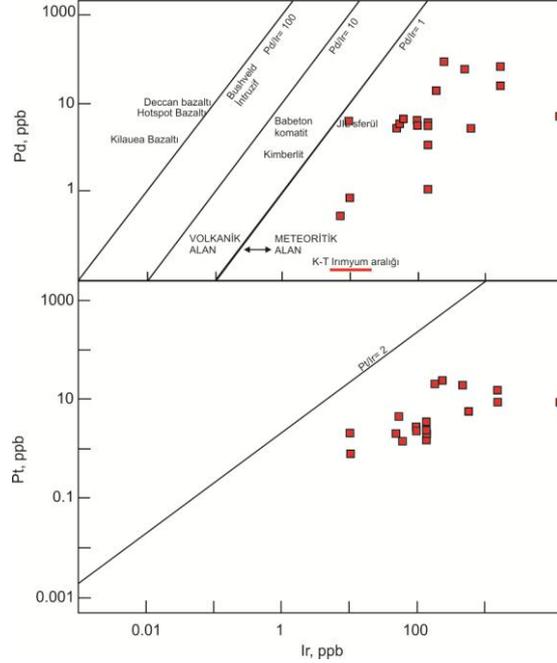
#### 4. SONUÇLAR

1. Yapılan petrografik çalışmalar sonucu Guleman Ofiyoliti'nin dünit, harzburjtit, verlit, klinopiroksenit, olivinli gabro, klinopiroksenli gabro, bantlı gabro, tekil diyabaz dayklar, ile bazik volkanik kayaçlardan oluştuğu tespit edilmiştir.
2. Yapılan analiz sonuçlarına göre Guleman ofiyoliti çok değişken PGE içeriği ve oranlarını gösterir. Rh kayaçlarda 0,05 ppb'lerde seyrederken krom örneklerinde 5,56 ppb'ye, Pt





Şekil 12. Guleman Ofiyolitine ait Kapın, Ayıpınarı, Şabata, Doğu Kef, Batı Kef bölgeleri krom örnekleri ve tüm krom örneklerinin PGE spider diyagramları



Şekil 13. Pd-Ir/ Pt-Ir ikili diyagramı [23-26].

kayaçlarda 17,3 ppb iken krom örneklerinde 19,6 ppb, Pd kayaçlarda 16,2 ppb krom örneklerinde 29,3 ppb arasında, Ir ise kromlarda 440 ppb'ye çıkmaktadır. Guleman ofiyolitinin Au içeriği kayaçlarda 7 ppb, krom örneklerinde 47 ppb'ye, Ni içeriği ise kayaçlarda 2227 ppm iken krom örneklerinde 2400 ppm'e çıkmaktadır.

- Guleman ofiyolitine ait kayaçların analiz sonuçları ilksel manto değerlerine göre normalleştirilmiş ve sonuçlar spider diyagramlarında kullanılmıştır. Tüm kayaçlar için yapılan diyagramda özetle; Rh negatif bir anomali gösterip ilksel mantoya göre fakirleşmekte, Pt ve Pd ilksel mantoya yakın ve ilksel mantoya göre zenginleşmekte, Au ise yine ilksel mantoya göre zenginleştiği görülmektedir.
- Krom örnekleri de ilksel mantoya göre normalleştirilmiş ve sonuçlar spider diyagramlarında değerlendirilmiştir. Buna göre; Ir ilksel mantoya göre zenginleşmekte, Rh negatif bir anomali gösterip fakirleşmekte, Pt ilksel mantoya yakın ve ilksel mantoya göre

fakirleşmekte, Pd ilksel mantoya yakın ve ilksel mantoya göre zenginleşmekte ve Au ise ilksel mantoya göre zenginleşmektedir.

5. Kromitlere ait Pd/Ir'e karşı Pt/Pt\* (Pt/Pt\* [Pt/1020/(Rh/200)×(Pd/545)]<sup>1/2</sup>) [21] diyagramı incelendiğinde kromitlerin astenosferik kompozisyona sahip oldukları gözlenmiştir.
6. Ir oranı 45-440 arasında değişmekte, Rh oranı 0,05-5,56 arasında ve Pt oranı ise 0,1 ile 23 arasındadır ve örneklerin Irarsit olduğu belirlenmiştir.

## 5. TEŞEKKÜR

Çalışma, Gülşah ÖZEK' e ait Guleman (Elazığ) Bölgesi Krom Yataklarının Platin Grubu Element İçerikleri ve Jeokimyası adlı yüksek lisans tezinden yararlanılarak hazırlanmıştır.

## 6. KAYNAKLAR

1. Ketin, L., 1983. Türkiye Jeolojisine Genel Bir Bakış, T. T. O. Maden Fak. Sayı: 1.259, Sayfa: 595.
2. Şengör, A.M.C., Yılmaz, Y., 1981. Tethyan Evolution of Turkey, a Plate Tectonic Approach. *Tectonophysics*, 75, 181-241.
3. Robertson A. H. F., Dixon J. E. 1984. In the Geological Evolution of the Eastern Mediterranean, Introduction: Aspects of the Geological Evolution of the Eastern Mediterranean, Geological Society, London, Special Publications
4. Yılmaz, Y. 1993. New Evidence and Model on the Evolution of the Southeast Anatolian Orogen. *Bulletin of Geological Society of America* 105, 251–271.
5. Robertson, A. H. F., 2002. Overview of the Genesis and Emplacement of Mesozoic Ophiolites in the Eastern Mediterranean Tethyan Region. *Lithos*, 65, 1-67.
6. Parlak, O., Rızaoğlu, T., Bağcı, U., Karaoğlan, F., Höck, V., 2009. Tectonic Significance of the Geochemistry and Petrology of Ophiolites in Southeast Anatolia, Turkey. *Tectonophysics* 473, 173–187.
7. Robertson, A., Parlak, O., Ustaomer, T., 2012. Overview of the Palaeozoic-Neogene Evolution of Neotethys in the Eastern Mediterranean region (Southern Turkey, Cyprus, Syria) *Petroleum Geoscience*. 18, 4, p. 381-404 24 p.
8. Özkan, Y.Z., 1982. Guleman (Elazığ) Ofiyolitinin Jeolojisi ve Petrolojisi, *Yerbilimleri Dergisi*, 3-4 /6, 33-39.
9. Özkan, Y.Z., 1983. Guleman (Elazığ) Ofiyolitinin Yapısal İncelenmesi. *MTA Dergisi*, 37, 78-85.
10. Özkan, Y.Z., Öztunalı, Ö., 1984. Petrology of the Magmatic Rocks of Guleman Ophiolite in the Geology of the Taurus Belt. *International Symposium Proceedings, Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü, Ankara, Turkey*, 285-293.
11. Page, N., Engin, T., Singer, D. A., Haffty, J., 1984. Distribution of the Platinum Group Elements in the Batı Kef chromite deposit, Guleman-Elazığ Area, Eastern Turkey, *Economic Geology*, 79, 177-184.
12. Engin, T., Özkan, Y.Z., 1985. Late Chromite Development in the Guleman Ophiolite, Elazığ, Eastern Turkey, *Geology the Realword I.M.M Dunham-Durham Reunion*, 101-108.
13. Bingöl, A.F., 1986. Petrographic and Petrological Characteristics of Intrusive Rocks of Guleman Ophiolite (Eastern Taurus-Turkey), *Geosound*, 13/14, 41-57.
14. Özsoy, S., 2001. Ayıpınarı (Guleman-Elazığ) Krom Cevherleşmesinin İncelenmesi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 52s, (yayımlanmamış).
15. Örün, H., 2002. Rut ve Lasir (Guleman-Elazığ) Bölgesi Krom Yataklarının Jeolojisi ve Jeokimyası, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 57s.
16. Çelik, H., 2003. Mastar Dağı (Elazığ GD'su) Çevresinin Stratigrafik ve Tektonik Özellikleri, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi (yayımlanmamış).
17. Kılıç, A.D., 2005. Hazar Gölü (Sivrice-Elazığ) Güneyinin Petrografik ve Petrolojik Özellikleri, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, s:103, Doktora Tezi (yayımlanmamış).
18. Bingöl, A.F., 1984. Geology of Elazığ Area in the Eastern Taurus Region. In the *Geology of the Taurus Belt. International Symposium*

- Proceedings, Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü, Ankara, Turkey, 209-216.
19. Sungurlu, O., 1979. GD Sürüklenim Kuşağı Tersiyer Sürüklenimleri: 33. T.J.K. Bilimsel ve Teknik Kurultayı Bildiri Özetleri, 121-122.
  20. Erdoğan, B., 1982. Ergani-Maden Yöresindeki Güneydoğu Anadolu Ofiyolit Kuşağının Jeolojisi ve Volkanik Kayaçları, TJK Bülteni, 25, 49-60.
  21. Garuti, G., Fershtater, G., Bea, F., Montero, P., Pushkarev, E.V., Zaccarini, F., 1997. Platinum-Group Elements as Petrological Indicators in Mafic-Ultramafic Complexes of the Central and Southern Urals: Preliminary Results, Tectonophysics, 276, 181-194.
  22. Rollinson, H.R., 1993. Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation, Longman Scientific & Technical, 353, Newyork.
  23. Glikson, A.Y., 2005. Geochemical and Isotopic Signatures of Archaean to Palaeoproterozoic Extraterrestrial Impact Ejecta/Fallout Units. Aus. J. Earth Sci., 52, 785-798.
  24. Peucker-Ehrenbrink, B., Jahn, B. 2001. Rhenium-Osmium Isotope Systematics and Platinum Group Element Concentrations: Loess and the Upper Continental Crust. Geochem. Geophys. Geosys, G3 2001 GC 000 172.
  25. H. Palme, H. O'Neill., 2007. Cosmochemical Estimates of Mantle Composition, in: H. D. Holland, K. K. Turekian (eds.) Treatise on Geochemistry Oxford., pp. 1-38.
  26. Frei, R., Frei, K.M., 2002. A Multi-Isotopic and Trace Element Investigation of the Cretaceous-Tertiary Boundary Layer at Stevns Klint, Denmark-Inferences for the Origin and Nature of Siderophile and Lithophile Element Geochemical Anomalies, Earth and Planetary Science Letters, no. 203, pp. 691-708.



## Eğitim Laboratuvarlarında Güneş Enerji Verimliliğinin Araştırılması: İskenderun Örneği

**Murat BİKÇE<sup>\*1</sup>, Ali Rıza ÇELİK<sup>2</sup>, Mustafa ÇAKIR<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> İskenderun Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Hatay

<sup>2</sup> İskenderun Teknik Üniversitesi, İskenderun MYO, Elektronik Haberleşme Bölümü, Hatay

Geliş tarihi: 09.02.2016

Kabul tarihi: 22.04.2015

### Özet

Ülkemizin enerji ihtiyacı yıllık ortalama %3-5 arasında artış sergilemektedir. Üretilen enerjinin en büyük kısmının doğal gazdan elde edilmesi dışa bağımlılığı devam ettirmektedir. Elektrik kesintilerinden etkilenen sektörlerden biri de Eğitim alanıdır. Yenilenebilir enerji yöntemlerinden biri olan güneş enerjisi bakımından ülkemiz şanslıdır. Çevreci ve ucuz işletme maliyeti bakımından güneş enerjisinin eğitim alanına entegrasyonu önemli bir seçenektir. Bu çalışmada, günlük ihtiyacı yaklaşık 5 kWh olan akıllı sistem modülleri ile donatılan İskenderun Meslek Yüksekokulu elektronik laboratuvarının enerji ihtiyacı, güneş enerji panel sistemleri tasarlanarak hazırlanmıştır. Sistem bir yıl boyunca izlenerek enerji verimliliği araştırılmış ve maliyet unsuru değerlendirilmiştir. Elde edilen verilere göre; kurulan sistemde kış aylarında enerji üretiminde düşüş olmasına rağmen yaklaşık yedi yılda kendisini amorti etmektedir. Eğitim-öğretimin devamlılığı ve güvenlik zafiyetinin önüne geçmek için bölge için kazançlı bir yatırım olacağı düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Akıllı binalar, PV, Yenilenebilir enerji, Güneş enerjisi, Yeşil enerji

### Investigation of Solar Energy Efficiency in Education Laboratory: Case Study İskenderun

#### Abstract

The energy need of our country has been rising at an average between 3-5% annually. Outside dependency continues since the largest part of the produced energy is obtained from natural gas. One of the sectors affected by the power outage is the education field. Our country is lucky in terms of solar energy which is one of the renewable energy methods. Integration of solar energy into the education field

---

\* Yazışmaların yapılacağı yazar: Murat BİKÇE, İskenderun Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Hatay. [muratbikce@yahoo.com](mailto:muratbikce@yahoo.com)

is an important option in terms of environmentalists and cheap operation costs. In this study, energy needs of Iskenderun Vocational School equipped with intelligent system modules having 5 kWh daily needs are prepared by designing solar energy panel systems. Energy efficiency and cost factors are evaluated by monitoring the system for a year. According to the obtained data; even though there is a decline in energy production during the winter season with the established system, it pays for itself in approximately seven years. It is thought to be a profitable investment for the region in order to prevent security vulnerabilities and for the continuation of the education.

**Keywords:** Smart buildings, PV, Renewable energy, Solar energy, Green energy

## 1. GİRİŞ

Teknolojik gelişmelerin çok hızlı bir şekilde yaşandığı günümüzde günlük hayatı kolaylaştırmak için teknolojik alanda her geçen gün yeni gelişmeler olmaktadır. Konfor sağlamak adına otomasyon alanında tasarlanan sistemlerden olan “Akıllı Bina Sistemleri” insanların hayatlarını kolaylaştırırken enerjiye mutlak bağımlılığı arttırmaktadır [1, 2]. Bu enerjinin karşılanması fosil içerikli kaynaklar, nükleer enerji kaynakları ya da yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanabilmektedir. Fosil içerikli enerji üretim kaynaklarının (petrol, kömür, doğal gaz vb.) giderek tükenmeye yüz tutması ve bu kaynakların çevresel dengenin bozulmasındaki etkileri dikkate alındığında yenilenebilir enerjiye duyulan gereksinim gün geçtikçe artmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında güneş ve rüzgâr ön sıralarda yer almaktadır. Güneş ve rüzgâr enerjilerinin çevreye verdiği zarar günümüzde kullanılan enerji sistemleri ile karşılaştırılamayacak düzeyde azdır [3].

Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde hidrojen’in helyum’a dönüşmesi ile meydana gelen füzyon sonrasında açığa çıkan enerjidir. Dünya atmosferinin dışında m<sup>2</sup> başına düşen enerjinin şiddeti 1370W iken bu değer atmosfer içerisinde m<sup>2</sup> başına 0 ile 1100W arasında değişmektedir [4]. Bu enerjinin büyüklüğü şu şekilde yorumlanabilir. Dünyaya inen güneş enerjisi miktarı, yeryüzünde şu ana kadar tespit edilmiş fosil yakıt miktarına göre ortalama 160 kat daha fazladır. Türkiye’de enerji üretimi; doğalgaz (%31), barajlı-hidroelektrik (%24), kömür (%21), akarsu-hidroelektrik (%10), termik (%8), rüzgar (%5),

jeotermal (%1), güneş (<%1) kaynaklarından sağlanmaktadır [5]. Güneş enerjisi potansiyeli, hidroelektrik, fosil ve nükleer tesislerin yıllık üretiminden 15.000 kat daha fazladır [6]. Güneş enerjisi sistemlerinin başlıca üstünlükleri; işletme ve bakım maliyetlerinin düşüklüğü, yıllarca sıkıntısız çalışması, modüler olması, temiz enerji olması.

Güneş enerjisi yenilenebilir olduğundan dolayı tükenmez ve diğer yakıtların aksine çevre ve insan sağlığı için önemli bir tehdit oluşturmazlar. Ayrıca, ülkemiz güneş potansiyeli açısından oldukça zengin bir ülkedir. Bu bakımdan güneş enerjisinin devamlılığı açısından şanslıdır. Bu şans kullanılarak enerji kaynağının kullanılabilir enerji türüne dönüştürülebilmesi önemlidir. Bu nedenle kendi enerjisini kendi üretecek sistemlerin tasarlanması ülke açısından önemlidir.

## 2. MATERYAL VE METOT

İskenderun bölgesinde sanayinin yoğun olması, var olan sanayinin demir-çelik üretimi ve işlenmesine yönelik olmasından dolayı büyük oranda enerjiye gereksinim duyulmaktadır. Bu yüksek enerji ihtiyacının karşılanması için çevresel dengeyi bozacak nitelikte gaz salınımı yapan termik santraller kurulmaktadır. Bu durumun aksine bölgemizde buna karşı rüzgâr ve güneş enerjisi potansiyelinin bölgemiz açısından yüksek olması münasebetiyle bu yöndeki çalışmaların yapılmasını gerekli kılmaktadır.

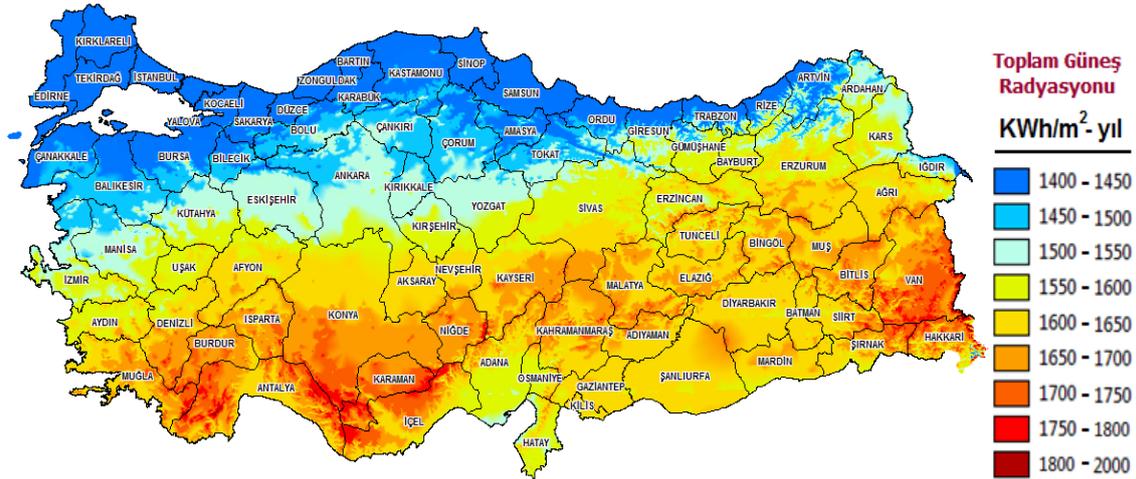
Yeni yapılan akıllı binalarda kullanımı yaygınlaşmaya başlayan; kamera, kartlı anahtar gibi güvenlik teknoloji ürünlerinin ve eğitim laboratuvarlarındaki elektronik aletler elektrik

kesintileri ile sık sık karşılaşmaktadır. Bu kesintiler nedeniyle, aletler bozulmakta, güvenlik zafiyeti oluşmakta, eğitimin kesintiye uğraması ile karşı karşıya kalınmaktadır. Yaşanan bu ciddi kaybın önüne geçmek amacıyla bu türdeki teknolojik ürünlerin kendine yetecek enerjisini güneş enerjisi ile sağlayarak mevcut kaynakların verimliliği ve ekonomikliği araştırılmıştır. İskenderun bölgesi, hem rüzgar hem de güneş enerjisi açısından oldukça verimlidir. Bu kaynakların eğitimde kullanılarak ekonomiye katkı sağlanabilirliğinin araştırılması amacıyla bu çalışmaya yürütülmüştür.

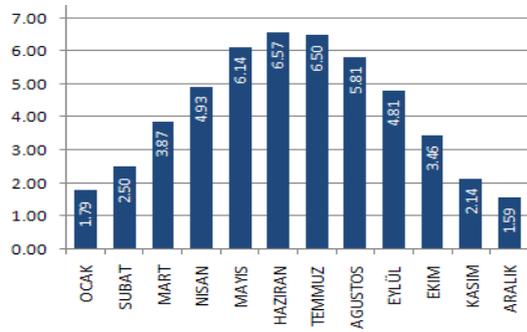
Elektrik İşleri ve Etüt İdaresinin tüm Türkiye [7] ve Hatay [8] için günlük  $m^2$  başına düşen global

radyasyon değerleri ile gün içerisinde aylara göre toplam güneş alma süreleri saat cinsinden Şekil 1'de görülmektedir.

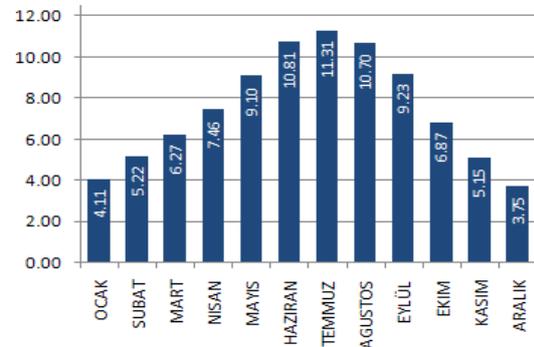
Güneş enerjisi ile elektrik üretiminde dikkate alınacak hususlar; günlük güneşlenme süresi (saat) ve bulutluluk oranıdır. Ülkemizin iller bazında toplam güneş radyasyonları göz önüne alındığında Hatay ilinin yıllık  $m^2$  başına 1600-1650 kWh güneş enerji potansiyeli olduğu Şekil 1'de görülmektedir. Ayrıca Elektrik İşleri ve Etüt İdaresinin verilerine göre Hatay ilinin günlük ortalama global radyasyon ve güneşlenme süreleri açısından Türkiye ortalamasının üzerinde olduğu Şekil 2a-d incelendiğinde görülmektedir.



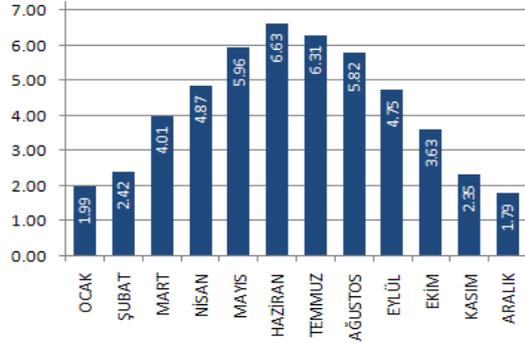
Şekil 1. Türkiye için yıllık ortalama güneş radyasyonu haritası



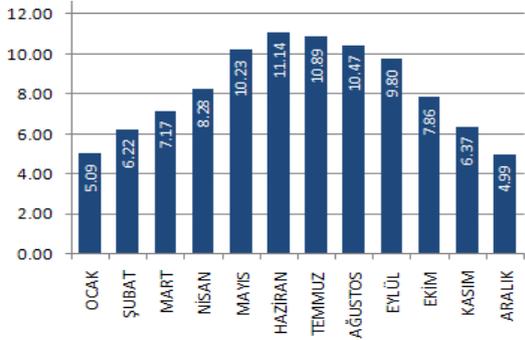
Şekil 2a. Türkiye global radyasyon değerleri (kWh/m²-gün)



Şekil 2b. Türkiye güneşlenme süreleri (saat)



Şekil 2c. Hatay global radyasyon değerleri (kWh/m<sup>2</sup>-gün)



Şekil 2d. Hatay güneşlenme süreleri (saat)

PV sistemini oluşturan temel bileşenler Şekil 3'de görüldüğü gibi güneş panelleri, akümülatörler ve invertörden ibarettir.

Güneş enerjisi ile elektrik üretme sistemimizde mevcut enerji 6 adet Foto-voltaik (PV) panel İskenderun Meslek Yüksekokulu (İMYO) çatısına kurulan çelik konstrüksiyon üstüne yerleştirilmiştir (Şekil 4).

PV panellerinin ürettiği DC gerilimi depolamak için 4 adet seri akü grubu oluşturulmuştur (Şekil 5). Özellikle yaz aylarında kuvvetli aydınlanma sonucu PV panellerinin üreteceği yüksek DC şarj söz konusudur.

Aşırı şarj geriliminin akülere zarar vermesini engellemek ve regülasyonu sağlamak üzere her akü grubuna birer adet akü şarj regülatörü sistemde kullanılmıştır (Şekil 6).

DC biçiminde akülerde depolanan gerilimin eğitim laboratuvarı içinde kullanılan tüm alet ve cihazları besleyebilmesi için bir adet 3kVA gücünde invertör kullanılmıştır (Şekil 7).



Şekil 3. PV sistemin bileşenleri





Şekil 4. PV sistemin bileşenleri



Şekil 5. Akü grubu



Şekil 7. 3kVA gücünde İvertör



Şekil 6. Akü şarj regülatörleri

Kazanılan enerjinin verimliliğinin ölçmek için öncelikle İskenderun Meslek Yüksekokulunda kullanılan; kameralı güvenlik sistemi, şifreli, kartlı ve parmak izi okuyucu, akıllı sistemler, akıllı tahta, laboratuvar deney setleri, osiloskoplar, projeksiyon cihazları ve bilgisayar gibi teknolojik ürünler Elektronik Laboratuvarında toplanmıştır. Böylece, teknolojik aletlerin ani elektrik kesintilerinde zarar görüp görmeyeceği, eğitim-öğretimin kesintisiz devam edip etmeyeceği ve güvenlik zafiyetinin oluşup oluşmayacağı incelenmiştir.

Bu çalışmada kullanılan cihazlar ve bunların talep ettiği güç miktarları Çizelge 1’de sıralanmıştır.

**Çizelge 1.** Elektronik laboratuvarındaki cihazların birim ve toplam güç harcaması

Cihaz Adı	Adet	Birim Güç Harcaması	Ort. Günlük Çalışma Süresi	Toplam Harcanan Güç
Osiloskop	4	50W	1,5	300W
Deney Seti	5	30W	1,5	225W
Aydınlatma Elemanı	6	26W	3	468W
PC	1	200W	8	1600W
Projeksiyon Cihazı	1	260W	8	2080W
Akıllı Tahta	1	5W	8	40W
Güvenlik Kamerası	3	3W	24	216W
Parmak İzi Okuyucu	1	4W	8	32W
Karlı Geçiş Sistemi	1	4W	8	32W
Genel Toplam (anlık max. güç harcaması) = 1006W				4993W

Şekil 2d’de görüldüğü üzere Hatay ili şartlarında güneşlenme süresinin en az olduğu ay Aralık ayı olup yaklaşık olarak 5 saat olmaktadır. Günlük ortalama yük ihtiyacı 5 kWh olan bir laboratuvar için; ortalama güneşlenme süresinin 5 saat olduğu varsayılarak saatlik 1, 2 KW’lık üretim yapan bir güneş paneli sistemi tasarlanması laboratuvarın enerji ihtiyacını karşılamıştır. Paneller üzerlerine düşen ışığın şiddetine bağlı olarak güç üretebilmektedirler. Panel camının kirlenmesi, güneş ışınlarının sabah ve akşam dik açıyla gelmemesi, havanın çok sıcak ve çok soğuk olup verimin düşmesi gibi nedenlerden ötürü 1,2 kWh’lık panel günlük 5 kWh ihtiyacı rahatlıkla karşılamıştır. Bir gün güneş çıkmaması durumunda sistemin işler durumda olabilmesi açısından günlük tüketimi yaklaşık 5KW olan laboratuvar için bu gücü karşılayacak akü kapasitesi gerekli olmuştur. 6 adet seri ve 2 paralel koldan oluşan 72V-110Ah’lık akü grubu  $72V \cdot 110Ah = 7920W$  depolayabilir. Akülerde depolanmanın tamamını hatta %70’inden fazlasını kullanmak akünün yapısını kısa zamanda bozmaktadır [9].  $7920 \cdot 0,7 = 5544W$  olmaktadır. Bu yüzden 72V-110Ah’lık bir akü grubu tasarlanan sistem için ideal olmuştur. 12V gerilim değeri ve 1,2KW PV sistemi için Çizelge 1’e göre 48V 80A’lık bir akü şarj regülâtörü kullanılmıştır. PV panellerin ürettiği DC enerjiyi binalarda kullanılan AC enerjiye (220V-50 Hz) çevrilmesi işlemi invertör

gerçekleştirmektedir. Aynı anda maksimum güç talebi laboratuvardaki tüm cihaz ve aletlerin çalışması sonucu anlık maksimum güç talebi 1006W olmaktadır. Bu durumda 12V DC-230V AC 50Hz frekans dönüşümlü 3KW gücünde bir invertör kullanılmıştır.

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

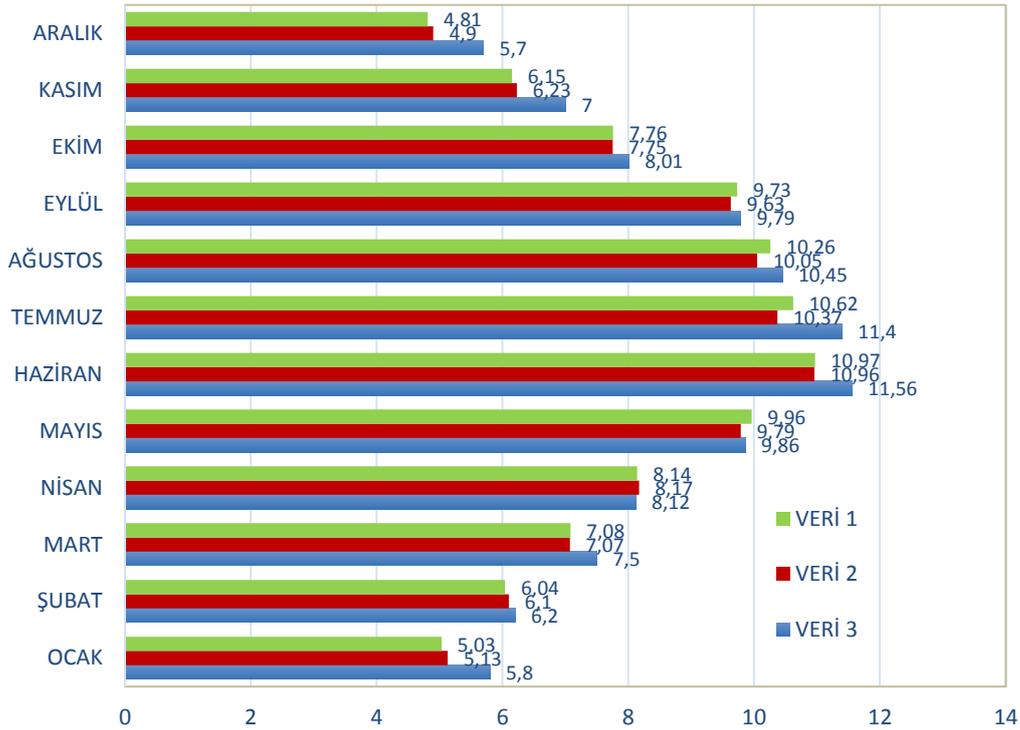
Kurulan PV sisteminde 12 ay boyunca günlük olarak panel üzerine düşen ışık şiddeti miktarı lüks cinsinden ve panel gruplarının ürettiği gerilim değerleri Volt cinsinden veri kaydetme (datalogger) cihazları yardımıyla dört dakikalık periyotlar ile kaydedilmiştir (Şekil 7).



**Şekil 7.** Gerilim ve ışık şiddeti değerlerinin kaydedilmesi

Gerilim ve Işık şiddeti Datalogger cihazlarından csv (comma separated value) formatında toplanan günlük verilerin aylık ortalamaları hesaplanarak günlük güneşlenme sürelerinden yola çıkarak aylara göre dağılımları hesaplanmış ve Şekil 8'deki grafikte sunulmuştur. Grafikte görülen 1-3 verilerin açıklaması sırasıyla;

- Veri 1: İSKENDERUN için aylık ortalama güneşlenme süresi [8]  
Veri 2: BELEN için aylık ortalama güneşlenme süresi [8]  
Veri 3: Bu çalışmada yapılan ölçümler neticesinde Laboratuvar'ın bulunduğu yer için aylık ortalama güneşlenme süresini göstermektedir.



