

### İÇİNDEKİLER / CONTENTS

	Sayfa No
<b>Elif Özden YENİGÜN</b> Karbon Nanotüp-Polimer Nanokompozitlerde Çok Boyutlu Modelleme ile Arayüz Özelliklerinin İncelenmesi Modelling of Interface in Carbon Nanotube-Polymer Nanocomposites.....	503-511
<b>İlker TEKİN, Türkan KOTAN, Muhammet YURDAKUL, Erdal ÖNER</b> Bayburt Bölgesinde Bulunan Farklı Agrega Tipleri ile Üretilen Geleneksel Betonların Mekanik Mukavemetleri Üzerine Bir Çalışma Mechanical Properties of Conventional Concrete Produced With Different Type of Aggregates in Bayburt Region .....	513-518
<b>Berna BOLAT, Oğuz ALTUN, Pablo CORTES, Yunus Emre YILDIZ, Ali Osman TOPAL</b> A Comparison of Metaheuristics for the Allocation of Elevators to Calls in Buildings .....	519-529
<b>İlknur KARS DURUKAN, Mustafa Kemal ÖZTÜRK, Süleyman ÖZÇELİK, Ekmel ÖZBAY</b> Analyzing The InGaN LED Structures for White LED Applications Beyaz Led Uygulamaları için InGaN LEDYapılarının Analizi.....	531-536
<b>Özkan KÜÇÜK, Burak ÖZTÜRK, İrem DÜZDAR, Samed VARHAN, Hüseyin Alp ÇETİNDAG</b> Seri Üretim Boru Bağlantı Elemanlarının Döküm İşleminde Optimizasyon Optimization of Casting Process for Mass Produced Fittings .....	537-542
<b>Duygu ÇELİK ERTUĞRUL, Pelin HURCAN ALPAY</b> Pediatrik Hastalarda Ontoloji Tabanlı Mobil Ateş Takip ve Konsültasyon Sisteminin Geliştirilmesi Developing Ontology-Based Mobile Fever Monitoring and Consultation System for Pediatric Patients .....	543-556
<b>Nesrin İLGIN BEYAZIT , Hüsamettin BULUT, Yunus DEMİRTAŞ</b> Yatay Düzleme Gelen Difüz Işınım Modellerinin Ölçüm Sonuçlarına Göre Analizi Analysis of Diffuse Radiation Models For Horizontal Surface According To Measurement Results .....	557-563
<b>Uğur SERİNCAN, Hülya KURU MUTLU, Mustafa KULAKCI</b> Kuantum Nokta Ara Bant Oluşumlu Güneş Hücresinin Büyütülmesi, Fabrikasyonu ve Karakterizasyonu Growth, Fabrication and Characterization of Quantum Dot Intermediate Band Solar Cell.....	565-569
<b>Ömer ERSOY, Mahmut ÖZBAY, Filiz ÇETİNKAYA KARAFAKI, Demet EROL</b> The Environmental Importance of Flue Gas Purification Systems; Case of Yatağan Thermal Power Station Baca Gazı Arıtma Sistemlerinin Çevresel Önemi; Yatağan Termik Santrali Örneği .....	571-577
<b>İrfan UÇKAN</b> Exergy Analysis of Solar Radiation Based on Long Term for Van City Van İli için Uzun Dönemli Güneş Radyasyonunun Exerji Analizi.....	579-584
<b>Volkan KILIÇLI, Aşkan Hayat USLU, Meltem ÇİFCİ, Neşet AKAR</b> Reo-Dökümle Üretilmiş Aa7075 Alüminyum Alaşımının Metalografik İncelenmesi Metallographic Examination of Aa 7075 Alloy Produced By Rheocasting .....	585-594
<b>Gülsüm TOPATEŞ</b> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Ceramics with Graded Porosity Produced from Natural and Artificial Pore Formers.....	595-598
<b>Halil İbrahim VARİYENLİ , Cihangir ARSLAN</b> Sıvıların ve Gazların Isıl İletkenlik Katsayısını Belirleyebilmek için Laboratuvar Tipi Bir Deney Cihazının Tasarımı, İmalatı ve Test Edilmesi Design, Manufacture And Experimental Investigation Of A Thermal Conductivity Measurement Apparatus For Liquids And Gases .....	599-605
<b>Hakan KESKİN, Erhan MUTLU</b> Impacts of Impregnation with Fire Retardant Chemicals on the MOE in Bending of Some Woods .....	607-612
<b>Banu SOYLU</b> Çok Kriterli Stok Alanı Atama Problemi ve Bir Uygulama Multi-criteria Warehouse Space Allocation Problem and an Application.....	613-621
<b>Savaş DİLİBAL</b> Nikel-Titanyum Şekil Bellekli Alaşımın Süperelastik Davranışına Isıl İşlemin Etkisi The Effect of Heat Treatment on the Superelastic Behaviour of Nickel-Titanium Shape Memory Alloys .....	623-627
<b>Elif DAMGACI, Kurtuluş BORAN, Fatih Emre BORAN</b> Sezgisel Bulanık TOPSISYöntemi Kullanarak Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Değerlendirilmesi Evaluation of Turkey's Renewable Energy Using Intuitionistic Fuzzy TOPSIS Method.....	629-637
<b>Osman ŞİMŞEK, Murat GÖKÇE</b> Ankara- Kalecik Kilinin Genleşebilme Özelliğinin Araştırılması Investigation of the Expanded Ability of Kalecik Ankara Clay Feature .....	639-645
<b>Mehmet Hanifi DOĞRU</b> Modification of Hardening Parameter for Computational Plasticity Hesaplamalı Plastizite İçin Sertleştirme Parametresinin Modifikasyonu.....	647-650
<b>Deniz TUMAÇ, Sahand TOLOUEİ</b> Mermer Fabrikalarında Kullanılan Büyük Çaplı Dairesel Testere (S/T) Performans Analizi The Performance Analysis of Large Diameter Circular Saws (S/T) used in Natural Stone Plants .....	651-662
<b>Nevin ÇANKAYA, Özlem SÖKMEN</b> Biyopolimerler ve Montmorillonit Kil Nanokompozitleri Biopolymers and its Montmorillonit Clay Nanocomposites.....	663-673
<b>Bekir ÇEVİK</b> Farklı Özlü Tel Kullanılarak Birleştirilen S275 Yapı Çeliğinin Mekanik ve Mikro yapı Özelliklerinin İncelenmesi Investigation of Mechanical and Microstructure Properties of S275 Structural Steel Joined by Using Different Flux Cored Wire .....	675-680
<b>Yücel GENÇER, Mehmet TARAKCI</b> Kontrollü Atmosferde Üretilmiş Fe-Co İkili Alaşımının Borlanması ve Karakterizasyonu Boronizing and Characterization of Fe-Co Binary Alloys Produced in Controlled Atmosphere .....	681-688
<b>Ahmet UYUMAZ, Hamit SOLMAZ</b> Emme Havası Giriş Sıcaklığı ve Ön Karışım Yakıt Oranının RCCI Yanma Karakteristiklerine ve Motor Performansına Etkileri The Effects of Inlet Air Temperature and Premixed Fuel Ratio on RCCI Combustion and Engine Performance Characteristics .....	689-698
<b>Çenk BUDAYAN</b> İstanbul Bölgesinde Çalışan İnşaat Firmalarında Proje Portföy Yönetimi Uygulamaları Project Portfolio Management Applications for Turkish Construction Industry in Istanbul Region .....	699-709
<b>Hakan KESKİN, Nihat DAĞLIOĞLU</b> Effects of Impregnation with Tanalith-E on the Compression Strength of Some Woods.....	711-716
<b>Latif Onur UĞUR</b> MOORA Optimizasyon Yaklaşımı ile İnşaat Proje Müdürü Seçimi: Çok Kriterli Bir Karar Verme Uygulaması Construction Project Manager Selection With the MOORA Optimisation Method: AMulti-Objective Optimization Application .....	717-723
<b>Mehmet Fatih İŞİK, Cemal YILMAZ, Ercan İŞİK</b> Tarımsal Arazi Sulama Sistemlerinde Mobil Uygulamalar: Örnek Bir Çalışma Mobile Applications in Agricultural Land Irrigation Systems: A Case Study.....	725-731
<b>Figen BALO</b> Ekolojik Yalıtım Malzemesi Üretiminin Analitik Hiyerarşi Prosesi ile Değerlendirilmesi Evaluation of Ecological Insulation Material Manufacturing with Analytical Hierarchy Process .....	733-742

# POLİTEKNİK DERGİSİ

## Journal of Polytechnic

# POLİTEKNİK DERGİSİ

VOLUME / CİLT 20 NUMBER / SAYI 3 SEPTEMBER / EYLÜL 2017

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ / POLİTEKNİK DERGİSİ**

GAZI UNIVERSTY / JOURNAL OF POLYTECHNIC

<http://www.politeknik.gazi.edu.tr>**GAZİ ÜNİVERSİTESİ**



# Politeknik Dergisi

## Journal of Polytechnic

Sahibi / Owner  
**Prof. Dr. İbrahim USLAN**  
Rektör / Rector

Yayın Yönetmeni / Publishing Manager  
**Prof. Dr. Adnan SÖZEN**  
Dekan / Dean

Editör Yardımcısı / Associate Editor  
**Doç. Dr. M. Tolga ÖZKAN**  
Gazi Üniversitesi / Gazi University

Editör / Editor  
**Prof. Dr. Adnan SÖZEN**  
Gazi Üniversitesi / Gazi University

Editör Asistanı / Assistant Editor  
**Dr. Serhat KARYEYEN**  
Gazi Üniversitesi / Gazi University

### YARDIMCI EDİTÖRLER/ASSOCIATE EDITORS

**Prof. Dr. Jose Manuel Lopez-Guede**, University of the Basque Country  
**Prof. Sanjeevikumar PADMANABAN**, University of Johannesburg  
**Prof. Dr. Hilal KURT**, Gazi Üniversitesi  
**Prof. Dr. Murat HOŞÖZ**, Kocaeli Üniversitesi  
**Prof. Dr. Dilek KUMLUTAŞ**, Dokuz Eylül Üniversitesi  
**Prof. Dr. Zafer TEKİNER**, Gazi Üniversitesi  
**Prof. Dr. Hakan KESKİN**, Gazi Üniversitesi  
**Doç. Dr. Murat YÜCEL**, Gazi Üniversitesi  
**Doç. Dr. Bünyamin CİYLAN**, Gazi Üniversitesi  
**Doç. Dr. Mustafa ÖZER**, Gazi Üniversitesi  
**Doç. Dr. Ahmet DURGUTLU**, Gazi Üniversitesi  
**Doç. Dr. Hamit SOLMAZ**, Gazi Üniversitesi

### YAYIN DANIŞMA KURULU/EDITORIAL ADVISORY BOARD

<b>Abdullah KURT</b> , Gazi Üniversitesi	<b>M.Baki KARAMIŞ</b> , Erciyes Üniversitesi
<b>Abid ABU-TAIR</b> , Berzeit University	<b>Mahmood GHORANNEUISS</b> , Azad University
<b>Adel NASİRİ</b> , University of Wisconsin Milwaukee	<b>Metin GÜRÜ</b> , Gazi Üniversitesi
<b>Arcan DEREÇİOĞLU</b> , Orta Doğu Teknik Üniversitesi	<b>Metin İPEK</b> , Sakarya Üniversitesi
<b>Arif WANI</b> , California State University	<b>Murat HOSOZ</b> , Kocaeli Üniversitesi
<b>Ayhan ÖZÇİFÇİ</b> , Karabük Üniversitesi	<b>Mustafa AKTAŞ</b> , Gazi Üniversitesi
<b>Ayşe MURATHAN</b> , Gazi Üniversitesi	<b>Myung Hyun KİM</b> , Kyung Hee University
<b>Bekir Sami YILBAŞ</b> , King Fahd University	<b>Nadire Şule ATILGAN</b> , Hacettepe Üniversitesi
<b>Cevdet SÖĞÜTLÜ</b> , Gazi Üniversitesi	<b>Nizamettin KAHRAMAN</b> , Karabük Üniversitesi
<b>Derviş KARABOĞA</b> , Erciyes Üniversitesi	<b>Nobumasa Matsui</b> , Nagasaki University
<b>Engin ÖZDEMİR</b> , Kocaeli Üniversitesi	<b>Nusret AS</b> , İstanbul Üniversitesi
<b>Ercan ÖZGAN</b> , Düzce Üniversitesi	<b>Osman ISIKAN</b> , Marmara Üniversitesi
<b>Erol ARCAKLIOĞLU</b> , TÜBİTAK	<b>Peter LUND</b> , Helsinki University of Technology
<b>Farzollah MIRZAPOUR</b> , University of Zanjan	<b>Ramazan BAYINDIR</b> , Gazi Üniversitesi
<b>Halil İbrahim BAKAN</b> , TÜBİTAK, MAM	<b>Ramazan KURT</b> , Bursa Teknik Üniversitesi
<b>Halit KARABULUT</b> , Gazi Üniversitesi	<b>Ramazan YILMAZ</b> , Sakarya Üniversitesi
<b>Hani H.W.SAIT</b> , King Abdulaziz University	<b>Recep ÇALIN</b> , Kırıkkale Üniversitesi
<b>Hanifi SARAÇ</b> , Yıldız Teknik Üniversitesi	<b>Rodica MILICI, Stefan</b> cel Mare Suceava University
<b>Henryka Danuta STRYCZEWSKA</b> , Politechnika Lubelska	<b>Saffa B. RIFFAT</b> , Nottingham University
<b>Hüseyin AKILLI</b> , Çukurova Üniversitesi	<b>Saw Sor HEOH</b> , INTI International University
<b>Hüseyin EKİZ</b> , Süleyman Şah Üniversitesi	<b>Suat CANBAZOĞLU</b> , İnönü Üniversitesi
<b>Hüseyin Rıza BÖRKLÜ</b> , Gazi Üniversitesi	<b>Süleyman GÜNDÜZ</b> , Karabük Üniversitesi
<b>İbrahim DİNÇER</b> , University of Ontario, Institute of Technology	<b>Seyhan FIRAT</b> , Gazi Üniversitesi
<b>İbrahim SEFA</b> , Gazi Üniversitesi	<b>Sing LEE</b> , Institute for Plasma Focus
<b>İhsan KORKUT</b> , Gazi Üniversitesi	<b>Souad A.M.ALBATHI</b> , International Islamic University of Malaysia
<b>İlhami ÇOLAK</b> , Gazi Üniversitesi	<b>Şükrü DURSUN</b> , Selçuk Üniversitesi
<b>İlker USTA</b> , Hacettepe Üniversitesi	<b>Tayfun MENLİK</b> , Gazi Üniversitesi
<b>İshak KARAKAYA</b> , Orta Doğu Teknik Üniversitesi	<b>Turgay AKBULUT</b> , İstanbul Üniversitesi
<b>İsmail AYDIN</b> , Karadeniz Teknik Üniversitesi	<b>Ulvi ŞEKER</b> , Gazi Üniversitesi
<b>Jamal KHATIB</b> , University of Wolverhampton	<b>Ülkü SAYIN</b> , Selçuk Üniversitesi
<b>Jerzy Smardzewski</b> , Ponzan University	<b>Yakup İÇİNGÜR</b> , Gazi Üniversitesi
<b>John KINUTHIA</b> , University of South Wales	

<b>Cilt /volume : 20</b>	<b>Sayı / number : 3</b>	<b>Eylül / Septmeber : 2017</b>
Politeknik Dergisi Gazi Üniversitesi tarafından yılda <b>dört sayı</b> olarak yayınlanmaktadır / Journal of Polytechnic has been published <b>four issues</b> per year by Gazi University		

<b>BU SAYIYA (CİLT 20 SAYI 3) KATKI VEREN HAKEMLER</b>	
Adem ÇİÇEK	Hüseyin PEKER
Adnan ÇALIK	İbrahim ATILGAN
Adnan SÖZEN	İhsan ALP
Ahmet GÜRAL	İlhami DEMİR
Alper Uysal	İsmail ŞAHİN (2 kez)
Bekir KARASU	Kadir KOCATEPE
Bülent BOSTAN	M. Kelami ŞEŞEN
Canan VARLIKLI	Memik DAŞ
Cemal ÇARBOĞA	Murat YÜCEL
Derya DİŞPINAR	Musa ATAR
Diyar AKAY (2 kez)	Mustafa ACARER
Engin TAN	Mustafa BURUNKAYA (2 kez)
Ergün BAYSAL	Nezahat BOZ
F. Suna BALCI	Nihat DÖNGEL
Fatih Emre BORAN (3 kez)	Osman KARA
Gül TATAR	Osman ÖZKARACA
Gürsoy ARSLAN	Serkan ISLAK
H. Serdar YÜCESU	Şirin KURBETCİ
Halil DEMİR	Tayfun DEDE
Hasan BAŞAĞA	Tayfun FINDIK
Hasan HASIRCI	Tayfun MENLİK
Hasan ULAŞ	Uğur ÇALIGÜLÜ
Hülya CEBECİ	Uğur ÖZCAN (3 kez)
Hüsamettin BULUT	Yılmaz ARUNTAŞ
Hüseyin GÜNERHAN	Zafer TATLI

**Yazışma Adresi / Correspondence Address :**

Politeknik Dergisi Editörlüğü  
Gazi Üniversitesi  
Teknoloji Fakültesi  
Tanıtım ve Yayın Müdürlüğü  
06500 Teknikokullar  
ANKARA –TÜRKİYE

**Tel :** 0312-202 34 12

**Fax :** 0312-212 00 59

**Elektronik Posta Adresi / e-mail :** politeknik@gazi.edu.tr

Teknik Sorumlu / Technical Manager: **Erdem ÇİFTÇİ**

Dizgi / Compositor: **İdris ÖZÇELİK**

Baskı / Printing : Gazi Üniversitesi Matbaası / Printing Unit of Gazi University

**e - ISSN : 2147-9429**



# POLİTEKNİK DERGİSİ

## JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://www.politeknik.gazi.edu.tr/index.php/PLT/index>

## Karbon nanotüp-polimer nanokompozitlerde çok boyutlu modelleme ile arayüz özelliklerinin incelenmesi

### *Multi-Scale modelling of interface in carbon nanotube-polymer nanocomposites*

Yazar(lar) (Author(s)): Elif ÖZDEN YENİGÜN

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz:** Özden Yenigün E., “Karbon nanotüp-polimer nanokompozitlerde çok boyutlu modelleme ile arayüz özelliklerinin incelenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 20(3): 503-511, (2017).

**To cite this article:** Özden Yenigün E., “Karbon nanotüp-polimer nanokompozitlerde çok boyutlu modelleme ile arayüz özelliklerinin incelenmesi”, *Journal of Polytechnic*, 20(3): 503-511, (2017).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://www.politeknik.gazi.edu.tr/index.php/PLT/issue/archive>

**DOI:** [10.2339/politeknik.339159](https://doi.org/10.2339/politeknik.339159)



# Karbon Nanotüp-Polimer Nanokompozitlerde Çok Boyutlu Modelleme ile Arayüz Özelliklerinin İncelenmesi

Elif ÖZDEN YENİGÜN<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Tekstil Mühendisliği, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 34437, Türkiye

<sup>2</sup>İTÜ Havacılık ve Uzay Teknolojileri Uygulama ve Araştırma Merkezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye  
(Geliş/Received : 17.02.2017 ; Kabul/Accepted : 21.03.2017)

## ÖZ

Bu çalışmada, karbon nanotüp (KNT) takviyeli nanolif üretiminde başarılı sonuçlar veren polistiren-ko-glisidil metakrilat P(St-ko-GMA) ve polivinil bütral (PVB) gibi iki farklı polimer sisteminde polimer-karbon nanotüp ilişkisi çok boyutlu modelleme ile moleküler düzeyde incelenmiştir. Sıklıkla takviye elemanı olarak kullanılan KNT'lerin iki farklı boyut mertebesinde veri aktarımına izin verecek şekilde, önce dağınık partikül dinamiği (DPD) ardından, geri-haritalama ile sağlanan atom detayı esas alınarak moleküler dinamik (MD) hesaplama yöntemleri ile çok-boyutlu modellenmesi sağlanmıştır. KNT takviyesinin arayüz yapısına, matris mekanik özelliklerine ve camsı geçiş sıcaklığına olan etkisi iki farklı polimer sisteminde karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Yapısında aromatik grup bulunan P(St-ko-GMA) polimerlerinin KNT ile  $\pi$ - $\pi$  etkileşimine girebildiği ve bu çekici etkileşiminin camsı geçiş sıcaklığı ve mekanik özelliklerin artmasına sebep olduğu görülmüştür. PVB sistemlerinde ise mekanik artış KNT'lerin kendi mukavim yapısı ile sınırlı kalmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Çok boyutlu modelleme, karbon nanotüp, polimer nanokompozit, moleküler dinamik, dağınık partikül dinamiği.

# Multi-Scale Modelling of Interface in Carbon Nanotube-Polymer Nanocomposites

## ABSTRACT

In this study, polyvinyl butyral (PVB) and polystyrene-co-glycidyl methacrylate (PSt-co-GMA), which are experimentally proven good matrices in nanofibers, are simulated to gain a thorough fundamental understanding of polymer-carbon nanotubes (CNTs) interactions. Reverse-mapping (back-mapping) of the coarse-grained models into an atomistic model is implemented for CNTs embedded polymer systems. As a consequence, while achieving long-term atomistic trajectories; atomistic structures from their corresponding coarse-grained representations from dissipative particle dynamics (DPD) is reconstructed and simulated via molecular Dynamics (MD) to explore the effect of CNTs on interface characteristic, mechanical properties and glass transition temperature ( $T_g$ ). The results suggest that  $\pi$ -stacking interactions between aromatic groups and graphene surfaces of CNTs as in P(St-co-GMA) systems, play an important role to enhance  $T_g$  and mechanical properties, whereas in PVB systems the increase in mechanical response is only associated to strong nature of CNTs.

**Keywords:** Multi-scale modelling, carbon nanotubes, polymer nanocomposite, molecular dynamics, dissipative particle dynamics.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kompozit malzemeler birbirleri içinde çözünmeyen, iki veya daha fazla bileşenden oluşan malzemelerdir. Nanokompozit malzemelerde ise bu bileşenlerin en az bir boyutu 100 nm'den daha küçük olmalıdır. Tutucu eleman matris fazıdır; polimer, seramik, metal olabilir. Takviye elemanlar yine farklı malzeme tipleri olabildiği gibi elyaf, küresel veya silindirik parçacık, nanotüp, ince tabaka/pul şekillerinde bulunabilir. Matris fazı polimer olan polimer nanokompozitler (PNK), yüksek mukavemet, boyut ve termal kararlılık, sertlik, aşınmaya

karşı dayanıklılık ve düşük yoğunluk gibi özellikleri ile pek çok avantaj sunarlar. Mikron boyutta parçacıklarla takviye edilen geleneksel kompozit malzemelere (hacimce ~%60) kıyasla nanokompozit malzemelerde hacimce %5'den daha az takviye elemanı kullanılır [1]. Nano boyuttaki dolgu malzemenin oluşturduğu ve yüksek hacim oranına sahip arayüz alanı, nanokompozit malzemenin ana karakteristiğini belirler. Hacimce çok düşük kullanılan nanoparçacıklar, arayüz bölgesinde polimer ve dolgu elemanından tamamen farklı fiziksel özellikler gösterirler ve "arayüz polimeri" olarak farklı bir faz olarak adlandırılırlar. Schandler ve ark. [1] homojen dağıtılmış, 2 nm'lik küresel parçacıkların hacimce % 0,1 daha az polimer dolgusu olarak kullanıldığı durumda, arayüz polimerinin

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: ozdenyenigun@itu.edu.tr

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/politeknik.339159

nanokompozitin neredeyse tamamını oluşturduğunu belirtmiştir. Bu noktada, arayüz polimer bölgesini tasarlayan ve manipüle edebilen bir nanokompozit tasarımı, kuşkusuz makro dünyada PNK malzemelerin mekanik, termo-mekanik, elektriksel özelliklerini de kontrol edebilecek nitelikte olacaktır. Literatürde çalışma grubumuzun yayınlarının da aralarında bulunduğu, nanokompozitlerin arayüzünü inceleyen çalışmalar yeni bir araştırma alanı olarak karşımıza çıkmaktadır [2-16]. Nanomalzemelerin sıklıkla kullanıldığı mühendislik uygulamalarında güvenilirliğinin artırılması bakımından bu bölgelerin davranış, karakterizasyon ve özellik tespitinde özen gösterilmesi önem arz etmektedir. Bu hususta, özellikle moleküler etkileşimin büyük rol oynadığı polimer nanokompozit, yüksek performanslı polimerler, karbon nanotüp (KNT) gibi nano yapıların tasarımı için hesaplamalı yöntemlerin kullanılması güncel çalışmaların odak noktası olmuştur [11,17-21].