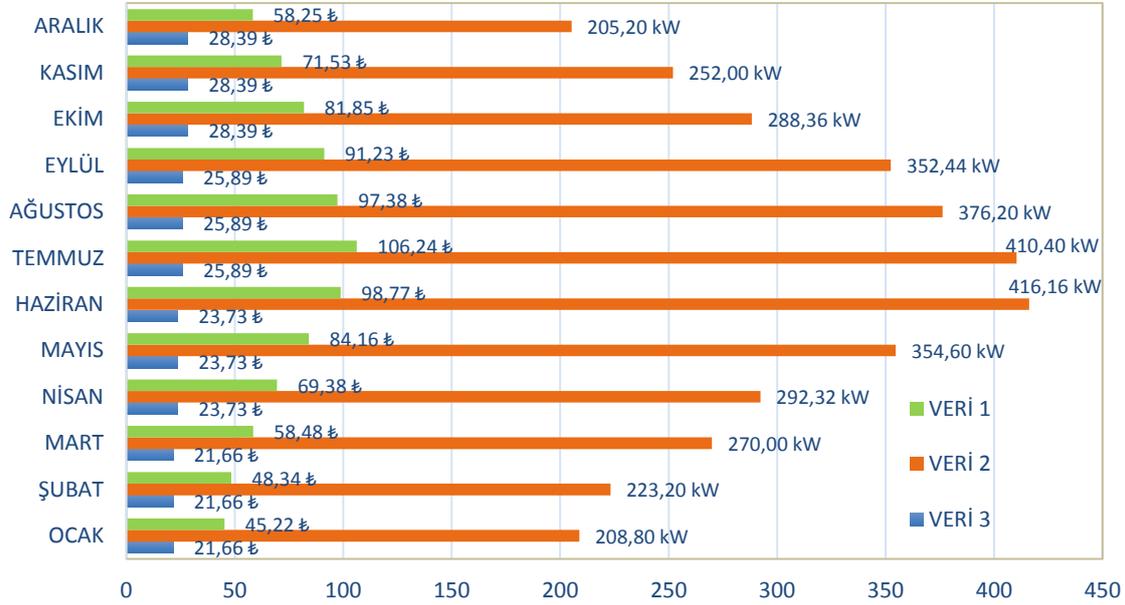
Şekil 8. Günlük güneşlenme sürelerinin saat cinsinden aylara göre dağılımı

Bu çalışmada oluşturulan PV sistemi tarafından elde edilen aylık ortalama güç dağılım değerleri ve üretilen güç değerinin EPDK [10] verilerine göre Türk Lirası karşılıkları Şekil 9'da gösterilmiştir. Grafikte görülen 1-3 verilerin açıklaması sırasıyla;

- Veri 1: Aylara göre ortalama tarife karşılığı (kr/kWh)  
Veri 2: PV sisteminin elde ettiği güç (kW)  
Veri 3: PV sisteminin elde ettiği gücün karşılığı (TL)

#### 4. SONUÇLAR

Ülkemizin birçok bölgesinde olduğu gibi İskenderun bölgesi de rüzgâr ve güneş enerjisi bakımından verimlidir. Mevcut bu kaynakları kullanarak eğitimde devamlılık ve ekonomiye katkı sağlanması amacıyla bu çalışma yürütülmüştür. Eğitim alanlarında ve akıllı binalarda kartlı anahtar, projeksiyon cihazı, kamera vb. güvenlik teknoloji ürünlerinin kullanımı gitgide yaygınlaşmaktadır.



Şekil 9. Aylara bağlı ortalama elde edilen güç ve bu gücün parasal karşılığının grafiksel dökümü

Bu elektronik aletlerin elektrik kesintilerinden dolayı olumsuz etkilenerek bozulması, güvenlik zafiyetinin oluşması, eğitimin devam etmemesi ve boşa giden enerjinin önüne geçmek amacıyla bu türdeki teknolojik ürünlerde verimliliği incelenmiştir. Bu çalışmada oluşturulan PV sistemi sayesinde bir taraftan ölçümler yapılırken bir taraftan elde edilen enerjinin verimliliği çok sayıda laboratuvar cihazı ve teknolojik ürün üzerinde incelenmiştir. Meydana gelen ani elektrik kesintilerine bağlı olarak teknolojik aletlerin zarar görüp görmeyeceği, eğitim-öğretimin kesintisiz devam edip etmeyeceği ve güvenlik zafiyetinin oluşup oluşmayacağı incelenmiştir.

Kurulan PV sistemi ile bir yıl boyunca güneş enerjisinden elde edilen verim ölçülmüştür. En düşük enerji üretimi 205,20 kW ile aralıkta, en yüksek enerji üretimi 416,16 kW ile haziran ayında elde edilmiştir. Ortalama aylık enerji üretimi 304,14 kW elde edilmiştir. Ortalama yıllık elektrik üretimi yaklaşık olarak 3650 kW olmuştur. Bu kazanımın EPDK'nın belirlediği ortalama birim kWh ücretine göre parasal karşılığı yıllık 910,85 TL olmuştur. Kurulumu yaklaşık 7000 TL

civarında mal olduğuna göre enerji sisteminin kendini amorti süresi yaklaşık 7 yıldır. Her akıllı bina veya laboratuvarlar için yeterli olacak sistem tasarlanmalıdır. Maliyeti arttıran en önemli husus; enerji depolama teknolojisindeki yüksek kurulum ve bakımdır. Ayrıca, rüzgâr enerjisinin de sisteme entegre edilmesi ile özellikle kış aylarında enerji üretiminde devamlılık kazanılacağı ve verimliliğin artacağı aşıkardır. Özellikle eğitim-öğretimin devamlılığı ve akıllı bina teknoloji ürünlerindeki güvenlik zafiyetinin önüne geçmek için benzer bölgelerde orta vadede kendisinin amorti edecek kazançlı bir yatırım olacağı düşünülmektedir.

## 5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma; Mustafa Kemal Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir (Proje No: BAP250).

## 6. KAYNAKLAR

1. Gençoğlu M.T., 2008. Akıllı Evler, I. Mühendislik ve Teknoloji Sempozyumu, 221-234, Ankara.

2. Erol Y., 2008. Telefonla Uzaktan Cihaz Kontrolü, Bilim ve Teknik Dergisi, Nisan Sayısı.
3. Özgöçmen A., 2007. Güneş Pilleri Kullanarak Elektrik Üretimi. Gazi Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü.
4. [http://tr.wikipedia.org/wiki/Güneş\\_enerjisi](http://tr.wikipedia.org/wiki/Güneş_enerjisi). Erişim tarihi: 10.02.2015
5. Elektrik mühendisleri odası [www.emo.org.tr](http://www.emo.org.tr). Erişim tarihi: 10.02.2015
6. Varınca K.B., ve Gönüllü M.T., 2006. Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Bu Potansiyelin Kullanım Derecesi, Yöntemi ve Yaygınlığı Üzerine Bir Araştırma, UGHEK’2006: I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi, ESOGÜ, Eskişehir.
7. Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, <http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx>. Erişim tarihi: 10.02.2015
8. Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü <http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/pages/31.aspx>. Erişim tarihi: 10.02.2015
9. Köroğlu T., Teke A., Bayındır K.Ç., Tümay M., 2010. Güneş Paneli Sistemlerinin Tasarımı, Elektrik Mühendisliği Dergisi, Sayı: 439, 98-104.
10. Enerji Piyasası düzenleme kurumu, <http://www.epdk.gov.tr/index.php/elektrik-piyasasi/tarifeler?id=133>. Erişim tarihi: 10.02.2015



## Uygulamalı Otomasyon Sistemleri Eğitim Simülatörü Geliştirilmesi

Erdoğan ŞİMŞEK\*<sup>1</sup>, Orçun KÜÇÜKATAY<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Çukurova Üniversitesi, Adana Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, İklimlendirme ve Soğutma Teknolojisi Programı, Adana

<sup>2</sup>T.C MEB Çukurova Elektrik Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi, Endüstriyel Bakım ve Onarım Dalı, Adana

Geliş tarihi: 10.02.2016

Kabul tarihi: 09.03.2016

### Özet

Türkiye’de iş çevrelerinin ortak beklentisi, mesleki ve teknik okulların yetiştirdiği teknik elemanların piyasa ihtiyaçlarını karşılayabilir nitelikte olmasıdır. Baş döndürücü bir hızla gelişen otomasyon sektöründe oldukça ciddi seviyede nitelikli ara eleman açığı bulunmaktadır. Türkiye’de otomatik kontrol konusunda nitelikli ara eleman ihtiyacını gidermek ancak bu konuda eğitim veren mesleki okullarda pratiğe yönelik eğitim yapılması ile mümkündür.

Uygulamalı Otomasyon Sistemleri Simülatörü, Mesleki ve Teknik Eğitim verilen tüm okul ve kurumların yanı sıra üretim yapan kurumların hizmet içi eğitim faaliyetlerinde de uygulamalı eğitim verebilmek üzere tasarlanmıştır. Uygulamalı Otomasyon Sistemleri Simülatörü mesleki ve teknik eğitim alan teknik personel adaylarının uygulama faaliyetlerini gerçekleştirebildiği ve yaptığı uygulamalar sayesinde farklı uygulamalar tasarlayabileceği bir eğitim materyalidir.

Sistem üzerinde endüstriyel üretimde kullanılan tüm elektriksel alıcıların minyatürleri üzerinde çeşitli uygulama örnekleri ve yazılımlar gerçekleştirilerek deney sonuçlarının gözlemlenmesini sağlayan materyaller mevcuttur. Böylece öğrenci ve kursiyerin sahada çalışmadan önce saha ortamına ön hazırlık safhası olabilecek ve kendisini geliştirerek fikir yürütebilecek bir eğitim ortamı sağlanmaktadır.

Uygulamalı Otomasyon Sistemleri Simülatörü piyasada bulunan tüm PLC markaları ile uyumlu çalışarak yazılan programların test edilmesi olanağını sunmaktadır. Aynı zamanda mikro denetleyici tabanlı kontrol kartları kullanılarak deneysel çalışmalar yapılabilmektedir. Mesleki ve teknik eğitimde başarıya ulaşmanın yolu, verilen teorik bilgilerin uygulama ve deney faaliyetleri ile desteklenmesi ile mümkündür. Bu set bu alandaki açığı kapatabilecek niteliktedir.

**Anahtar Kelimeler:** Otomatik kontrol, Eğitim simülatörü, Mesleki eğitim, PLC

\* Yazışmaların yapılacağı yazar: Erdoğan ŞİMŞEK, Çukurova Üniversitesi, Adana Meslek Yüksekokulu, İklimlendirme-Soğutma Programı, 01160Adana. esimsek@cu.edu.tr

## Development of an Applied Automation Systems Simulator

### Abstract

The common expectations of the business world in Turkey are that the vocational schools of higher education and technical schools train students according to the needs of the industry. In the rapidly developing automation sector there is serious shortage of technically skilled personnel. The only way to provide the amount of skilled technical personnel up to the expectations of the industry can only be achieved by making the education in vocational schools oriented for the applied industry practice.

The developed Applied Automation Systems Simulator is designed to be used in vocational and technical schools and also can be used in enterprises in the industry for hands on training for the staff. This simulator is a training material that helps the technical personnel candidates who attend vocational education to participate applied activities and to design new applications on their own. There exist the miniatures of all the electrical sensors used in the industrial production systems on the simulator where students can participate in some predefined application examples, observe and gather info about experiments made by the students using the software in the simulator. Hence an educational environment where students can practice real life situations applied in the industry before going to the field can be created and the students can learn how to make reasoning in such situations by improving their skills.

The developed simulator is compatible with all the PLC brands used in the industry therefore giving the ability to test the programs written by the students in the software employed in the simulator. At the same time by the use of microcontroller based control cards experimental studies can easily be made with the simulator. The way to success in vocational and technical education is only possible by reinforcing the theoretical education with hands on activities and experiential training. This simulator is capable of filling the gap in this field.

**Keywords:** Automatic control, Training simulator, Vocational education, PLC

### 1. GİRİŞ

Türkiye’de iş piyasasının mesleki ve teknik eğitim veren kurumlardan beklentisi, iş ihtiyaçlarını karşılayabilen nitelikli teknik elemanların yetiştirmesidir. Ülkemizin satın alıp tüketen ülke konumundan çıkıp üreten ve ürettiği ürünleri tüm dünya ülkelerine pazarlayan ülke konumuna geçmesi, üretim safhalarında görev alan teknik elemanların mesleki yeterliliği ile doğrudan ilişkilidir [1]. Bu doğrultuda mesleki eğitim alan öğrenci ve kursiyerlerin mesleğin gerektirdiği bilgi beceri ve uygulama yeteneklerine tamamen sahip olmaları gerekmektedir. Ayrıca mesleki eğitim alan teknisyen adaylarının öğrendikleri teorik bilgileri uygulama yapmadan direkt olarak saha ortamında tecrübe etmesi iş kazası ya da ekonomik kayıplara sebep olacağından kesinlikle kabul edilemez bir durumdur [2]. Öğrenme yöntemleri

üzerine yapılan araştırma sonuçlarına göre, uygulamalı eğitim yöntemleri kullanarak yapılan eğitim faaliyetlerinde %90 lara varan öğrenme verimliliği gözlemlenmiştir. Dolayısıyla mesleki eğitimde etkili bir eğitim ortamı olması için teorik bilgilerin uygulama ve deney faaliyetleri ile desteklenmesi gerekliliği unutulmamalıdır [3,4]. Bu eğitim seti; mesleki eğitim alan bireylerin motor kontrolü, motor sürücü kullanımı, endüstriyel sensor kullanımı, proses kontrol cihazları kullanımı, elektro-pnömatik sistemlerin kontrolü, trafik ışıkları simülatörü gibi endüstriyel ortamlarda kullanılan cihazlarla ilgili yüzlerce deney gerçekleştirerek daha etkin bir öğrenim ortamı sağlamak amacıyla tasarlanmıştır. Eğitim simülatörüne tüm marka PLC üniteleri ve mikrodenetleyici tabanlı kartlar bağlanabilmektedir. Otomasyon sistemleri uygulamaları eğitim simülatörü, mesleki



eğitim alan öğrenci ve kursiyerlerin mikrodenetleyici kartları ya da PLC cihazı ile bilgisayar ortamında hazırladıkları otomatik kontrol yazılımlarını eğitim simülatörü üzerinde test etme olanağı sağlamaktadır. Eğitim simülatörü içeriğinde üç fazlı asenkron motorlar, pnömatis ve elektro-pnömatis valfler, endüstriyel sensörler, proses kontrol cihazları, pt100 sıcaklık elemanları, minyatür trafik sinyalizasyon uygulamaları, motor sürücü motor devir sayacı uygulamaları ile ilgili yüzlerce birbirinden farklı deney ve uygulama yapılabilmektedir. Söz konusu uygulamalar, öğrenci ve kursiyerlerin endüstriyel üretimde karşılaşacakları hemen hemen tüm ekipman ve cihazların kullanımını deneyimlemelerini sağlayacaktır. Uygulamalı otomasyon sistemleri eğitim simülatörü, piyasada bulunan tüm PLC modelleri ve mikrodenetleyici kontrol kartlarının bağlantı şekline uyumludur. Ayrıca mesleki eğitim alan öğrenci ve kursiyerlerin güvenli bir şekilde deney yapabilmeleri için bağlantı yapılan tüm noktalar insan sağlığını tehdit etmeyen 24V DC gerilim ile kontrol edilmektedir. Otomatik kontrol uygulamaları eğitim simülatörü üniversitelerin Makine, Elektrik-Elektronik, Mekatronik ve PLC ders müfredatı olan bölümleri, Meslek Yüksekokulları ve Meslek Liselerinin bölümlerindeki mesleki eğitim uygulamalarında bu simülatör kullanılabilir. Ayrıca endüstriyel üretim yapan imalathane, fabrika, teknik servis gibi işletmelerin kendi bünyelerindeki hizmet içi eğitim faaliyetlerinde de kullanılabilir [5,6].

## 2. MATERYAL VE METOD

Bu eğitim setini gerçekleştirmek için ilk etapta 30mmx30mm profil kullanılarak 275cm x75cm boyutlarında bir masa hazırlanmıştır. Daha sonra 104cm x272cm boyutlarında bir stand hazırlanarak masaya monte edilmiştir. Masa ve stand 8 mm kalınlığındaki MDF malzeme ile kaplanmıştır. Sistemlere ait ekipmanlar için MDF levha üzerinde gerekli kanallar açılmıştır. Cihazlar yerine yerleştirilerek sağlamlıkları kontrol edilmiştir. Sistemin 220 ve 380 volt elektrik girişleri gerçekleştirilmiştir. Herhangi bir nedenle sistemler üzerinden tasarlanandan daha fazla akım geçmesi veya kısa devre durumunda tüm sistemin elektriğinin kesilmesi için gerekli koruyucular

sisteme bağlanmıştır. Eğitim seti çalışmalarının bir bölümü Çukurova Üniversitesi, Adana Meslek Yüksekokulu, İklimlendirme ve Soğutma Teknolojisi Programı laboratuvarlarında ve TC MEB Çukurova Elektrik Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi, Endüstriyel Bakım ve Onarım Dalı laboratuvarlarında imal ve monte edilmiştir. Şekil 1'de otomasyon sistemleri uygulamaları eğitim simülatörünün imal edilmiş şekli gösterilmiştir.



Şekil 1. Uygulamalı otomasyon sistemleri eğitim simülatörü

Bireylerin motor kontrolü, motor sürücü kullanımı, endüstriyel sensör kullanımı, proses kontrol cihazları kullanımı, elektro-pnömatis sistemlerin kontrolü, trafik ışıkları simülatörü gibi endüstriyel ortamlarda kullanılan cihazlarla ilgili yüzlerce deney gerçekleştirerek bu setin kullanımı üniteler halinde aşağıda açıklanmıştır.

### 2.1. Asenkron Motor Kontrol Ünitesi

Asenkron motor kontrol ünitesinin montajlı resmi Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Asenkron motor kontrol ünitesi montaj resmi

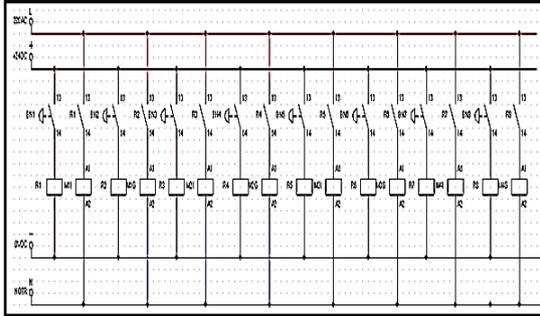
Şekil 4’te asenkron motor kontrol ünitesi güç devresi gösterilmiştir. Asenkron motor kontrol ünitesinde kullanılan elemanların teknik özellikleri Çizelge 1’de gösterilmiştir. Sistemde kullanılan motorlar 3 fazlı 0,20 kW gücündedir. Her bir motor için iki adet kontaktör kullanılmıştır. Kontaktörlerden biri motoru ileri yönde, diğeri ise geri yönde çalıştırmak için kullanılmıştır. Kontaktörlerin alt kısmına yerleştirilmiş olan sinyal lambaları ise ilgili kontaktörün çalışıp çalışmadığını göstermek amaçlıdır.

Ayrıca sistemde 8 adet 24 volt DC röle kullanılmıştır. Bu röleler kontaktörleri 24 V DC bobin gerilimi ile sürmek amacıyla sisteme ilave edilmiştir. Kontaktörlerin altında ise PLC ya da mikro denetleyici bağlantılarının pratik bir şekilde bağlanabilmesi için born vida bağlantı uçları montajlanmıştır.

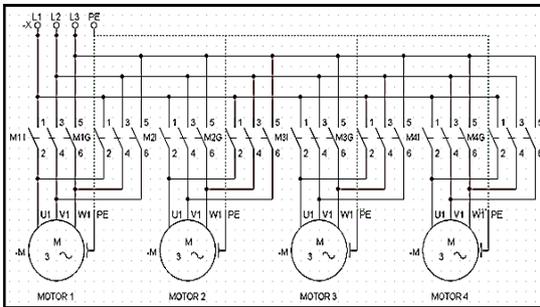
Şekil 3’te asenkron motor kontrol ünitesi kumanda devresi gösterilmiştir.

**Çizelge 1.** Asenkron motor kontrol ünitesinin teknik özellikleri

Malzeme Adı	Ad.	Teknik özellik	Görevi
Asenkron Motor	4	0,20 kW 3Faz	Stator sargısına uygulanan gerilimi hareket enerjisine çevirmek
Kontaktör	8	1,1kw 3NO 2NC kontak	Asenkron motorların ileri geri yönde hareketini sağlamak
Sinyal Lambası	8	220 V AC Led	İlgili kontak enerjilendiğinde ışıkla uyarı vermek
Röle	8	24V DC Çift Kontak	Kontaktörlerin 24V DC ile sürülmesini sağlamak



**Şekil 3.** Asenkron motor kontrol ünitesi kumanda devresi



**Şekil 4.** Asenkron motor kontrol ünitesi güç devresi

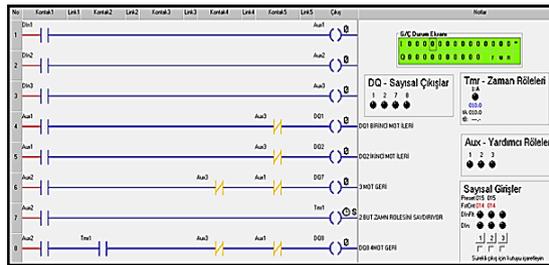
Üç fazlı sigortadan gelen RST fazları, dört adet motorun ileri geri kontrolü için kullanılan sekiz adet kontaktörün güç kontaklarına giriş yapılır. Motoru ileri yönde hareket ettirmek için 1, 3, 5, 7 nolu kontaktörlerin güç kontağı çıkış uçları asenkron motor klamens kutusundaki U,V,W uçlarına sırasıyla bağlantı yapılır. Motorların ters yöne hareketleri için ise fazın biri sabit tutulup herhangi iki fazın yerleri değiştirilmesi prensibine göre 2, 4, 6, 8 nolu kontaktörlerinin 1 nolu güç kontağı sabit tutulup U fazına, kontaktör 2 nolu güç kontağı W ucuna, 3 nolu kontaktör güç kontağı çıkışı da V fazına bağlanmıştır. Bu şekilde geri yönde motor kontrolü için ilk faz sabit bırakılıp diğer iki faz ters çevrilerek motorun ters yönde çalışmasını sağlayacak bağlantılar gerçekleştirilmiştir.

Otomasyon sistemleri uygulama seti üzerinde herhangi bir motoru ileri ya da geri yönde çalıştırmak için simülatör seti üzerinde bulunan ilgili born vidaları karşılıklı olarak kısa devre edilir. Bu şekilde motor istenilen yönde kontrol edilmiş olur. Born vidaları üzerinde güvenlik risklerini minimize etmek için 24V DC gerilim kullanılır. Bu 24 voltuk DC gerilim ilgili

kontaköre bağılı olan röleyi enerjilendirerek kontakörün çekmesi için gerekli olan faz gerilimini A1 ucuna uygulamış olur.

### 2.1.1. Örnek Uygulama:1(PLC Kullanılarak Çözüm)

Bu otomasyon sisteminde iki adet start butonu, bir adet stop butonu bulunmaktadır. Birinci start butonuna basılınca 1 ve 2 nolu motorlar ileri yönde hareket edecek; 3 ve 4 nolu motorlar çalışıyor ise duracaktır. İkinci start butonuna basılınca üçüncü motor geri yönde çalışmaya başlayacak, 10 sn sonra dördüncü motor da geri yönde çalışmaya başlayacaktır. Stop butonuna basılınca tüm motorlar duracaktır. PLC kullanılarak çözüm Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. PLC kullanılarak çözüm

Şekil 5'e ait bir PLC uygulama yazılımı aşağıda gösterilmiştir. Ayrıca uygulamaya ait PLC giriş çıkış uçları Çizelge 2 'de verilmiştir.

PLC yazılımında kontak konumları tasarımı da Çizelge 2'de belirtilmiştir. Kullanıcı uygun PLC yazılımını gerçekleştirdikten sonra yazılımı PLC cihazına yükleyip PLC'nin uygun born çıkışlarını, kablo jakları vasıtasıyla eğitim simülatörü üzerine bağlantı yaparak yazılımını test edecektir.

Her öğrenci veya kullanıcı, uygulama deneylerinde problemin çözümüne yönelik gerekli yazılımı, kendi bireysel çabaları ile gerçekleştirmelidir.

### 2.1.2. Örnek Uygulama: 2 (Mikrodenetleyici Kart Kullanılarak Çözüm)

Uygulama 2'de görülen mikro denetleyici kart kullanarak çalışma gerçekleştirilmiştir.

Şekil 7'de mikro denetleyici kart kontrol devresi gösterilmiştir.

Çizelge 2. Uygulamaya ait PLC giriş çıkış uçları

Mikrodenetleyici giriş-çıkış adı	İlgili bağlantı
D0	1.motor ileri çıkışı
D1	2.motor ileri çıkışı
D2	3.motor ileri çıkışı
B0	1.motor ileri çıkışı
B1	2.motor ileri çıkışı
B2	3.motor ileri çıkışı
B3	4.motor ileri çıkışı
B4	1.motor geri çıkışı
B5	2.motor geri çıkışı
B6	3.motor geri çıkışı
B7	4.motor geri çıkışı

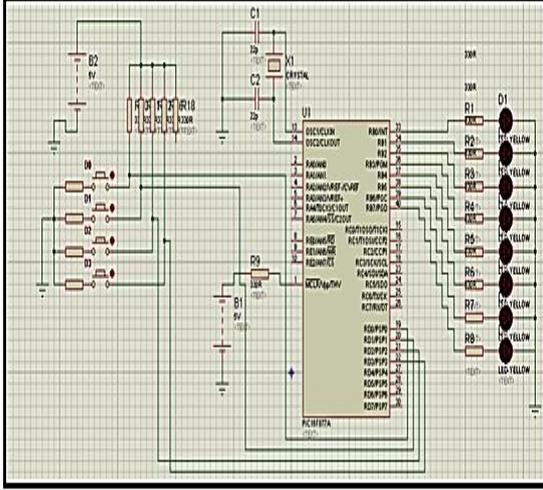


Şekil 6. PLC cihazı ile eğitim simülatörü bağlantısı

Uygulamaya ait mikrodenetleyici giriş çıkış uçları Çizelge 3'te gösterilmiştir.

Otomasyon sistemleri uygulamaları eğitim simülatörü kullanarak öğrenci ve kursiyerler, aynı problemin çözümünü PLC cihazı yerine Mikrodenetleyici kart kullanarak da çözebilirler. Problemin çözümüne yönelik tasarlanan Mikro Denetleyici yazılım, kart üzerine yüklenmeden

önce yukarıdaki gibi bir simülasyon programı ile test edilebilir.



Şekil 7. Mikrodenetleyici kart kontrol devresi

Çizelge 3. Uygulamaya ait mikrodenetleyici giriş çıkış uçları

PLC giriş çıkış adı	İlgili bağlantı
DQ1	1.motor ileri çıkışı
DQ2	2.motor ileri çıkışı
DQ3	3.motor ileri çıkışı
DQ4	4.motor ileri çıkışı
DQ5	1.motor geri çıkışı
DQ6	2.motor geri çıkışı
DQ7	3.motor geri çıkışı
DQ7	4.motor geri çıkışı
DIN1	PLCbirinci start butonu
DIN2	PLC ikinci start butonu
DIN3	PLC stop butonu

Simülator ile test edilen yazılım daha sonra Mikrodenetleyici entegresine yüklenir, kart ve eğitim simülatorü arasındaki kablo jack bağlantıları yapılır, sonunda problem çözümüne yönelik yazılım, eğitim simülatorü ile çalıştırılır. Uygulamaya ait mikrodenetleyici yazılımı aşağıdadır:

```
#include <16F877A.h>
#fuses XT,NOWDT,NOPROTECT
#use delay(clock=4000000)
void main()
{
    set_tris_d(0b11111);// d portları giriş olarak
    ayarlandı
    set_tris_b(0b00000000); b portları çıkış olarak
    ayarlandı
    tekrar:
    output_b(0);// tüm çıkışlar pasif
    IF(input(PIN_D3)==1 && input(PIN_D2)==1 &&
    input(PIN_D1)==1 &&
    input(PIN_D0)==1)//hiçbir butona basılmazsa
    {
        output_b(0); //tüm çıkışlar sıfır
    }
    IF(input(PIN_D3)==1 && input(PIN_D2)==1 &&
    input(PIN_D1)==1 && input(PIN_D0)==0)// d0
    birinci butona basılırsa
    {
        output_b(3); //b0 ve b1 çıkışları aktif 1ve 2 mot
        ileri yönde çalıştırır.
        delay_ms(10);
        goto tekrar;
    }
    IF(input(PIN_D3)==1 && input(PIN_D2)==1 &&
    input(PIN_D1)==0 && input(PIN_D0)==1)// d1
    ikinci butana basılırsa
    {
        output_b(64); //b7 2sn sonra b8 aktif 3.motor geri
        yönde çalışır
        delay_ms(1000);//1sn bekleme
        delay_ms(1000);//1sn bekleme
        output_b(192);//2 sn sonra b7 ve b8 çıkıları aktif
        3. ve 4. Motor geri yönde
        delay_ms(10);
        goto tekrar;
    }
    IF(input(PIN_D3)==1 && input(PIN_D2)==0 &&
    input(PIN_D1)==1 && input(PIN_D0)==1)//d2
    stop butonu
    {
        output_b(0);// tüm çıkışlar pasif
        delay_ms(10);
        goto tekrar;
    }
}
```

## 2.2. Endüstriyel Sensör Sistemleri Simülâtörü

Endüstriyel sensör sistemleri uygulama simülâtörünün montajlı resmi Şekil 8’de gösterilmiştir.



Şekil 8. Endüstriyel sensör sistemleri uygulama simülâtörünün montaj resmi

Endüstriyel Sensör Sistemleri uygulama simülâtörü içeriğinde; kapasitif sensör, endüktif sensör, optik sensör pt100 kafa tip sıcaklık sensörleri, ntc sıcaklık sensörü, proses kontrol cihazları gibi endüstriyel üretimde kullanılan sensör ve proses kontrol cihazları bulunmaktadır. Bu cihazlar ile öğrenci, kursiyer ya da teknik

personel adayları, çeşitli uygulama deneyleri yaparak teorik bilgilerini uygulama imkânı yakalamaktadırlar. Simülâtör üzerinde bulunan proses kontrol cihazına set üzerinde mevcut sensörlerin bağlantısı yapıp parametre değerleri girilerek çok çeşitli uygulamalar yapılabilmektedir.

Çizelge 4’te endüstriyel sensör sistemleri simülâtörüne ait malzemeler, adetleri, kullanılan malzemelerin teknik özellikleri ve görevleri verilmiştir. Endüstriyel sensör sistemlerine ait sensörlerin büyük bir kısmı 24V DC gerilim ile çalışmaktadır. Sistem üzerinde bulunan sensörlerin üç ucu bulunmaktadır. Bu uçlardan iki tanesi +-24V besleme uçları, diğer ucu ise 'Q' adı verilen çıkış ucudur. Sensör, ortamdaki fiziksel değişimi algıladığında aktifleşerek 0V olan enerji potansiyelini +24V değerine çıkarmaktadır. Bu çıkış sinyali direkt olarak bir motoru sürmek için yeterli değildir. Q çıkışı bir PLC cihazına ya da mikrodenetleyici kartına giriş bilgisi olacak şekilde kullanılmak üzere uygulanır.

Ayrıca Simülâtör üzerinde bulunan proses kontrol cihazı ile sensörlerden okunan değer set değeri ile kıyaslanarak proses kontrol cihazının çıkışı aktif edilebilir.

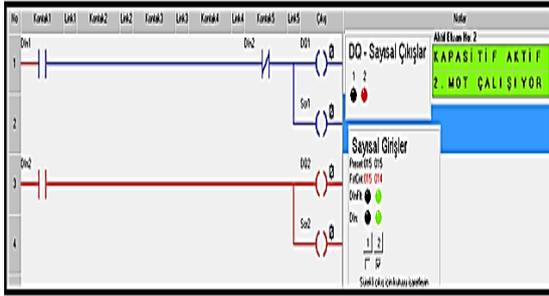
### 2.2.1. Örnek Uygulama (PLC cihazı kullanılarak)

Bir otomasyon sisteminde endüktif sensöre metal

Çizelge 4. Endüstriyel sensör sistemleri simülâtörü teknik özellikleri

Malzeme Adı	Adet	Teknik özellik	Görevi
Kapasitif Sensör	1	24V DC 30mA PNP çıkış	Sensör 20mm yakınına herhangi bir cisim yaklaştığında Q çıkışı aktif olur.
Endüktif Sensör	1	24V DC 30mA PNP çıkış	Sensör 20mm yakınına metal bir cisim yaklaştığında Q çıkışı aktif olur.
Optik Sensör	1	24V DC 30mA NPN çıkış	Sensör optik gözüne herhangi bir cisim yaklaştığında 24vdc olan Q çıkışı 0v potansiyeline düşer.
Ntc Sensör	1	-50 – 200 C algılama	Ortam sıcaklık değerini algılama
Proses Kontrol Cihazı	1	220 V AC çalışma 2 adet röle çıkış	Bağlanacak sensör ve girilen parametrelere göre röle çıkışları aktif olur.
Pt100 Kafa tip	1	-200 C 600 C arası sıcaklık ölçüm	Proses kontrol cihazı ile birlikte kullanılarak sıcaklığa bağlı uygulamalar gerçekleştirmek.

bir cisim yaklaştırıldığında 1 numaralı motorun çalışması isteniyor. Kapasitif sensöre herhangi bir cisim yaklaştırıldığında 1 numaralı motor duracak 2 numaralı motorun çalışması için uygun PLC yazılımları ile sistemi çalıştırılm. Endüktif sensör Q çıkışı PLC cihazının DIN1 girişine, kapasitif sensör DIN2 girişine birinci motor DQ1 çıkışına ikinci motor DQ2 çıkışına bağlanmıştır. Şekil 9'da PLC kullanılarak çözüm gösterilmiştir.