Nanokompozitlerin arayüzü efektif bir konsept ile modellenmesi genel anlamda en az iki modelleme yaklaşımını kapsamaktadır. Bu noktada, arayüz bilgisinin nanokompozit modeline katılması ağırlıklı olarak iki analiz metodunun kombinasyonu ile olur. Bunlardan ilki mikromekanik (Moni-Tanaka, Halpin-Tsai vb) elde edilen matris, parçacık ve arayüz için üç farklı materyal parametrelerinin sonlu elemanlar modellerine aktarılmasıdır [22-29]. Diğer bir yaklaşım ise, moleküler düzeyde kurulan moleküler dinamik (MD), moleküler mekanik gibi modellerden elde edilen parametrelerin mezo veya mikromekanik modellere entegrasyonudur [10,30-36]. Bu çok-boyutlu modelleme anlayışı ile kurulan modellerde, nanoparçacık seçimi incelendiğinde, katmanlı mezoskopik morfolojiye sahip nanokillerin öne çıktığı görülmektedir [26,28-29,34-35]. Deneysel çalışmalarda en sık kullanılan destek elemanları karbon nanotüpler olmasına karşın, nanotüplerin kompozit malzemeler içindeki davranışını ve arayüz özelliklerini de dahil ederek inceleyen az sayıda çalışma bulunmaktadır [23-24,27].

Bu çalışma, KNT takviyeli termoset nanokompozitlerin modellenmesi için ilk defa yazar tarafından önerilen çok boyutlu modelleme metodunun [21], nanolif üretiminde başarılı sonuçlar veren polistiren-ko-glisidil metakrilat P(St-ko-GMA) [12] ve polivinil bütral (PVB) [5] sistemlerine uygulanması ve bu PNK sistemlerinde arayüz mekanizmasının incelenmesini içermektedir. Öncelikle, P(St-ko-GMA) ve PVB polimerleri iri taneli olarak temsil edilmiş ve dağınık partikül dinamiği (DPD) ile simüle edilerek iki farklı saf polimer sistemleri elde edilmiştir. Buna ilaveten, KNT yapıları da rijit çubuk temsili ile polimer matrislere katılmıştır. Geri haritalama yöntemi ile uzun dönem koordinatları elde edilen, saf P(St-ko-GMA), P(St-ko-GMA)/KNT ve saf PVB, PVB/KNT sistemlerinde KNT'lerin periyodik yapısı korunarak atom detayı geri taşınmıştır. Bu bilgi kullanılarak atom mertebesinde MD simülasyonları yapılmış karşılaştırmalı olan KNT takviyesinin yapısal ve mekanik özelliklere ve camsı geçiş sıcaklığına olan etkileri incelenmiştir.

## 2. METOD (METHOD)

### 2.1 Termoplastik PVB ve P(St-ko-GMA) Polimer Matris Sistemlerinin Kurulumu (Construction of Thermoplastic PVB and P(St-co-GMA) Polymer Matrices)

#### 2.1.1 Sistem bileşenlerinin çözünürlük ve etkileşim parametrelerinin hesaplanması (Calculation of solubility parameters and interaction parameters)

DPD hesaplamalı yönteminde MD metodundan farklı olarak, oluşturulan parçacıklar tek bir atom veya moleküllü temsil etmez, bunun yerine atomların grup olarak iri taneli parçacıklar olarak temsili söz konusudur. Bu yüzden atom-atom etkileşimleri yerine parçacık-parçacık (tane-tane) etkileşimlerinden bahsedilir ve sistemin bilgisayar ortamında simüle edilmesi için parçacık-parçacık etkileşimini içeren spesifik kuvvet alanı (forcefield) yaratılması gerekir. Bu noktada, ilk basamakta 100 ps'lık MD simülasyonları ile Hildebrand çözünürlük parametresinin ( $\delta$ ) her sistem bileşeni için bulunmuştur (Denklem 1'de  $V_m$  molar hacim;  $\Delta E_v$  buharlaşma enerjisi ve CED kohezyon enerji yoğunluğu). Ardından, bu parçacıkların etkileşiminden Flory-Huggins,  $\chi$ , etkileşim parametresi Denklem 2'den ( $T$  sıcaklık (K);  $R$  Boltzmann sabiti) hesaplanmıştır. Bu parametre, kurulacak olan sistemin karışımın özgül erki (energy of mixing) ile bağlantılıdır ve sistemin bileşenlerinin birbiri içinde çözünürlüğü hakkında deneysel çalışmalar için de fikir vermektedir.

$$\delta = \left( \frac{\Delta E_v}{V_m} \right)^{1/2} = (CED)^{1/2} \quad (1)$$

$$\chi = \frac{V_m(\delta_i - \delta_j)^2}{RT} \quad (2)$$

Çizelge 1'de PVB (**VB**), P(St-ko-GMA) (**ST, GMA**) ve KNT (**C6**) için etkileşim parametreleri verilmiştir. Hildebrand çözünürlük parametresi ( $\delta$ ), 1ps dengeleme süresi ve 100 ps MD simülasyonundan hesaplanmıştır. Bu parametrenin eldesinde, aynı iri tane (tane) oluşan 10 tane, 1,0 g/c<sup>3</sup> yoğunlukta, 298K derecede Materials Studio 8.0® Amorphous Cell ve Forcite modülleri kullanılarak simüle edilmiştir. Simülasyon koşulları olarak cut-off 8,5 Å ve sabit hacim (canonical) ensemble (NVT) tercih edilmiştir. Tanelerin molar hacimleri, ACDLabs/Chemsketch 5.0 programı ile hesaplanmıştır. DPD simülasyonlarda kullanılacak kuvvet alanı değişkenleri Groot ve Warren [37] tarafından önerilen parametrelendirme metoduna göre yapılmıştır. Bu yöntemde, Denklem 2'de hesaplanan  $\chi$ , 3 DPD ünite sahip yoğunluktaki simülasyon kutusunda,  $a_{ii} = 25k_bT$  ve  $a_{ij} \approx a_{ii} + 3,27\chi_{ij}$  olarak tanımlanır. Çizelge 1'de dönüştürülmüş etkileşim parametreleri gösterilmiştir. Sadece KNTlerin etkileşiminin tanımında bu nano yapıların rijit yapısı, polimer yapılardan çözünürlük farklılıkları ve kendi türleri ile olan  $\pi$ - $\pi$  etkileşimleri sebebiyle farklı bir yöntem kullanılmıştır. KNT-polimer etkileşimi itici güç olarak tanımlanmış ( $a_{ij}=40,00$ ), KNT-KNT etkileşimindeki etkileşimi 25,00 olarak belirlenmiştir. Dolayısı ile KNT yapılarının tane

boyutları ve molar hacimleri bu hesaplamaların dışında tutularak, Groot ve Warren yöntemindeki yaklaşımının sadece birbirine yakın veya eşit taneler üzerinde yapılabileceği hususu da sağlanmaktadır.

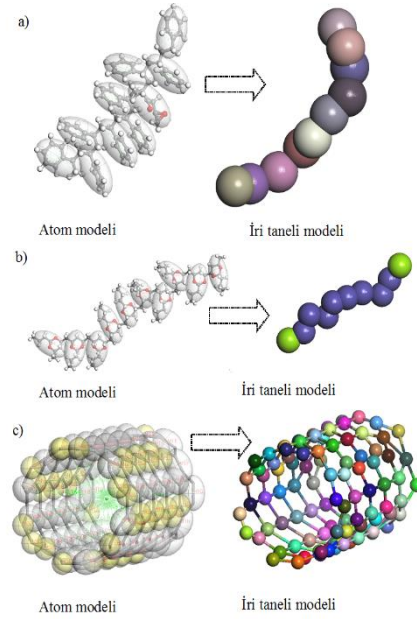
**Çizelge 1.** Şekil 1’de tanımlanan polimer iri yapı tanelerin özellikleri. Hildebrand çözünürlük parametresi,  $\delta$ , molar hacim  $V_m$ , Flory-Huggins etkileşim parametresi,  $\chi_{ij}$ , (yukarı diyagonal, koyu renkli) ve DPD etkileşim parametresi,  $a_{ij}$  (aşağı diyagonal). (Properties of beads defined in Fig.1. Solubility parameters,  $\delta$ , molar volumes  $V_m$ , Flory-Huggins interaction parameters,  $\chi_{ij}$ , (upper diagonal, shown in bold) and DPD interaction parameters,  $a_{ij}$  (lower diagonal))

	ST	GMA	VB	C6
$\delta$ , (cal/cm <sup>3</sup> ) <sup>1/2</sup>	9,89	9,31	8,91	7,03
$V_m$ , (cm <sup>3</sup> /mol)	115,3	129,7	163,8	89,4
<b>ST</b>	<b>0,00</b>	<b>0,07</b>	<b>0,23</b>	<b>4,59</b>
	25,00			
<b>GMA</b>	25,23	<b>0,00</b>	<b>0,04</b>	<b>4,59</b>
		25,00		
<b>VB</b>	25,74	25,13	<b>0,00</b>	<b>4,59</b>
			25,00	
<b>C6</b>				<b>0,00</b>
	40,00	40,00	40,00	40,00

### 2.1.2 İri taneli polimer ve KNT mezoyapılarının elde edilmesi (Construction of coarse grained polymer and CNTs mesomolecules)

Şekil 1’de gösterilen iri tanelerden yola çıkarak 10 monomerden oluşan P(St-ko-GMA) ve PVB molekülleri iri taneli yapılara dönüştürülmüştür. Her tane için, Materials Studio 8.0® programında bir desen dosyası oluşturulmuş, tane yapının adı, hareket grubu ve ağırlık merkezi bilgisi kullanılarak yapılar iri taneli hale dönüştürülmüş, ve ilk konformasyon korunmuştur. Her bir tanenin hareket grubu adı ve tane adı farklıdır. Burada Materials Studio 8.0® programındaki “Coarse Grain” modülü kullanılmıştır. Şekil 2’de sırasıyla P(St-ko-GMA), PVB moleküllerinin ve KNT nanoparçacığının

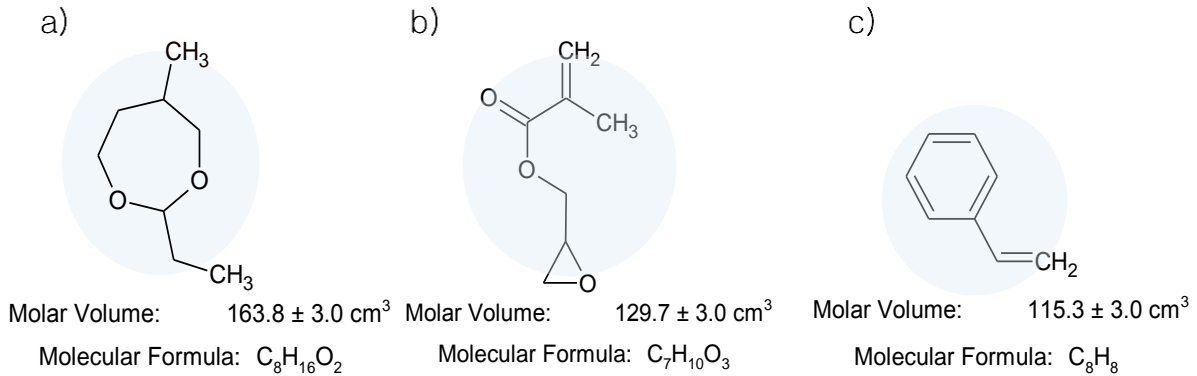
DPD simülasyonunda kullanılacak taneli forma geçişi görülmektedir. Bu çok boyutlu modelin özgün yanlarından biri, KNT gibi periyodik yapılarda da bu bilginin iri tanede korunmasıdır. Bu yöntem, ilk defa yazar tarafından KNT takviyeli termoset nanokompozitlerin modellenmesi için önerilmiştir [21]. Son aşamada, yeni bir desen dökümanını oluşturulmuş ve yaratılan her tanenin adlarının yapıların hareket grubu adları ile eşleştirilmesi yapılmıştır.