Şekil 9. PLC kullanılarak çözüm

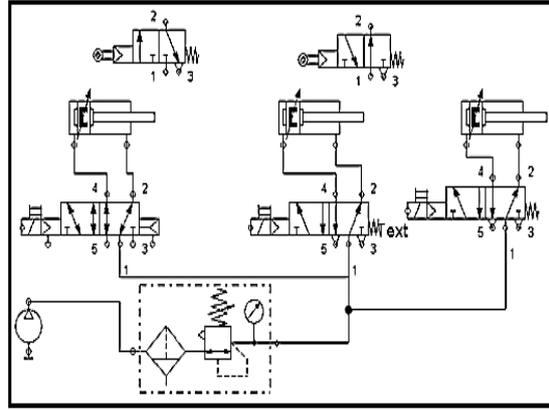
### 2.3. Elektropnömatik Sistemler Uygulama Simülatörü

Elektropnömatik sistemleri uygulama simülatörünün montajlı resmi Şekil 10'da gösterilmiştir.



Şekil 10. Elektropnömatik sistemleri uygulama simülatörünün montajlı resmi

Sistem üzerinde bulunan üç adet çift etkili silindir, doğrusal hareket kaynağı olarak kullanılmaktadır. Silindirlere doğrusal hareketi kazandırmak için kullanılan yön kontrol valflerinin tamamı elektriksel sinyal ile kontrol edilmektedir. Pnömatik sistemlerin kontrolü için kullanılan basınçlı havanın temini için kompresör kullanılmıştır. Kompresörden alınan basınçlı hava; yağlayıcı, temizleyici, şartlandırıcı gibi ekipmanlardan geçirilerek basınçlı havanın uygun standartlara getirilmesi sağlanmıştır. Şekil 11'de elektropnömatik sistemlere ait devre şeması gösterilmiştir.



Şekil 11. Elektropnömatik sistemler devre şeması

Sistemde kullanılan elemanların adetleri, teknik özellikleri ve bu elemanların görevleri Çizelge 5'de gösterilmiştir. Kullanılan çift etkili silindirlere yastıklı tip seçilerek piston dip noktaya vurduğunda pistonun daha az gürültü ve vuruntu yapması sağlanmıştır. 3/2 makara valfler ile pistonlardan birinin hareketini tamamlaması durumunda diğer pistonu hareket verilmesini sağlamaktadır. Yön kontrol valflerine 24 volt DC gerilim uygulanarak valfin konum değişimi sağlanarak pnömatik pistonların ters yöne hareketi sağlanır. Sistem üzerinde kullanılan basınçlı havanın hazırlanması için şartlandırıcı adı verilen kullanılan havayı temizleme yağlama ve uygun basınç değerine düşürme görevini yapan eleman kullanılmıştır. Bu şekilde pnömatik malzemelerin daha verimli şekilde çalışması sağlanmış olur.

**Çizelge 5.** Elektropnömatik sistemler simülâtörü teknik özellikleri

Malzeme Adı	Ad.	Teknik özellik	Görevi
Çift etkili silindir	3	20 mm Yastıklı	Doğrusal hareket temini.
Makara valf	2	3/2 makara valf	Pistonların konum bilgisini almak için kullanılmıştır.
Yön kontrol valfi	1	24V DC 5/2 çift bobinli valf	Çift etkili silindirlerin çalışması için gerekli basınçlı havayı yönlendirmek
Yön kontrol valfi	2	24V DC 5/2 tek bobinli valf	Çift etkili silindirlerin çalışması için gerekli basınçlı havayı yönlendirmek
Yön kontrol valfi	1	24V DC 3/2 tek bobinli valf	Çift etkili silindirlerin çalışması için gerekli basınçlı havayı yönlendirmek
Hava hazırlayıcı	1	Temizleme, yağlama ve basınç değerini düzenleme	Pnömatik elemanların çalışabilmesi için gerekli basınçlı hava şartlarını sağlamak .

Elektropnömatik sistemler simülâtörü ile öğrenci ve kursiyerler, endüstriyel ortamlarda kullanılan pnömatik pistonların kontrolü ile ilgili deney ve uygulama çalışmaları yapabilmektedirler. Sistem üzerinde bulunan solenoid valflere uygun hava hortumları bağlantıları yapılarak pnömatik pistonların PLC cihazı ya da mikrodenetleyici kartlar ile çalıştırılması sağlanmış olur.

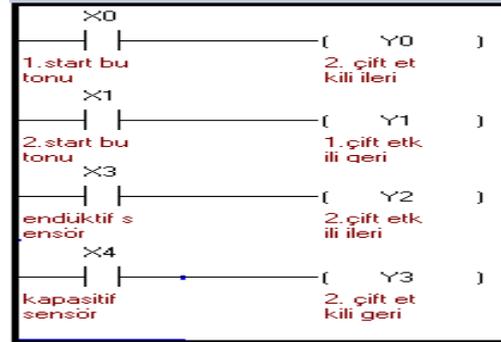
Pnömatik pistonlara bağlı olan yönlendirme valfleri 24V DC gerilim ile çalışmaktadır. Valflerin çalışması için gerekli elektriksel bağlantı yapılırken valfe negatif besleme direkt olarak verilip pozitif besleme valfe bağlı olan born vidası kablo jack bağlantıları ile gerçekleştirilmektedir.

### 2.3.1 Elektropnömatik Sistemler Simülâtörü Uygulaması

Pnömatik valflerin kullanıldığı bir otomasyon sisteminde, birinci start butonuna basıldığında 1 nolu çift etkili silindir ileri yönde çalışırken ikinci start butonuna basıldığında ikinci çift etkili silindir geri yönde çalıştırılması isteniyorsa, cisimden yansımali optic sensör aktif olmalıdır. İkinci çift etkili silindir ileri yönde, endüktif sensör, aktif olduğunda ise ikinci çift etkili silindir geri yönde çalışacaktır. Uygulamaya ait PLC yazılımı Şekil 12’de gösterilmiştir.

PLC yazılımı olarak ikinci uygulamadan farklı bir PLC cihazı kullanıldığından programlama arayüzü ve giriş çıkış isimleri farklı isimler almıştır. PLC’nin x0 girişi birinci buton, x1 girişi ikinci buton x3 butonu endüktif sensör, x4 butonu kapasitif sensör girişi olarak kullanılmıştır. PLC y0

çıkışı birinci piston ileri, y1 çıkışı birinci piston geri, y2 çıkışı ikinci piston ileri, y3 çıkışı ikinci piston geri olacak şekilde gerekli kablo jack bağlantıları yapılarak uygulama çalıştırılabilir.



Şekil 12. Elektropnömatik sistemler simülâtörü uygulaması PLC yazılımı

### 2.4. İnverter Sistemleri Eğitim Simülâtörü

İnverter sistemleri eğitim simülâtörünün montajlı resmi Şekil 13’de gösterilmiştir.

Sistemde kullanılan elemanların adetleri, teknik özellikleri ve bu elemanların görevleri Çizelge 6’da gösterilmiştir. Sistemde kullanılan inverter ile set üzerinde dahili olan üç fazlı asenkron motor kontrol edilebilmektedir. Motorun çalışma yönü, start butonuna basıldıktan sonra maksimum devire ulaşma zamanı, motor çalışıyor iken stop butonuna basılınca durma zamanı rampa değeri, değişik frekans değerlerinde motorun çalıştırılması, motorun harici start stop

butonlarıyla kontrol edilebilmesi, motor üzerinde bulunan dahili butonlar ile start stop yapma, motor hızının eğitim seti üzerinde bulunan harici potansiyometre ile kontrolü, inverter üzerinde bulunan harici klemensler ile set üzerinde bulunan herhangi bir sensor bağlantısı ile çalıştırılması, durdurulması ya da motorun devir sayısının değiştirilmesi gibi uygulamalar yapılabir bir PLC ya da mikrodenetleyici kartı ile sistemin kontrolü sağlanabilir.

#### 2.4.1. İnverter Sistemleri Eğitim Simülatörü Bağlantı Şeması

Şekil 14'te sistemde kullanılan inverterin bağlantı şeması görülmektedir. İnverter cihazına giriş olarak tek fazlı 220 V AC gerilim uygulanmakta, çıkış olarak üç fazlı 220 V AC gerilim elde edilmektedir.

İnverter üzerinde dahili start stop butonları bulunduğu gibi motor çalışma hızını belirleyen dahili potansiyometre de bulunmaktadır.



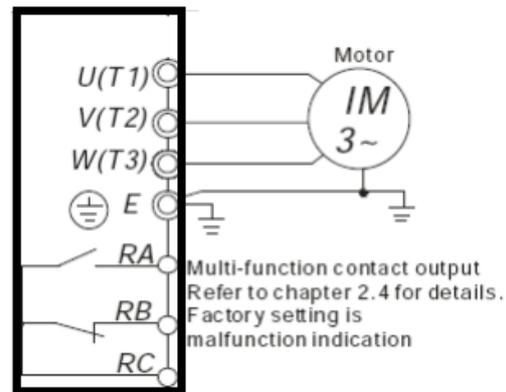
Şekil 13. İnverter sistemleri eğitim simülatörünün montajlı resmi

Çizelge 6. İnverter sistemleri eğitim simülatörü teknik özellikleri

Malzeme Adı	Ad.	Teknik özellik	Görevi
İnverter	1	2,2 KW 220V AC Giriş	Asenkron motoru istenilen frekans değerlerinde çalıştırmak
Asenkron motor	1	2880d/dak 2,2KW	İnverterden gelen frekans değerlerine göre motoru çalıştırmak.
Butonlar	3	Start Stop	İnverterin kontrolünü harici bilgi sinyalleri ile çalıştırmak

Aynı zamanda eğitim simülatörü üzerine monte edilen harici pot ve butonlar, inverter cihazının uzaktan kontrolü uygulamaları için tasarlanmıştır. İnverter cihazının devreye alınması, hız ayarı ve parametre değişikliği bilgisayar kontrolü ile de yapılabilmektedir. Aynı zamanda İnverter cihazı ile motor devir kontrolü endüstriyel sensörlerin direkt olarak invertere bağlanıp sensörün okuduğu analog sinyal değerine göre motor devir kontrolü yapılabilir.

İnverter bağlantısı yukarıdaki bağlantı şemalarına göre gerçekleştirilir. İnverter cihazının girişine tek faz uygulanarak çıkışından üç fazlı gerilim almaktayız.



Şekil 14. İnverter bağlantı şeması

R ve S uçlarından tek fazlı enerji girişi yapılır. UVW uçlarına ise motor bağlantıları yapılır. M11,



MI2, MI3, MI4... uçları cihazın kablolu bağlantı ile uzaktan kontrolü için kullanılır.+10 AVI ACM uçları harici potansiyometre bağlanarak hız kontrolü yapmak için kullanılır. RA RB RC uçları, cihazın role çıkışlarıdır. AFM ve acm uçları ise sürücü den analog çıkış sinyali almak için kullanılır.

#### 2.4.2. İnverter Sistemleri Eğitim Simülatörü Uygulaması

2,2 KW bir üç fazlı motorun maksimum çalışma frekansını 50 Hz den 30 Hz değerine düşürmek, motorun start butonuna basıldıktan sonra maksimum hızına ulaşma süresi 15 sn'den 3 sn, stop butonuna basıldıktan sonra motorun tamamen durması için gerekli olan süreyi 20 sn değerinden 4 sn değerine, motor hızı harici bir potansiyometre kullanılarak inverterin 12 m uzağındaki bir panodan kontrol edilmek isteniyor. Uygun parametre ayarlarını yaparak motoru devreye almak istersek; öncelikle motor harici bir potansiyometre kullanılarak kontrol edilmek istenildiğinden simulator üzerinde bulunan harici potansiyometrenin üç ucu Şekil 10'da belirtildiği gibi kablo jackları yardımıyla invertere bağlantısı yapılır. Motorun uygulamada belirtilen özelliklerde çalışması için ise inverter cihazına aşağıda belirtilen parametre ayarlarının sırasıyla yapılması gerekir.

<b>00.02</b> Parametre Reset	<b>0:Parametre okunabilir/yazılabilir</b> <b>1:Tüm parametre yalnızca okunabilir</b> <b>8:Keypad kilit</b> <b>9:Tüm parametreler fabrika ayarına resetlenir.(50hz)</b> <b>10:Tüm parametreler fabrika ayarına resetlenir.(60hz)</b>
------------------------------------	---

Mode tuşuna iki kez basılıp 00.02 parametre ayar menüsüne 10 değeri girilip inverter parametrelerinde daha önce yapılan herhangi bir değişiklik varsa fabrika ayarlarına dönüş yapılarak giderilmiş olur.

Grup: 1 Temel Parametreler		
<b>01.00</b>	<b>Max çıkış frekansı(fmax)</b>	<b>50.00-600.00hz</b>

Mode tuşuna iki kez basılıp 01.00 parametre menüsüne girilerek motor maksimum çalışma frekansı 30 HZ değerine ayarlanır.

<b>01.09</b>	<b>Hızlanma Zamanı 1</b>	<b>0.1-600.0 saniye</b>
<b>01.10</b>	<b>Yavaşlama Zamanı 1</b>	<b>0.1-600.0 saniye</b>

Mode tuşuna iki kez basılıp 01.09 parametresinden motorun hızlanma zamanı 3 sn değerine, 01.10 parametre menüsünden motor durma süresi 4 sn değerine düşürülür.

<b>02.00</b>	<b>Birinci Ana Frekans Komutu Kaynağı</b>	<b>0:Digital keypad</b> <b>1: 0-+10V dan</b> <b>2:4-20mA AC dan</b> <b>3:RS-485 haberleşme den</b> <b>4:Digital keypad potansiyometre</b>
--------------	---	---

02.00 parametre menüsünden harici pot ile kontrol için 1 değeri seçilerek harci potansiyometre üç telli kablo ile istenilen mesafeye taşınarak sistemin uzaktan kontrolü sağlanmış olur.

#### 2.5. Trafik Işıkları Eğitim Simülatörü

Trafik ışıkları eğitim simülatörünün montajlı resmi Şekil 15'te gösterilmiştir. Sistemde kullanılan elemanların adetleri, teknik özellikleri ve bu elemanların görevleri Çizelge 7'de gösterilmiştir. Bu simülatör ile trafikte bulunan bir döner kavşağın taşıtlar ve yayalar için minyatür bir sinyalizasyonu gerçekleştirilmiştir. Mesleki eğitim alan bireyler PLC ya da mikro denetleyici kartları ile döner kavşak smilasyonunu gerçekleştirebilirler.

Sistemde kullanılan ışıklandırma gereçleri, 24V DC gerilim ile çalışan led lambalardır. PLC ya da mikrodnetleyici kartlarının ilgili bağlantıları simülatörün born bağlantı uçlarına yapılarak istenilen şekilde çalıştırılması sağlanmış olur. Simülatör üzerinde taşıtlar için kırmızı sarı ve yeşil olmak üzere üç adet, yayalar için ise kırmızı ve yeşil olmak üzere iki adet led kullanılmıştır.



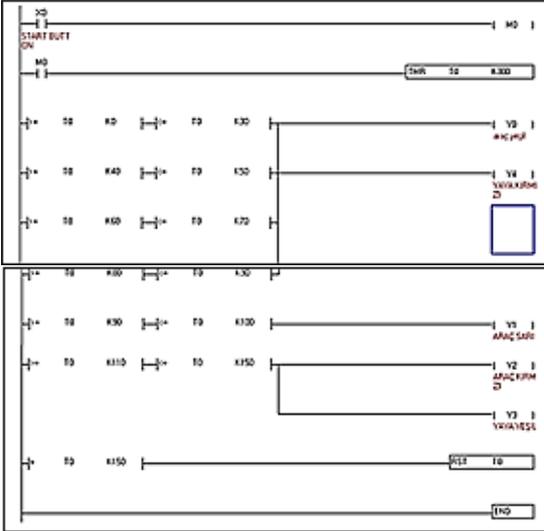
Şekil 15. Trafik ışıkları eğitim simülatorünün montajlı resmi

### 2.5.1. Trafik Işıkları Eğitim Simülatorü Uygulaması (PLC Yazılımı ile Çözüm)

Bir döner kavşağın otomasyon sistemi gerçekleştirilmek isteniyor. Sistemde araçlar için sarı, kırmızı, yeşil uyarı ışıkları ve yayalar için kırmızı ve yeşil uyarı ışıkları kullanılacaktır. Araçlar için 30 saniye yeşil ışık, 3 saniye sarı ışık yanıp sönecek ve sonra 20 saniye kırmızı ışık yanacaktır. Araçlara yeşil ışık yandığında yayalara kırmızı ışık yanması, araçlara kırmızı ışık yanıyor iken yayalara yeşil ışık yanması isteniyor. Uygun PLC ve Mikrodenetleyici yazılımı ile sistemi ayrı ayrı çalıştırmak istersek; PLC yazılımı ile çözüm Şekil 16'da gösterilmiştir.

Çizelge 7. Trafik ışıkları eğitim simülatorü teknik özellikleri

Malzeme Adı	Adet	Teknik özellik	Görevi
Sinyal lambası	20	Kırmızı Sarı Yeşil 24V DC	Yönlendirme için uyarı ışığı sağlamak
Born Vidası	40	0,9 mm	Sinyal lambaları çalışması için gerekli olan enerji kaynağı girişlerini sağlamak



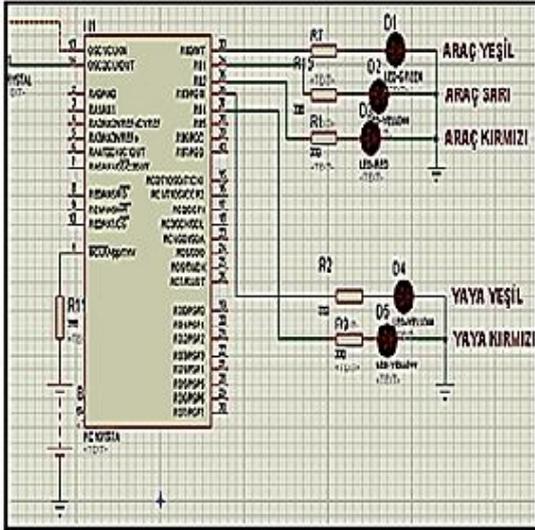
Şekil 16. PLC yazılımı ile çözüm

Sistemde x0 start butonu ile çalıştırılmaya başlanıyor. Yönlendirme ışıklarının çalıştırılması ve çalışma sürelerinin kıyaslanabilmesi için timer

komutu kullanılmıştır. Timer komutundan okunan anlık zaman değerleri, lambaların yanma süreleri ve karşılaştırma komutları ile kıyaslanarak yönlendirme ışıkları aktif veya pasif edilebilmektedir. Programın bir döngüyü tamamladıktan sonra ikinci döngüye geçmesi için timer son satırda resetlenmiştir.

### 2.5.2. Trafik Işıkları Eğitim Simülatorü Uygulaması (Mikrodenetleyici Yazılımı ile Çözüm)

Mikrodenetleyici örnek yazılımında b portları çıkış portu olarak seçilmiştir. Portlar ise b0 araç yeşil, b1 araç sarı, b2 araç kırmızı; b3 yaya yeşil, b4 yaya kırmızı olarak seçilmiştir. Aşağıdaki simülator yazılımı ile program test edilip daha sonra kontrol kartındaki entegreye program yüklenerek eğitim simülatorüne gerekli bağlantılar yapılarak trafik ışıkları otomasyonu çalışması gözlemlenebilir. Mikrodenetleyici simülator programı örneği Şekil 17'de gösterilmiştir. Ayrıca zamana bağlı ışık yanma süreleri Çizelge 8'de gösterilmiştir.



Şekil 17. Mikrodenetleyici simülör programı örneği

Mikrodenetleyici yazılımını gerçekleştirmek için öncelikle yukarıdaki program tablosu oluşturulur. Böylece hata yapılma ihtimali düşürülmüş olur. Sisteme ait mikrodenetleyici yazılımı aşağıda verilmiştir.

```
#include <16F877A.h>
#fuses XT,NOVDT,NOPROTECT

#use delay(clock=4000000)
void main()
{
    tekrar:
    set_tris_b(0b00000000);//portları çıkış
    output_b(0);
    output_b(17);//araç yeşil yaya kırmızı
    delay_ms(3000); //3sn bekle
```

Çizelge 8. Trafik ışıkları eğitim simülörü ışık süre tablosu

Açıklama	Zaman aralığı 32	Yaya kırmızı(b4) 16	Yaya Yeşil(b3) 8	Araç Kırmızı (b2) 4	Araç Sarı (b1) 2	Araç Yeşil (b0) 1
Araç yeşil (17)	3sn	1	0	0	0	1
Yeşil yan son (16)	1sn	1	0	0	0	0
Yeşil yan son (17)	1sn	1	0	0	0	1
Yeşil yan son (16)	1sn	1	0	0	0	0
Yeşil yan son (17)	1sn	1	0	0	0	1
Araç sarı (18)	1sn	1	0	0	1	0
Araç kırmızı yaya yeşil (12)	3sn	0	1	1	0	0
Baş dö n						

```
output_b(16);//yeşil yan son
delay_ms(1000);
output_b(17);//yeşil yan son
delay_ms(1000);
output_b(16);//yeşil yan son
delay_ms(1000);
output_b(17);//yeşil yan son
delay_ms(1000);
output_b(18);//araç sarı yan
delay_ms(1000);
output_b(12);//araç kırmızı yay yeşil
delay_ms(3000); //3sn bekle
goto tekrar;// baş dö n
}
```



Şekil 18. Simülör uygulamalarında kullanılan harici programlama cihazları (PLC ve mikrodenetleyici)

Otomasyon sistemleri uygulamaları eğitim simülörü, endüstride kullanılan üretim cihazlarının kimi zaman minyatürü, kimi zaman da gerçek boyutlusu kullanılarak öğrenci ve

kursiyerlerin bu materyalleri tanıma ve kullanma olanağı bulduğu, aynı zamanda PLC ya da mikodenetleyici kartları ile farklı program algoritmaları gerçekleştirerek deneysel çalışmalar yaptığı bir düzenektir. Şekil 18'de sistem kontrolünde kullanılan PLC ve mikrodnetleyici kartları görülmektedir [7,8].

### 3. TARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Türkiye'de en büyük sorunlardan birisi işsizlik değil mesleksizlik ve mesleki eğitim seviyesinin düşüklüğüdür. Herkes tarafından bilinen ve basında paylaşılan araştırma sonuçlarına göre; İstanbul genelinde 8500, Türkiye genelinde 10000'in üzerinde işyeri ile görüşülmüştür. Yalnızca İstanbul'da 8500 işyerinin ortalama yüzde yirmisinde açık iş var. Her işyerinin yüzde otuzbeşi de 'aradığım niteliklerde iş gücü bulamıyor. İş için müracat eden insanların %65'i 'yeterli deneyim ve beceriye sahip değil'. İş başvurusunda bulunanların %54'ü ise 'yeterli eğitime sahip değil. Bir yanda işsizlik diğer yanda iş gücü talebi var ama talebi karşılayacak bir program henüz tam anlamıyla oturmadı. İşveren ne iş olsa yapacak adam istemiyor.

Son yıllarda bu sorunları ortadan kaldırmak için İŞKUR iş ve meslek danışmanları aracılığıyla işletmelerin hangi tür elemana ihtiyacı olduğunu belirliyor, mesleki kurslar açıyor, teşvik veriyor ve işe yerleştiriyor. Son yıllarda yapılan çalışmalarla Meslek Liseleri ve Meslek Yüksekokullarının yeniden yapılandırılarak piyasa ihtiyaçlarına uygun yetişmiş elemanları hazırlaması beklenmektedir. Geliştirilen bu eğitim seti, öğrencilerin teorik öğrenmelerini uygulama ile desteklemiş; mezun olan öğrencilerin iş ortamlarında aldıkları bu eğitim sayesinde mesleki yeterliliklerinin artarak alanlarındaki arıza ve sorunları daha kolay ve çabuk çözümledikleri gözlenmiştir [9, 10].

### 4. SONUÇ

Mesleki ve Teknik Eğitimde etkin bir öğrenme ortamı oluşması için teorik bilgilerin uygulama örnekleri ile desteklenmesi gerekmektedir. Aksi

takdirde teknik eğitim alan bireylerin mesleki özgüvenleri yeterli seviyeye ulaşmamaktadır. Bu güven eksikliği mesleki eğitim alan bireylerin eğitim aldıkları alanda çalışmak istememesi ve mesleğini sevmemesi gibi olumsuz durumlar doğurmaktadır. Mesleki ve teknik eğitimde öğrenci ve kursiyerlerin uygulama faaliyetleri ile teorik bilgilerinin sürekli pekiştirilmesi mümkünse endüstri ortamında kullanacakları teknik gereçleri kullanmalarının tam kavranmaları için her bransa göre uygun eğitim simülatorlerinin geliştirilmesi çok önemlidir. Otomasyon sistemleri uygulamaları eğitim simülatorü, bu amaçla geliştirilen bir eğitim simülatorüdür. Bu simülator ile birden fazla üç fazlı elektrik motorunun ileri-geri kontrolü, endüstriyel sensörlerin gerekli bağlantıları yapılarak çıkış bilgisinin alınıp işlenerek başka bir alıcının kontrol edilmesi, proses kontrol cihazlarına herhangi bir sensör bağlayarak sensor bilgisinin okunup set parametre değerleri girilerek başka bir elektriksel alıcıyı çalıştırması, birbirinden bağımsız çalışan çift etkili pnömatik silindirlerin elektriksel uyarımla çalışan valfler ile kontrolü, üç fazlı asenkron bir motorun motor sürücüsü ile istenilen devirde kontrolü, motorun hızlanma zamanı, yavaşlama zamanı, uzaktan kontrolü, bilgisayar ile devir kontrolü, parametre değişikliği, döner bir kavşağın trafik sinyalizasyonunun gerçekleştirilmesi gibi yüzlerce birbirinden farklı uygulama, PLC cihazı ve mikrodnetleyici kartlar programlanarak gerçekleştirilebilmektedir.

Sonuç olarak bu eğitim simülatorü, bu konuda yetiştirilecek teknik elemanın yetişmesine büyük katkıda bulunacak, mesleki ve teknik eğitimini tamamlamış teknik elemanların da kendilerini geliştirmelerinde büyük fayda sağlayacaktır. Ayrıca bu simülator, teknik elemanda sektörün ihtiyacı olan teknik temel becerilerinin kazanılması ihtiyacını büyük ölçüde giderecektir.

### 5. KAYNAKLAR

1. Yörük, S., Dikici, A., Uysal, A., 2002. Bilgi Toplumu Ve Türkiye'de Mesleki Eğitim, Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, Cilt 12, Sayı 2, 299-312, Elazığ.

2. TİSK, 1997. Türkiye’de ve Dünyada Mesleki Eğitim, Ankara.
3. Akpınar, B., 2005. Teknik Öğretmen Yetiştirme Sorunu ve Teknik Eğitim Fakültelerinin Geleceği, GÜ, Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi, Cilt 25, Sayı 1, 259-274, Ankara.
4. Karacan, S., Karacan, E., 2004. Meslek Yüksekokullarında (MYO) Yapılan Staj Uygulamalarına İlişkin Bir Araştırma: Kalite ve Verimlilik İçin İş Yerleri-MYO İşbirliğinin Gereği, Kocaeli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 168-184, Kocaeli.
5. Şimşek, E., Bilgili, M., Küçükataş, O., 2015. Programlanabilen Mantıksal Denetleyici (Plc) İle Çalışan Split Klima Tasarımı, 1.Endüstriyel Otomasyon Kongre Ve Sergisi , Adana, Türkiye, 14-16 Mayıs, Cilt.1, no.E/MMO/642, Sayfa 143-156, Adana.
6. Akçali, İ., D., 1999. Otomatik Kontrol, Ç.Ü. Mactimarum Yayın No: 9, Adana.
7. <http://www.gemo.com.tr/> 7.01.2016 tarihinde erişildi.
8. <http://www.fastltd.com/> 07.01.2016 tarihinde erişildi.
9. <http://haber.star.com.tr/ekonomi/eleman-varama>, 9.02.2016 tarihinde erişildi.
10. <http://www.iskur.gov.tr/isarayan/kursarama.aspx> 09.012. 2016 tarihinde erişildi.



## Yapı Malzemesi Olarak Doğal Anhidritin Değerlendirilmesi

Hakan GÜNEYLİ<sup>\*1</sup>, Nil YAPICI<sup>2</sup>, Süleyman KARAHAN<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Çukurova Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fak., Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Adana

<sup>2</sup>Çukurova Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fak., Maden Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 10.02.2016

Kabul tarihi: 08.04.2016

### Özet

Bu çalışmada, doğal anhidrit ( $\text{CaSO}_4$ )'in portland çimentosu, mikronize kalsit ve pomza, doğal jips ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) ve çeşitli kimyasal katkı maddeleri ile farklı oran ve bileşimlerde hazırlanan harç örneklerinin yapı malzemesi olarak verimi değerlendirilmiştir. Hammadde olarak kullanılan doğal anhidrit ve jips Ulukışla (Niğde) bölgesinde yüzeyleyen Zeyvedeği anhidritinden derlenmiştir.

Hazırlanan örnekler ilgili (Kagir; ince ve kaba sıva harcı) Türk ve Avrupa Birliği standartları (TS EN 998-1 ve EN 998-1:2010) çerçevesindeki deneylere tabi tutulmuştur. Sonuçlar ana bileşen olarak doğal anhidritin kullanıldığı karışımların kaba ve ince sıva harcı olarak verimli şekilde kullanılabilceğini göstermektedir. Ayrıca, potasyum sülfat ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ ) ve nişasta eteri bazlı polimer katkısının malzeme dayanımını artırdığı ve doğal jipsin prizlenme süresini uzattığı saptanmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Doğal anhidrit ve jips, Yapı malzemesi, Kaba ve ince sıva harcı, Zeyvedeği anhidriti

### Evaluation of Natural Anhydrite as Building Material

#### Abstract

In this study, efficiency of mortar samples prepared in combination with mainly natural anhydrite ( $\text{CaSO}_4$ ), portland cement, natural gypsum ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), micronized calcite and pumice, and various chemical additives at different rates and in combination was evaluated as building material. Anhydrite and gypsum used as raw material were provided Zeyvedeği anhydrite formation outcropped in Ulukışla region (Niğde).

The mortar samples prepared were subjected to the tests according to relevant standards of The European Union and Turkish (TS EN 998-1 ve EN 998-1:2010). The results indicate that the mixtures in which natural anhydrite was used as the main component can be effectively used as rendering and plastering mortar.

\* **Yazışmaların yapılacağı yazar:** Hakan GÜNEYLİ, Çukurova Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fak., Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Adana, hguneyli@cu.edu.tr

The results exhibited that the additives of potassium sulfate ( $K_2SO_4$ ) and starch ether-based polymer increase strength of mortar materials. Furthermore, it was found that the natural gypsum prolongs the hardening time.

**Keywords:** Natural anhydrite and gypsum, Building material, Rendering and plastering mortar, Zeyvegediği anhydrite

## 1. GİRİŞ

Doğal anhidrit en temel anlamda susuz kalsiyum sülfat ( $CaSO_4$ ) olarak tanımlanabilir. Oluştuğu evaporitik havza içerisinde uzun jeolojik süreçlerde hidratize olarak bünyesine iki molekül su alarak sulu kalsiyum sülfat ( $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ )'a başka bir deyimle jipse dönüşür. Anhidrit ve jips arasındaki bu dönüşüm ortam koşullarına göre tersinir de olabilir [1]. Bu dönüşümler evaporitik çökel alanlarda çoğu zaman makro ve mikro ölçekte yanal ve düşey yönde geçişlidir.

Türkiye'de zengin anhidrit ve jips yatakları bulunmakta olup milyonlarca ton rezerve sahip oldukları bilinmektedir [2,3]. Yapı malzemeleri teknolojisinde daha çok jips (alçıtaşı)'in yaygın bir kullanım alanı vardır. Son yıllarda doğal anhidritin yapı malzemesi olarak kullanımı ile ilgili çalışmalar önem kazanmaya başlamıştır [3,4]. Doğal anhidritin su ilavesiyle bağlayıcılık özelliği kazanan bir malzemeye dönüşmesi, yapı malzeme teknolojisi için yeni kullanım alanları oluşturabilir.

Bu çalışmada Ulukışla (Niğde) sınırları içinde bulunan Zeyvegediği anhidrit sahasından sağlanan doğal anhidritin, çeşitli doğal ve kimyasal katkı maddeleri ile değişik oran ve içeriklerde karıştırılarak yapı (farklı tipte harç) malzemesi olarak performansları araştırılacaktır.

## 2. MALZEME

Çalışmada esas olarak malzeme olarak; Ulukışla (Niğde) bölgesinde yüzeyleyen doğal anhidrit, doğal jips, portland çimentosu, mikronize kalsit, mikronize pomza ve yapı kimyasalları kullanılmıştır.

Çalışma ana konusu olan doğal anhidrit Ulukışla

(Niğde) bölgesinde yüzeyleyen Oligosen Jipsli seri [5] ve daha sonra Zeyvegediği anhidriti [6] olarak adlandırılan Oligosen yaşlı evaporitik birim içerisinde sağlanmıştır (Şekil 1, 2). Malzeme, hafif gri renkli, camsı parlaklıkta sertliği 3 üzeri, masif görünümündedir. HCl asite tepki vermemiş ve içerisinde organik malzeme bulunmamaktadır. Safa yakın oranda kimyasal bileşime sahip sedimanter ortam koşullarında oluşmuş mineral özelliğindedir. Yapısal özelliği ve ince kristalin yapısı, sertliği, kalsiyum sülfat ailesinden anhidrit özelliğindedir.



Şekil 1. Doğal anhidrit ve jipsin saha görünümü (Ulukışla, bakış doğuya)

Sahadan alınan ana malzeme olan anhidritin binoküler polarizan mikroskopta belirlenen özelliklerine göre ana parajenez, anhidrit kristallerinden oluşmuştur. Yüksek röliefli ve çift kırma özellikleri ile diğer minerallerden ayrılmaktadır. Doğal anhidritin kimyasal ve fiziksel özellikleri Çizelge 1'de özetlenmiştir.

Anhidrit kristalleri, porfiroblast dokulu olup, birincil özelliktedir. Az miktarda ikincil oluşumlu jips kristalleri kenetli dokusu ile gözlenmiştir. Porfiroblast dokulu birincil anhidritler, iri



**Çizelge 1.** Doğal anhidritin kimyasal ve fiziksel özellikleri

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ni	Sc	LOI
(%)											PPM	PPM	%
0,05	<0,01	<0,04	0,19	41,97	0,03	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,002	<20	<1	0,8
SO <sub>4</sub> (Sülfat İçeriği)					66,09								
Kristal Su (%)					0,13								
pH					6,42								
CaSO <sub>4</sub> (%)					93,63								
Ağırlıkça Su Emme (%)					0,18 (Ortalama)								
Kuru Birim Hacim Ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )					2,780 (Ortalama)								
Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )					2,850 (Ortalama)								
Özgül Ağırlık					2,96								

prizmatik-çubuksu görünümündedir. Anhidrit kristallerinde kataklastik doku benzeri değişik yönlü burulma-burkulmalara rastlanılmıştır.



(a)



(b)

**Şekil 2.** Doğal anhidritin yakından görünümü

Kesit bünyesinde anhidritten jips dönüşümleri yer yer izlenilmiştir. Yine karbonat bantları arasında

birincil anhidrit ve ikincil jips oluşumları bantlı olarak tespit edilmiştir. Boşluk dolgululu olanlarda iğnemi kristallere de rastlanılmıştır. Kil minerallerine rastlanılmamıştır. Organik yapı içeriği bulunmamaktadır (Şekil 3). Doğal jips malzemesi de Zeyvegediği anhidriti olarak adlandırılan sedimanter birimin farklı seviyelerinden sağlanmıştır. Karışımlarda kullanılan diğer malzemeler ticari olarak kullanılan yapı malzemeleridir.

Mikronize kalsit ve pomza 800 mikron açıklığındaki elekten elenmiş ve elek altı malzeme kullanılmıştır. Su iticilik, geçirimsizleştirme, esneklik, yüzeylerde farklı türde yapışma (adhezyon), reolojik davranış üzerinde nötr etki, uzun işlenebilirlik ve darbe dayanımı artırma özelliği kazandırma amacıyla nişasta eteri bazlı polimer (NE) katkısı kullanılmıştır. Yaş harcın işlenebilirliğini artırma ve çimento hidrasyonunu sağlama amacıyla su tutma özelliği için selüloz eter polimerinden (SE) yararlanılmıştır. Priz hızlandırıcı olarak potasyum sülfat (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) kullanılmıştır.

### 3. YÖNTEM

Öncelikle saha çalışmalarıyla Ulukışla bölgesinde yüzeyleyen Zeyvegediği anhidriti olarak adlandırılmış olan sedimanter birimden doğal



**Şekil 3.** Yüksek girişim renkleri ve bükülme izleri ile belirgin anhidrit kristalleri

anhidrit ve jipsler alınmış, malzeme laboratuvar ortamında 24°C’de kurutulmuştur. Daha sonra bunlar çeneli kırıcıda kırılıp öğütülerek 500 mikronluk elekten elenerek toz haline getirilmiştir. Toz haldeki anhidrit ve jips numuneleri 65 °C’lik etüvde yeniden kurutulduktan sonra kimyasal ve indeks özelliklerinin belirlenmesi amacıyla deneylere tabi tutulmuştur. Kimyasal analizler sonuçları ve temel fiziksel özellikleri Çizelge 1’de özetlenmiştir.

Temel olarak bu çalışmada, toz haline getirilen doğal anhidritin sıva olarak verimini ve kullanılabilirliğini analiz etmek amacıyla yukarıda ayrıntısı verilen doğal ve kimyasal katkı maddeleri ile belirli oranlarda karıştırılarak elde edilen farklı içeriklerdeki davranışı irdelenmiştir. Bu amaçla doğal anhidrite çeşitli kombinasyonlarda eklenen doğal ve kimyasal katkı malzemeleri ile kuru karışımlar hazırlanmıştır. Karışım oranları kuru ağırlıklara göre belirlenmiştir. Kuru olarak elde edilen toz karışımlar homojen hale getirilinceye kadar dikkatli bir şekilde elle karıştırılmıştır. Daha sonra tüm karışımlar %20 saf su eklenerek önce elle karıştırılmış; daha sonra 500 dev/dk’lık mikserle 15 dk karıştırılmıştır. Homojen hale gelmiş jel kıvamındaki malzeme sarsma tablasına monte edilebilen 4x4x20 cm hacimli kalıplara üç tabaka halinde yerleştirilmiştir. Her tabaka, yerleşmenin ideal olması ve hava kabarcıklarının malzeme dışına atılması sağlamak amacıyla belirli sarsma işlemine tabi tutulmuştur. Daha sonra açık

olan yüzey çelik bir düzelticiyle sıfırlanarak örnek prizlenmeye bırakılmıştır. 7 ve 28 gün prizlenme sürelerinden sonra basınç dayanımı, bağ dayanımı, eğilmede çekme dayanımı, adezyon dayanımı, kapiler su emme, su buharı geçirgenliği, tekrarlı yıpranma, priz başlangıç süresi (TS EN 1015’e göre) [7] ve ısı iletkenlik (TS EN 1745:2004’e göre)[8] deneylerine tabi tutulmuşlardır. Deney sonuçları öncelikle ilgili Türk ve Avrupa Birliği standartları olan sırasıyla TS EN 998-1 ve EN 998-1:2010’a [9,10] göre değerlendirilmiş; daha sonra kendi içinde bileşenlerin oransal değişimlerinin sıva performansına etkileri irdelenmiştir.

#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Çizelge 2’de ana hammadde olan anhidrite çeşitli oranlarda eklenen kimyasal katkılar ve doğal malzemeler (mikronize edilmiş; 800 mikron elek altı kalsit ve pomza) ile hazırlanmış sıva numuneleri üzerinde yapılmış gerekli deney sonuçları özetlenmiştir. Genel anlamda oransal olarak çimento miktarı arttıkça basınç dayanımının arttığı söylenebilir. Yakın anhidrit/çimento oranında  $K_2SO_4$ ’ın 0,5 den 1,50%’a ve nişasta eteri bazlı polimer (NE)’in %0,17’den %1,00’e artışı basınç dayanımını 10,5’den 18,2 N/mm<sup>2</sup>’ye çıkarmıştır. Ayrıca kimyasal katkılardaki bu artış (1 ve 2 nolu örnekler için) kuru yoğunluğun 1,35 kg/m<sup>3</sup>’den 1,68 kg/m<sup>3</sup>’e; bağ dayanımının 0,5 N/mm<sup>2</sup>’den 1,14 N/mm<sup>2</sup>’e; kapiler su emme katsayısının 0,2’den 0,3’e; tekrarlı yıpranma döngüsü sonunda su buharı geçirgenlik katsayısının kaba (dış) sıva standardı için 10,26’den 13,86’ya ve ince (iç) sıva standardı için 7,59’dan 20,62’ye; ısı iletkenlik katsayısının 0,42’den 0,69’a; tekrarlı yıpranma döngüsü sonunda su emme katsayısının 0,2’den 0,4’e ve tekrarlı yıpranma döngüsü sonunda bağ dayanımının 0,43’den 0,83’e çıkmasına neden olmuştur. Basınç dayanımı için benzer durum 3 ve 4 numaralı örneklerde de gözlenmektedir. 3 ve 4 numaralı örnekler baz alındığında dayanım artışında nişasta eteri bazlı polimer (NE) artışının da etkili olduğu söylenebilir. Yine çok yakın anhidrit/çimento içeriğine sahip 4 ve 5 numaralı örnekler incelendiğinde  $K_2SO_4$  ve NE artışı basınç dayanımını belirgin şekilde artırmıştır. 4 ve 6



numaralı örnekler karşılaştırıldığında çimento miktarı azalmasına karşın  $K_2SO_4$  ve NE artışının basınç dayanımını az da olsa artırdığı ortaya çıkmaktadır.

7 ve 8 numaralı örneklerde karışım iki farklı oranda mikronize pomza eklenerek hazırlanmıştır. Bu örnekler karşılaştırıldığında çimento miktarı %12,02'den %20'ye çıkmasına karşın  $K_2SO_4$  ve nişasta eteri bazlı polimer (NE)'deki artışı basınç dayanımını 16,8 N/mm<sup>2</sup>'den 10,6 N/mm<sup>2</sup>'ye düşürmüştür. Ayrıca ısı iletkenlik ve kapiler su emme değerlerinde de belirgin bir azalma oluşmuştur. 4-6 ve 7-8 numaralı örneklerde ortaya çıkan benzer durum  $K_2SO_4$  ve nişasta eteri bazlı polimer (NE) artışının basınç dayanımında çimentoya göre daha etkin olduğunu göstermektedir.

9 numaralı örnek karışıma mikronize kalsit eklenerek hazırlanmıştır. Bu karışım bileşen oranları mikronize kalsit hariç 8 numaralı örnekle aynıdır. Yalnızca mikronize pomza yerine mikronize kalsit ile hazırlanmıştır. 8 ve 9 numaralı örnekler karşılaştırıldığında, kuru yoğunluğun 1,48'den 1,28kg/m<sup>3</sup>'e; basınç dayanımının 10,6'dan 7,40N/mm<sup>2</sup>'ye ısı iletkenlik katsayısının 0,51'den 0,38'e düştüğü ve kapiler su emme katsayısının aynı kaldığı görülmektedir. Bu sonuçlar sıva malzemesinde mikronize kalsitin ısı yalıtımı için mikronize pomzadan daha etkin olduğunu göstermektedir, başka bir deyimle mikronize kalsitin ısı yalıtımı mikronize pomzadan daha etkindir. Ayrıca NE'nin ısı yalıtımında olumlu sonuç verdiği söylenebilir.

1 ve 7 numaralı örnekler karşılaştırıldığında kimyasal katkı maddelerinin hemen hemen aynı tutulduğu ve yalnızca çimento miktarı azaltılarak yerine yaklaşık aynı oranda (%12) mikronize pomza eklendiği bir durum ortaya çıkar. Çimento yerine %12'lik mikronize pomza ilavesi (1 ve 7 nolu örnekler için), kuru yoğunluğun 1,68 kg/m<sup>3</sup>'den 1,72 kg/m<sup>3</sup>'e; basınç dayanımının 18,2 N/mm<sup>2</sup>'den 16,8 N/mm<sup>2</sup>'ye; bağ dayanımının 1,14 N/mm<sup>2</sup>'den 0,21 N/mm<sup>2</sup>'ye; su buharı geçirgenlik katsayısının kaba (dış) sıva standardı için 13,86'dan 12,40'a ve ince (iç) sıva standardı için 20,62'den 18,88'e; tekrarlı yıpranma döngüsü

sonunda bağ dayanımının 10 mm kalınlığındaki tabaka için 0,83'den 0,15'e ve 20mm kalınlığındaki tabaka için 0,50'den 0,10'e düşmesine, bunun yanında kapiler su emmesinin 0,3'den 0,4'e ve son olarak tekrarlı yıpranma döngüsü sonunda su emme katsayısının 10 mm kalınlığındaki tabaka için 0,4'den 0,6'ya yükselmesine neden olduğu ortaya çıkmıştır. 1 numaralı örnek ve pomza eklenerek hazırlanan 7 numaralı örneğin karşılaştırması, eksilen çimento miktarı kadar eklenen pomzanın dayanım parametreleri ve su buharı geçirgenlik katsayısını azaltırken kapiler su emme potansiyelini artırdığını ortaya koymaktadır (Çizelge 2).

Yukarda ayrıntıları verilen sıva örneklerinin dışında doğal anhidrit ve sönmüş kireç (CaOH), doğal jips ve kimyasal katkı maddeleri ile de aynı yol izlenerek farklı oranlarda üç karışım hazırlanmıştır. Karışımlarda çimento ve selüloz eter bazlı polimer katkısı sabit tutulmuş diğer bileşenlerin oranları değiştirilmiştir. Bu örnekler priz başlangıç süresi, eğilmede çekme dayanımı, basınç dayanımı ve adezyon dayanımı deneylerine tabi tutulmuştur (Çizelge 3). 10, 11 ve 12 numaralı örneklerin basınç ve eğilmede çekme dayanım değerleri birbirine oldukça yakındır. Bununla birlikte prizlenme süreleri ve adezyon dayanımlarında kayda değer farklılıklar ortaya çıkmıştır. Bu verilere göre doğal jips artışı açıkça prizlenme süresinin artmasına neden olmaktadır. Ayrıca doğal jips içeriği hariç diğer bileşenleri hemen hemen aynı olan 11 ve 12 numaralı örnekler karşılaştırıldığında,  $K_2SO_4$ 'ın %1,05'den %1,50 çıkması adezyon dayanımında hissedilir bir artış meydana getirdiği söylenebilir (Çizelge 3).

Deney sonuçları Türk ve Avrupa Birliği standartları olan sırasıyla TS EN 998-1 ve EN 998-1:2010'a göre "Sertleşmiş harçların sahip olması gerekli özellikleri" skalasına göre değerlendirilmiştir. Sınıflandırma için gerekli tüm deney sonuçları elde edilen 1, 2, 7, 8 ve 9 numaralı sıva harcı örnekleri kullanılmıştır. Buna göre 1, 2, 8 ve 9 numaralı örnekler Genel amaçlı kaba/ince sıva harcı (GP), Renkli kaba sıva harcı (CR, bir renklendirici madde kullanılarak) ve Dış kullanım için tek tabaka kaba sıva harcı (OC) sınıflarını tutturmaktadır. 7 numaralı örnek nisbeten

**Çizelge 3.** Doğal anhidrit'in Çizelge 2'deki katkılara ek olarak jips ve sönmüş kireç ile hazırlanmış sıva örneklerinin deney verileri (SE: Selüloz eteri bazlı polimer katkı)

Örnek No	İçerik		Priz Başlangıç Süresi (dk)	Eğilmede Çekme Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	Basınç Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	Adezyon Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )
10	Anhidrit-Çimento	45,90-2,66%	333	1,3	3,1	0,13
	CaCO <sub>3</sub>	31,60%				
	Jips	16,63%				
	CaOH	2,15%				
	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1,00%				
	SE	0,07%				
11	Anhidrit-Çimento	53,77-2,67%	265	1,4	3	0,07
	CaCO <sub>3</sub>	29,45%				
	Jips	12,00%				
	CaOH	1,00%				
	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1,05%				
	SE	0,06%				
12	Anhidrit-Çimento	53,77-2,67%	287	1,2	2,6	0,12
	CaCO <sub>3</sub>	31,60%				
	Jips	9,40%				
	CaOH	1,00%				
	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1,50%				
	SE	0,06%				

yüksek kapiler su emme (0,4) oranından dolayı sınıflamaları tutturamamıştır. Diğer örnekler için gerekli tüm deney sonuçları elde edilemediğinden sınıflandırmaya alınamamışlardır.

Diğer harç sınıfları olan Hafif kaba/ince sıva harcı (LW), Yenileme harcı (R) ve Isı yalıtım harcı (T) için çok daha düşük dayanıma sahip karışımlar yeterlidir. Bu bağlamda LW ve R tipi harçlar için dayanımın düşürülmüş ve çok daha düşük maliyetli doğal anhidrit esaslı harçlar üretmek olasıdır. R tipi harçlar için daha düşük dayanımlar yeterli olmasına karşın bu çalışmada üretilen sıva harcı karışım örneklerinin hiçbiri ısı yalıtım standardını sağlayamamıştır. Dolayısıyla dayanımı azaltılmış ancak ısı yalıtım özelliği istenen düzeye çıkarılmış doğal anhidrit esaslı harç üretimi ilerleyen aşamalarda üzerinde durulması gereken çalışmalardandır.

## 5. SONUÇLAR

Zeyvedeği anhidriti olarak adlandırılan doğal anhidritin çeşitli doğal ve kimyasal katkı maddeleri

ile karıştırılması ile elde edilen harç örnekleri üzerinde yapılan deney sonuçları aşağıda özetlenmiştir.

- Doğal anhidrit çimento ile çeşitli oranlarda karıştırılarak ince veya kaba sıva harcı olarak kullanılabilir özellik göstermektedir. Sınıflandırmalar TS EN 998-1 ve EN 998-1:2010'a [9,10] standartlarına göre yapılmıştır. Sonuçlar, ana hammadde olarak doğal anhidrit ile birlikte başta portland çimentosu, mikronize kalsit ya da pomza, doğal jips, potasyum sülfat (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), selüloz ve nişasta eteri bazlı polimerlerin çeşitli oranlarda ve değişik kombinasyonlarda karıştırılması ile standart koşullarına uygun "Genel amaçlı kaba/ince sıva harcı (GP)", "Renkli kaba sıva harcı (CR, bir renklendirici madde kullanılarak)" ve "Dış kullanım için tek tabaka kaba sıva harcı (OC)" üretilebileceğini göstermektedir. Diğer harç sınıfları ve daha düşük dayanım değerleri gerektiren "Hafif kaba/ince sıva harcı (LW)", "Yenileme harcı (R)"nın üretimi bu çalışmada

incelenen doğal anhidrit kullanılarak yukarıda söz edilen malzemelerden daha kolay ve düşük maliyetli olacaktır. Yine daha düşük dayanımda olabilen” Isı yalıtım harcı (T)” için ise doğal anhidrit esaslı karışımlar için ısı yalıtım özelliğini artırabilecek araştırmalar başarılı sonuçlar verebilir.

- Çimento miktarındaki artış basınç dayanımını önemli ölçüde yükseltmesine karşın,  $K_2SO_4$  ve nişasta eteri bazlı polimer basınç dayanımındaki artış üzerinde daha etkilidir.
- Hazırlanan harç örneklerinde mikronize kalsit ısı yalıtımı için mikronize pomzadan daha etkili bir malzemedir ayrıca nişasta eteri bazlı polimerin de ısı yalıtımında olumlu sonuç verdiği söylenebilir.
- Belirli oranlarda eksilen çimento miktarı kadar eklenen pomza, dayanım parametrelerini ve su buharı geçirgenlik katsayısını azaltırken kapiler su emme potansiyelini artırmaktadır.
- Hazırlanan harç karışımlarında doğal jips miktarındaki artış prizlenme süresinin artmasına neden olmaktadır. Ayrıca doğal jips içeriği hariç diğer bileşenleri hemen hemen aynı olan örnekler karşılaştırıldığında,  $K_2SO_4$ 'ın artışı adezyon dayanımında hissedilir bir artış meydana getirmektedir.

5. Blumenthal, M., 1956. Yüksek Bolcardağı Kuzey Kenarı Bölgelerinin ve Batı Uzantılarının Jeolojisi. Maden Tetkik Arama Enst. Seri D, 7, 153s., Ankara.
6. Oktay, F. Y., 1982. Ulukışla ve Çevresinin Stratigrafisi ve Jeolojik Evrimi. Türkiye Jeol. Kur. Bült., 25:1, 15-24
7. TS EN 1015-2, 2010. Kâgir Harçları-Deney metotları, Ankara.
8. TS EN 1745, 2004. Kâgir ve Kâgir Mamulleri - Tasarım Isıl Değerlerinin Tayini Metotları, Ankara.
9. TS EN 998-1, 2011. Kâgir Harcı-Özellikler Bölüm 1: Kaba ve İnce Sıva Harcı, Ankara.
10. EN 998-1, 2010. Specification for Mortar for Masonry - Part 1: Rendering and Plastering Mortar.

## 6. KAYNAKLAR

1. Bates, R.L., 1969. Geology of the Industrial Rocks and Minerals, Dover Publications, 459 s, New York.
2. Çayırılı, H., 1991. Alçıtaşı ve Türkiye Alçıtaşı Yatakları, Ulusal Alçı Kongresi Bildiriler Kitabı, 7-17, İstanbul.
3. İstanbulluoğlu, Y. S., 1997. Alçıtaşı ve Anhidrit Üzerine Bir Çalışma, Madencilik, 36, 2-3, 13-23.
4. Žvironaitė, J., Gerulis, P., Regina, K.J, 2007. Investigation of Composite Anhydrite Cement Pozzolana Binding Material with Different Aggregates. The 9th International Conference Modern Building Materials, Structures and Techniques: Selected Papers, 1, 218-222, May 16-18, 2007 Vilnius, Lithuania.

## Çekme Rijitleşmesinin FRP ve Çelik Donatılı Betonarme Kirişlerin Yük-Deplasman Davranışı Üzerindeki Etkisi

İsmail ÜNSAL<sup>1</sup>, Cengiz DÜNDAR<sup>1</sup>, A. Kamil TANRIKULU\*<sup>1</sup>

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

Geliş tarihi: 10.02.2016

Kabul tarihi: 09.03.2016

### Özet

Bu çalışmada çekme rijitleşmesinin, FRP ve çelik donatılı betonarme kirişlerin yük-deplasman davranışı üzerindeki etkisi teorik olarak incelenmiştir. Bu amaçla yapılan analizlerde, literatürde mevcut çeşitli deneysel çalışmalarda test edilmiş olan 12 adet FRP ve çelik donatılı kiriş numunesi esas alınmıştır. Çekme rijitleşmesinin eğilme davranışı üzerindeki etkisini incelemek üzere hesaplarda iki bölgeyi doğrusal çekme rijitleşmesi modeli kullanılmıştır. Bu modelde çekme rijitleşmesini  $\alpha_{ts}$  parametresi kontrol etmektedir. Yapılan analizlerle, her bir kiriş için  $\alpha_{ts}$  parametresinin 2 ile 25 arasında değişen değerlerine bağlı olarak yük-deplasman eğrisi elde edilmiştir. Analizlerden elde edilen sonuçlar, mevcut deneysel çalışmalarda verilen kiriş numunelerine ait yük-deplasman ilişkileriyle karşılaştırılmıştır. Deney sonuçları ile en uyumlu yük-deplasman ilişkisini sağlayan  $\alpha_{ts}$  değerleri kaydedilmiştir. Sonuç olarak yük-deplasman davranışı belirlenmek istenen FRP ve çelik donatılı betonarme kirişlerin analizi için hesaplarda esas alınması gereken  $\alpha_{ts}$  değerinin, donatı oranı ve donatı elastisite modülü gibi faktörlere bağlı olarak önemli oranda değişkenlik gösterdiği belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Çekme rijitleşmesi, FRP donatılı kiriş, Şekil değişme, Deplasman

## Tension Stiffening Effect on Load–Deflection Behavior of Concrete Beams Reinforced with FRP and Steel Bars

### Abstract

In this study, tension stiffening effect on load-deflection behavior of concrete beams reinforced with FRP and steel bars is investigated. A total of 12 FRP reinforced concrete beam specimens, available in the literature, were considered in the analysis. In order to investigate tension stiffening effect on flexural behavior, bilinear tensile stress-strain model was considered for concrete material. In this model the parameter  $\alpha_{ts}$  controls the tension stiffening effect on the load-deflection behavior of the beam. Load-deflection curves for the specimens were obtained with varying  $\alpha_{ts}$  between 2 to 25, and then were compared with the experimental results. In conclusion it is observed that the value of  $\alpha_{ts}$  to be taken into account for calculations in order to predict load-deflection behavior of reinforced concrete beams significantly depend on the reinforcement ratio and the mechanical properties of reinforcement.

**Keywords:** Tension stiffening, FRP reinforced beam, Strain, Load-deflection, Moment-curvature

\* Yazışmaların yapılacağı yazar: A. Kamil TANRIKULU, Çukurova Ü. Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana. akt@cu.edu.tr

## 1. GİRİŞ

Eğilmeye çalışan betonarme elemanlarda, ilk çatlama sonrası hemen sonra komşu iki çatlak arasında kalan beton, donatı ile olan aderansı nedeniyle oluşan çekme gerilmesinin taşınmasına katkı sağlamaktadır. Betonarme elemanın bu andaki eğilme rijitliği, beton çekme dayanımı ihmal edilerek hesaplanan eğilme rijitliğinden daha büyük olmaktadır. Çekme rijitleşmesi denilen bu etki, özellikle düşük donatı oranına sahip kiriş kesitlerinde çatlamanın ilk aşamalarında moment - eğrilik ilişkisine yön vermekte ve yük altında eğilme davranışını önemli ölçüde etkilemektedir.

Çekme rijitleşmesinin gerek FRP donatılı gerekse çelik donatılı betonarme kirişler üzerindeki etkisinin belirlenmesine ilişkin pek çok sayıda teorik ve deneysel çalışmalar yapılmıştır. Stramandinoli ve Rovere [1] çalışmalarında çekme rijitleşmesi için, çelik ve betonun modüler oranına ve donatı oranına bağlı olan, CEB modelinden türetilmiş bir parametrenin belirleyici olduğu yeni bir model önermişlerdir. Allam, Shoukry, Rashad, Hassan [2] önerdikleri analitik modelde çekme rijitleşmesinin alt sınırını belirlemeye çalışmışlardır. Ayrıca çekme bölgesindeki betonun toplam katkısını hesaplamak üzere yapılan sonlu elemanlar analizi ile elde ettikleri değeri elemanda çekme rijitleşmesinin üst sınırı olarak kabul etmişlerdir. Yaptıkları analizlerde artan eğilme donatısı oranına karşılık çekme rijitleşmesinin azaldığını gözlemlemişlerdir. Wu ve Gilbert [3], modifiye ettikleri CEB-FIB modelini nonlineer sonlu elemanlar programına uyarlamışlar ve çekme rijitleşmesini kullanılabilirlik sınır durumunda belirlemeye çalışmışlardır. Önerdikleri model ile eksenel çekme yükü altındaki elemanlara ait gerilme, deformasyon ve çatlak genişlikleri belirlenmiştir. Yankelevsky, Jabareen ve Abutbul [4], eksenel çekme ile yüklenen silindirik kesitli, tek donatılı bir elemanın artan yük altında rijitliğindeki sürekli değişimi inceleyerek bir boyutlu model geliştirmişlerdir.

Literatürde mevcut olan iki bölgeyi doğrusal çekme rijitleşmesi modelinde çekme rijitleşmesini  $\alpha_{ts}$  parametresi kontrol etmekte ve  $\alpha_{ts}$  için 2 ile 25 arasında bir değer alınması önerilmektedir. Ancak

bu değer aralığındaki farklı  $\alpha_{ts}$  değerleri esas alınarak yapılan hesaplardan oldukça farklı yük-deplasman eğrileri elde edilmektedir.

Bu çalışmada,  $\alpha_{ts}$  parametresi donatı oranı ve donatının mekanik özellikleri gibi etkenlerle ilişkilendirilmiştir. Bu amaçla yapılan analizler için, literatürde mevcut olan çeşitli deneysel çalışmalarda test edilmiş 12 adet FRP donatılı kiriş numunesi esas alınmıştır. Her bir kiriş için  $\alpha_{ts}$  parametresinin 2 ile 25 arasında değişen değerlerine bağlı olarak yapılan analizlerle yük-deplasman eğrileri elde edilmiştir. Analiz sonuçları, mevcut deneysel çalışmalarda verilen kiriş numunelerine ait yük-deplasman ilişkileriyle karşılaştırılmıştır. Deneysel sonuçları ile en uyumlu yük-deplasman ilişkisini belirleyen  $\alpha_{ts}$  değerleri kaydedilmiştir. Yük-deplasman davranışı belirlenmek istenen FRP ve çelik donatılı betonarme kirişlerin analizi için hesaplarda esas alınması gereken  $\alpha_{ts}$  değerinin, donatı elastisite modülü ve donatı oranı gibi faktörlere bağlı olarak önemli oranda değişkenlik gösterdiği belirlenmiştir.

## 2. MALZEME MODELLERİ VE SAYISAL YÖNTEM

Bu çalışmada, Dündar ve arkadaşları [5] tarafından geliştirilmiş olan, FRP ve çelik donatılı yatay taşıyıcı sistemleri herhangi bir yükleme ve mesnetlenme koşulu altında analiz ederek elemanların yük-deplasman davranışını belirleyen bir bilgisayar programı kullanılmıştır. Sistem deplasmanlarının hesabında rijitlik matrisi yöntemi kullanılmaktadır. Programda kullanılan sayısal yöntemde, analizin ilk adımında sistemdeki farklı donatıya sahip tüm kesitler için moment - eğrilik ilişkileri kesitin taşıma gücü moment kapasitesi seviyesine kadar hesaplanmakta ve saklanmaktadır. Moment-eğrilik ilişkileri hesaplanırken ilk olarak tarafsız eksen derinliği ve beton basınç bölgesinde en dış lifteki şekil değiştirme ( $\epsilon_c$ ) için bir başlangıç değeri belirlenmekte, denge denklemleri ve uygunluk şartı sağlanıncaya kadar iterasyonlara devam edilmektedir. Her ( $\epsilon_c$ ) değeri için yeni bir moment-eğrilik değeri hesaplanmaktadır. Beton basınç



bölgesinde en dış lifte maksimum şekil değiştirmeye ulaşıncaya kadar moment-eğrilik ilişkileri hesaplanmaya devam edilmektedir. Daha sonra dış yükler altında sistemin lineer elastik analizi yapılmaktadır. Bu analiz sonucu elde edilen eleman uç kuvvetleri kullanılarak elemanlarda çatlama ve çatlama bölgeleri belirlenmekte ve her bölgenin eleman rijitliğine katkısı daha önce belirlenmiş olan moment-eğrilik ilişkileri de kullanılarak sayısal integrasyon tekniği ile hesaplanmaktadır.

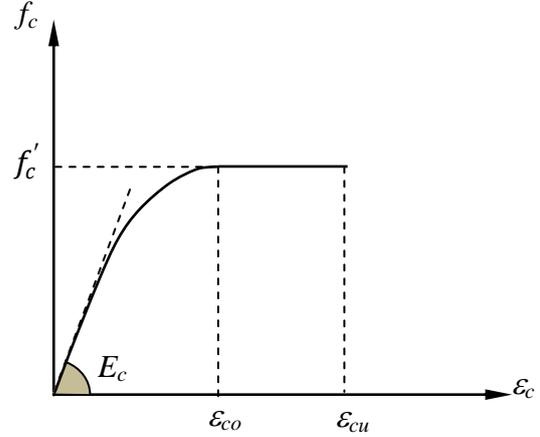
Programda elemanlara ait efektif rijitlikler, çatlama kesit analizi ile hesaplanan moment - eğrilik ilişkisinden elde edilebildiği gibi, literatürdeki ACI440.1R [6], ACI440-H [7], CEB [8], Bischoff [9], ISIS [10] gibi mevcut modeller de dikkate alınarak hesaplanabilmektedir. Bu şekilde eleman rijitlikleri belirlendikten sonra sistem rijitlik matrisi oluşturularak çözüme gidilmekte, düğüm deplasmanları ve eleman uç kuvvetleri hesaplanmaktadır.

Programa tanımlanan yakınsama kriteri sağlanıncaya kadar iterasyonlara devam edilmektedir. Program dikdörtgen kesitli yatay taşıyıcı sistemleri üniform veya tekil yükler altında çözümlenebilmekte, kesitlerde bulunan çelik veya FRP donatısını buldukları konuma göre çekme veya basınç donatısı olarak dikkate alabilmektedir. Beton basınç bölgesi için gerilme-şekil değiştirme modeli olarak Hognestad veya CEB-FIB [11] modelleri seçilebilmektedir. Beton çekme bölgesi için literatürde verilen herhangi bir gerilme-şekil değiştirme modeli kullanılabilir.

Bu çalışmada beton basınç bölgesinde gerilme-şekil değiştirme ilişkisi için Şekil 1 de verilen ve (1) denklemlerinde tanımlanan CEB-FIB modeli kullanılmıştır. Denklemlerde  $\varepsilon_{co} = 0,002$ ,  $\varepsilon_{cu} = 0.003$  alınmıştır.

$$f_c = f'_c \left[ \frac{2\varepsilon_c}{\varepsilon_{co}} - \left( \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{co}} \right)^2 \right] \quad \varepsilon_c \leq \varepsilon_{co} \quad (1a)$$

$$f_c = f'_c \quad \varepsilon_{co} \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{cu} \quad (1b)$$



Şekil 1. Beton basınç bölgesinde gerilme-şekil değiştirme için CEB-FIB modeli

FRP gerilme-şekil değiştirme ilişkisi Şekil 2 de de görüldüğü gibi kopma anına kadar lineer elastik alınmış ve (2) denklemi ile tanımlanmıştır.

$$f_f = E_f \varepsilon_f \quad \varepsilon_f \leq \varepsilon_{fu} \quad (2)$$

(2) denkleminde  $f_f$  ve  $\varepsilon_f$  sırasıyla FRP donatısındaki gerilme ve şekil değiştirmeyi;  $E_f$  FRP donatısının elastisite modülünü ve  $\varepsilon_{fu}$  kopma anındaki şekil değiştirmesini göstermektedir.