**Şekil 2.** (a) P(St-ko-GMA) (b) PVB moleküllerinin ve (c) SWNT(6,6) moleküllerinin çubuk-top gösteriminde atom modelinden iri taneli görünüme geçişi. (Atomistic ball-stick model and coarse-grained model representations of (a) P(St-ko-GMA) (b) PVB molecules and (c) SWNT(6,6) structures)

### 2.1.3 DPD simülasyonları (DPD simulations)

Saf PVB, KNT takviyeli PVB ve saf P(St-ko-GMA) ve KNT takviyeli P(St-ko-GMA) mezomoleküllerini içeren



**Şekil 1.** (a) VB iri tanesi ve (b) ST ve (c) GMA iri tanelerinin DPD simülasyonlarında kullanılacak temsillerinin görünümü ve molar hacimleri (Partitioning of the beads (a) VB, (b) ST, and (c) GMA for coarse-grained DPD simulations and their representative molar volumes)



dört farklı sistemin kurulumu yapılmıştır. Öncelikle, kübik, hücre parametresi 50 Å olan birim hücre yaratılmıştır. (Şekil 3a). İndirgenmiş 3 DPD birim yoğunluğuna sahip olacak şekilde, iki farklı katmandan oluşan birbirine geçen iki tübüler yapı oluşturulmuş ve bu katmanların dolgu tabakaları (Dolgu 1 ve Dolgu 2) olarak belirlenmiştir. Bu yöntemde KNT takviyeli sistemlerde, Dolgu 1 polimer yapı iken içeride Dolgu 2 olarak atanan kısım KNT katkısını içermektedir. Saf PVB ve saf P(St-ko-GMA) sistemleri için Dolgu 1 ve Dolgu 2'ye aynı kompozisyon bilgisi verilmiştir. KNT takviyeli sistemlerde ise göreceli kompozisyon bilgisi atanarak tek bir iri taneli KNT'in çevresini saran polimer nanokompozit modelleri yaratılmıştır (Şekil 3b). Etkileşim yarıçapı 8 Å ( $\approx 1$  DPD unit) ve tanelerin arasındaki kuvvet katsayısını belirleyen yay sabiti 200 DPD ( $\approx 1,8497$  kcal/mol/ Å<sup>2</sup>) ünit olarak belirlenerek, etkileşim parametreleri Çizelge 1'de verildiği kuvvet alanı olarak belirlenmiştir. NVT ensemblede, 298K'de zaman adımı 254.12 fs olmak üzere 100000 adımdan oluşan DPD simülasyonları tamamlanmıştır. Bu yörüngenin son zaman dilimi 2.1.4'de geri haritalama için kullanılmıştır.

#### 2.1.4 Nanokompozitlerin uzun dönem koordinatlarının elde edilmesi ve geri haritalamanın yapılması (Reverse-mapping methodology for long-term trajectories of nanocomposites)

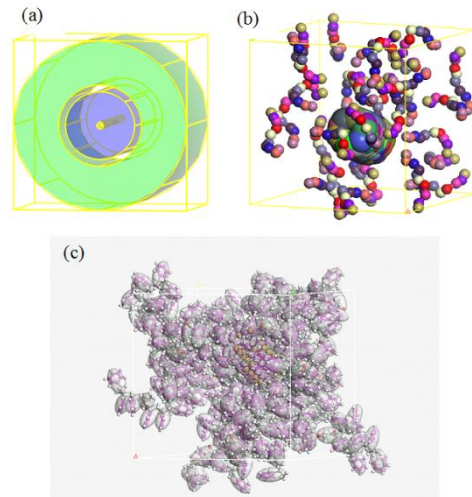
Öncelikli olarak her hareket grubunun kendi ağırlık merkezi ile molekülün ağırlık merkezi arasındaki mesafeler için harmonik engeller (100 kcal/mol/ Å<sup>2</sup>) tanımlanmıştır. Bu engeller geri-haritalama sonrasında tamamen kaldırılmıştır. Basılı kaynakçada, iri taneli yapıya atom detayının geri kazandırılması için farklı geri haritalama yöntemleri önerilmiştir [38-45]. Bu çalışmada, farklı geometrik şekillerde ve büyüklükte polimer, nanoparçacık sistemlerinin de atom bilgisinin kolaylıkla entegre edilebileceği bir geri-haritalama metodu önerilmiştir [21]. Dolayısıyla, bu alandaki çalışmalar detaylı incelendiğinde, geometri yaklaşımlarını kullanan haritalama metodları [38-46] arasından Marrink ve ark. [46] tarafından farklı polimer ve protein sistemlerinde uygulanabilirliği gösterilen geri-haritalama metodu tercih edilmiştir. İlk olarak,  $x$ ,  $y$ ,  $z$  koordinatları bilinen iri taneli parçacıkların alan ağırlık merkezleri kullanılarak, düşük enerjili atom modelleri elde edilmiştir. İkinci basamakta, iri taneli parçacıkların alan ağırlık merkezlerinde konumlanmış atomların, enerjilerini düşürmek ve uygun uyum yapılarına geçişini hızlandırmak için tavlama benzetimi (simulated annealing) bir algoritma yaratılmıştır. 2.1.4'ün başında atanan harmonik engeller, bu son aşamada yapıdan kaldırılmıştır [46]. Son basamakta, bu engeller üç aşamada kaldırılarak serbest atom sistemlerinin elde edilmesi tamamlanmıştır. İlk aşamada yapı optimize edilmiştir. Ardından 1500K'den 300K'e 100'er derece (K) düşürülerek soğuma döngüsü yapılmıştır. En son basamakta ise harmonik engeller kaldırılmıştır. Geri-haritalama ile elde edilen saf ve KNT takviyeli P(St-ko-GMA) ve PVB modellerine ait uzun dönem koordinatları kullanılarak, klasik MD simülasyonları ile devam edilmiştir.

#### 2.1.5 Camı geçiş sıcaklığının, yapısal ve mekanik özelliklerin hesaplanması (Calculation of glass transition temperature, structural and mechanical properties)

COMPASS kuvvet alanı, sabit basınç NPT ( $T=298K$  ve  $P=1$  atm) ensamblesi kullanılarak, fiziksel ve mekanik özelliklerin tayini için 5 ns'a kadar MD simülasyonlar yapılmıştır. Geri haritalama ile edilmiş moleküler modellerde, KNT-polimer etkileşimini incelemek ve arayüzü temsil edilen yapının nasıl geliştiğini takip etmek için radyal dağıtım fonksiyonu (radial distribution function, RDF), polimerlerin yörünge yarıçapı (radius of gyration,  $R_G$ ) hesaplanmıştır. Dengeye ulaşmış sistemlerin yörüngeleri Materials Studio® Forcite Analysis Modülü kullanılarak analiz edilmiş ve yapısal değişimler incelenmiştir. Saf PVB, KNT takviyeli PVB sistemlerinin ve saf P(St-ko-GMA) ve KNT takviyeli P(St-ko-GMA) atom sistemlerinin hacimsel modülleri (bulk modulus) Denklem 3'de verildiği şekilde hesaplanmıştır. Burada,  $K$ , hacimsel modülü, eşsıl basılabilirlik ( $\kappa$ )' in tersi olarak hesaplanır;  $V$  hacmi,  $p$  basıncı ve  $T$  sabit sıcaklığı ifade etmektedir.

$$K = -\frac{1}{V} \left( \frac{\partial V}{\partial p} \right)_T = \frac{1}{\kappa} \quad (3)$$

Nanoparçacık-polimer etkileşimi lokal segmental hareketliliği değiştirdiğinden, camı geçiş sıcaklığında ( $T_g$ ), bu etkileşime bağlı olarak artış veya azalmaya sebep verebilmektedir [47]. Camı geçiş sıcaklığını bulmak için 263K'den 503K'e kadar 500ps'lık ilave simülasyonlar yapılmış, son 100ps'lık kısma ait olan yörüngeden sıcaklık değişiminden etkilenen ortalama yoğunluk değerleri hesaplanmıştır.



**Şekil 3.** KNT takviyeli P(St-ko-GMA) mezosistemlerinde (a) farklı dolgularının atanması (b) kompozisyon bilgisi girilerek DPD simülasyon kutularının ve (c) geri-haritalama ile atom modellerinin oluşturulması. ((a) assigning different fillers in CNTs reinforced P(St-ko-GMA) mesosystems (b) defining stochastic ratio and composition in these fillers (c) reverse-mapped atomistic models)

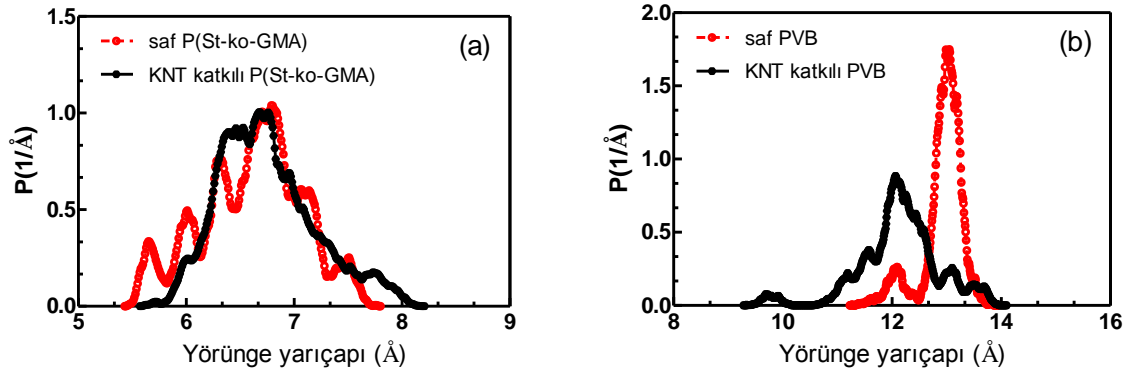
### 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS & DISCUSSION)

#### 3.1. KNT'lerin PVB ve P(St-ko-GMA) Polimer Matrislerine Etkisinin İncelenmesi (The Effect of CNTs on the Structural Properties of Polymer Matrices)

Yörünge yarıçapı,  $R_G$ , lokal polimer zincirlerinin geometrisi ile ilgili bilgiyi taşır, ve valans ve dihedral açı dağılımı ve lokal etkileşimlere bağlı olarak da polimer zincirlerinin açılıp kapanarak  $R_G$  değişimleri takip edilebilir. Şekil 4'de PVB ve P(St-ko-GMA) polimerlerinin tek zincir dinamiğini belirleyen polimerlerin yörünge yarıçaplarının sisteme KNT eklendiğinde nasıl değiştiği gösterilmiştir. KNT( $a_{KNT}$ )-polimer ( $a_{polimer}$ ) etkileşimleri polimer-polimer etkileşiminden daha az ya da itici olduğu durumda, polimer zincirleri kapanarak  $R_G$  azalır.  $a_{KNT} - a_{polimer} > a_{polimer} - a_{polimer}$  ise zincirler açılarak  $R_G$  artar. Üçüncü bir durum ise  $a_{KNT} - a_{polimer} \approx a_{polimer} - a_{polimer}$  etkileşiminin birbirine hemen hemen eşit olduğu ideal ( $\theta$ ) durumdur, bu durumda polimer uyumunu değiştirmez. Şekil 4a'da KNT katkısının yörünge çapını önemli ölçüde değiştirmedeği görülmektedir ki bu durum ideal ( $\theta$ ) koşullar olarak ifade edilebilir.  $a_{KNT} - a_{P(St-ko-GMA)}$  etkileşiminin,  $a_{P(St-ko-GMA)} - a_{P(St-ko-GMA)}$  etkileşimi ile hemen hemen benzer olduğu görülmektedir. Aromatik hidrokarbonlar ve KNT yüzeyindeki etkin  $\pi-\pi$  etkileşiminin varlığı deneysel [49-50] ve hesaplamaları yöntemler [51] ile ispatlanmıştır. PVB sistemine ise KNT takviyesi yapıldığında

minde ise, dağılım genişleyerek bu değer  $12,5\text{\AA}$  seviyelerine gerilemiştir. Bu durum PVB polimerinin maruz kaldığı yapıdaki  $a_{KNT} - a_{PVB}$  itici etkileşimi sebebiyle polimer zincirlerinin kapanmasına sebep verdiği düşünülmektedir. Çözücü ortamında çoklu KNT içeren polimer solüsyonlarında  $a_{KNT} - a_{PVB}$  etkileşiminin moleküllerde çoklu  $R_G$  dağılımlarına sebep verdiği ve zincir boyutundaki bu değişimlerin makro ölçekte büyük morfolojik değişikliklere sebep olabileceği öngörülmüştür [51].

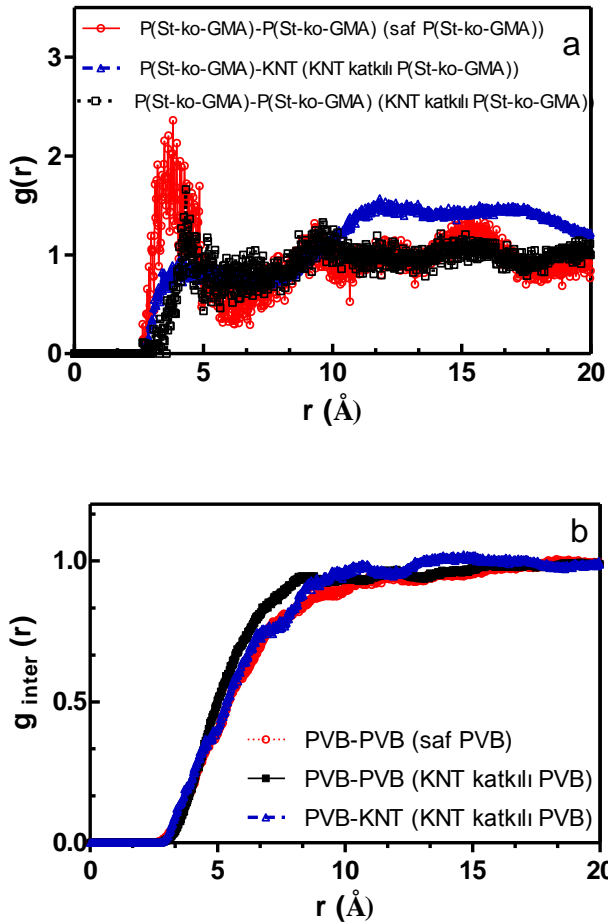
Radyal dağılım fonksiyonu,  $g(r)$ , polimer-KNT birbirlerine göre konumlarının uzun ve kısa mesafelerde birbirlerine karşı olan komşuluğunu ifade eder. Şekil 5a ve b'de  $a_{KNT} - a_{polimer}$  etkileşiminin grupların lokal düzenlerine bir etkisi olup olmadığı incelenmiştir. Saf P(St-ko-GMA) sisteminde ilk komşuluk (coordination shell) olarak görülen mesafenin yaklaşık  $3,8\text{\AA}$  olduğu görülmektedir. Sisteme KNT eklendiğinde, P(St-ko-GMA)- P(St-ko-GMA) polimer zinciri için bu mesafenin  $4,3\text{\AA}$  olduğu ve KNT- P(St-ko-GMA) polimer etkileşiminin ise  $4\text{\AA}$  mesafesinde baskın olduğu görülmektedir. COMPASS notasyonunda  $c3a$  olarak adlandırılan KNT'lerin grafen yüzeyinde ve P(St-ko-GMA)'de aromatik gruplarda bulunan C atomlarının etkili olduğu düşünülmektedir. P(St-ko-GMA)/KNT sisteminde KNT, polimer zincirine kendi türünden daha çok yaklaşabilmektedir, bu da etkin arayüz mekanizması için önemli bir kısıttır. Şekil 5b'de  $c3a(KNT) - c3a$  (polimer) etkileşimine sahip olmayan PVB sistemlerine ait  $g(r)$  analizi verilmiştir. PVB-PVB kısa mesafe (yaklaşık  $7\text{\AA}$ ) etkileşiminin PVB-KNT etkileşiminden daha yüksek olduğu bu sebeple PVB molekül-



Şekil 4. (a) KNT takviyeli ve saf P(St-ko-GMA) polimer sistemlerinde P(St-ko-GMA) yörünge yarıçapı ( $R_G$ ) (b) KNT takviyeli ve saf PVB polimer sistemlerinde PVB yörünge yarıçapı ( $R_G$ ) (Radius of gyration ( $R_G$ ) of (a) CNTs reinforced and neat P(St-co-GMA) polymer systems (b) CNTs reinforced and neat PVB polymer systems)

ise zincir dinamiğinin değiştiği gözlemlenmiştir. Şekil 4b'de gösterilen saf PVB sistemindeki yörünge yarıçapının daha dar bir dağılıma sahip olup, ortalama  $13,3\text{\AA}$  değerine sahip olduğu görülmektedir. Bu Gaussian dağılım aynı zamanda sistemlerin düşük enerjiye ulaştığını ve dengede olduğunu da ifade eder. KNT katkılı PVB siste-

lerinin ilk komşu olarak yine PVB moleküllerini tercih ettiği görülmektedir. Makro ölçekte, bu etkileşimler baskın olup, faz ayrışmalarına sebep vererek polimer yoğun ve KNT yoğun lokal bölgelerinin oluşmasına neden olabileceği öngörülmektedir.

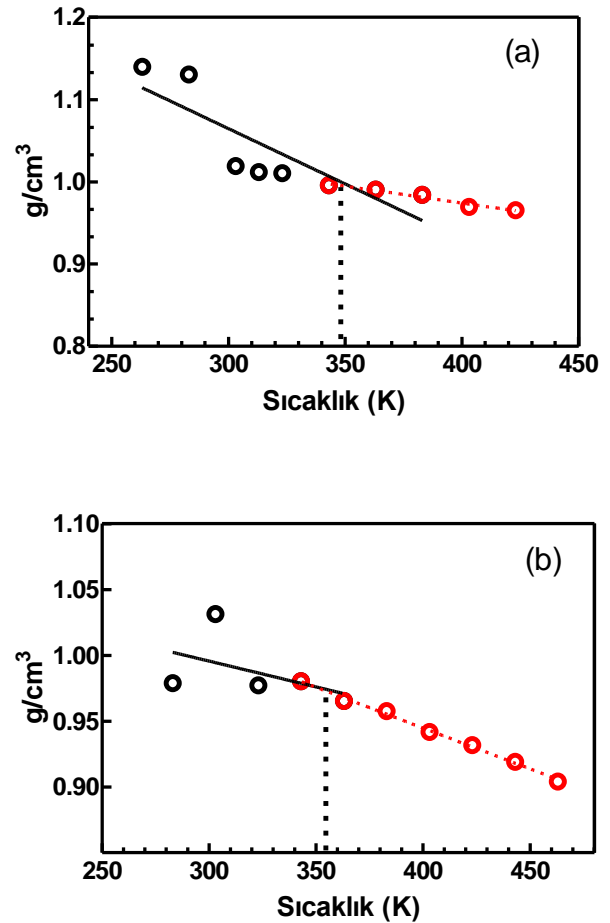


Şekil 5. (a) Saf ve KNT katkılı P(St-ko-GMA) sistemlerde radyal dağılım fonksiyonu  $g(r)$  ve (b) saf ve KNT katkılı PVB sistemlerde farklı moleküler arası etkileşimin radyal dağılım fonksiyonu ((a) Radial distribution function  $g(r)$  of neat and CNTs reinforced P(St-co-GMA) polymer systems (b) inter-molecular  $g_{inter}(r)$  radial distribution function of neat and CNTs reinforced PVB polymer systems)

### 3.2. KNT'lerin PVB ve P(St-ko-GMA) Camısı Geçiş Sıcaklığına Olan Etkisinin İncelenmesi (The Effect of CNTs on Glass Transition Temperature of PVB and P(St-co-GMA))

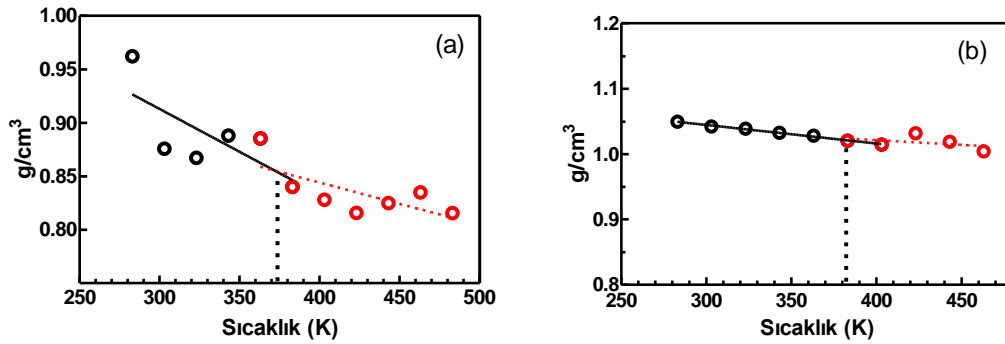
Rittigsten ve Torkelson [47], nanoparçacık-polimer etkileşiminin  $T_g$  üzerindeki etkilerini farklı hacim oranlarında ve farklı boyutlarda küresel nanoparçacıklarla incelemiştir;  $T_g$ 'deki en etkili artışın çekici polimer-nanoparçacık etkileşimi ve nanoparçacıkların polimer matris tarafından tamamen ıslanabilmesi ile mümkün olduğunu ifade etmişlerdir. Deneysel çalışmalar, saf PVB nanoliflerin  $70,3 \pm 0,4^\circ\text{C}$  ( $\approx 343\text{K}$ ) ve KNT katkılı PVB nanoliflerin ise  $73 \pm 0,5^\circ\text{C}$  ( $\approx 347\text{K}$ )  $T_g$ 'e sahip olduklarını göstermektedir. Şekil 6'da saf ve KNT katkılı PVB sistemlerin

ortalama yoğunluğun sıcaklığa bağlı değişimleri verilmektedir. Saf PVB sisteminde camısı geçiş sıcaklığı  $349 \pm 3\text{ K}$  civarında olduğu görülmüştür (Şekil 6a). PVB sistemine KNT takviyesi camısı geçiş sıcaklığında yaklaşık  $3\text{ K}$ 'lik bir artışa sebep olduğu görülmüştür (Şekil 6b). Aynı analiz,  $\pi$ - $\pi$  etkileşimine sahip sistem için incelendiğinde, saf P(St-ko-GMA) sisteminde camısı geçiş sıcaklığı  $373 \pm 2\text{ K}$  civarında olduğu görülmüştür. P(St-ko-GMA) sistemine KNT takviyesi camısı geçiş sıcaklığında yaklaşık  $8-9^\circ\text{C}$ 'lik bir artışa sebep olduğu görülmüştür. Deneysel verilerde ise P(St-ko-GMA) nanoliflerinin camısı geçiş sıcaklığının  $373\text{K}$  olduğu [12] ve KNT'lerin  $T_g$  katkısının  $3^\circ\text{C}$  artış ile sınırlı kaldığı görülmüştür [13]. Bu noktada, deneysel yapıda KNTlerin polimer tarafından ıslanamadığı veya KNT'lerin iyi dağılmadığı bölgelerin  $T_g$ 'deki bu farka sebep olabileceği düşünülmektedir.



Şekil 6. Sıcaklığa bağlı olarak ortalama yoğunluk değerleri (a) saf PVB (b) KNT katkılı PVB (Density average as a function of temperature of (a) neat PVB and (b) CNTs reinforced PVB systems)





Şekil 7. Sıcaklığa bağlı olarak ortalama yoğunluk değerleri (a) saf P(St-ko-GMA) (b) KNT takviyeli P(St-ko-GMA) (Density average as a function of temperature of (a) neat P(St-co-GMA) and (b) CNTs reinforced P(St-co-GMA) systems)

### 3.3. KNT'lerin PVB ve P(St-ko-GMA) mekanik performansa olan etkisinin incelenmesi (The Effect of CNTs on Mechanical Properties of PVB and P(St-co-GMA))

Yüksek elastik modüle sahip (yaklaşık 1 TPa [52]), rijit KNT nano yapılarının mekanik performansa etkisinde arayüz bölgesinin de modülü önemlidir [1]. Bu noktada, saf PVB, KNT takviyeli PVB sistemlerinin ve saf P(St-ko-GMA) ve KNT takviyeli P(St-ko-GMA) polimer sistemlerinin hacimsel modülleri (bulk modulus) Denklem 3'de verildiği şekilde hesaplanmıştır. Burada hedeflenen, KNT'lerin kendi mukavim yapısına ek olarak farklı arayüz etkileşimine sahip olduğu bilinen farklı polimerde mekanik performansa olan etkisini belirlemektir. 303K'de hesaplanan hacimsel modülleri saf PVB ve KNT takviyeli PVB sistemleri için sırasıyla 3,47 GPa ve 3,90 GPa'dır. Saf P(St-ko-GMA) ve KNT takviyeli P(St-ko-GMA) polimer sistemlerinin hacimsel modülleri ise 3,36 GPa ve 3,83 GPa'dır. KNT takviyesi PVB sisteminin hacimsel modülünde yaklaşık %12'lik bir artışa sebep verirken bu oran P(St-ko-GMA)'da yaklaşık %14'dür. Bu %2'lik farkın çekici arayüz etkileşiminden kaynaklandığı düşünülmektedir.