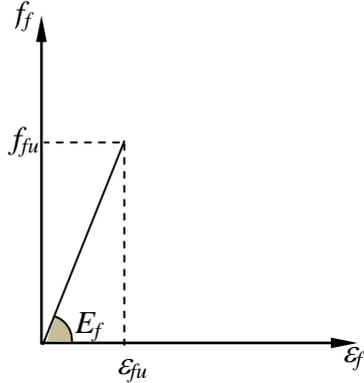
Çeliğin gerilme-şekil değiştirme ilişkisi için, Şekil 3 te verilen ve (3) denklemi ile tanımlanan elasto-plastik malzeme modeli kullanılmıştır.

$$f_s = E_s \varepsilon_s \leq f_y \quad (3)$$

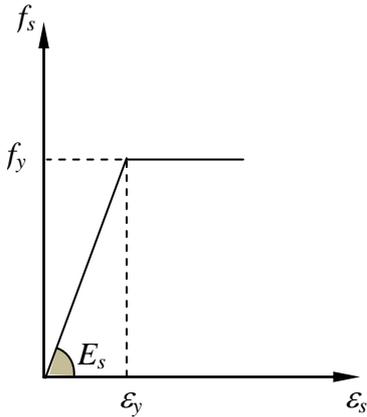
(3) denkleminde  $f_s$  and  $\varepsilon_s$  sırasıyla çeliğin gerilme ve şekil değiştirmesini,  $E_s$  ve  $f_y$  ise çeliğin elastisite modülü ve akma gerilmesini göstermektedir.

### 3. ÇEKME RİJİTLEŞMESİ PARAMETRESİNİN KİRİŞLERİN EĞİLME DAVRANIŞINA ETKİSİ

Kirişlerde çekme rijitleşmesi etkisi, eğilme davranışı altında elemanda ilk çatlama olmadan hemen sonra komşu iki çatlak arasında kalan betonun,



Şekil 2. FRP donatısının gerilme-şekil değiştirme ilişkisi



Şekil 3. Çeliğin gerilme-şekil değiştirme ilişkisi

donatı ile olan aderansı nedeniyle çekme bölgesindeki mevcut gerilmenin taşınmasına katkı sağlaması olarak tanımlanmaktadır. Aynı zamanda elemanın eğilme rijitliğine de sağladığı katkı nedeniyle bu etki, özellikle düşük donatı oranına sahip kiriş kesitlerinde çatlamanın ilk aşamalarında moment - eğrilik ilişkisine yön vermekte ve yük altında eğilme davranışını önemli ölçüde etkilemektedir. Bu çalışmada, çekme rijitleşmesi etkisini incelemek üzere iki bölgeli doğrusal çekme rijitleşmesi modeli esas alınmıştır. Şekil 4 te ve (4) denklemlerinde görüldüğü üzere iki bölgeli doğrusal çekme rijitleşmesi modelinde çekme rijitleşmesini  $\alpha_{ts}$  parametresi kontrol

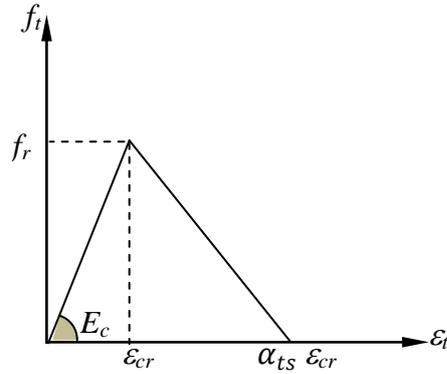
etmektedir.  $\varepsilon_{ctu}$  kırılma anındaki şekil değiştirme olup ( $\varepsilon_{cr}$ ) çatlama anındaki şekil değiştirme değerinin  $\alpha_{ts}$  parametresi ile çarpılması sonucu elde edilmektedir.

$$f_t = E_c \varepsilon_t \quad \varepsilon_t \leq \varepsilon_{cr} \quad (4a)$$

$$f_t = f_r - \frac{f_r}{\varepsilon_{ctu} - \varepsilon_{cr}} (\varepsilon_t - \varepsilon_{cr}), \quad (4b)$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_{ctu} &\geq \varepsilon_t \geq \varepsilon_{cr} \\ \varepsilon_{ctu} &= \alpha_{ts} \varepsilon_{cr} \end{aligned} \quad (4c)$$

(4) denklemlerinde  $f_i$  betonun çekme gerilmesini,  $E_c$  betonun elastisite modülünü,  $f_r$  ise betonun çatlama gerilmesini göstermektedir.



Şekil 4. İki bölgeli doğrusal çekme rijitleşmesi modeli

Literatürde çekme rijitleşmesi parametresi  $\alpha_{ts}$  için 2 ile 25 arasında değer alınması önerilmektedir. Ancak bu değer aralığındaki farklı  $\alpha_{ts}$  değerleri esas alınarak yapılan hesaplardan oldukça farklı yük-deplasman eğrileri elde edilmektedir. Bu çalışmada,  $\alpha_{ts}$  parametresinin kirişlerin eğilme davranışı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu amaçla yapılan analizler için, literatürde mevcut olan çeşitli deneysel çalışmalarda test edilmiş 12 adet FRP ve çelik donatılı kiriş numunesi esas alınmıştır. Her bir kiriş için  $\alpha_{ts}$  parametresinin 2 ile 25 arasında değişen değerlerine bağlı olarak yapılan analizlerle yük-deplasman eğrileri elde edilmiştir. Analiz sonuçları, mevcut deneysel çalışmalarda verilen kiriş numunelerine ait yük-deplasman ilişkileriyle karşılaştırılmıştır. Deneysel sonuçları ile en uyumlu yük-deplasman ilişkisini belirleyen  $\alpha_{ts}$  değerleri kaydedilmiştir. Yük-

deplasman davranışı belirlenmek istenen FRP ve çelik donatılı betonarme kirişlerin analizi için hesaplarda esas alınması gereken  $\alpha_{ts}$  değerinin, donatı elastisite modülü ve donatı oranı gibi faktörlere bağlı olarak önemli oranda değişkenlik gösterdiği belirlenmiştir. İncelenen 12 adet FRP ve çelik donatılı kiriş numunesinin ait olduğu çalışmalar aşağıda verilmektedir:

(a) Bir adet çelik, üç adet karbon lifli polimer (CFRP) donatılı sürekli kiriş ile iki adet karbon lifli polimer donatılı basit mesnetli kiriş (Mahroug, Ashour, Lam) [12] deneyi. Bu çalışmada test edilmiş olan kirişlerin yüksekliği 150 mm ve genişliği 500 mm olup basit mesnetli ve sürekli kirişlerin açıklıkları 2000 mm'dir.

(b) Bir adet çelik, üç adet bazalt lifli polimer (BFRP) donatılı sürekli kiriş ile iki adet bazalt lifli polimer donatılı basit mesnetli kiriş (Mahroug, Ashour, Lam) [13] deneyi. Bu çalışmada test edilmiş olan kirişlerin yüksekliği 150 mm ve genişliği 500 mm olup basit mesnetli ve sürekli kirişlerin açıklıkları 2000 mm'dir.

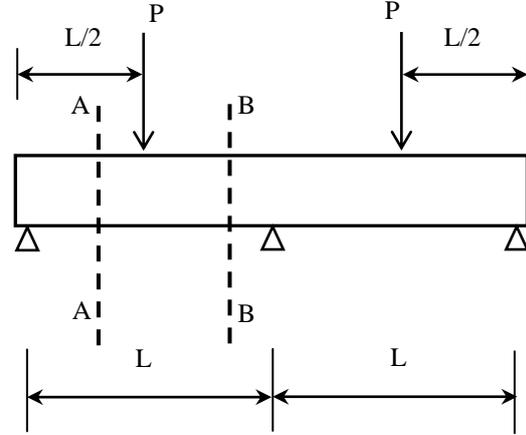
Deney sürekli kirişlerinin mesnetlenme ve yükleme durumu Şekil 5' te görülmektedir.

Kiriş numunelerine ait beton silindir basınç dayanımları 25 ile 43 MPa arasında değişmektedir. Kirişlerin açıklık ortasında ve mesnet bölgesindeki kesitlerine (A-A ve B-B kesitleri) ait donatı detayları ve mekanik özellikleri, Çizelge 1' de verilmektedir.

#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Yapılan analizler sonucunda 12 adet FRP ve çelik donatılı her bir sürekli kirişe ait yük-deplasman eğrisi,  $\alpha_{ts}$  parametresinin 2 ile 25 arasında değişen değerleri için elde edilmiştir. Analiz sonuçları, Şekil 7(a-l) deki grafiklerde, mevcut deneysel çalışmalarda verilmiş olan kiriş numunelerine ait yük-deplasman ilişkileriyle karşılaştırılmaktadır.

Şekil 7(a) ve 7(b) grafikleri incelendiğinde, denge altı donatı oranına sahip olan iki kiriş için deney



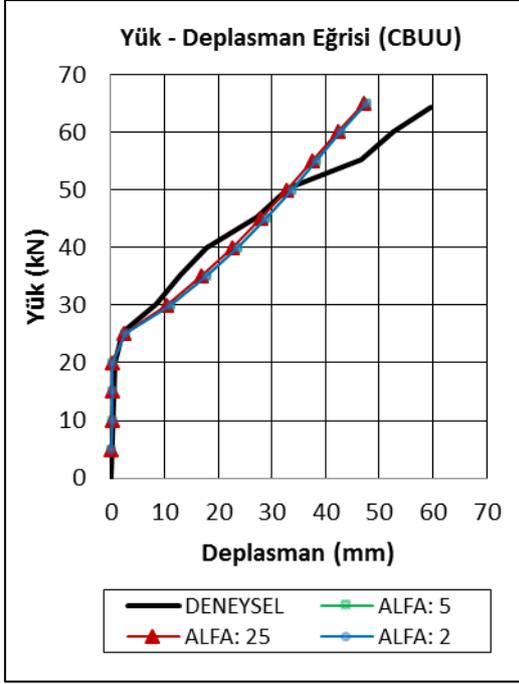
Şekil 5. Sürekli kiriş ve yükleme durumu

sonuçlarına en yakın davranışı sağlayan  $\alpha_{ts}$  değerlerinin önemli ölçüde farklı olduğu görülmektedir. Bazalt lifli polimer donatılı kiriş (CBUU) için  $\alpha_{ts}$  değeri 25 olarak bulunurken, karbon lifli polimer donatılı kiriş (CCUU) için  $\alpha_{ts}$  değeri 12 olarak elde edilmiştir. Çizelge 1'de görüleceği üzere bu kirişlerin açıklıkta çekme donatısı oranı aynı olup %0,24 iken beton basınç dayanımları sırasıyla 42 ve 43 MPa'dır.  $\rho_f / \rho_{fb}$  oranları ise CBUU kirişi için 0,83 ve CCUU kirişi için 0,67'dir. Kopma gerilmeleri bazalt ve karbon lifli polimer için sırasıyla 1250 MPa ve 1773 MPa'dır. Aynı kesit ölçülerine sahip olan iki kiriş arasındaki en belirgin fark donatıların elastisite modülü olup CBUU kirişi için 50 GPa ve CCUU kirişi için 137 GPa'dır. Burada  $\alpha_{ts}$  parametresinin, donatı elastisite modülü ( $E_f$ ) ile önemli ölçüde ilişkili olduğu anlaşılmaktadır. Yüksek elastisite modülüne sahip FRP donatıların kullanıldığı kirişlerde  $\alpha_{ts}$  parametresi için düşük değerler elde edilmektedir.

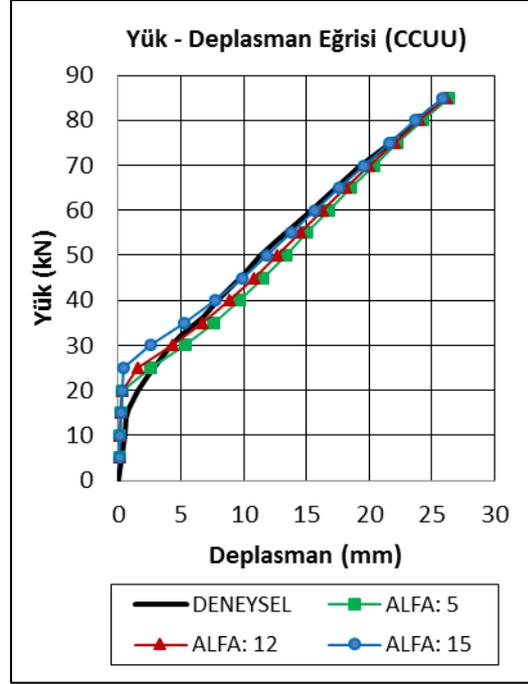
Şekil 7(c) ve 7(d) grafikleri karşılaştırıldığında, her ikisi denge üstü donatı oranına sahip olan CBOO ve CCOO kirişleri için deney sonuçlarına en yakın davranışı sağlayan çekme rijitleşmesi parametresi  $\alpha_{ts}$  sırasıyla 16 ve 5 olarak elde edilmiştir. Çizelge 1'de görüleceği üzere bu kirişlerin açıklıkta çekme donatı yüzdeleri sırasıyla %0,63 ve %0,90 olup  $\rho_f / \rho_{fb}$  oranları ise 2,52 ve 1,58'dir.

**Çizelge 1.** Kirişlere ait donatı detayları ve mekanik özellikleri

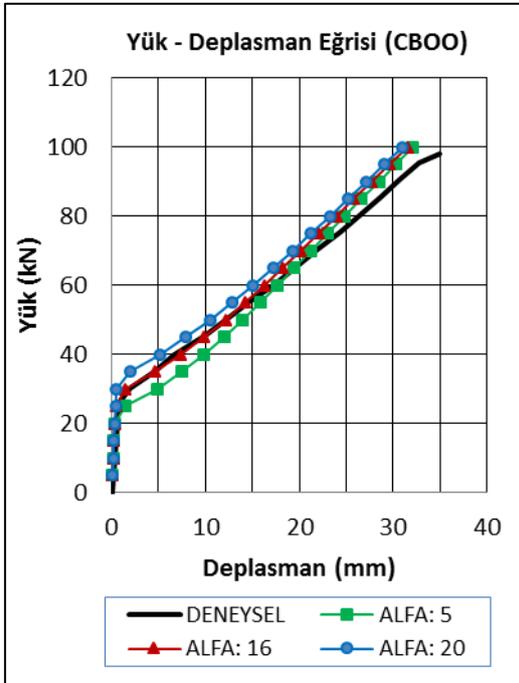
Numune	Donatı yeri	Section A-A					Section B-B					E GPa	$f_c$ GPa
		Donatı	Donatı Cinsi	$\rho_f$ %	$\rho_{fb}$ %	$f_{fu}, f_y$ MPa	Donatı	Donatı Cinsi	$\rho_f$ %	$\rho_{fb}$ %	$f_{fu}, f_y$ MPa		
CCOU <sup>12</sup>	Alt	5Ø12	CFRP	0,9	0,57	1375	5Ø12	CFRP	-	-	1375	137	37,8
	Üst	-	-	-	-	-	3Ø8	CFRP	0,24	0,36	1773		
CCUU <sup>12</sup>	Alt	3Ø8	CFRP	0,24	0,36	1773	3Ø8	CFRP	-	-	1773	137	42
	Üst	-	-	-	-	-	3Ø8	CFRP	0,24	0,36	1773		
CCOO <sup>12</sup>	Alt	5Ø12	CFRP	0,9	0,57	1375	5Ø12	CFRP	-	-	1375	137	40,2
	Üst	-	-	-	-	-	5Ø8	CFRP	0,9	0,57	1773		
CS <sub>2</sub> UU <sup>12</sup>	Alt	6Ø10	Steel	0,75	2,88	575	6Ø10	Steel	-	-	575	200	40,6
	Üst	-	-	-	-	-	6Ø10	Steel	0,75	2,88	575		
CBOU <sup>13</sup>	Alt	5Ø10	BFRP	0,63	0,25	1350	5Ø10	BFRP	-	-	1350	50	43
	Üst	-	-	-	-	-	3Ø8	BFRP	0,24	0,29	1250		
CBUU <sup>13</sup>	Alt	3Ø8	BFRP	0,24	0,29	1250	3Ø8	BFRP	-	-	1250	50	43
	Üst	-	-	-	-	-	3Ø8	BFRP	0,24	0,29	1250		
CBOO <sup>13</sup>	Alt	5Ø10	BFRP	0,63	0,25	1350	5Ø10	BFRP	-	-	1350	50	42
	Üst	-	-	-	-	-	5Ø10	BFRP	0,63	0,25	1350		
CSUU <sup>13</sup>	Alt	4Ø10	Steel	0,50	2,27	575	4Ø10	Steel	-	-	575	200	43
	Üst	-	-	-	-	-	4Ø10	Steel	0,50	2,27	575		
SCO <sup>12</sup>	Alt	5Ø12	CFRP	0,90	0,57	1375	-	-	-	-	-	137	43
SCU <sup>12</sup>	Alt	3Ø8	CFRP	0,24	0,40	1773	-	-	-	-	-	137	43,4
SBO <sup>13</sup>	Alt	5Ø10	BFRP	0,63	0,25	1350	-	-	-	-	-	50	44
SBU <sup>13</sup>	Alt	3Ø8	BFRP	0,24	0,29	1250	-	-	-	-	-	50	41



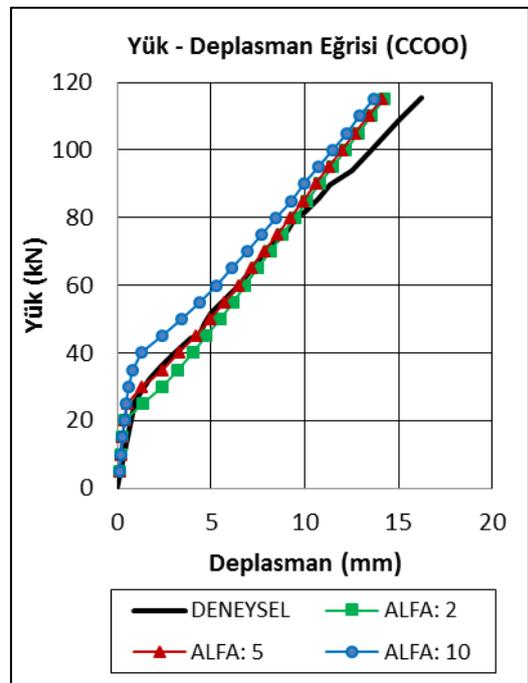
(a)



(b)

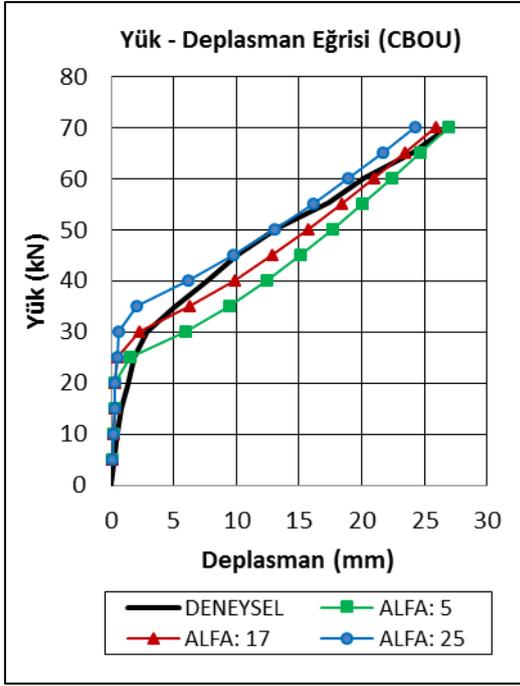


(c)

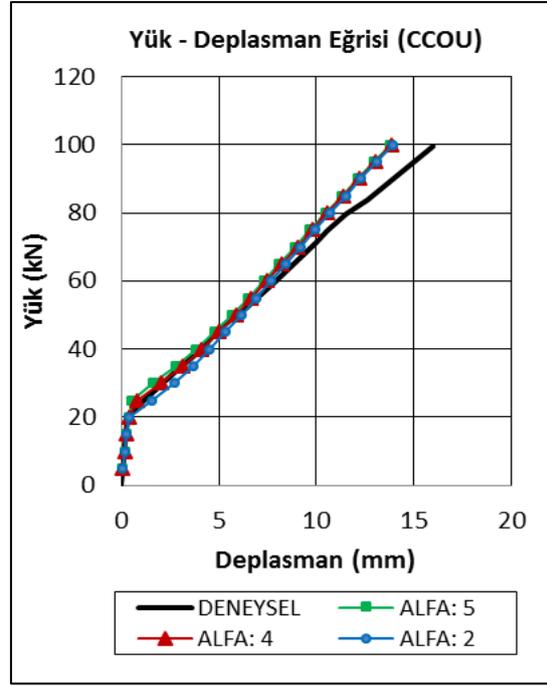


(d)

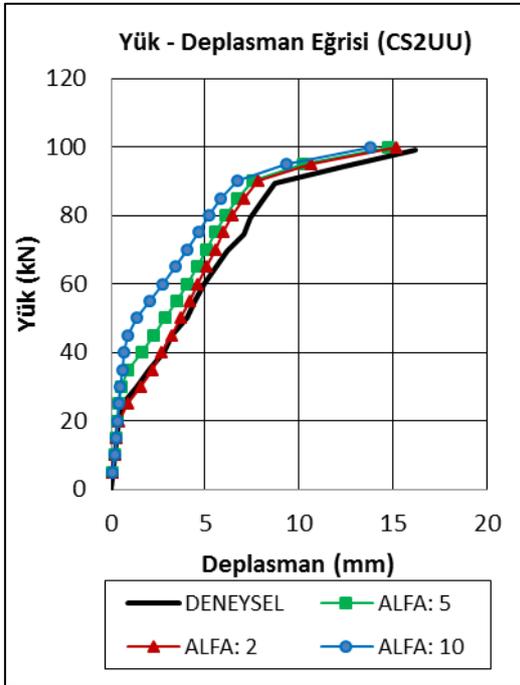
Şekil 7. Kirişlere ait yük-deplasman grafikleri



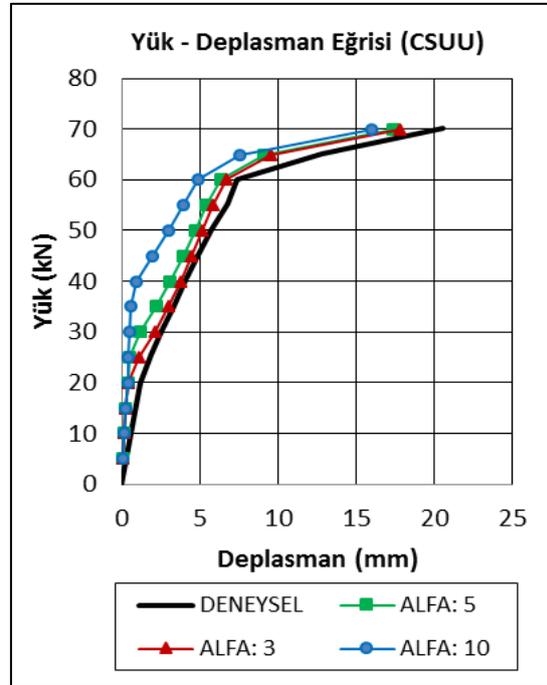
(e)



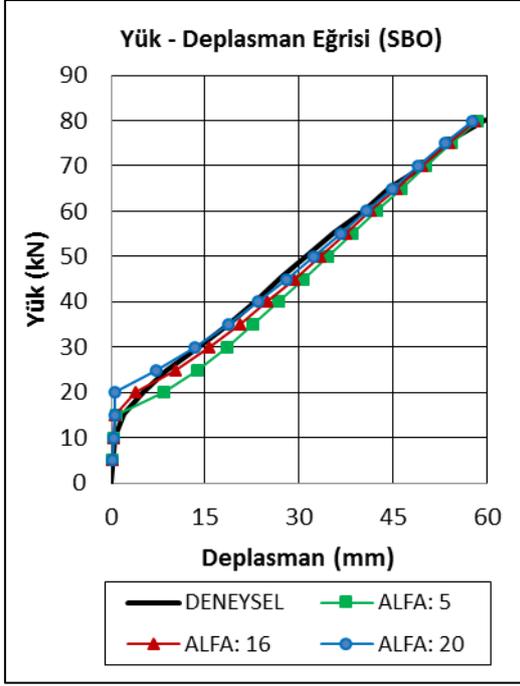
(f)



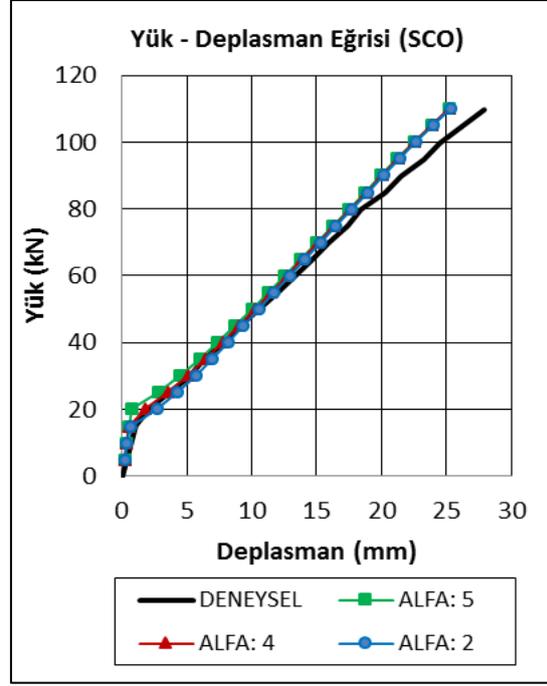
(g)



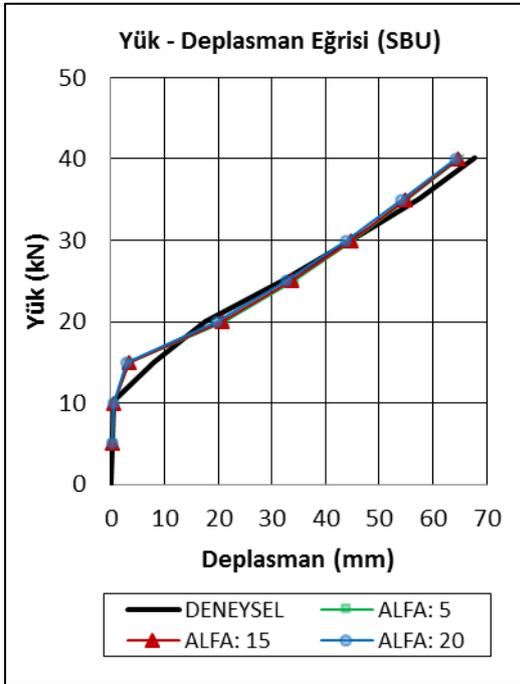
(h)



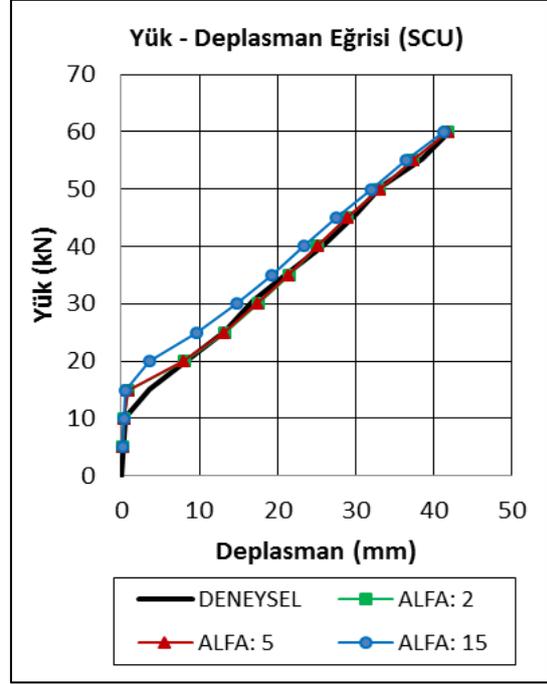
(i)



(j)



(k)



(l)

Beton basınç dayanımları sırasıyla 42 ve 40,2 MPa'dır. Kopma gerilmeleri bazalt ve karbon lifli polimer için sırasıyla 1350 MPa ve 1375 MPa'dır. Aynı kesit ölçülerine sahip olan iki kiriş arasındaki en belirgin fark donatıların elastisite modülü olup CBOO kirişi için 50 GPa ve CCOO kirişi için 137 GPa'dır. Şekil 7(a) ve 7(b) grafiklerindeki benzer şekilde burada da  $\alpha_{ts}$  parametresinin, donatı elastisite modülü ( $E_f$ ) ile önemli ölçüde ilişkili olduğu,  $E_f$  arttıkça  $\alpha_{ts}$  değerinin düştüğü anlaşılmaktadır. Benzer durum Şekil 7(e) ile 7(f) grafiklerinde de görülmektedir.

Şekil 7(c) ve 7(e) grafiklerinde CBOO ve CBOU kirişlerine ait yük-deplasman ilişkileri görülmektedir. Her iki kirişin donatıları bazalt lifli polimer donatı olup donatı çapları, elastisite modülleri, donatı oranları ve  $\rho_f / \rho_{fb}$  oranları aynıdır. Bu kirişlerin beton basınç dayanımları sırasıyla 42 ve 43 MPa'dır. Bu kirişler arasındaki tek fark donatıların kopma gerilmeleri olup CBOO ve CBOU kirişleri için sırasıyla 1350 ve 1250 MPa'dır. Bu kirişler için  $\alpha_{ts}$  değerleri sırasıyla 16 ve 17 olarak elde edilmiştir. Bu karşılaştırmada FRP donatıların kopma gerilmesinin çekme rijitleşmesi parametresi üzerindeki etkisinin oldukça sınırlı kaldığı görülmektedir.

Şekil 7(a) ve 7(c) grafiklerinde CBUU ve CBOO kirişlerine ait yük-deplasman ilişkileri görülmektedir. Her iki kirişin donatıları bazalt lifli polimer donatı olup elastisite modülleri aynıdır. Bu kirişlerin beton basınç dayanımları sırasıyla 43 ve 42 MPa'dır. Donatı kopma gerilmeleri sırasıyla 1250 ve 1350 MPa olup kopma gerilmesinin  $\alpha_{ts}$  parametresine etkisinin sınırlı olduğu göz önünde bulundurulunca, bu kirişler arasındaki en belirgin farkın donatı oranları olduğu anlaşılmaktadır. Açıklıkta çekme donatısı oranı ( $\rho_f$ ), CBUU kirişi için %0,24 ve CBOO kirişi için %0,63 olup  $\rho_f / \rho_{fb}$  oranları ise sırasıyla 0,83 ve 2,52'dir. Bu kirişler için  $\alpha_{ts}$  değerleri sırasıyla 25 ve 16 olarak elde edilmiştir. Burada çekme donatısı oranının çekme rijitleşmesi parametresini önemli ölçüde etkilediği görülmektedir. Kesitte çekme donatısı oranı arttıkça  $\alpha_{ts}$  değeri azalmaktadır. Aynı etki Şekil 7(b) ve 7(d) grafiklerinde verilen CCUU ve CCOO kirişlerine ait yük-deplasman ilişkilerinde

görülmektedir. Denge altı donatı oranına sahip olan CCUU kirişi için  $\alpha_{ts}$  değeri 12 iken, denge üstü donatı oranıyla tasarlanmış olan CCOO kirişi için  $\alpha_{ts}$  değeri 5 olarak elde edilmiştir.

Mesnet bölgesindeki çekme donatısı oranının çekme rijitleşmesi parametresine etkisini incelemek üzere Şekil 7(c) ile 7(e) grafikleri karşılaştırıldığında, bu etkinin oldukça sınırlı kaldığı görülmektedir. CBOO ve CBOU sürekli kirişleri ile SBO basit mesnetli kirişlerinin donatı çapları, açıklıkta çekme donatısı oranları,  $\rho_f / \rho_{fb}$  oranları, donatı elastisite modülleri ve donatı kopma gerilmeleri tamamen aynıdır.

CBOO kirişinin mesnet bölgesinde çekme donatısı oranı 2,52 iken  $\alpha_{ts}$  değeri 16'dır. Bu kirişin sadece mesnetteki donatı oranının 0,83'e düşürülmesiyle elde edilen CBOU kirişi için  $\alpha_{ts}$  değeri sınırlı bir miktar artarak 17 değerine çıkmıştır. Şekil 7'de yük-deplasman ilişkisi verilen basit mesnetli SBO kirişi için ise  $\alpha_{ts}$  değeri 16 olarak elde edilmiştir. Burada mesnet bölgesindeki çekme donatısı oranının ve kirişlerin mesnetlenme durumunun çekme rijitleşmesi parametresine etkisinin oldukça sınırlı kaldığı görülmektedir.