## 4. SONUÇLAR (CONCLUSION)

Yapılan çalışmada P(St-ko-GMA) ve PVB polimerlerinde KNT takviyesinin arayüze olan etkisi çok boyutlu modelleme kullanılarak incelenmiştir. Önerilen KNT'lerin periyodik yapısını korumasına izin veren yazar tarafından literatüre kazandırılan bu çok boyutlu modelleme yöntemi termoplastik sisteme ilk defa uygulanmıştır. KNT ile olan arayüz etkileşimi karşılaştırılmalı incelenen PVB ve P(St-ko-GMA) polimer sistemlerinde şu sonuçlara ulaşılmıştır:

- Yapısında aromatik grup bulunan P(St-ko-GMA) polimerlerinin KNT ile  $\pi$ - $\pi$  etkileşimine  $c3a-c3a$  atomlarının vasıtasıyla girebildiği ve bu  $a_{KNT-a_{P(St-ko-GMA)}}$  etkileşiminin polimer zincirinin yörünge yarıçapında değişime sebep vermediği görülmüştür.  $a_{P(St-ko-GMA)-a_{P(St-ko-GMA)}}$  etkileşimi ve  $a_{KNT-a_{P(St-ko-GMA)}}$  etkileşiminin aynı oranda etkin olduğu gözlemlenmiştir.

- $a_{KNT-a_{PVB}}$  etkileşiminin ise  $a_{PVB-a_{PVB}}$  etkileşimine kıyasla itici bulunduğu dolayısıyla polimer zincirinin kapanarak, yörünge yarıçapını düşürdüğü gözlemlenmiştir.
- Moleküler arası etkileşimin radyal dağılım fonksiyonu  $g(r)$ , KNT çevresinde P(St-ko-GMA) moleküllerinin bulunma olasılığının PVB moleküllerine kıyasla daha yüksek olduğunu işaret etmektedir.
- Saf PVB sisteminde camsı geçiş sıcaklığı  $349\pm 3$  K civarında olduğu görülmüştür, bu basılı kaynaklardaki deneysel verilerle örtüşmektedir. PVB sistemine KNT takviyesi camsı geçiş sıcaklığında yaklaşık  $3C^\circ$ 'lik bir artışa sebep olduğu görülmüştür.
- Saf P(St-ko-GMA) sisteminde camsı geçiş sıcaklığı  $373\pm 2$  K civarında olduğu görülmüştür, bu değer de öncül deneysel sonuçlarımızla paralellik göstermektedir. Fakat mevcut hesaplamalı yöntemle, P(St-ko-GMA) sistemine KNT takviyesi camsı geçiş sıcaklığı yaklaşık  $8-9 C^\circ$ 'lik bir artışa sebep olduğu görülmüştür. Deneysel verilerde yaklaşık  $3 C^\circ$ 'lik bir artış gözlemlenmiştir.
- KNT takviyesi PVB sisteminin hacimsel modülünde yaklaşık %12'lik bir artışa sebep verirken bu oran P(St-ko-GMA)'da yaklaşık %14'dür. Bu %2'lik farkın çekici arayüz etkileşiminden kaynaklandığı düşünülmektedir.

## TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma TUBITAK 3001 projeleri tarafından desteklenen 213M618 no'lu proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. Bu metodolojinin termoset sistemlerde oluşturulmasındaki yardımlarından dolayı Sabancı Üniversitesi'nden Prof Dr Canan Atılğan'a ve Cambridge Üniversitesi'nden Dr James Elliott'a teşekkürlerimi sunarım.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Schandler L. S., Brinson L. C. and Sawyer W. G., "Polymer nanocomposites: a small part of the story", *JOM*, 59(3): 53-60, (2007).
- Beese A. M., Sarkar S., Nair A., Naraghi M., An Z., Moravsky A., Loutfy R. O., Buehler M. J., Nguyen S. T. and Espinosa H. D., "Bio-Inspired carbon nanotube-polymer composite yarns with hydrogen bond-mediated lateral interactions", *ACS Nano*, 7(4): 3434-3446, (2013).
- Es'haghi Z., Golsefidi M. A., Saify A., Tanha A. A., Rezaeifar Z. and Alian-Nezhadi Z., "Carbon nanotube reinforced hollow fiber solid/liquid phase microextraction: a novel extraction technique for the measurement of caffeic acid in echinacea purpurea herbal extracts combined with high-performance liquid chromatography", *Journal of Chromatography A*, 1217(17): 2768-2775, (2010).
- Fu S.-Y., Feng X.-Q., Lauke B. and Mai Y.-W., "Effects of particle size, particle/matrix interface adhesion and particle loading on mechanical properties of particulate-polymer composites", *Composites Part B-Engineering*, 39(6): 933-961, (2008).
- Imaizumi S., Matsumoto H., Konosu Y., Tsuboi K., Minagawa M., Tanioka A., Koziol K. and Windle A., "Top-down process based on electrospinning, twisting, and heating for producing one-dimensional carbon nanotube assembly", *ACS Applied Materials & Interfaces*, 3(2): 469-475, (2011).
- Liu Y. J., Nishimura N., Qian D., Adachi N., Otani Y. and Mokashi V., "A boundary element method for the analysis of cnt/polymer composites with a cohesive interface model based on molecular dynamics", *Engineering Analysis with Boundary Elements*, 32(4): 299-308, (2008).
- Lu P. and Hsieh Y.-L., "Multiwalled carbon nanotube (mwcnt) reinforced cellulose fibers by electrospinning", *ACS Applied Materials & Interfaces*, 2(8): 2413-2420, (2010).
- Ma W., Liu L., Zhang Z., Yang R., Liu G., Zhang T., An X., Yi X., Ren Y., Niu Z., Li J., Dong H., Zhou W., Ajayan P. M. and Xie S., "High-Strength composite fibers: realizing true potential of carbon nanotubes in polymer matrix through continuous reticulate architecture and molecular level couplings", *Nano Letters*, 9(8): 2855-2861, (2009).
- Mottaghtalab V., Spinks G. M. and Wallace G. G., "The influence of carbon nanotubes on mechanical and electrical properties of polyaniline fibers", *Synthetic Metals*, 152(1-3): 77-80, (2005).
- Odegard G. M., Clancy T. C. and Gates T. S., "Modeling of the mechanical properties of nanoparticle/polymer composites", *Polymer*, 46(2): 553-562, (2005).
- Odegard G. M., Gates T. S., Wise K. E., Park C. and Siochi E. J., "Constitutive modeling of nanotube-reinforced polymer composites", *Composites Science and Technology*, 63(11): 1671-1687, (2003).
- Ozden-Yenigun E., Menciloglu Y. Z. ve Papila M., "MWCNT/P(St-co-GMA) composite nanofibers of engineered interface chemistry for epoxy matrix nanocomposites", *ACS Applied Materials & Interfaces*, 4(2): 777-784, (2012).
- Ozden E., Menciloglu Y. Z. and Papila M., "Engineering chemistry of electrospun nanofibers and interfaces in nanocomposites for superior mechanical properties", *ACS Applied Materials & Interfaces*, 2(7): 1788-1793, (2010).
- Tan H., Jiang L. Y., Huang Y., Liu B. and Hwang K. C., "The effect of van der Waals-based interface cohesive law on carbon nanotube-reinforced composite materials", *Composites Science and Technology*, 67(14): 1941-1946, (2007).
- Wong M., Paramsothy M., Xu X. J., Ren Y., Li S. and Liao K., "Physical interactions at carbon nanotube-polymer interface", *Polymer*, 44(25): 7757-7764, (2003).
- Wu X.-F. and Yarin A. L., "Recent progress in interfacial toughening and damage self-healing of polymer composites based on electrospun and solution-blown nanofibers: an overview", *Journal of Applied Polymer Science*, 130(4): 2225-2237, (2013).
- Bhuiyan M. A., Pucha R. V., Worthy J., Karevan M. and Kalaitzidou K., "Understanding the effect of cnt characteristics on the tensile modulus of cnt reinforced polypropylene using finite element analysis", *Computational Materials Science*, 79: 368-376, (2013).
- Bobaru F. and Silling S. A., "Peridynamic 3D models of nanofiber networks and carbon nanotube-reinforced composites", *American Institute of Physics Conference Proceedings*, 712: 1565, (2004).
- Gates T. S., Odegard G. M., Frankland S. J. V. and Clancy T. C., "Computational materials: multi-scale modeling and simulation of nanostructured materials", *Composites Science and Technology*, 65(15-16): 2416-2434, (2005).
- Valavala P. K. and Odegard G. M., "Modeling techniques for determination of mechanical properties of polymer nanocomposites", *Reviews on Advanced Materials Science*, 9(1): 34-44, (2005).
- Ozden-Yenigun E., Atilgan C. and Elliott J.A., "Multi-scale modelling of carbon nanotube reinforced crosslinked interfaces", *Computational Materials Science*, 129: 279-289, (2017).
- Fermeglia M., Maly M., Posocco P. and Priol S., "Multiscale molecular modeling of hybrid organic-inorganic nanocomposites of type I and II", *Advances in Science and Technology*, 54: 265-269, (2008).
- Li C. Y. and Chou T. W., "Multiscale modeling of carbon nanotube reinforced polymer composites", *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 3(5): 423-430, (2003).
- Li P. J., Wang Q. Z. and Shi S. F., "Differential scheme for the effective elastic properties of nano-particle composites with interface effect", *Computational Materials Science*, 50(11): 3230-3237, (2011).
- Parashar A. and Mertiny P., "Multiscale model to study of fracture toughening in graphene/polymer nanocomposite", *International Journal of Fracture*, 179(1-2): 221-228, (2013).
- Scocchi G., Posocco P., Danani A., Priol S. and Fermeglia M., "To the nanoscale, and beyond multiscale molecular modeling of polymer-clay nanocomposites", *Fluid Phase Equilibria*, 261(1-2): 366-374, (2007).
- Takeda T., Shindo Y., Narita F. and Mito Y., "Tensile characterization of carbon nanotube-reinforced polymer composites at cryogenic temperatures: experiments and multiscale simulations", *Materials Transactions*, 50(3): 436-445, (2009).
- Wang H. W., Zhou H. W., Peng R. D. and Mishnaevsky L., "Nanoreinforced polymer composites: 3D fem modeling