## 5. SONUÇLAR

Bu çalışmada çekme rijitleşmesinin, FRP ve çelik donatılı betonarme kirişlerin yük-deplasman davranışı üzerindeki etkisini incelemek üzere, literatürde mevcut çeşitli deneysel çalışmalarda test edilmiş olan sürekli kiriş numuneleri, kiriş kesitlerinin moment-eğrilik ilişkisine dayalı sayısal bir yöntemle analiz edilmiştir. Farklı çekme rijitleşmesi parametresi ( $\alpha_{ts}$ ) değerleri esas alınarak yapılan analizlerden oldukça farklı yük-deplasman eğrileri elde edilirken, deneysel sonuçlara en yakın yük-deplasman davranışını sağlayan ( $\alpha_{ts}$ ) değerlerinin, donatı oranı ve donatı elastisite modülü gibi faktörlere bağlı olarak önemli oranda değişkenlik gösterdiği görülmüştür.

Kirişlerde yüksek elastisite modülüne sahip FRP donatısı kullanılması durumunda, deneysel sonuçlara en yakın yük-deplasman davranışını sağlayan çekme rijitleşmesi parametresinin ( $\alpha_{ts}$ )



düşük değerlerde kaldığı, düşük elastisite modülüne sahip FRP donatısı kullanılan kirişlerin analizinde ise  $(\alpha_{ts})$  parametresinin yüksek değerler aldığı görülmüştür. Aynı mekanik özelliklere sahip FRP donatıların kullanıldığı farklı kirişlerin analizi sonucunda, donatı oranı arttıkça çekme rijitleşmesi parametresi  $(\alpha_{ts})$  değerinin önemli ölçüde azaldığı, sürekli kirişlerin mesnet bölgesindeki donatı oranının,  $(\alpha_{ts})$  seçimindeki etkisinin ise sınırlı kaldığı belirlenmiştir. Yukarıda yapılan değerlendirmeler sonucunda kirişlerin eğilme davranışını önemli ölçüde etkileyen çekme rijitleşmesi parametresinin  $(\alpha_{ts})$ , büyük ölçüde kesitte kullanılan donatı oranı ve donatı elastisite modülüne bağlı olduğu anlaşılmaktadır.

## 6. TEŞEKKÜR

Bu çalışma Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir (Proje No: FDK-2015-4924).

## 7. KAYNAKLAR

1. Stramandinolia R.S.B., Rovere H.L.L., 2008. An Efficient Tension-Stiffening Model for Nonlinear Analysis of Reinforced Concrete Members, *Engineering Structures*, 30: 2069–2080.
2. Allam S.M., Shoukry M.S., Rashad G.E., Hassan A.S., 2013. Evaluation of Tension Stiffening Effect on the Crack Width Calculation of Flexural RC Members, *Alexandria Engineering Journal*, 52: 163-173.
3. Wu H.Q., Gilbert R.I., 2009. Modeling Short-Term Tension Stiffening in Reinforced Concrete Prisms Using a Continuum-Based Finite Element Model, *Engineering Structures*, 31: 2380-2391.
4. Yankelevsky D.Z., Jabareen M., Abutbul A.D., 2008. One-Dimensional Analysis of Tension Stiffening in Reinforced Concrete with Discrete Cracks, *Engineering Structures*, 30: 206–217.
5. Dunder C., Tanrikulu A.K., Frosch R.J., 2015. Prediction of Load-Deflection Behavior of Multi-Span FRP and Steel Reinforced Concrete Beams, *Composite Structures*, 132: 680-693.
6. ACI Committee 440. Guide For The Design and Construction of Structural Concrete Reinforced With FRP Bars. ACI440.1R-06, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI; 2006. P. 44.
7. El-Nemr A, Ahmed EA, Benmokrane B. Flexural Behavior And Serviceability of Normal and High-Strength Concrete Beams Reinforced with Glass Fiber Reinforced Polymer Bars. *ACI Struct J* 2013; 110 (6): 1077–88.
8. Comité Euro-International du Béton (CEB). Manual on Cracking and Deformation, Bulletin D'information, No. 158-E; 1985.
9. Bischoff PH. Reevaluation for Deflection Prediction for Concrete Beams Reinforced with Steel and Fiber Reinforced Polymer Bars. *J Struct Eng* 2005;131(5):752–67.
10. ISIS Canada. Reinforcing Concrete Structures with Fiber Reinforced Polymers, Design Manual No. 3, ISIS Canada, Winnipeg, Manitoba; 2001.
11. Comité Euro-International du Béton(CEB). CEB-FIB Model for Concrete Structures, Bulletin 213/214; 1990.
12. Mahroug M.E.M., Ashour A.F., Lam D., 2014. Tests of Continuous Concrete Slabs Reinforced with Carbon Fibre Reinforced Polymer Bars, *Composites : Part B*, 66: 348-357.
13. Mahroug M.E.M., Ashour A.F., Lam D., 2014. Experimental Response and Code Modelling of Continuous Concrete Slabs Reinforced With BFRP Bars, *Composite Structures*, 107: 664-674.



## Investigation of Different Working Fluid Effects on Exergy Analysis for Organic Rankine Cycle (ORC)

N. Filiz TÜMEN ÖZDİL<sup>\*1</sup>, Atakan TANTEKİN<sup>1</sup>, M. Rıdvan SEĞMEN<sup>1</sup>

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

Geliş tarihi: 10.02.2016

Kabul tarihi: 30.03.2016

### Abstract

In this study, energy and exergy analyses are performed for an Organic Rankine Cycle in a local power plant that is located southern of Turkey. The Organic Rankine Cycle was used for low temperature heat source as heat recovery process with various organic working fluids. The examined system consists of an evaporator, a turbine, a condenser, a pump and a generator as components. The evaluation is carried out using two different working fluids for each component of the system. The main purpose of this study is to model the ORC cycle for performance optimization in terms of the usage of two different working fluids with relevant temperature ranges. HFE7100 and FC72 working fluids are selected as performance parameters in order to show the effect of the working fluids on the system performance of the Organic Rankine Cycle.

**Keywords:** Organic rankine cycle, Exergy, Thermodynamic analysis, Heat recovery

### Organik Rankine Çevriminde Farklı Soğutucu Akışkanların Ekserji Analizi Üzerine Etkisinin İncelenmesi

#### Özet

Bu çalışmada, Türkiye'nin güneyinde bulunan bir yerel güç santralindeki Organik Rankine Çevrimi için ekserji analizi yapılmıştır. Organik Rankine Çevrimi, düşük sıcaklıktaki ısı kaynağı için farklı organik soğutucu akışkanlar ile ısı geri kazanım işlemi olarak kullanılır. İncelenen sistem evaporatör, türbin, kondenser, pompa ve jeneratör bölümlerinden oluşmaktadır. Değerlendirme, her sistem bileşenine iki farklı soğutucu akışkan için yapılmıştır. Bu çalışmanın temel amacı, Organik Rankine Çevriminin performans optimizasyonunu sağlamak üzere iki farklı soğutucu akışkanın ilgili sıcaklık aralıklarında kullanılarak modellenmesidir. Soğutucu akışkanların Organik Rankine Çevriminin performansı üzerine etkisini göstermek amacıyla HFE7100 ve FC72 akışkanları performans parametresi olarak seçilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Organik rankine çevrimi, Ekserji, Termodinamik analiz, Isı geri kazanım

---

\* Yazışmaların yapılacağı yazar: N. Filiz ÖZDİL, Adana BTÜ, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Adana. fozdil@adanabtu.edu.tr

## 1. INTRODUCTION

Energy and energy production systems have being the major topic of the thermodynamics in recent years. The waste heat recovery is the most suitable source for the energy conversion due to lack of the fossil fuels and global warming. Waste heat recovery process provides the energy conservation and decrement of the thermal pollution. Although the steam turbine is the most common technology in the energy production process, due to necessity of high operational temperature and pressure, it is not suitable for low temperature and pressure condition. Organic Rankine Cycle is generally preferred for the processes having low temperature like  $T < 150^{\circ}\text{C}$ .

There are a lot of studies about Organic Rankine cycle for power generation from waste heat recovery [1-4, 7-14]. Ozdil et al. [1] examined a thermodynamic analysis of an ORC in a local power plant using industrial data for four different water phases in the evaporator inlet. The relationship between pinch point and exergy efficiency was also observed in their study. Furthermore, exergy destruction and exergy efficiencies of components and overall system were separately calculated. The exergy efficiency of the ORC was calculated as 47,22%, 41,04%, 40,29%, 39,95% for saturated liquid form, water mixture form which has quality 0,3, water mixture form which has quality 0,7 and saturated vapor form, respectively. In addition, exergy destruction rate of the system was 520,01 kW for the system. Gomez et al. [3] implemented energy and exergy analyses for the power plant. They modelled and simulated a system using EES (Engineering Equation Solver) to present the effects of key parameters on the efficiency. The effects of the temperature, pressure and compression ratio on the power plant were observed in their study. They concluded that lower compression pressure ratio ( $r$ ) caused high thermal efficiency due to the more effective regeneration process. Moreover, decrement of the helium temperature at the compressor inlet caused sharp drop in the compression work due to the decrement of the specific volume. There are several studies regarding to the working fluids which are used in

ORC in literature [5-15]. As understood from these studies, the working fluid used in the ORC cycle has important effect on the performance of the power generation systems. Roy et al. [5] investigated the effect of different working fluids on the efficiency and irreversibility rate on the system. They demonstrated that R-123 working fluid used in ORC system, had positive impact on efficiency in turbine. Moreover, R-123 working fluid was observed as the best working fluid among the other working fluid options in their study

In this study, a detailed thermodynamic analysis was carried out for an Organic Rankine Cycle using two different working fluids. Using two different working fluids (HFE7100 and FC72), the system was modeled and the results were compared in order to obtain the best option between the working fluids. Based on the first and second law of thermodynamics, the energy and exergy analyses were performed for each component of the ORC system. Furthermore, the energy and exergy efficiencies, exergy destruction rate on the components were observed.

## 2. SYSTEM DESCRIPTION

The investigated system has 249,9 kW net capacity and specifications of the system components are demonstrated in Table 1.

**Table 1.** Specifications of the system components

Components	Model/Type	Capacity	Operating Pressure
Evaporator	Shell and tube	3161 kW (Max)	23,78 bar (max)
Condenser	Shell and tube	2885 kW (Max)	23,78 bar (max)
Turbine	CARRIE R	272 kW (Max)	23,78 bar (max)
Pump	Grundfos/ KB-G-A-	72,82 m <sup>3</sup> /h – 50 kW motor	9,307 bar (max)

The system involves an evaporator, a condenser, a turbine and a pump as subsystems. The generator, heating and cooling water collectors are accepted as the auxiliary components. The Organic Rankine

Cycle produces electricity using waste heat in low temperature in order to reduce the operating costs of company. The working fluids used in the ORC cycle are HFE7100 and FC72 which have good thermodynamic properties such as low specific heat and viscosity, low toxicity, low ozone depletion potential, low flammability. The thermophysical properties of the two working fluids can be seen in Table 2. The schematic diagram of the ORC system is illustrated in Fig. 1. In the system, working fluid is pumped, firstly. Namely, low pressure fluid is compressed to high pressure fluid by a pump as can be seen in Fig. 1. (state 5 to 6). Then high pressure fluid enters and passes through the evaporator. In the evaporator, high pressure fluid (6) has become heated and pressurized vapor (3) using the heat capacity of inlet water (state 1 to 2). After that the heated and pressurized vapor enters in turbine. And it leaves from turbine as low pressure vapor and generates electricity (state 3 to 4). Lastly, the low pressure vapor goes through the condenser, and the working fluid leaves from condenser as saturated liquid (state 4 to 5) and the cycle continues. For the analyses, some of data are measured on system and remaining data are read the computer aided control panel, directly. Dead state conditions of the working fluids and the water are accepted as 1 bar and 25°C. Mass flow rate of the condenser cooling water is measured by GE-PT878 which is ultrasonic flowmeter equipment ranges from ½"-7,6mm with ± 1% accuracy. Pressure and temperature measurement devices are put on collectors in order to measure the properties of water and the working fluid.

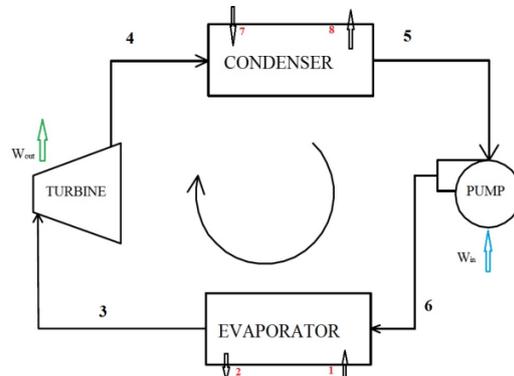


Figure 1. Schematic representation of ORC system

### 3. ANALYSIS

The first law of thermodynamics is explained as the conservation of energy, thermodynamically. While the second law of thermodynamics is described as the quality of energy, thermodynamically. The second law refers the change of the energy quality during the phase change in the processes. The mass flow rate of the cooling water through the condenser is measured as 13 kg/s. Mass flow rate of the working fluid is calculated as 10,61 kg/s and evaporator heating water is estimated as 13,48 kg/s with the help of energy balance equation based on first law of thermodynamics.

In order to obtain the performance of the different working fluids on the effectiveness of the Organic Rankine cycle, two working fluids are selected as HFE7100 and FC72 in terms of similar environmental conditions and thermophysical properties. The following assumptions are made in this study; pressure drops, potential and kinetic energy changes are neglected on the system. The system operates in a continuous steady state flow process. The system is adiabatic which means there is no heat loss.

General definitions and equations are given as below.

General mass balance;  
 Total Mass Inlet = Total Mass Outlet  
 ( $\rightarrow \sum \dot{m}_{in} = \sum \dot{m}_{out}$ ) (1)

Table 2. Thermophysical properties of working fluids

	HFE7100	FC72
Operating Temp.	Low	Low
Boiling Point (°C)	61	56
Vapor Pressure (Pa)	26800	30900
Density (kg/m <sup>3</sup> )	1650	1680
Kinematic Viscosity(cSt)	0.38	0.38
Specific Heat (Jkg <sup>-1</sup> C <sup>o-1</sup> )	1180	1100

General energy and exergy balance;

$$\rightarrow \dot{m}_3 ex_3 = \dot{m}_4 ex_4 + \dot{W}_{turb} + \dot{E}x_{D,turb} \quad (11)$$

Total Energy Initial = Total Energy Final  
 $(\rightarrow \dot{Q} + \dot{W} = \sum \dot{m}_f h_f - \sum \dot{m}_{in} h_{in}) \quad (2)$

$\dot{m}_3$  and  $\dot{m}_4$  are the mass flow rate of the working fluids.

Exergy transfer by heat at the temperature  $T_s$  is defined by Eq. (3)

The exergy efficiency equation of turbine is given by Eq. (12)

$$\rightarrow \dot{E}x_{heat} = \dot{Q}(1 - T_0/T_s) \quad (3)$$

$$\rightarrow \eta_{2,turb} = \dot{W}_{turb} / (\dot{E}x_3 - \dot{E}x_4) \quad (12)$$

Total Exergy Initial = Total Exergy Final + Total Exergy Consumed + Total Exergy Destruction  
 $(\rightarrow \dot{E}x_i = \dot{E}x_f + \dot{E}x_{cons} + \dot{E}x_{D,total}) \quad (4)$

### Energy and exergy balance of Condenser

Energy and exergy balance equations through the condenser can be calculated with the help of Eq. (13) – (14)

$$\rightarrow \dot{E}x = \dot{m} ex \quad (5)$$

where the “ $\dot{E}x$ ” is exergy rate.

$$\rightarrow \dot{m}_4 h_4 + \dot{m}_7 h_7 = \dot{m}_5 h_5 + \dot{m}_8 h_8 \quad (13)$$

$$\rightarrow ex = h - h_0 - T_0(s - s_0) \quad (6)$$

$$\rightarrow \dot{m}_4 ex_4 + \dot{m}_7 ex_7 = \dot{m}_5 ex_5 + \dot{m}_8 ex_8 + \dot{E}x_{D,cond} \quad (14)$$

When we applied the first and second law of thermodynamic on the system we obtain the results for each component and entire cycle, as described below.

$\dot{m}_7$  and  $\dot{m}_8$  are the mass flow rate of the cooling water of the condenser and  $\dot{m}_4$  and  $\dot{m}_5$  are the mass flow rate of the working fluids.

The exergy efficiency eqn. of condenser is calculated by Eq. (15)

### Energy and exergy balance of evaporator

Energy and exergy balance equations through the evaporator can be written as Eq. (7) – (8)

$$\rightarrow \eta_{2,cond} = \dot{m}_7(ex_8 - ex_7) / \dot{m}_4(ex_4 - ex_5) \quad (15)$$

$$\rightarrow \dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_6 h_6 = \dot{m}_2 h_2 + \dot{m}_3 h_3 \quad (7)$$

### Energy and exergy balance of Pump;

$$\rightarrow \dot{m}_1 ex_1 + \dot{m}_6 ex_6 = \dot{m}_2 ex_2 + \dot{m}_3 ex_3 + \dot{E}x_{D,evp} \quad (8)$$

Energy and exergy balance equations through the pump which is assumed as adiabatic, can be written as Eq. (16) - (17)

$\dot{m}_1$  and  $\dot{m}_2$  are the mass flow rate of the heating water of the evaporator and  $\dot{m}_3$  and  $\dot{m}_6$  are the mass flow rate of the working fluids.

$$\rightarrow \dot{m}_5 h_5 + \dot{W}_{pump} = \dot{m}_6 h_6 \quad (16)$$

$$\rightarrow \dot{m}_5 ex_5 + \dot{W}_{pump} = \dot{m}_6 ex_6 + \dot{E}x_{D,pump} \quad (17)$$

The exergy efficiency of evaporator is given by Eq. (9)

The exergy efficiency eqn. of pump is calculated by Eq. (18)

$$\rightarrow \eta_{2,evp} = \dot{m}_3(ex_3 - ex_6) / \dot{m}_1(ex_1 - ex_2) \quad (9)$$

$$\rightarrow \eta_{2,pump} = (\dot{E}x_6 - \dot{E}x_5) / \dot{W}_{pump} \quad (18)$$

### Energy and exergy balance of Turbine

Energy and exergy balance equations through the turbine which is assumed as adiabatic, can be written as Eq. (10) – (11)

Overall exergy destruction is occurred in the cycle, the overall exergy rate of the system is defined by Eq. (19)

$$\rightarrow \dot{m}_3 h_3 = \dot{m}_4 h_4 + \dot{W}_{turb} \quad (10)$$

$$\rightarrow \dot{E}x_{cyc,in} = \dot{E}x_{evp} + \dot{E}x_{turb} + \dot{E}x_{cond} + \dot{E}x_{pump} + \dot{E}x_{cond,rej} + \dot{W}_{turb} \quad (19)$$

The exergy destruction rate based on heat rejection on the condenser using cooling water is calculated by Eq. (20)

$$\rightarrow \dot{E}x_{cond, rej} = \dot{E}x_{cyc, in} - \dot{E}x_{evp} - \dot{E}x_{turb} - \dot{E}x_{cond} - \dot{E}x_{pump} - \dot{W}_{turb} \quad (20)$$

The  $\dot{E}x_{cond, rej}$  is called as outgoing exergy rate through the ambient.

The overall exergy efficiency is defined by Eq. (21)

$$\rightarrow \eta_{2, cyc} = \dot{W}_{net} / \dot{E}x_{cyc, in} \quad (21)$$

The exergy rate of cycle is defined by Eq. (22)

$$\rightarrow \dot{E}x_{cyc, in} = m_{w, evp}(h_1 - h_2) - T_0(s_1 - s_2) \quad (22)$$

The overall cycle efficiency is the ratio of the net turbine power to the net heat transfer rate as Eq. (23)

$$\rightarrow \eta_{1, cyc} = \dot{W}_{net} / \dot{Q}_{cyc, in} \quad (23)$$

$\dot{Q}_{cyc, in}$  which is the heat input on the evaporator, can be defined as Eq. (24);

$$\rightarrow \dot{Q}_{cyc, in} = m_{w, evp}(h_1 - h_2) \quad (24)$$

The thermophysical properties of the system for two different working fluids are shown in Table 3 - 4.

**Table 3.** The thermophysical properties of the system using HFE7100 as working fluids

State no	Fluid Type	Mass flow rate (kg/s)	Temperature (K)	Pressure (bar)	Enthalpy (kJ/kg)	Entropy (kJ/kg K)	Exergy Rate (kW)
0	Water	----	298	1	104,9	0,367	----
0	HFE7100	----	298	1	52,98	0,193	----
1	Water	13,48	400	2,7	533,6	1,603	814,80
2	Water	13,48	356,9	2,2	350,8	1,119	294,79
3	HFE7100	10,61	390	11,4	161,1	0,507	156,88
4	HFE7100	10,61	326	2,4	85,04	0,296	16,39
5	HFE7100	10,61	303	2,4	58,73	0,212	1,57
6	HFE7100	10,61	303,17	11,4	59,54	0,213	8,26
7	Water	13	300,5	1,37	115,1	0,402	-1,44
8	Water	13	305,4	1,37	135,2	0,467	5,72

**Table 4.** The thermophysical properties of the system using FC72 as working fluids

State no	Fluid Type	Mass flow rate (kg/s)	Temperature (K)	Pressure (bar)	Enthalpy (kJ/kg)	Entropy (kJ/kg K)	Exergy Rate (kW)
0	Water	----	298	1	104,9	0,367	----
0	FC72	----	298	1	69,92	0,261	----
1	Water	13,48	400	2,7	533,6	1,603	814,80
2	Water	13,48	356,9	2,2	350,8	1,119	294,79
3	FC72	10,61	392	11,4	174,2	0,564	147,44
4	FC72	10,61	326	2,4	102,9	0,366	16,03
5	FC72	10,61	303	2,4	75,97	0,281	1,27
6	FC72	10,61	303,17	11,4	76,7	0,281	7,12
7	Water	13	300,5	1,37	115,1	0,402	-1,44
8	Water	13	305,4	1,37	135,2	0,467	5,72

#### 4. RESULTS and DISCUSSIONS

In this study, the thermodynamic analysis is applied based on the first and second law of thermodynamics to calculate exergy destructions and exergy efficiency of the system in an Organic Rankine Cycle based power plant. Two working fluids are selected as HFE7100 and FC72, in order to show the effect of the different working fluids on the system performance. The exergy destructions and exergy efficiencies are calculated using the values shown in Table 3-4 as can be seen in Table 5-6 for both working fluids.

The system produces 2464,70 kW heat from heat source and generates 130 kW gross power. Pump consumes 20 kW power in order to circulate the working fluid in the system and the net power is found as 110 kW. The exergy destruction rates and exergy efficiencies of the both system can be seen in Table 5-6. The exergy efficiencies of the system using HFE7100 and FC72 are both calculated as 21,15% while exergy destructions of the cycle using HFE7100 and FC72 are calculated

as 402,82 kW and 402,85 kW, respectively. The highest exergy destructions, which are 371,39 kW and 379,69 kW for HFE7100 and FC72 respectively, occur in the evaporator among the components for the both systems. In the evaporator, the system using FC72 working fluid has higher exergy destruction than that of the system using HFE7100. On the other hand, exergy destruction of the turbine in the system using HFE7100 has higher exergy destruction than that of the system using FC72 as 10,49kW and 1,41kW, respectively. Moreover, the exergy efficiencies of evaporator, turbine, condenser, and pump for the system using HFE7100 as working fluid are calculated as 28,58%, 92,53%, 48,34%, and 33,48%, respectively. The exergy destruction rates of the components and cycle for HFE7100 are illustrated in Figure 2-3. The exergy efficiencies of evaporator, turbine, condenser and pump for the system using FC72 as working fluid are calculated as 26,98%, 98,93%, 48,54%, and 29,24%, respectively. Figure 4-5 show exergy destruction rates of the components and efficiencies for each component and the entire cycle for FC72.

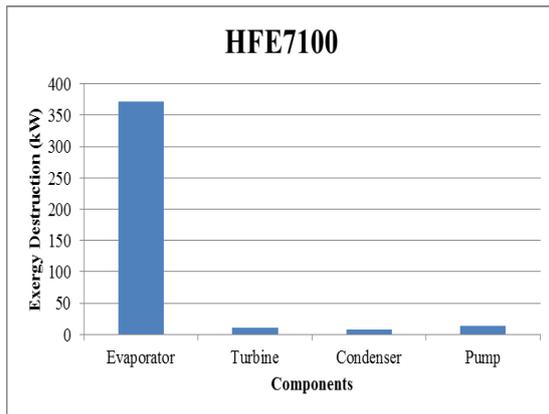


**Table 5.** The exergy destructions and exergy efficiencies of the main components in ORC power plant using HFE7100 as working fluids

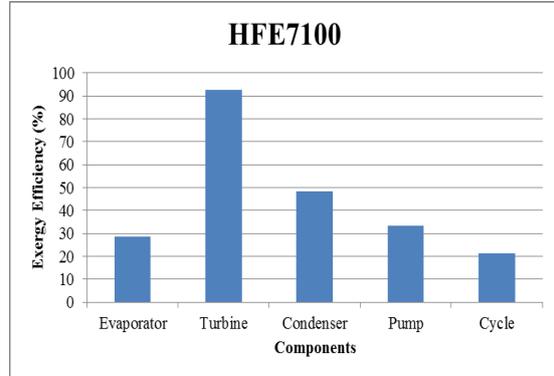
Components	$\dot{E}_{x_D}$ (kW)	$\eta_{II}$ (%)
Evaporator	371,39	28,58
Turbine	10,49	92,53
Condenser	7,66	48,34
Pump	13,30	33,48
Cycle	402,84	21,15

**Table 6.** The exergy destructions and exergy efficiencies of the main components in ORC power plant using FC72 as working fluids

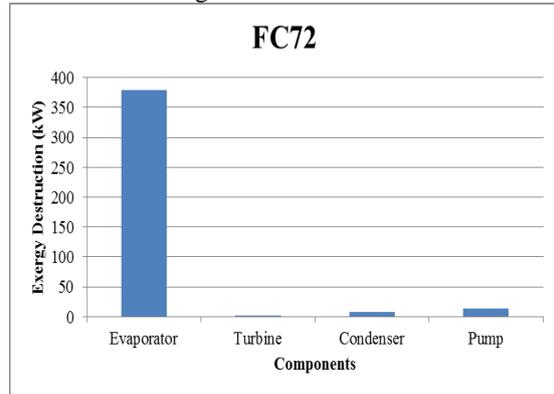
Components	$\dot{E}_{x_D}$ (kW)	$\eta_{II}$ (%)
Evaporator	379,69	26,98
Turbine	1,41	98,93
Condenser	7,60	48,54
Pump	14,15	29,24
Cycle	402,85	21,15



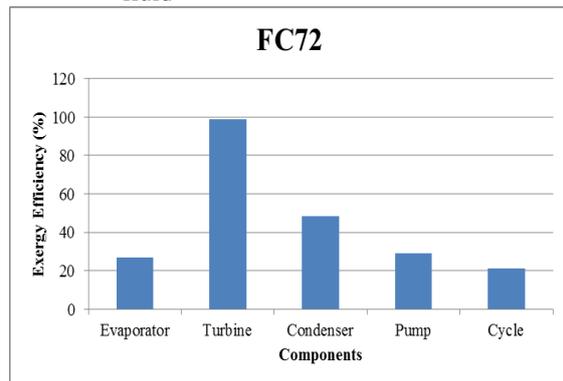
**Figure 2.** Exergy destructions for each component of the system using HFE7100 as working fluid



**Figure 3.** Exergy efficiencies for each component and entire cycle using HFE7100 as working fluid



**Figure 4.** Exergy destructions for each component of the system using FC72 as working fluid



**Figure 5.** Exergy efficiencies for each component and entire cycle using FC72 as working fluid

## NOTATIONS

ex	specific exergy (kJ/kg)
$\dot{E}_{x_D}$	Exergy Destruction (Kw)
h	specific enthalpy (kJ/kg)
$\dot{m}$	mass flow rate (kg/s)
P	pressure (bar)
$\dot{Q}$	rate of heat transfer (kW)
s	specific entropy (kJ/kg K)
$S_{gen}$	entropy generation
T	temperature (K)
$\dot{W}$	rate of work (kW)

### Subscripts

Cond.	Condenser
Cons.	Consumed
Cyc.	Cycle
Dest.	Destruction
Evp.	Evaporator
rej	rejection
Sat.	Saturation
Turb.	Turbine
0	reference state

### Greek symbols

$\Delta h$	enthalpy difference
$\Delta s$	entropy difference
$\Delta T$	temperature difference
$\eta_I$	first law efficiency
$\eta_{II}$	second law efficiency

## 5. CONCLUSIONS

This study presents a detailed energy and exergy analysis of an ORC cycle in steel industry. Two different working fluids are selected as HFE7100 and FC72 in order to show the performance of the Organic Rankine Cycle under different working fluids condition. The main idea of this study is maximization of the system efficiency with the choosing of suitable working fluid for ORC in the range of operational temperatures. It is hard to figure out the best fluid, which has high latent heat, high density and low liquid specific heat, super-atmospheric saturation pressure, high cycle efficiency, low vapor specific volume at turbine outlet, low toxicity, low environmental impact, and has non-combustion characteristics. In this study, the best choices for the all aspects are considered as HFE7100 and FC72.

Mass, energy and exergy balance equations are solved using the first and second laws of thermodynamics. The major exergy destruction occurs in the evaporator for both systems with 371,39 kW for HFE7100 and 379,69 kW for FC72. In the system using HFE7100 as working fluid, the exergy destruction rates ordered from high to low as evaporator, pump, turbine and condenser, respectively. However, in the system using FC72 as working fluid, the exergy destruction rates ordered from high to low as evaporator, pump, condenser and turbine, respectively. For the both systems, the main reason of the high inefficiency occurred in the evaporator is high heat input. The major difference between the two working fluid usage is the decrement of the exergy rate in the turbine. The decrement of the exergy rate causes the increment of the exergy efficiency of the system. Otherwise, the exergy efficiencies of the ORC systems are almost same as 21,15%. As understood from the results obtained in this study, in order to reduce the exergy destruction of the turbine, FC72 is better option as working fluid.

## 6. REFERENCES

1. Tumen Ozdil N.F, Segmen M.R, Tantekin A., 2015. Thermodynamic Analysis of an Organic

- Rankine Cycle (ORC) Based on Industrial Data, *Applied Thermal Engineering* 91:43-52.
2. Kaşka Ö., 2014. Energy and Exergy Analysis of an Organic Rankine for Power Generation from Waste Heat Recovery in Steel Industry, *Energy Conversion and Management* 77:108-117.
  3. Gomez M., Garcia R., Gomez J., 2014. Thermodynamic Analysis of a Brayton Cycle and Rankine Cycle Arranged in Series Exploiting the Cold Exergy of LNG (liquefied naturel gas), *Energy* 66:927-937.
  4. Bao J., Zhao L., 2012. Exergy Analysis and Parameter Study on a Novel Auto-Cascade Rankine Cycle, *Energy* 48:539-547.
  5. Roy J.P., Mishra M.K., Misra A., 2011. Performance Analysis of an Organic Rankine Cycle with Superheating Under Different Heat Source Temperature Conditions, *Applied Energy* 88:2995-3004.
  6. Aghahosseini S., Dincer I., 2013. Comparative Performance Analysis of Low-Temperature Organic Rankine Cycle (ORC) Using Pure and Zeotropic Working Fluids, *Applied Thermal Engineering* 54:35-42.
  7. Sue D., Chuang C., 2004. Engineering Design and Exergy Analyses for Combustion Gas Turbine Based Power Generation System, *Energy* 29:1183-1205.
  8. Li Y.R, Wang J., Du M., 2012. Influence of Coupled Pinch Point Temperature Difference and Evaporation Temperature on Performance of Organic Rankine Cycle, *Energy* 42:503-509.
  9. Khaliq A., Kaushik S., 2004. Second Law Based Thermodynamic Analysis of Brayton/Rankine Combined Power Cycle with Reheat. *Applied Energy* 78:179-197.
  10. Yazıcı H., Selbaş R., 2011. Buharlı Güç Santralinin Enerji ve Ekserji Analizi, *Enerji* 10:1.
  11. Peris B., Esbrí J., Moles F., Collado R., A Babiloni., 2015. Performance Evaluation of an Organic Rankine Cycle (ORC) for Power Applications from Low Grade Heat Sources, *Applied Thermal Engineering* 75:763-769.
  12. Wang J.L., Zhao L., Wang X.D., 2012. An Experimental Study on the Recuperative Low Temperature Solar Rankine Cycle Using R245fa, *Applied Energy* 94:34-40.
  13. Lee U., Park K., Jeong Y.S., Lee S., Han C., 2014. Design and Analysis of a Combined Rankine Cycle For Waste Heat Recovery of a Coal Power Plant Using LNG Cryogenic Exergy, *Industrial & Engineering Chemistry Research* 53:9812-9824.
  14. Zhu Y., Hu Z., Zhou Y., Jiang L., Yu L., 2014. Applicability of entropy, Entrancy and Exergy Analyses to the Optimization of the Organic Rankine Cycle, *Energy Conversion and Management* 88:267-276.
  15. Bahrami M., Hamidi A.A., Porkhial S., 2013. Investigation of the Effect of Organic Working Fluids on Thermodynamic Performance of Combined Cycle Stirling-ORC. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, 4-12.