- with effective interface concept", *Composites Science and Technology*, 71(7): 980-988, (2011).
29. Zeng Q. H., Yu A. B. and Lu G. Q., "Multiscale modeling and simulation of polymer nanocomposites", *Progress in Polymer Science*, 33(2): 191-269, (2008).
30. Ionita M., Ciupina V. and Vasile E., "Influence of different carbon nanotubes on the mechanical properties of polyaniline nanocomposite - multiscale molecular modeling", *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*, 13(7-8): 769-775, (2011).
31. Liu W., Zhang S., Hao L., Yang F., Jiao W., Li X. and Wang R., "Fabrication of carbon nanotubes/carbon fiber hybrid fiber in industrial scale by sizing process", *Applied Surface Science*, 284: 914-920, (2013).
32. Porter D., "Pragmatic multiscale modelling of bone as a natural hybrid nanocomposite", *Materials Science and Engineering A-Structural Materials Properties Microstructure and Processing*, 365(1-2): 38-45, (2004).
33. Pricl S., Posocco P., Fermeglia M., Scocchi G., Danani A., Handgraaf J. W. and Fraaije H. G. E. M., "The dark side of the moon: a multiscale approach to self-assembly of dendrimers for cancer therapy", *Molecular Cancer Therapeutics*, 6(11): C102, (2007).
34. Scocchi G., Posocco P., Fermeglia M. and Pricl S., "Polymer-clay nanocomposites: a multiscale molecular modeling approach", *Journal of Physical Chemistry B*, 111(9): 2143-2151, (2007).
35. Sheng N., Boyce M. C., Parks D. M., Rutledge G. C., Abes J. I. and Cohen R. E., "Multiscale micromechanical modeling of polymer/clay nanocomposites and the effective clay particle", *Polymer*, 45(2): 487-506, (2004).
36. Zappalorto M., Salviato M. and Quaresimin M., "A multiscale model to describe nanocomposite fracture toughness enhancement by the plastic yielding of nanovoids", *Composites Science and Technology*, 72(14): 1683-1691, (2012).
37. Groot R. D. and Warren P. B., "Dissipative particle dynamics: bridging the gap between atomistic and mesoscopic simulation", *Journal of Chemical Physics*, 107(11): 4423-4435, (1997).
38. Doruker P. and Mattice W. L., "Reverse mapping of coarse-grained polyethylene chains from the second nearest neighbor diamond lattice to an atomistic model in continuous space", *Macromolecules*, 30(18): 5520-5526, (1997).
39. Ghanbari A., Bohm M. C. and Muller-Plathe F., "A simple reverse mapping procedure for coarse-grained polymer models with rigid side groups", *Macromolecules*, 44(13): 5520-5526, (2011).
40. Harmandaris V. A., Adhikari N. P., van der Vegt N. F. A. and Kremer K., "Hierarchical modeling of polystyrene: from atomistic to coarse-grained simulations" *Macromolecules*, 39(19): 6708-6719, (2006).
41. Kacar G., Atilgan C. and Ozen A. S., "Mapping and reverse-mapping of the morphologies for a molecular understanding of the self-assembly of fluorinated block copolymers", *Journal of Physical Chemistry C*, 114(1): 370-382, (2010).
42. Peter C., Delle Site L. and Kremer K., "Classical simulations from the atomistic to the mesoscale and back: coarse graining an azobenzene liquid crystal", *Soft Matter*, 4(4): 859-869, (2008).
43. Peter C. and Kremer K., "Multiscale simulation of soft matter systems – from the atomistic to the coarse-grained level and back", *Soft Matter*, 5: 4357, (2009).
44. Santangelo G., Di Matteo A., Muller-Plathe F. and Milano G., "From mesoscale back to atomistic models: a fast reverse-mapping procedure for vinyl polymer chains", *Journal of Physical Chemistry B*, 111(11): 2765-2773, (2007).
45. Spyriouni T., Tzoumanekas C., Theodorou D., Muller-Plathe F. and Milano G., "Coarse-grained and reverse-mapped united-atom simulations of long-chain atactic polystyrene melts: structure, thermodynamic properties, chain conformation, and entanglements", *Macromolecules*, 40(10): 3876-3885, (2007).
46. Rzepiela A. J., Schafer L. V., Goga N., Risselada H. J., De Vries A. H. and Marrink S. J., "Software news and update reconstruction of atomistic details from coarse-grained structures", *Journal of Computational Chemistry*, 31(6): 1333-1343, (2010).
47. Rittigstein P. and Torkelson J. M., "Polymer-nanoparticle interfacial interactions in polymer nanocomposites: confinement effects on glass transition temperature and suppression of physical aging", *J Polym Sci Pol Phys*, 44: 2935-2943, (2006).
48. Ozden-Yenigun E., Simsek E., Menciloglu Y.Z. and Atilgan, C., "Molecular basis for solvent dependent morphologies observed on electrosprayed surfaces", *Physical Chemistry Chemical Physics*, 15: 17862-17872, (2013).
49. Gotovac S., Honda H., Hattori Y., Takahashi K., Kanoh H. and Kaneko K., "Effect of nanoscale curvature of single-walled carbon nanotubes on adsorption of polycyclic aromatic hydrocarbons", *Nano Letters*, 7: 583-587, (2007).
50. Zhao J., Lu J.P., Han J. and Yang C-K., "Noncovalent functionalization of carbon nanotubes by aromatic organic molecules", *Appl Phys Lett.*, 82: 3746-3748, (2003).
51. Jahangiri S. and Ozden-Yenigun E. "The stability and dispersion of carbon nanotube-polymer solutions: a molecular dynamics study", *Journal of Industrial Textiles* (basimda), DOI: 10.1177/1528083717702006, (2017).
52. Lu J. P., "Elastic properties of single and multilayered nanotubes", *J Phys Chem Solids*, 58: 1649-1652, (1997).





# POLİTEKNİK DERGİSİ

## JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://www.politeknik.gazi.edu.tr/index.php/PLT/index>

**Bayburt bölgesinde bulunan farklı agrega tipleri ile üretilen geleneksel betonların mekanik mukavemetleri üzerine bir çalışma**

*Mechanical properties of conventional concrete produced with different type of aggregates in Bayburt region*

*Yazar(lar) (Author(s)): İlker TEKİN, Türkey KOTAN, Muhammet YURDAKUL, Erdal ÖNER*

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz:** Tekin İ., Kotan T., Yurdakul M. ve Öner E., " Bayburt bölgesinde bulunan farklı agrega tipleri ile üretilen geleneksel betonların mekanik mukavemetleri üzerine bir çalışma", *Politeknik Dergisi*, 20(3): 513-518, (2017).

**To cite this article:** Tekin İ., Kotan T., Yurdakul M. ve Öner E., " Mechanical properties of conventional concrete produced with different type of aggregates in Bayburt region", *Journal of Polytechnic*, 20(3): 513-518, (2017).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://www.politeknik.gazi.edu.tr/index.php/PLT/issue/archive>

**DOI:** [10.2339/politeknik.339357](https://doi.org/10.2339/politeknik.339357)

# Bayburt Bölgesinde Bulunan Farklı Agregat Tipleri ile Üretilen Geleneksel Betonların Mekanik Mukavemetleri Üzerine Bir Çalışma

İlker TEKİN<sup>1,\*</sup>, Türkey KOTAN<sup>2</sup>, Muhammet YURDAKUL<sup>1</sup>, Erdal ÖNER<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Bayburt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bayburt, Türkiye

<sup>2</sup> Erzurum Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye

(Geliş/Received : 13.10.2016 ; Kabul/Accepted : 14.12.2016)

## ÖZ

Bu çalışmada Bayburt İli sınırları içinde bulunan kireçtaşı, doğal dere agregası, serpentine ve Bayburt taşı kullanılarak geleneksel betonlar üretilmiştir. Deneysel çalışmada çimento dozajı ve işlenebilirlik sabit tutulmuştur. Çalışmada çökme, Ve-Be, birim hacim ağırlık ve ilk 2 saat içinde oluşan en yüksek taze beton sıcaklıkları ölçülmüştür. Hazırlanan beton örneklerden Bayburt taşı ile üretilen betonlar 90 gün, diğerleri 28 gün süreyle kirece doymuş su içinde küre tabii tutulmuştur. Sertleşmiş haldeki betonların 7 ve 28 gün yaşlarında basınç dayanımı deneyi sırasında alınan deformasyon ve gerilme kayıtları sayesinde gerilme-deformasyon bilgileri edinilmiş ve su emme oranları ölçülmüştür. Sonuçlara göre beton numunelerin 28 günlük basınç dayanımı sonuçları; kireçtaşı, doğal dere ve serpantin agregası için sırasıyla 40, 35 ve 5 MPa olarak elde edilmiştir. Bayburt taşı agregası ile üretilen betonlarda basınç dayanımları 28 günde 16 MPa ve 90 günde 22 MPa değerine ulaşmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Geleneksel beton, doğal dere agregası, kireçtaşı, serpentine, tuf.

## Mechanical Properties of Conventional Concrete Produced With Different Type of Aggregates in Bayburt Region

### ABSTRACT

In this study, the limestone, natural aggregate, serpentine and Bayburt stone located in the province of Bayburt used as aggregate in conventional concrete production. In the experiments, the cement dosage and workability were kept constant. Slump, Ve-Be, unit weight and the highest temperature values in first 2 hours of the fresh concrete were measured. The concrete samples prepared with Bayburt stone were cured for 90 days and the others were cured for 28 days in lime-saturated water. Strain-stress data and water absorption values were measured on the hardened concretes at 7 and 28<sup>th</sup> days age through the records of stress and strain data during compressive strength tests. According to results of this study, the compressive strengths of the concrete samples with limestone, natural aggregate and serpentine were on average of 40, 35 and 5 MPa, respectively, on the 28th day. Also, in concrete samples with Bayburt stone, the compressive strengths were reached to 16 MPa for 28 days and to 22 MPa for 90 days.

**Keywords:** Conventional concrete, natural aggregates, limestone aggregate, recycled aggregate, tuff aggregate.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Beton gerektiğinde kimyasal ve mineral katkı kullanılabilen ancak esasen çimento, su ve agregadan oluşan en yaygın kullanılan yapı malzemesidir. Betonun performansı bileşenlerinin karakteristik özelliklerine doğrudan bağlıdır [1-3]. Agregat, betonun hacimce %60 – 80'ini oluşturan önemli bileşendir ve betonun dayanım ile dayanıklılığında sorumludur. Agreganın porozite, granülometri, su emme, şekil ve yüzey dokusu, basınç dayanımı, elastisite modülü gibi özellikleri ana kayacın mineralojik ve petrografik yapısından, ortam koşullarından ve agregat üretiminde kullanılan ekipmandan etkilenir. Beton basınç dayanımının ise agreganın

hacimsel oranından ve diğer özelliklerinden önemli derecede etkilendiği iyi bilinmektedir [4-6].

Kayaçlar orijinlerine göre metamorfik, sedimenter ve volkanik olmak üzere 3 grupta sınıflandırılır. Bunlar kendi içlerinde kristal yapılarına, kimyasal içeriklerine, mineralojik yapılarına, yüzey dokusu ve parçacık boyutlarına göre ayrıştırılırlar. Agregaların özellikleri betonun kalitesinde önemli rol oynar [7]. Bundan dolayı betonda kullanılacak agregaların özellikleri geniş çapta bilinmelidir [8-10]. Betonun dayanımını artırmak için çimento miktarındaki artışın yerine daha dayanıklı ve sert agregat kullanımının daha etkin bir çözüm olduğu beton teknolojisinde kabul görmüş bir gerçektir. Agregat tipi ve yoğunluğunun mekanik mukavemetlere etkisi üzerine sayısız çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarda kireçtaşı ve dere agregası kullanımının betonda oluşturacağı etkiler

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: ilkertekin@yahoo.com

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/politeknik.339357

iyi bilinmektedir. Hatta kaynaklarda hangi agregaların kullanılıp kullanılmayacağı ile ilgili hususlar belirlemiş olmasına rağmen yerelde agrega davranışları hakkında halen araştırılması gereken bilgilere rastlanılmaktadır [11-16].

Bayburt doğal taşlar bakımından zengin bölgelerden birisidir. Bu bölgede farklı kireçtaşları, kumtaşları, mermer, traverten, granit, tüf, hematit, bazalt gibi çok çeşitli tipte kayaca rastlamak mümkündür. Bölgede faaliyet gösteren beton santralleri halen Türkiye Hazır Beton Birliğine üye ve Kalite Güvence Sistemine dahil olmamıştır. Beton üretiminde bu santraller daha çok kireçtaşı ve Çoruh Nehrinden elde edilen doğal dere agregası kullanılmaktadır. Mevcut üretimlerinde kimyasal katkı (süperakışkanlaştırıcı) kullanılarak 320-350 kg gibi yüksek çimento dozajlarıyla en yüksek C30/37 tipi beton üretilebilmektedir. Bu problemin sebeplerinin başında beton teknolojisine uygun olmayan üretim teknikleri olduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışmanın amacı, kimyasal katkı kullanılmadan en yüksek basınç dayanımı hedefli, farklı orijinli Bayburt İli kayalarının agrega olarak kullanılabilirliği ve bunların betonun mekanik performanslarına etkilerini araştırmaktır.

## 2. MALZEMELER VE YÖNTEMLER (MATERIALS AND METHODS)

### 2.1. Malzeme (Materials)

Bu çalışmada, beton üretimlerinde TS EN 197-1 [17]'e göre Aşkale çimento fabrikasında üretilmiş CEM-I 42.5R tipi çimento, Bayburt İli içme suyu ve Bayburt yöresinde bulunan 4 farklı tip agrega olarak kullanılmıştır. Bu agregalar sırasıyla kireçtaşı, Çoruh Nehrinden elde edilen doğal dere agregası, serpantin ve zeolit minerali içeren tüf yapılı Bayburt taşı olarak bilinen kayalardır. Şekil 1 ve Şekil 2'de gösterildiği gibi kireçtaşı, doğal agrega ve tüf Bayburt ili merkezinden, Serpantin yapılı kayalar ise Bayburt – Erzurum arasında Bayburt İl merkezine yaklaşık 40 km mesafede bulunan Kop Dağından temin edilmiştir. Deneylerde kullanılan kireçtaşı ve doğal dere agregası mevcutta faaliyet gösteren Tekinler Hazır Beton isimli firmanın agrega ocağından temin edilmiştir, diğer iki tip agrega Şekil 2'de gösterilen bölgelerden agrega

örneği alma prosedürleri uygulanarak (birbirine yakın 5 farklı lokasyondan kaya parçaları kırılarak) alınmıştır.