## Effects of a Square Groove at the Stagnation Point of a Circular Cylinder on its Near Wake

Çetin CANPOLAT<sup>1</sup>

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

Geliş tarihi: 10.02.2016      Kabul tarihi: 24.05.2016

### Abstract

In the present study, effects of single longitudinal groove placed at its forward stagnation point on the cylinder wake are investigated. Two different square groove sizes were tested using the particle image velocimetry (PIV) technique and compared with the case of bare cylinder. The cylinders are immersed in a uniform flow field with the Reynolds number,  $Re=5000$ . The wakes of these cylinders are evaluated using time-averaged flow data such as vorticity,  $\langle\omega\rangle$ , streamline,  $\langle\Psi\rangle$ , components of streamwise,  $\langle U/U_o\rangle$  and transverse,  $\langle V/U_o\rangle$  dimensionless velocity, Reynolds stresses,  $\langle u'v'\rangle$  and turbulent kinetic energy, TKE. In addition, the Strouhal numbers are calculated using frequencies of Karman vortex shedding, which are obtained from single point spectral analysis. It is revealed that the presence of square groove located at forward stagnation point of a circular cylinder has significant effect on the wake formation and turbulence statistics. It is observed that Karman vortex shedding frequency,  $f_k$  is also influenced on presence of the groove.

**Keywords:** Groove, PIV, Turbulence statistics, Vortex shedding

### Durma Noktasına Yerleştirilen Bir Çentiğin Silindirin Ölü Akış Bölgesine Etkileri

#### Özet

Bu çalışmada, bir dairesel silindirin ön durma noktasına yerleştiriliş tekil aksel çentiğin silindirin ölü akış bölgesine etkileri araştırılmıştır. İki farklı kare kesitli çentik boyutu parçacık görüntülemeli hız ölçme tekniği ile test edilmiş ve çentik olmayan silindir durumu ile karşılaştırılmışlardır. Silindirler Reynolds sayısı,  $Re=5000$  olan serbest akış bölgesine yerleştirilmişlerdir. Bu silindirlerin ölü akış bölgeleri vortisite,  $\langle\omega\rangle$ , akım çizgileri,  $\langle\Psi\rangle$ , akım doğrultusundaki,  $\langle U/U_o\rangle$  ve akıma dik yöndeki,  $\langle V/U_o\rangle$ ,

---

<sup>1</sup> Yazışmaların yapılacağı yazar: Çetin CANPOLAT, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, Adana. [ccanpolat@cu.edu.tr](mailto:ccanpolat@cu.edu.tr)

boyutsuz hız bileşenleri, Reynolds gerilmeleri,  $\langle u'v' \rangle$ , ve türbülans kinetik enerji, TKE gibi zaman ortalamalı akış verileri ile incelenmişlerdir. Ek olarak, tekil nokta spektral analizinden elde edilen Karman girdap kopma frekansları kullanılarak Strouhal sayıları hesaplanmıştır. Silindirin ön durma noktasına yerleştirilen kare kesitli çentik ölü akış bölgesinin oluşumuna ve türbülans istatistiklerine önemli etkileri olduğu görülmektedir. Çentiğin Karman girdap kopma frekansının,  $f_k$  üzerinde de etkisi olduğu görülmüştür.

**Keywords:** Çentik, PIV, Türbülans istatistikleri, Girdap kopması

## 1. INTRODUCTION

The flow past a circular cylinder, which has been studied for many years is one of the fundamental topic of bluff body aerodynamics [1]. The wake of a cylinder is strongly affected by the Reynolds number. Because the cylinder wake, which is formed by the rolling up of two shear layers separating from either side of the cylinder exhibits various features, when the Reynolds number varies. Moreover, the frequency of shear layer separation, which is named as Karman vortex shedding frequency, is also changed by varying Reynolds number. Therefore, circular or nearly circular slender structures are exposed to dynamic loadings due to periodic fluid flow, which deteriorates their integrity and life-time cost in many engineering applications.

The surface properties of a circular cylinder have vital importance on the development of its wake. Leung et al. [2] state that the longitudinal grooves on a cylinder surface change the flow feature, such as drag, lift and vortex shedding frequency. Generally, grooves are utilized for controlling the flow separation and reducing the drag. Corresponding studies in the literature are Kimura and Tsutahara [3], Leung and Ko [4], Leung et al. [5], Lim and Lee [6], Lee et al. [7], Yamagishi and Oki [8], Seo et al. [9]. It is revealed that significant alterations in the boundary layer development and the cylinder wake are observed, when a groove is present. Moreover, drag and the vortex shedding frequency also vary as a function of groove size. In the literature, semi-circular, U-type and V-type grooves are patterned on the circular cylinder surface [2, 4, 6, 7, 9]. The grooves with arc shapes are utilized in the studies of Kimura and

Tsutahara [3] and Yamagishi and Oki [8]. Multiple grooves patterned onto the cylinder surface are generally studied, except Kimura and Tsutahara [3]. They investigate drag reduction around a circular cylinder with single rectangular groove using two dimensional numerical simulation in subcritical Reynolds number regime. Boundary layer separation is also visualized using qualitative dye experiment. It is reported that separation point moves to leading edge of the groove, when the size of the groove increases. Recently, Canpolat [10] studies the effects of size and angular position of a single longitudinally patterned rectangular groove. It is concluded that the parameters tested in this study have substantial importance on the formation of cylinder wake and turbulence statistics. Zhou et al. [1] conduct experimental study to clarify changes in the near wake of circular cylinders with grooved and dimpled surfaces. They concluded that the grooved and dimpled cylinders produce a lower mean drag than that of a smooth cylinder. Moreover, the strength of vortex shedding from the cylinder becomes weaker due to the effect of grooved or dimpled surfaces.

In the open literature, there are various techniques present to suppress flow separation over the bluff bodies. Gad-el-Hak and Bushnell [12] and Lin [13] provide comprehensive reviews about passive flow control methods. The popular passive flow control methods are vortex generators and surface roughness. Vortex generators could be used for the control of flow separation under the flow conditions of supersonic [14], transonic [15], subsonic [16]. The well-known sample for the separation control with surface roughness is golf ball having dimples patterned onto its surface [17]. Achenbach [18] demonstrated the early transition of boundary layer from laminar to turbulent around

a sphere, when it has certain degree of roughness. Moreover, the presence of surface roughness leads to a lower critical Reynolds number than smooth surface. Surface roughness was successfully employed in the studies of Achenbach [19] and Choi et al. [20] for the separation control and drag reduction. However, the surface roughness cannot be used for supersonic separation control like vortex generators.

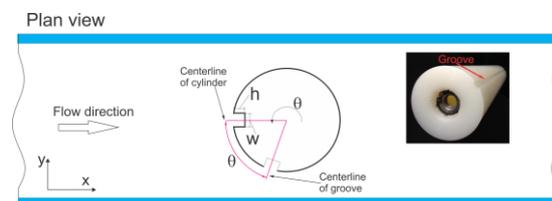
The current experimental work aims at investigating degree of influence of groove size on the flow characteristics of a circular cylinder. To do this, longitudinally patterned two rectangular grooves with various width-to-depth ratios, such as SQ1= 1 mm x 1 mm and SQ2= 2 mm x 2 mm are tested. The particle image velocimetry (PIV) technique is employed in the present measurements for  $Re= 5000$ . Contours of time-averaged/instantaneous vorticity,  $\omega$ , streamlines,  $\Psi$ , streamwise velocity,  $u/U_o$ , distributions of turbulence kinetic energy are utilized to present the cylinder wakes. Power spectra of streamwise fluctuating velocity, which provide frequencies of Karman vortex shedding,  $f_k$  and small scale waves at specified points on the separated shear layer are also demonstrated.

## 2. EXPERIMENTAL SET-UP AND PROCEDURE

Particle image velocimetry (PIV) measurements were undertaken in a circulating free-surface water channel with a test section of 8000 mm length, 1000 mm width and 750 mm height. The test section was constructed from transparent 15 mm thick Plexiglas sheet. Water was circulated by a 15 kW centrifugal pump using a speed control unit. Water was pumped through filters and honeycomb arrangement to regulate inertial effects of water and avoid large-scale vortices throughout the test section. Honeycomb arrangement was also utilized for a flow straightener. In order to obtain uniform flow conditions, water enters the test section after smooth channel contraction, which has 1/2 reduction in size. The depth of the water in the test section was adjusted to 600 mm height for the present experiments. Moreover, the

measurements were taken at half depth of water to safely neglect the effects of free-surface of water and bottom wall of the channel. A schematic representation of experimental setup is shown in Figure 1. The turbulence intensity of free-stream flow was about 0.5% for current flow conditions. Reynolds number based on cylinder diameter ( $D=50$  mm) was  $Re=5 \times 10^3$  with corresponding uniform flow velocity  $U_o=100$  mm/s for the present investigation. Although the measurement depth is very far away from free surface of water, the Froude number [ $Fr= U_o/(ghw)^{1/2}$ ] is a good proof for presenting the effect of its distortion. The corresponding Froude number is  $Fr=0.041$  which is well below from critical Froude number ( $Fr<1$ ).

The circular cylinder was made of polyoxymethylene (POM also called as Delrin) type thermoplastic, which has excellent surface smoothness. The groove from tip-to-tip was milled using high precision CNC milling machine. In order to avoid distortion within structure of the material during machining, the length of cylinder was restricted to 300 mm. Both ends of the cylinders were drilled for locating 200 mm long cylinders with same diameter. These additional cylinders were mounted on Plexiglas plates to prevent end effects of cylinder bases (tip vortices) in the cylinder wake. The experiments were conducted at angular position of the groove of  $\theta=0^\circ$ . The angular position of the groove is defined as relative position of the groove to the forward stagnation point of the cylinder. Sizes of the grooves, which are tested in the current experiments are SQ1= 1 mm x 1 mm and SQ2= 2 mm x 2 mm.



**Figure 1.** Experimental set-up, parameters and a photo of a cylinder with single groove

Digital PIV system includes a double-pulsed Nd:

YAG Laser source with a wavelength of 532 nm, a 8-bit charged coupled device (CCD) camera, a frame grabber with a maximum frame rate of 30 Hz, a synchronizer and a computer. The time interval between pulses was 1.5 ms and laser sheet had approximately 1.5 mm thick for current experiments. In the case of velocity measurements in the plan view plane, the CCD camera was placed under the water channel. In order to measure flow field perpendicular to camera axis, the laser sheet was oriented parallel to the bottom surface of the water channel. CCD camera was equipped with 60 mm lenses and had resolution of 1600 x 1186 pixels. Silver coated hollow glass spheres with diameter of 12  $\mu\text{m}$  were seeded into water channel. In order to acquire and analyze PIV images, Dantec flow grabber software was utilized. An adaptive correlation technique was employed for computation of instantaneous raw velocity vector fields. The images were interrogated with 32x32 pixels effective windows. The overall field of view was 142.4x106.8 mm<sup>2</sup> and 7227 (99x73) velocity vectors were defined. The magnification factor was determined to be 1:12.03, from the image of a millimeter scale located on the laser sheet in the flow field. An overlap of 50% was utilized in order to satisfy Nyquist criterion for interrogation process. The flow field was analyzed with 1500 images at 15 Hz. Time-averaging were applied to instantaneous images to generate mean flow domain independent from time. Spurious velocity vectors (less than 2%) were removed using the local median-filter technique and replaced by using a bilinear least square fit technique between surrounding vectors. The velocity vector field was also smoothed to avoid dramatic changes in the velocity field using the Gaussian smoothing technique. The vorticity value at each grid point was calculated from the circulation around the eight neighboring points. Uncertainty in velocity measurements is generally caused by the seeding particle size, non-uniform particle distribution, particle overlap, interrogation window size and electronic and optical image noise. In the current study, the number of particle images in an interrogation window was kept between 15 and 20, in order to satisfy the high-image-density criterion. The PIV technique used in this study was similar to the one employed by

Sahin et al. [21], the uncertainty in the velocity field was calculated about 2%. The vorticity magnitude at each grid point was determined from the circulation around the eight neighboring points. In order to check the consistency of experimental results, all experiments, including smooth and grooved cylinder cases, were repeated three times. Contours of time-averaged/instantaneous vorticity,  $\omega$ , streamlines,  $\Psi$ , streamwise velocity,  $u/U_0$ , distributions of turbulence kinetic energy, TKE and RMS of streamwise,  $u_{rms}$  and transverse,  $v_{rms}$  velocity fluctuations of each data set were compared and reliability of the data was verified.

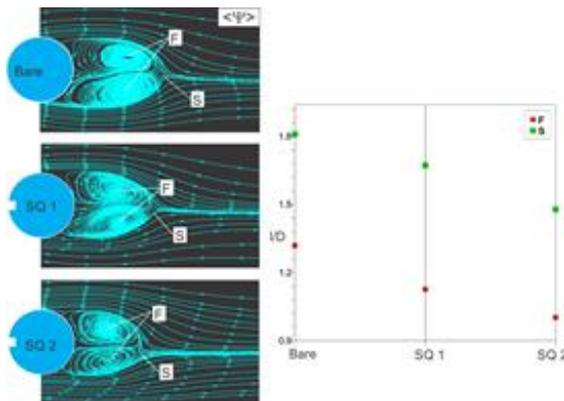
### 3. RESULTS AND DISCUSSIONS

Patterns of time-averaged streamline,  $\langle\Psi\rangle$  of bare cylinder and grooved cylinders indicated as SQ1 and SQ2 are presented in Figure 2 to provide typical flow topology of near wake flow structure of the cylinder. Time-averaged streamlines,  $\Psi$  are composed of a pair of focus, F and a saddle point, S further downstream, which are obviously seen in Figure 2. In the present study, a saddle point, S exists at a distance of 1.32D from surface of the smooth cylinder, which agrees well with the literature [22, 23]. In all cases illustrated in Figure 2, symmetry is evident at both side of horizontal axis passing through the cylinder center. In order to present variation of horizontal extent of foci, F and saddle points, S with groove size, a graph is plotted using dimensionless horizontal distance of these points from cylinder center and cylinder diameter. As seen in Figure 2, the horizontal extent of these points belonging SQ2 are the lowest. It is concluded that locations of these points in the circulation region move to the cylinder surface as the groove size increases.

Time-averaged vorticity,  $\omega$  which is called as the curl of velocity field, components of time-averaged streamwise and transverse velocity are depicted in Figure 3. The corresponding vorticity patterns,  $\langle\omega\rangle$  includes positively and negatively rotated layers emanating from forward stagnation point of the cylinder. For the current flow conditions, a wide separated flow region is occurred. The symmetrical distribution along flow



direction is also valid for patterns of time-averaged vorticity. The length of these contours also shrinks in horizontal direction, as the groove size increases. In addition, the magnitudes of maximum vorticity of grooved cylinders are slightly higher than that of bare cylinder. In the second column of Figure 2, streamwise component of dimensionless time-averaged velocity,  $\langle U/U_o \rangle$  are illustrated. Negatively rotated contours are present in the near wake of the cylinder. The location of maximum point of negatively rotated contours move upstream and their magnitudes decrease, when the groove size increases. In the second column of same figure, transverse component of dimensionless time-averaged velocity,  $\langle V/U_o \rangle$  are demonstrated. The maximum magnitudes of  $\langle V/U_o \rangle$  increase with the presence of the groove. However, there is no obvious rise in the maximum magnitude of  $\langle V/U_o \rangle$  as the groove size increases.



**Figure 2.** Patterns of time-averaged streamline,  $\langle \Psi \rangle$  for various groove size and a plot showing dimensionless distance between critical points and cylinder center in horizontal direction.

Patterns of Reynold stress correlations,  $\langle u'v' \rangle$  and turbulent kinetic energy, TKE distributions are depicted in Figure 4. The color bar at the top of each column show the magnitude of corresponding statistics. In the first column of Figure 4, well-defined positively and negatively rotated contours are detected. Similar to distributions of vorticity

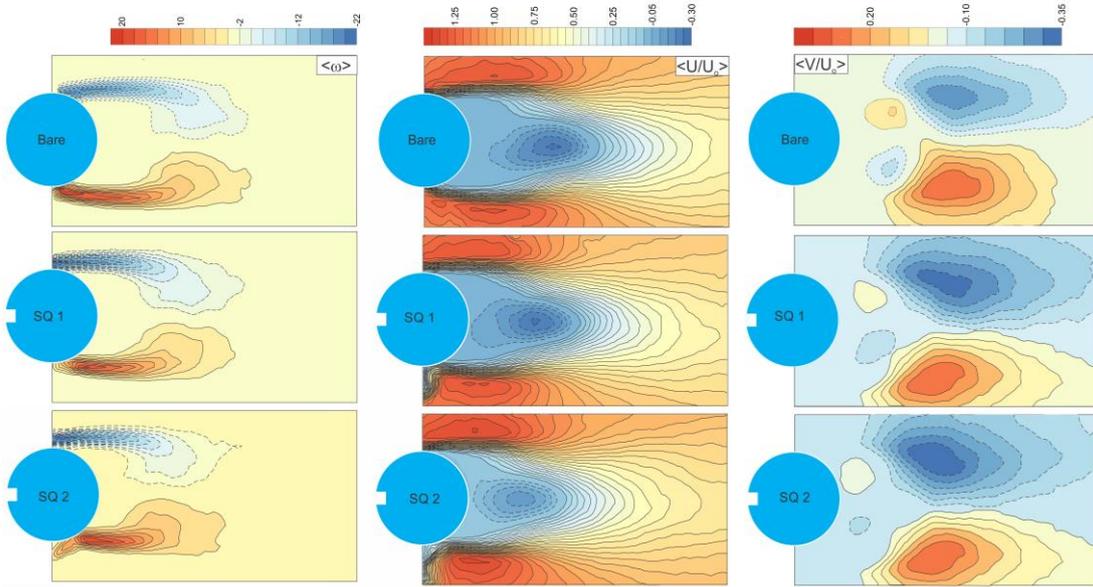
and corresponding streamline, the locations of maxima of Reynold stress correlations move in the upstream direction, when the groove is present. In addition, the maxima of  $\langle u'v' \rangle$  of bare cylinder is lower than that of grooved cylinders. But, there is no significant alteration occurs, when the groove size is varied. In the second column of Figure 4, turbulent kinetic energy, TKE distributions within the near wake of cylinders are illustrated.

Turbulence kinetic energy distributions have single maxima in all cases. Similar to the distributions of  $\langle u'v' \rangle$ , the maximum magnitudes of TKE belonging the grooved cylinder have always higher values than bare cylinder.

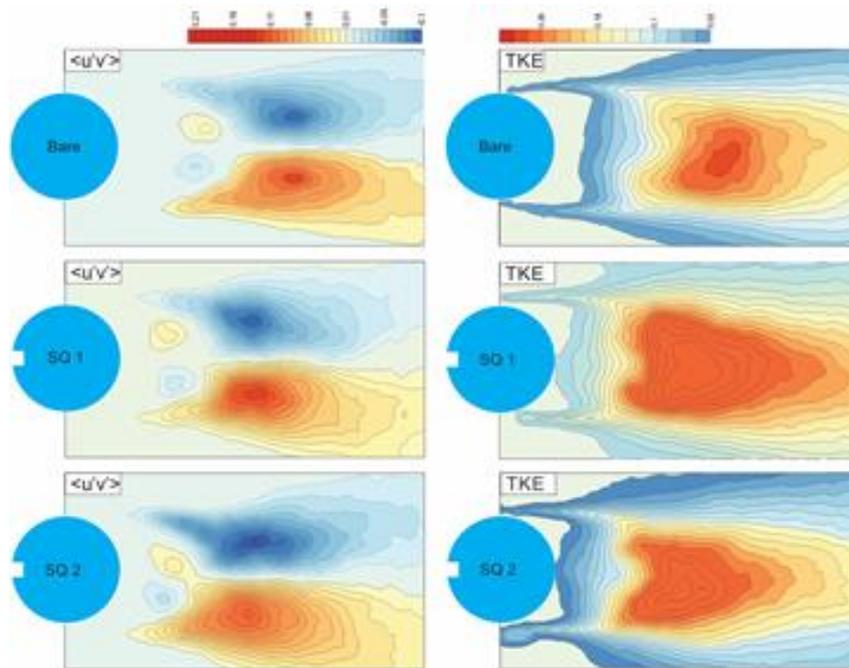
Moreover, the groove size have no significant effect on maximum values of TKE. The spatial locations of maxima of TKE contours move close to the cylinder surface, as the groove size increases.

Vortex shedding from each side of a circular cylinder causes a well-defined Karman vortex street. Frequency of vorticity pairs is a function of diameter of circular cylinder and the Reynolds number [24]. In the present experiments, power spectra of streamwise fluctuating velocity at single point on separated shear layer indicates one dominant frequency, which is Karman vortex shedding frequency with a magnitude of  $f_k=0,38\text{Hz}$ . This frequency value yields to Strouhal number  $St=(f_k D)/U_o=0,19$  for current test conditions. Here,  $D$  is diameter of the circular cylinder and  $U_o$  is the uniform flow velocity. Single peaks are detected at either side of the cylinder, when the groove is present.

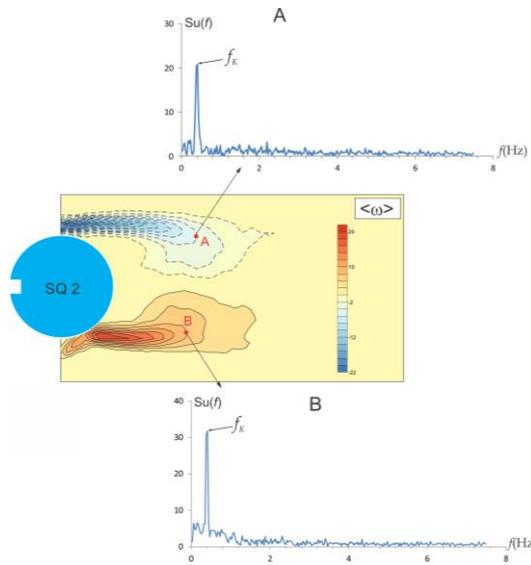
The vortex shedding frequency increases slightly and takes  $f_k=0,40\text{Hz}$  for grooved cylinder. It is concluded that the groove size has no influence on the vortex shedding frequency, when the groove is located at the forward stagnation point of a circular cylinder. The related plots and spatial locations of point used for single point spectral analysis are shown in Figure 5.



**Figure 3.** Patterns of time-averaged vorticity,  $\langle \omega \rangle$ , streamwise,  $\langle U/U_o \rangle$  and transverse,  $\langle V/U_o \rangle$  components of dimensionless time-averaged velocity for bare and grooved cylinders.



**Figure 4.** Distributions of Reynolds stresses,  $\langle u'v' \rangle$  and turbulence kinetic energy, TKE for bare and grooved cylinders.



**Figure 5.** Power spectra of streamwise fluctuating velocity at various locations in the flow field. Karman frequency is indicated with  $f_k$  on the graphs

#### 4. CONCLUSIONS

In the present study, flow past a circular cylinder is investigated experimentally as a function of groove size, when the groove is located at the forward stagnation point of the cylinder using the particle image velocimetry (PIV) technique. The influences of flow structure on near wake flow structure and turbulence statistics are revealed with and time-averaged data at  $Re=5000$ . Experimental results corresponding bare cylinder (without groove) are well consistent with related literature. In all cases, a symmetry is evident at both side of horizontal axis passing through the cylinder center. Spatial locations of critical points in the circulation region and maxima of turbulence statistics move to the cylinder surface as the groove size increases. However, the groove size has no significant influence magnitudes of maxima of turbulence statistics. The presence of a groove at the forward stagnation point of circular cylinder increases the vortex shedding frequency slightly; but groove size does not create any variation on the same frequency values.

#### 5. ACKNOWLEDGEMENTS

The author is greatly appreciated to Mechanical Engineering Department in Cukurova University for providing PIV facility in Fluid Mechanics Laboratory. This work is supported financially by Cukurova University Scientific Research Office under contact no: MMF2014BAP2.

#### 6. REFERENCES

1. Roshko A. 1993. Perspectives on Bluff Body Aerodynamics. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 49:79-100.
2. Leung Y.C., Wong C.H., Ko N.W.M. 1997. Characteristics of Flows Over an Asymmetrically Grooved Circular Cylinder in the Transitional Regimes. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 69-71: 169-178.
3. Kimura T., Tsutahara M., 1990. Fluid Dynamic Effects of Grooves on Circular Cylinder Surface. *AIAA Journal* 29:2062-2068.
4. Leung Y.C., Ko N.W.M. 1991. Near Wall Characteristics of Flow Over Grooved Circular Cylinder. *Experiments in Fluids* 10:322-332.
5. Leung Y.C., Ko N.W.M., Tang K.M. 1992. Flow Past Circular Cylinder with Different Surface Configurations. *Trans. ASME-Journal of Fluids Engineering* 114: 170-177.
6. Lim H.C., Lee S.J. 2002. Flow Control of Circular Cylinder with Longitudinal Grooved Surfaces. *AIAA Journal* 40:2027-2036,
7. Lee S.J., Lim H.C., Han M., Lee S.S. 2005. Flow Control of Circular Cylinder with a V-Grooved Micro-Riblet Film. *Fluid Dynamics Research* 37:246-266.
8. Yamagashi Y., Oki M. 2007. Numerical Simulation of Flow Around a Circular Cylinder with Curved Sectional Grooves. *Journal of Visualization* 10:179-186.
9. Seo S-H., Nam C-D., Jan J-Y., Hong C-H. 2013. Drag Reduction of a Bluff Body by Grooves Laid Out by Design of Experiment. *Trans. ASME-Journal of Fluids Engineering* 135: 111202-1-10.
10. Canpolat C. 2015. Characteristics of Flow Past a Circular Cylinder with a Rectangular Groove.

- Flow Measurement and Instrumentation, 45:233-246.
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 Engineering*, 109:7-13.
  12. Gad-el-Hak M., Bushnell D.M. 1991. Separation Control. *Trans. ASME-J Fluids Eng* 113:5-30.
  13. Lin J.C. 2002. Review of Research on Low-Profile Vortex Generators to Control Boundary-Layer Separation. *Progress in Aerospace Sciences* 38:389-420.
  14. Souverein L.J., Debieve J.F. 2010. Effect of Air Jet Vortex Generators on a Shock Wave Boundary Layer Interaction Experiments of *Fluids* 49:1053-1064.
  15. Bur R., Coponet D., Carpels Y. 2009. Separation Control by Vortex Generator Devices in a Transonic Channel Flow. *Shock Waves* 19:521-530.
  16. Lin J.C., Robinson S.K., McGhee R.J., Valarezo W.O. 1994. Separation Control on High-Lift Airfoils Via Micro-Vortex Generators. *Journal of Aircraft* 31:1317-1323.
  17. Choi J., Jeon W.P., Choi H. 2008. Control of Flow Over a Bluff Body. *Annual Review Fluid Mechanics* 40:113-139,
  18. Achenbach E. Experiments on the flow Past Spheres at Very High Reynolds Numbers. *J. Fluid Mech.* 54:565-75,1972.
  19. Achenbach E. 1974. The Effect of Surface Roughness and Tunnel Blockage on the Flow Past Spheres. *J. Fluid Mech.* 65:113-25.
  20. Choi J., Jeon W.P., Choi H. 2006. Mechanism of Drag Reduction by Dimples on a Sphere. *Physics of Fluids* 18:041702.
  21. Sahin B., Ozturk N.A., Akilli H. 2007. Horseshoe Vortex System in the Vicinity of The Vertical Cylinder Mounted on a Flat Plate. *Flow Measurement and Instrumentation* 18:57-68.
  22. Parnaudeau P., Carlier J., Heitz D., 2008. Lamballais E. Experimental and Numerical Studies of the Flow Over a Circular Cylinder at Reynolds Number 3900. *Physics of Fluids.* 20:085101-1-14.
  23. Dong S., Karniadakis G.E., Ekmekci A., Rockwell D., 2006. A Combined Direct Numerical Simulation-Particle Image Velocimetry Study of the Turbulent Near Wake. *Journal of Fluid Mechanics* 569:185-207,
  24. Williamson C.H.K., 1996. Vortex Dynamics in the Cylinder Wake. *Annual Review Fluid Mechanics* 28:477-539.

## Burulma Düzensizliğinin Betonarme Yapı Davranışına Etkileri

**Hakan ERDEM<sup>\*1</sup>**

<sup>1</sup>Niğde Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Niğde

Geliş tarihi: 10.02.2016

Kabul tarihi: 17.03.2016

### Özet

Yapıların taşıyıcı sistemlerinin depreme dayanıklı taşıyıcı sistem seçimi ilkelerine uygun seçilmemesi yapının davranışını olumsuz etkiler. Yapıların kütle ve rijitlik merkezlerinin çakıştırılmaması da burulma düzensizliğine sebep olur. Bu durumda olan yapıların bazı parametreleri, burulma düzensizliğinin etkilerini görmek için incelenecektir. Hesaplamalarda kolon boyutları değiştirilerek farklı eksantirisiteye ve rijitliklere sahip taşıyıcı sistemler oluşturulmuş ve İdeCAD programı kullanılarak yapılar modellenmiş ve analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar yapısal düzensizlikler, yapı ağırlığı, birinci periyotlar ve taban kesme kuvvetleri için karşılaştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Betonarme yapı, Deprem, Burulma düzensizliği, Yapısal davranış

### Effects of Torsional Irregularity on Reinforced Concrete Behaviour

#### Abstract

If skeletal system is not selected according to the principles of earthquake resistant skeletal system selection, it negatively affects the behavior of the structure. Torsional irregularity occurs when the mass and stiffness center of the structure isn't same. Some parameters of the structure, which in the case will be examined to see the effects of torsional irregularity. In the calculations, skeletal systems having different eccentricity and rigidity by changing column dimensions were selected, modeled and analyzed using IdeCAD program. Structural irregularities, structure weight, first period and base shear forces are compared for the results obtained.

**Keywords:** Reinforced concrete structure, Earthquake, Torsional irregularity, Structural behaviour

---

\* Yazışmaların yapılacağı yazar: Hakan ERDEM, Niğde Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Niğde, herdem@nigde.edu.tr

## 1. GİRİŞ

Betonarme yapıların taşıyıcı sistemleri estetik, emniyet ve ekonomiyi gözeterek biçimde tasarlanır. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik'te (DBYBHY) bahsedilen depreme dayanıklı yapı tasarımı ilkeleri de taşıyıcı sistem seçiminde dikkate alınır [1]. Doğru taşıyıcı sistem seçimi yapılmaması ya da yapılamaması durumunda yapının davranışı olumsuz etkilenir. DBYBHY'de planda ve düşey doğrultuda düzensizlikler kontrol edilerek yapının davranışı düzeltilmeye çalışılır. Ancak, bazı yapıların mimari projelerinin uygun olmaması ya da taşıyıcı sistem seçim ilkelerine yeterince sahip olmayan tasarımcı hataları nedeniyle doğru bir taşıyıcı sistem seçimi yapılamayabilir. Özellikle kütle ve rijitlik merkezinin çakıştırılmamış olması durumunda yapıda burulma düzensizliği oluşur. Bu tür yapıların depremde diğer yapılara göre daha fazla hasar gördükleri gözlenmiştir.

Burulma düzensizliği ve bu düzensizliğin yapı ve davranışı üzerine bazı çalışmalar yapılmıştır. Boğa [2] çok katlı yapılarda burulma düzensizliğinin etkilerini incelemiştir. Özmen [3-7] çok katlı yapılarda burulma düzensizliklerini, rijitlik dağılımının burulma düzensizliğine etkilerini ve deprem yönetmeliklerindeki burulma düzensizliği koşullarını incelemiştir. Livaoğlu [8] yapıların deprem hesabında burulma düzensizliğini ve kullanılan hesap yöntemlerinin etkinliğini, Uçar ve Merter [9] taşıyıcı sistemlerde perde yerleşiminin binaların depremdeki davranışına etkisini, Doğan ve Er [10] hareketli yük dağılımının burulma düzensizliğine etkisini incelemiştir. Sandıkçı [11] ise yumuşak kat düzensizliği ile burulma düzensizliği arasındaki ilişkiyi araştırmıştır.

Bu çalışmada taşıyıcı sistemi oluşturan düşey taşıyıcı eleman kolonların simetrik yerleştirilmemesi ve yapının kütle merkezi ile çakışmaması durumunda olan betonarme yapılarda burulma düzensizliğinin yapı davranışına etkileri incelenecektir. Kütle ve rijitlik merkezinin çakışmamasının sonucu olarak bir eksantrisite oluşacak ve buda yapıda burulmanın oluşmasına

neden olacaktır. Önce kütle ve rijitlik merkezi çakışan bir yapı alınmış, daha sonra seçilen bir kolon boyutları değiştirilerek farklı durumlar oluşturulmuş ve İdeCAD paket programı ile farklı taşıyıcı sisteme sahip aynı yapının analizi yapılmıştır. Elde edilen düzensizlikler, yapı ağırlıkları, birinci periyotlar, spektrum katsayıları, taban kesme kuvvetleri karşılaştırılmıştır.

## 2.YAPISAL DÜZENSİZLİKLER

### 2.1. Düzensiz Binalar

Depreme karşı davranışlarındaki olumsuzluklar nedeni ile tasarımından ve yapımından kaçınılması gereken düzensiz binaların tanımlanması ile ilgili olarak, planda ve düşey doğrultuda düzensizlik meydana getiren durumlar ve bunlarla ilgili koşullar DBYBHY'de verilmiştir.

### 2.2. Planda Düzensizlikler

Plandaki düzensizlikler, A1-Burulma Düzensizliği, A2-Döşeme Süreksizlikleri ve A3-Planda Çıkıntılar Bulunması durumlarıdır.

#### 2.2.1. Burulma Düzensizliği

Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir katta en büyük görelî kat ötelemesinin ( $\Delta_{i_{max}}$ ), o katta aynı doğrultudaki ortalama görelî ötelemeye oranını ( $\Delta_{i_{ort}}$ ) ifade eden burulma düzensizliği katsayısı  $\eta_{bi}$ 'nin 1,2'den büyük olması durumudur. Görelî kat ötelemelerinin hesabında,  $\pm$  %5 ek dışmerkezlik etkileri de göz önüne alınarak, Eşitlik 1'e göre yapılır.

$$\eta_{bi} = \frac{\Delta_{i_{max}}}{\Delta_{i_{ort}}} > 1,2 \quad (1)$$

#### 2.2.2. Döşeme Süreksizlikleri

Herhangi bir kattaki döşemede, merdiven ve asansör boşlukları dahil, boşluk alanları toplamının ( $A_b$ ) kat brüt alanının ( $A$ ) 1/3'ünden fazla olması,

deprem yüklerinin düşey taşıyıcı sistem elemanlarına güvenle aktarılabilmesini güçleştiren yerel döşeme boşluklarının bulunması, döşemenin düzlem içi rijitlik ve dayanımında ani azalmaların olması durumudur.

$$\frac{A_b}{A} > \frac{1}{3} \quad (2)$$

### 2.2.3. Planda Çıkıntılar Bulunması

Bina kat planlarında çıkıntı yapan kısımların ( $a_{çıkıntı}$ ) birbirine dik iki doğrultudaki boyutlarının her ikisinin de, binanın o katının aynı doğrultulardaki toplam plan boyutlarının ( $L$ ) %20'sinden daha büyük olması durumudur.

$$a_{çıkıntı} > 0,2L \quad (3)$$

### 2.3. Düşey Doğrultuda Düzensizlikler

Düşey doğrultudaki düzensizlikler, B1-Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği (Zayıf Kat), B2-Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği (Yumuşak Kat) ve B3-Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği olarak tanımlanmıştır.

#### 2.3.1. Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği

Betonarme binalarda, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi birinde, herhangi bir kattaki etkili kesme alanının ( $\sum A_g$ )<sub>i</sub>, bir üst kattaki etkili kesme alanına ( $\sum A_g$ )<sub>i+1</sub>, oranı olarak tanımlanan dayanım düzensizliği katsayısı  $\eta_{ci}$ 'nin 0,80'den küçük olması durumudur.

$$\eta_{ci} = \frac{(\sum A_e)_i}{(\sum A_e)_{i+1}} < 0,80 \quad (4)$$

$$\sum A_e = \sum A_w + \sum A_g + 0,15 \sum A_k$$

#### 2.3.2. Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği (Yumuşak Kat)

Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi

biri için, herhangi bir i'inci kattaki ortalama görelî kat ötelemesinin kat yüksekliğine oranının ( $\Delta_i / h_i$ )<sub>ort</sub> bir üst ( $\Delta_{i+1} / h_{i+1}$ )<sub>ort</sub> veya bir alt kattaki ( $\Delta_{i-1} / h_{i-1}$ )<sub>ort</sub> ortalama görelî kat ötelemesinin kat yüksekliğine oranına bölünmesi ile tanımlanan rijitlik düzensizliği katsayısı  $\eta_{ki}$ 'nin 2 den fazla olması durumudur. Görelî kat ötelemelerinin hesabı,  $\pm$  %5 ek dışmerkezlilik etkileri de gözönüne alınarak yapılır.

$$\eta_{ki} = \frac{\left(\frac{\Delta_i}{h_i}\right)_{ort}}{\left(\frac{\Delta_{i+1}}{h_{i+1}}\right)_{ort}} > 2 \quad (5)$$

$$\eta_{ki} = \frac{\left(\frac{\Delta_i}{h_i}\right)_{ort}}{\left(\frac{\Delta_{i-1}}{h_{i-1}}\right)_{ort}} > 2$$

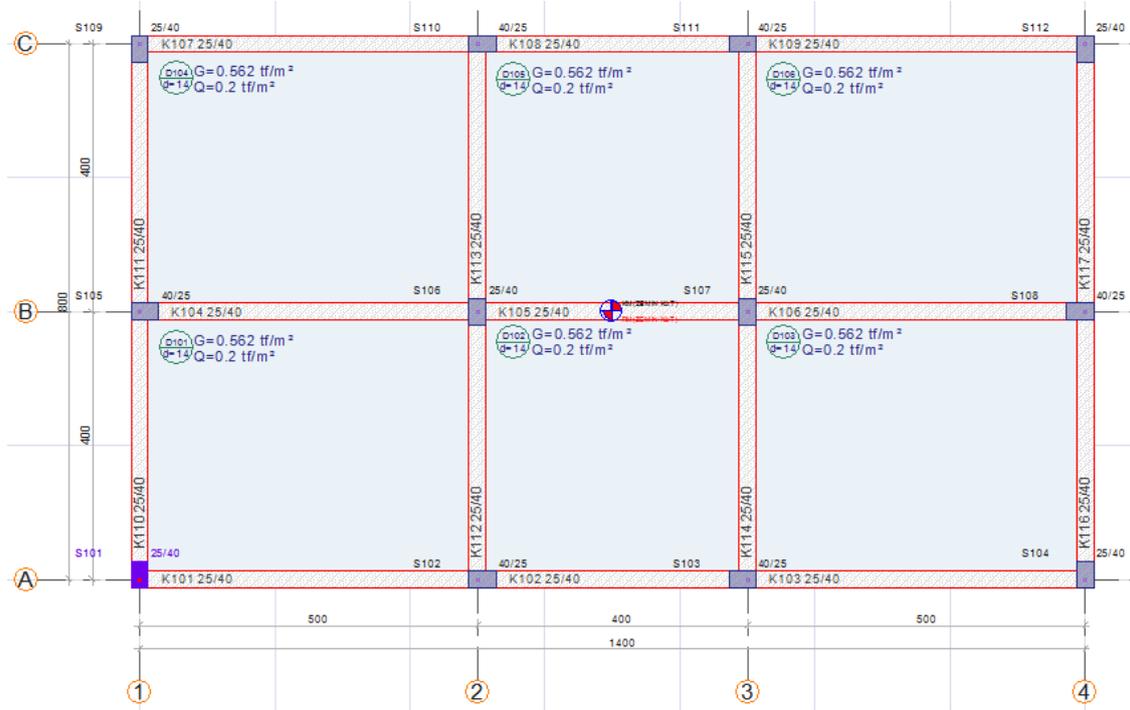
#### 2.3.3. Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği

Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının (kolon veya perdelerin) bazı katlarda kaldırılarak kirişlerin veya guseli kolonların üstüne veya ucuna oturtulması, ya da üst kattaki perdelerin altta kolonlara oturtulması durumudur.

### 3. SAYISAL UYGULAMA

Bu çalışmada, yönetmeliklerdeki burulma düzensizliğinin yapıların davranışı üzerinde etkileri yapının x ve y doğrultularında birinci periyotları, taban kesme kuvvetleri ve yapı ağırlıkları üzerinden incelenmiştir. Bu incelemede yatayda 3 ve düşey doğrultuda 4 akslı 8 m  $\times$  14 m boyutunda simetrik bir yapı seçilmiştir (Şekil 1). Yapı bodrum, zemin ve 4 normal kattan oluşmaktadır. Kat yükseklikleri 3'er metredir. Malzeme olarak C25 ve S420 seçilmiştir. Yapı olarak 2. deprem bölgesinde konut, taşıyıcı sistem olarak ise süneklik düzeyi yüksek çerçeve ve duvar yükü olarak ta 18 cm kalınlığında gaz beton (sıva dahil 3,261 kN/m) seçilmiştir. Son katta ise duvar yükü alınmamıştır. Yer altı zemin sınıfı Z2 alınmıştır.

## Burulma Düzensizliğinin Betonarme Yapı Davranışına Etkileri



Şekil 1. Yapının kalıp planı ve üç boyutlu gösterimi

Z2 için  $T_a=0,15$  ve  $T_b=0,40$ 'dır. Yapıların analizinde İdeCAD programı kullanılmıştır. İlkönce 25 cm  $\times$  40 cm boyutlarında kolonlardan oluşan simetrik yerleştirilmiş ve her iki doğrultuda atalet momentleri toplamı aynı olan bir taşıyıcı sistem seçilmiş, analiz edilmiş ve bu durum düzenli durum olarak adlandırılmıştır.

Daha sonra farklı burulma oluşma durumlarını gösterebilmek için A1 akslarının birleşim noktasındaki S1 kolonunun boyutları sırasıyla 25 cm  $\times$  60 cm, 25 cm  $\times$  80 cm, 25 cm  $\times$  100 cm, 25 cm  $\times$  120 cm, 25 cm  $\times$  140 cm, 25 cm  $\times$  160 cm ve 25 cm  $\times$  180 cm değiştirilerek analizler tekrarlanmıştır (Çizelge 1, 2).

Çizelge 1. x doğrultusu A1 burulma düzensizlikleri

KAT	DÜZENLİ DURUM		25*60		25*80		25*100		25*120		25*140		25*160		25*180	
	(+) %5	(-) %5	(+) %5	(-) %5	(+) %5	(-) %5	(+) %5	(-) %5	(+) %5	(-) %5	(+) %5	(-) %5	(+) %5	(-) %5	(+) %5	(-) %5
4.	1,04	1,04	1,05	1,04	1,04	1,03	1,04	1,03	1,04	1,03	1,05	1,03	1,05	1,02	1,05	1,02
3.	1,04	1,04	1,05	1,04	1,04	1,02	1,04	1,02	1,04	1,02	1,04	1,02	1,04	1,02	1,04	1,02
2.	1,04	1,04	1,05	1,04	1,04	1,02	1,04	1,02	1,04	1,02	1,04	1,02	1,04	1,02	1,04	1,02
1.	1,04	1,04	1,05	1,04	1,04	1,02	1,04	1,02	1,04	1,02	1,04	1,02	1,04	1,01	1,04	1,01
Z	1,04	1,04	1,05	1,04	1,04	1,02	1,04	1,02	1,04	1,02	1,03	1,01	1,03	1,01	1,03	1,01
B	1,04	1,04	1,04	1,03	1,03	1,01	1,03	1,01	1,03	1,01	1,03	1,01	1,04	1	1,04	1

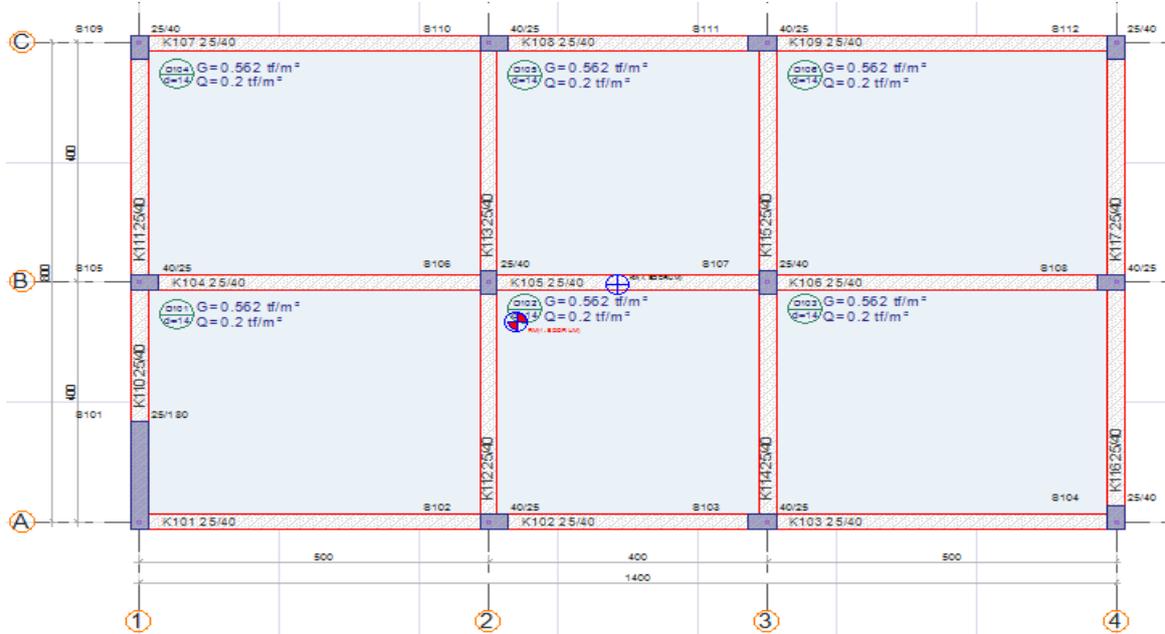


Çizelge 2. y doğrultusu A1 burulma düzensizlikleri

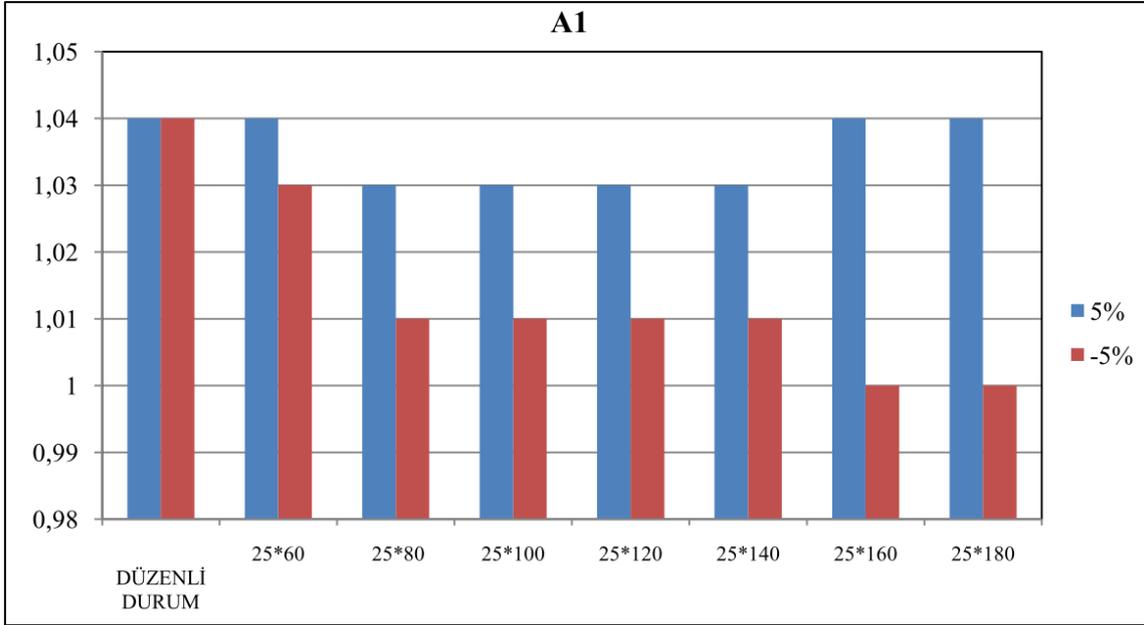
KAT	DÜZENLİ DURUM		25*60		25*80		25*100		25*120		25*140		25*160		25*180	
	(+) %5	(-) %5	(+) %5	(-) %5	(+) %5	(-) %5	(+) %5	(-) %5	(+) %5	(-) %5	(+) %5	(-) %5	(+) %5	(-) %5	(+) %5	(-) %5
4.	1,11	1,11	1,1	1,12	1,12	1,1	1,15	1,08	1,17	1,06	1,18	1,04	1,18	1,05	1,17	1,06
3.	1,12	1,12	1,08	1,16	1,06	1,18	1,04	1,19	1,02	1,21	1	1,23	1,03	1,25	1,06	1,28
2.	1,12	1,12	1,08	1,16	1,05	1,19	1,02	1,21	1,01	1,21	1,06	1,28	1,11	1,33	1,16	1,37
1.	1,13	1,13	1,09	1,16	1,06	1,19	1,01	1,22	1,04	1,27	1,1	1,33	1,17	1,38	1,24	1,44
Z	1,13	1,13	1,09	1,16	1,03	1,21	1,05	1,28	1,13	1,35	1,22	1,43	1,3	1,49	1,38	1,56
B	1,13	1,13	1,02	1,26	1,17	1,39	1,3	1,49	1,41	1,58	1,5	1,65	1,58	1,71	1,64	1,76

Çizelge 1 ve 2'de aynı yapıya ait sekiz farklı taşıyıcı sistem için kütle merkezlerine (+%5) ve (-%5) eksantrisine eklenmesi durumlarına ait her kat için elde edilen x ve y doğrultularına ait burulma düzensizlikleri verilmiştir. Kolon boyutunun y doğrultusunda büyütülmesi ve bunun sonucu olarak

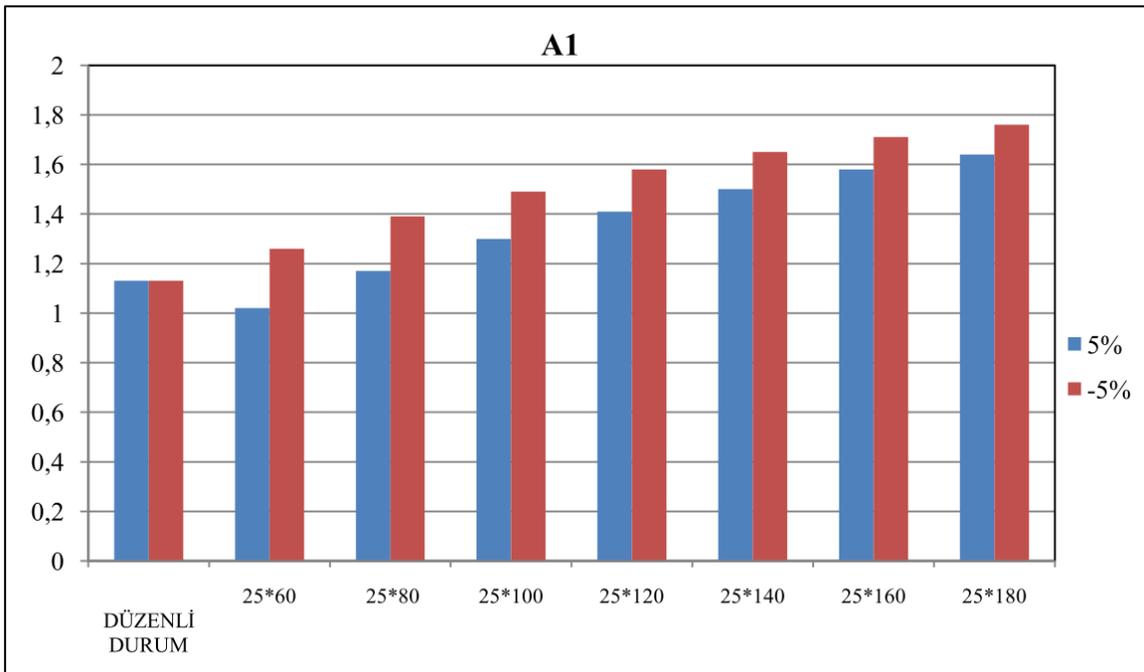
eksantrisitenin oluşmasıyla öncelikle en alt katlardan başlamak üzere burulma düzensizliklerinin olduğu gözlenmiştir. Şekil 2'de sekizinci durum olan A1 kolonunun 25\*180 seçilmesi için bodrum katta eksantrisitenin kalıp planındaki gösterimi verilmiştir.



Şekil 2. Bodrum kat kalıp planında kütle ve rijitlik merkezi gösterimi



Şekil 3. Bodrum katta x doğrultusunda burulma düzensizliği



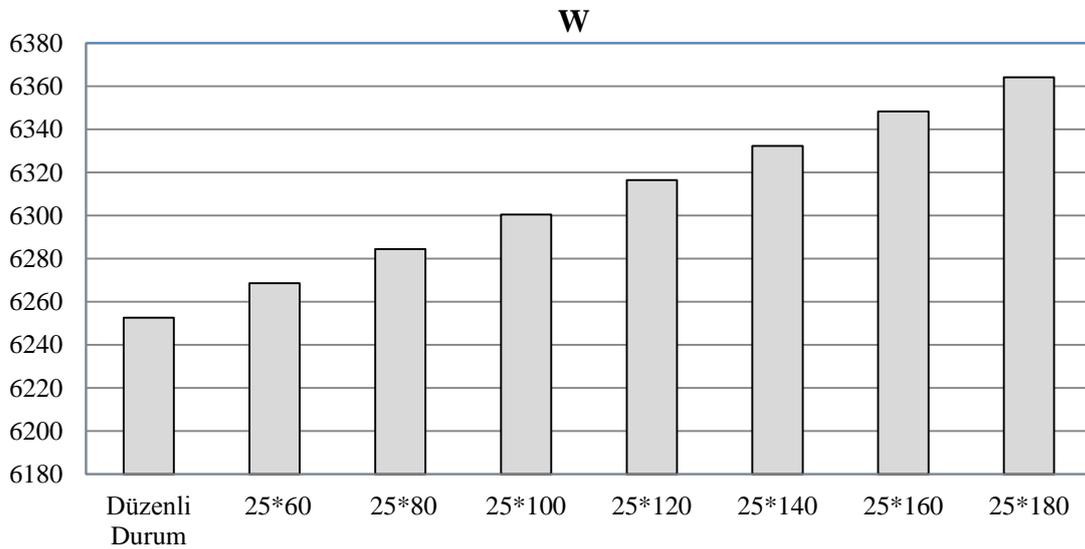
Şekil 4. Bodrum katta y doğrultusunda burulma düzensizliği

Şekil 3’de bodrum katlar için x doğrultusunda deprem yüklemesi durumu için burulma düzensizlikleri verilmiş ve grafikten (-%5) için burulma düzensizliğinin azaldığı görülmektedir. Diğer durum için ise burulma düzensizliğinin değişimi az olmuştur. Şekil 4’de ise bodrum katlar için y doğrultusunda deprem yüklemesi durumu için burulma düzensizlikleri verilmiş ve grafikten hem (+%5) hem de (-%5) için burulma düzensizliklerinin arttığı görülmüştür.

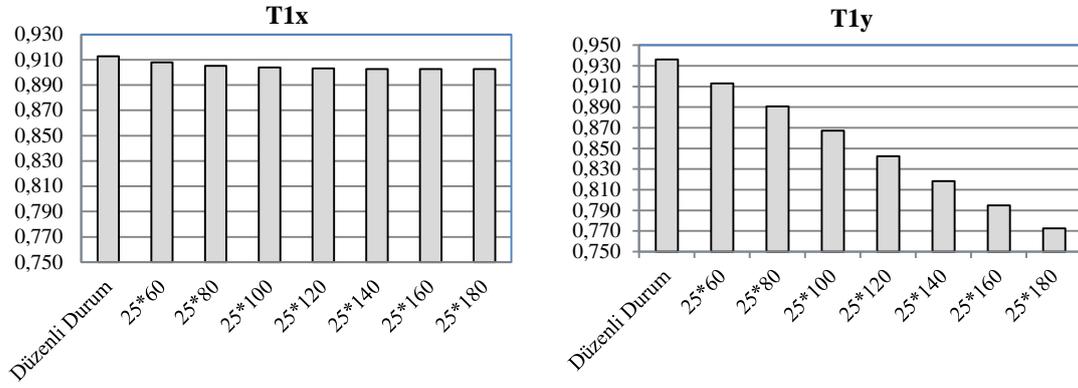
Bu grafikten (-%5) için artışın biraz daha fazla olduğu anlaşılmaktadır. İncelenen yapının kalıp planında boşluklar, döşeme kalınlığı değişimleri olmadığından A2 döşeme süreksizlikleri düzensizliği yoktur. Ayrıca yine kalıp planında çıkıntılar olmadığından A3 planda çıkıntı bulunması düzensizliği de bulunmamaktadır. Yapı ağırlığı W kolon büyüklüklerinin büyümesine bağlı olarak da artmaktadır (Şekil 5).

**Çizelge 3.** B2 düzensizlikleri (+%5 ve -%5 için her katta maksimum değerler)

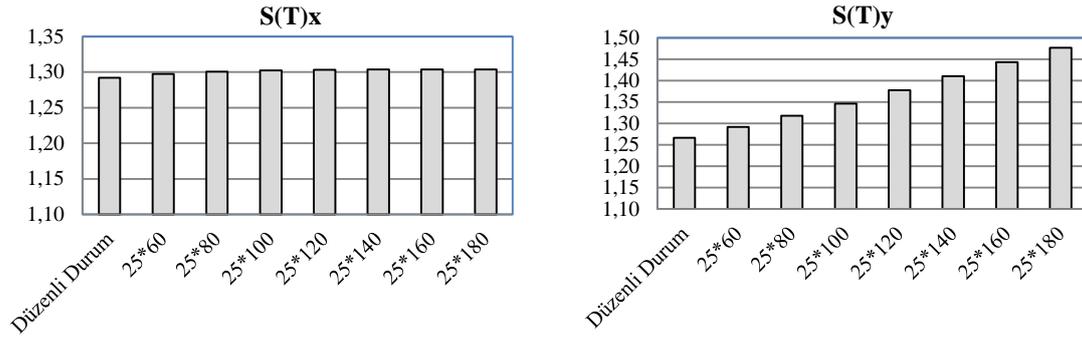
Katlar	Düzenli Durum	25*60	25*80	25*100	25*120	25*140	25*160	25*180
4.	0,57	0,58	0,6	0,63	0,65	0,67	0,69	0,7
3.	1,88	1,88	1,88	1,88	1,87	1,87	1,87	1,86
2.	1,39	1,39	1,39	1,39	1,39	1,39	1,39	1,39
1.	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23
Z	1,21	1,21	1,21	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22
B	-	-	-	-	-	-	-	-



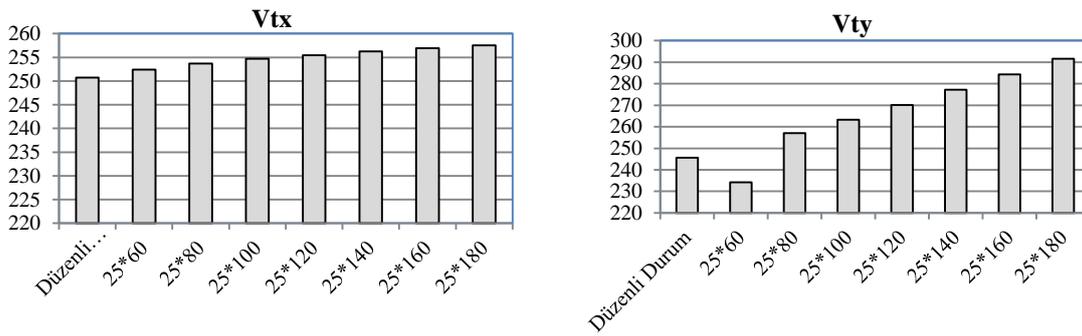
**Şekil 5.** Hareketli yükler dahil toplam yapı ağırlığı (kN)



Şekil 6. x ve y doğrultularında birinci doğal titreşim periyotları (sn)



Şekil 7. x ve y doğrultularında spektrum katsayıları



Şekil 8. x ve y doğrultularında toplam eşdeğer deprem kuvvetleri (kN)

Hesaplarda,  $T_{1x}$  ve  $T_{1y}$  değerleri  $T_b=0,40$  dan büyük hesaplanmıştır (Şekil 6). Bu durumda spektrum katsayısı hesabında  $S(T)=2,5(T_b/T)^{0,8}$  kullanılması gerekir.  $T_{1x}$  deki azalmadaki değişim az olduğundan  $S(T)_x$  daha az artmakta,  $T_{1y}$  deki azalma ise belirgin fazla olduğundan  $S(T)_y$  daha fazla artmaktadır (Şekil 7). Yapı ağırlığı ve spektrum katsayısı taban kesme kuvvetini artırır. Yapı ağırlığı  $x$  ve  $y$  doğrultularında aynı alınacağından taban kesme kuvvetini spektrum katsayısı belirler.  $X$  doğrultusu için spektrum katsayısındaki değişim az artış olacağından  $V_{1x}$ 'in değeri birinci ve sekizinci durum arasında az değişir (Şekil 8).  $Y$  doğrultusunda ise spektrum katsayısı birinci ve sekizinci durum arasında belirgin olarak arttığından buna bağlı olarak  $V_{1y}$ 'de belirgin bir artış yaşanmıştır (Şekil 8).

#### 4. SONUÇLAR

Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelikte, yapıların taşıyıcı sistemlerinin yüklemeler altında olumlu bir davranış gösterebilmesi için, planda ve düşey doğrultuda düzensizlikler oluşmayacak biçimde tasarlanması istenmektedir. Yönetmelik burulma düzensizliğinden mümkün olduğunca kaçınılması gerektiğini belirtmektedir. Bu çalışmada burulma düzensizliği olmayacak /oluşabilecek şekilde aynı yapı için sekiz farklı taşıyıcı sistem oluşturulmuş ve İdeCAD programı ile yapılar analiz edilmiştir. Öncelikle düzensizlikler, sonra ise yapı ağırlığı, birinci periyotlar, spektrum katsayıları ve deprem nedeniyle oluşacak taban kesme kuvvetleri ve bunların seçilen taşıyıcı sistem seçimine göre değişimleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlardan kütle ve rijitlik merkezlerinin çakıştırılmaması durumlarında burulma düzensizliklerinin oluşacağı, kolon boyutlarının büyütülmesi ile yapının kolon boyutlarının büyütüldüğü doğrultuda rijitliğinin arttığı, rijitliğin arttığı doğrultuda spektrum katsayısının büyüdüğü ve taban kesme kuvvetinin de bu doğrultuda arttığı gözlenmiştir. Komşu katlar arası rijitlik düzensizliğinin burulma düzensizliğinden çok etkilenmediği görülmüştür. A2, A3, B1 ve B3 düzensizlikleri taşıyıcı sistem seçiminden dolayı oluşmamıştır. Sonuç olarak elde edilen

sonuçlardan yapının kolonlarının yerleşimlerine göre yapıda burulmalar oluşacağı, yapının her iki doğrultuda rijitliklerine bağlı olarak yapının periyotlarının ve taban kesme kuvvetlerinin değişeceği gösterilmiştir. Taban kesme kuvvetine bağlı olarak ta taşıyıcı sistemi oluşturan elemanlarda kuvvetlerde bir artış gözleneceğinden, yapının analiz sonuçlarının olumlu etkilenmesi için burulma düzensizliği oluşmayacak taşıyıcı sistem seçimine özen gösterilmesi gerekmektedir.

#### 5. KAYNAKLAR

1. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, 2007.Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Mart, Ankara.
2. Boğa, H., 2000. Çok Katlı Betonarme Yapılarda Burulma Düzensizliğinin İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tez Çalışması, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
3. Özmen, G., 2001. Çok Katlı Yapılarda Burulma Düzensizliği, Teknik Rapor No: TDV/TR 036-61, Türkiye Deprem Vakfı, İstanbul.
4. Özmen, G., 2001. Rijitlik Dağılımının Burulma Düzensizliğine Etkisi, Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi, 411/1, 37-40.
5. Özmen, G., 2004. Çok Katlı Yapılarda Aşırı Burulma Düzensizliği, İnşaat Mühendisleri Odası Teknik Dergi, 3131-3144.
6. Özmen, G., 2011. Deprem Yönetmeliklerindeki Burulma Düzensizliği Koşullarının İrdelenmesi, Teknik Rapor No: TDV/TR 053-91, Türkiye Deprem Vakfı, İstanbul.
7. Özmen, G., 2012. Deprem Yönetmeliklerindeki Burulma Düzensizliği Koşulları, Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi, 472/2, 52-64.
8. Livaoglu, R., 2001. Yapıların Deprem Hesabında Burulma Düzensizliğinin ve Hesap Yöntemlerinin Etkinliğinin İncelenmesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 145 sayfa.
9. Uçar, T., Merter, O., 2009. Planda Perde Yerleşiminin Betonarme Perde-Çerçevesel Binaların Deprem Davranışına Etkisi, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik

Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 11/2,  
11-18.

- 10.** Doğan, O., Er, Ş.B., 2010. Hareketli Yük Dağılımının Burulma Düzensizliğine Etkisinin İncelenmesi, International Journal of Engineering Research and Development, 2/2.
- 11.** Sandıkçı, T., 2014. Bina Türü Betonarme Bir Yapıda Yumuşak Kat ve Burulma Düzensizliği İlişkisinin İncelenmesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 107 sayfa.

## 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 gönderilmelidir. Hakem değerlendirilmesinden sonra makalenin son hali 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, kağıdın sol ve sağ yanında 2,50 cm, üst ve alt yanlarında 3,00 cm boşluk bırakılmalıdır. 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.

Yayımlanması istenen makaleler aşağıdaki adrese gönderilir:

Çukurova Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergi Yayın Kurulu Başkanlığı 01330 ADANA

Tel : (322) 3386357 Fax : (322) 3386126  
E-posta: mmfdergi@cu.edu.tr cu.mmfdergi@gmail.com