Şekil 1. Bayburt ilinin Türkiye haritasındaki yeri (Location of the Bayburt province in the Turkey map)



Şekil 2. Bayburt ilindeki agregaların temin edildiği sahalara (Places of aggregates from Bayburt province) 1) Kireçtaşı (Limestone), 2) Doğal agrega (Natural river aggregate), 3) Serpantin (Serpentine), 4) Bayburt taşı (Bayburt stone)

Çalışmada öncelikle, temin edilen kayalar laboratuvarında konkasör ile kırılarak en büyük dane boyutu 25 mm'ye indirilmiştir. Sonrasında agregaların Çizelge 1'de verilen fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Ardından agregalar eleklerden elendikten sonra her bir elek arası malzeme kovalarda biriktirilmiş ve agregaların granülometreleri Fuller eğrisi ile aynı olacak şekilde malzemeler gram hassasiyetinde tartılarak ayrı ayrı bileşimler oluşturulmuştur. Böylece tüm agregaların

Çizelge 1. Kullanılan agregaların fiziksel özellikleri (Physical properties of aggregates)

Agrega tipi	Agrega Boyutu (mm)	Yoğunluk (kg/dm <sup>3</sup> )			Su emme (%)
		Doygun	Kuru	Görünür	
Dere Agregası		2,57	2,50	2,69	2,78
Kireçtaşı		2,60	2,53	2,71	2,63
Bayburt taşı		1,96	1,65	2,41	19,28
Serpantin		2,39	2,25	2,62	6,29
Dere Agregası		2,56	2,53	2,62	1,34
Kireçtaşı		2,67	2,65	2,70	0,66
Bayburt taşı		1,86	1,61	2,17	16,08
Serpantin		2,48	2,41	2,60	3,96

granülometri eğrileri Fuller eğrisi ile aynı olmuştur. İri agrega ile ince agrega oranı sırasıyla %40 ile %60 olarak seçilmiştir.

Kayaçlar arasında Bayburt taşı tüfit yapılı bünyesinde zeolit mineralleri bulduran ve bundan dolayı puzolanik özellik gösteren hafif poroz bir kayadır [18]. Zeolit minerali yüksek miktarda SiO<sub>2</sub> içermekte olup, mikro poroz yapıya sahiptir. Bayburt taşı bölgede taş atölyelerinde işlendikten sonra dekoratif amaçlı kullanılmakta ve ekonomik değeri olan bir malzemeye dönüşmektedir. Ancak bölgede taş kesme ve ocak işletmeciliğinde teknolojinin kullanılmamasından dolayı yaklaşık %70 kadar atık oluşmaktadır. Ayrıca bu atıklardan bir kısmı tozuma nedeniyle tarım arazilerinde kirliliğe yol açmaktadır. Bu çalışmanın bir diğer amacı bu atıkların betonda değerlendirilmesini sağlamaktır.

## 2.2. Yöntemler (Methods)

Bu çalışmada, TS 802'ye göre C30 beton dayanım sınıfında beton tasarımı yapılmıştır. 320 kg sabit çimento dozajı ile hazırlanan harçların çökme değerleri de 6 – 8 cm arasında sabit tutulmuştur. Böylece granülometrik bileşim, çimento miktarı ve işlenebilirlik (çökme) sabit tutularak agrega türünün etkisi ile su/çimento (S/Ç) oranının basınç dayanımına etkisi araştırılmıştır. Karışımların tasarımında kullanılan malzeme miktarları Çizelge 2'de verilmiştir. Bu çizelgede LC, TC, NC ve SC sembolleri sırasıyla kireçtaşı, Bayburt taşı, doğal dere agregası ve serpantin ile üretilen betonları tanımlamaktadır.

Beton numuneler 23±2 °C sıcaklık ve %50±5 neme sahip olan Bayburt Üniversitesi yapı laboratuvarında 56 dm<sup>3</sup> kapasiteli düşey eksenli laboratuvar tipi karıştırıcıda hazırlanmıştır. Beton üretimi sırasında malzemeler karıştırıcıya sırasıyla iri agregadan ince agregaya doğru yerleştirilmiş ve ardından agregaların doygun kuru yüzey hale gelebilmesi için gerekli olan su ile agrega ıslatılmıştır. 15 dk bekletildikten sonra çimento eklenmiş ve 1 dk süreyle karıştırılmıştır. Karışım tamamlandıktan sonra 6 – 8 cm çökme değerini oluşturacak su miktarı karışıma eklenmiş ve taze beton harcı hazırlanmıştır. Beton harcı üretildikten sonra taze beton üzerinde önce çökme deneyi ve ardından Ve-Be testleri gerçekleştirilmiştir. Hava miktarı ölçümü yapıldıktan sonra taze beton harcı 15x15x15 cm boyutlu küp ve 10/20 cm boyutlu silindir plastik kalıplar içine 2 kademedeki yerleştirilmiş ve ardından masa tipi vibrasyon cihazında 1 dk süreyle sıkıştırılmıştır. Silindir geometri kalıplardan birinde 2 saat süreyle daldırma tip termometre ile betonun sıcaklığı ölçülmüştür. Her bir taze beton harcı masa tipi vibratör ile 60 s sıkıştırıldıktan sonra her bir seriden 9'ar adet 10/20 cm silindir ve 15x15x15 cm boyutlu kübik geometri numuneler üretilmiştir. Numuneler 24±1 saat laboratuvarında bekletildikten sonra kalıplar sökülüş ve deney yapılacak tarihe kadar 22±2 °C sıcaklıktaki kirece doygun su içinde bekletilmiştir. Sertleşmiş 15x15x15 cm boyutlu küp geometri numuneler üzerinde 7 ve 28 gün yaşlarında basınç dayanımı deneyi 10/20 cm boyutlu

silindir geometri numuneler üzerinde su emme deneyleri gerçekleştirilmiştir. TS EN 12390-3 [19]'e göre basınç dayanımı, TS 3624 [20]'e göre su emme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bayburt taşı agregalı betonlarda aynı deneyler 90 gün yaşında da yapılmıştır. Basınç dayanımı deneyleri sırasında deformasyon verileri LVDT kullanılarak üretilmiştir.

**Çizelge 2.** Beton tasarımında kullanılan malzeme miktarları ve ortam koşulları (Materials amount and ambient conditions of concrete mixing design)

Beton tipi	LC	TC	NC	SC
Çimento (kg)			320,00	
Su miktarı (lt)			170	
S/Ç (%)			0,53	
0-4 mm agrega (kg)	741,69	559,12	727,43	681,78
4-25 mm agrega (kg)	1142,49	795,89	1095,42	1061,19
Hava miktarı (%)			1,5	
Ortam bağıl nemi (%)	53,5	50,0	48,0	51,5
Ortam sıcaklığı (°C)	18,0	18,0	18,0	17,0

## 3. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME (RESULTS AND DISCUSSION)

Çalışmada taze haldeki betonlardan elde edilen sonuçlar Çizelge 3'te, sertleşmiş betonlardan elde edilen sonuçların aritmetik ortalamaları alınarak Çizelge 4'te verilmiştir. Basınç dayanımı deneylerinden sonra her bir beton numuneden alınan örneklerden Aşkale Çimento Fabrikası çimento laboratuvarında XRF analizleri gerçekleştirilmiştir. XRF sonuçları Çizelge 5'te verilmiştir.

**Çizelge 3.** Taze betonların özellikleri (Properties of fresh concretes)

Beton tipi	LC	TC	NC	SC
Karışım sırasında oluşan s/ç (%)	63	84	53	135
Çökme (cm)	7,0	7,3	8,0	6,3
Ve-Be (s)	15,2 0	14,1 6	12,5 0	17,0 0
Hava miktarı (%)	2,3	4,5	1,9	6,7
En yüksek beton sıcaklığı (°C)	20,3	19,9	21,5	22,3

Çizelge 3'e göre aynı çimento dozajı ve s/ç oranında tasarlanan farklı tip agregalı taze beton harçları karışım sırasında kıvamları aynı olması için (K2) karışım sırasında taze harçlara belli miktarlarda su eklenmiştir. Tasarımda dikkate alınan s/ç oranı ile doğal dere agregası ile hazırlanan betonlarda K2 kıvam sınıfı elde edilirken, aynı kıvamı elde etmek için kireçtaşı agregalı betonda



%10, Bayburt taşı agregalı betonda %31, serpantin agregalı betonda %82 oranında artış olmuştur. Serpantin ve Bayburt taşı agregalı betonda yüksek bir kohezyon davranışından dolayı yüksek s/ç oranı elde edilmiştir. Ve-Be süreleri de bunu destekler niteliktedir. s/ç oranının artışı taze betondaki hava miktarının da artmasına sebep olmuştur. Puzolanik çimentolarda da olduğu gibi Bayburt taşı agregalı betonların hidratasyon sıcaklıklarının düşük olması agreganın ince malzemesinin puzolan gibi davrandığının bir göstergesi olabilir. Hidratasyon sıcaklığı en yüksek olan serpantin

ilişkili olduğu düşünülmektedir. Yapılan 0,063 mm ıslak eleme deneyine göre (TS 706 EN 12620+A1 [22]) dere agregasında ince malzeme miktarının %17, kireçtaşında %5 olduğu belirlenmiştir. İngiliz standartlarında, kırma taş agregada ve kırma kumda bulunabilecek ince maddelerin maksimum miktarı, sırasıyla, %3 ve %15 olarak belirtilmektedir [23]. Ancak son yıllarda yapılan araştırmalarda, beton yapımında %10-%15 kadar taş unu kullanılmasının beton dayanımına olumsuz etki yapmadığı ifade edilmektedir.

**Çizelge 4.** Sertleşmiş beton deney sonuçları (Experiment results of hardened concrete)

TEST	Basınç dayanımı (MPa)			Su emme (%)			Görünür BHA (kg/dm <sup>3</sup> )			Kuru BHA (kg/dm <sup>3</sup> )		
	7	28	90	7	28	90	7	28	90	7	28	90
Yaş (Gün)												
LC	35,1	42,6	-	9,0	6,0	-	2,39	2,37	-	2,20	2,23	-
TC	8,3	16,4	22,3	16,5	11,3	10,8	1,83	1,80	1,81	1,57	1,66	1,67
NC	25,5	34,6	-	7,1	6,5	-	2,31	2,32	-	2,17	2,17	-
SC	3,5	4,5	-	22,1	20,4	-	1,97	1,94	-	1,60	1,64	-

agregalı beton olurken, en düşük olan Bayburt taşı agregalı beton olmuştur. Normal koşullarda s/ç oranındaki artış hidratasyon sıcaklığını düşürmesi beklenirken, serpantin agregalı betonda davranış değişmiştir. Bunun sebebi alkali madde oranındaki fazlalık olarak söylenebilir. Alkali bileşenlerin elektropozitifliklerinin yüksek olmasından dolayı reaksiyon kinetiklerinin yüksek olduğu bilinmektedir. Diğer agregaların hidratasyon sıcaklıkları arasında belirgin farklar elde edilmemiştir.

Çizelge 4'te görüldüğü gibi 28 gün yaşında kireçtaşı, dere, Bayburt taşı ve serpantin agregası ile hazırlanmış beton numuneler sırasıyla 42,63 MPa, 34,64 MPa, 16,36 MPa ve 4,45 MPa basınç dayanım değerlerine ulaşmıştır. Böylece TS EN 206 [21]'ya göre kireçtaşı agregasıyla C30/37, dere agregasıyla C25/30 taşıyıcı beton üretilebilirken, Bayburt taşı agregasıyla C12/15 taşıyıcı olmayan beton üretilebilmiştir. Serpantin agregasıyla C8/12'den daha düşük bir beton üretilmiştir. Serpantin agregalı betonda yüksek oranda MgO içeriğinden dolayı betonda aşırı genleşme görülmüş ve bundan dolayı oldukça düşük bir dayanım elde edilmiştir. Beton numunelerin basınç dayanımları 7 – 28 gün yaşları arasında kireçtaşı, dere ve serpantin agregası için sırasıyla %21,38, % 35,95 ve %26,06 oranlarında artmıştır. Bayburt taşı agregasıyla üretilmiş betonların 7 – 28 – 90 gün yaşları arasındaki basınç dayanımı gelişimi %96,40 ve %36,49 olmuştur. Beton numunelerde 7/28 gün yaş oranı kireçtaşı agregası için %82, dere agregası için %74, Bayburt taşı agregası için %51 ve serpantin agregası için %78 olarak hesaplanmıştır. Bu oran geleneksel betonlar için yaklaşık olarak %65 mertebesinde bilinir [1-3]. s/ç oranı tasarımı belirlenen değerlerle aynı olan dere agregası ile üretilen beton numunelerin ortalama basınç dayanımları hedeflenen C30/37 sınıfı beton basınç dayanımına ulaşamamıştır. Bunun sebebinin malzemedeki ince malzeme oranıyla

Kireçtaşı agregası ile hazırlanan betonlarda C30 dayanım sınıfı ile en yüksek basınç dayanımına ulaşılmıştır. Kireçtaşları pürüzlülüğü ve yüksek basınç dayanımı sebebiyle bilindiği gibi geleneksel beton üretiminde en uygun agregalardan birisidir [1-3]. Kireçtaşı ile üretilen betonlarda kırılma davranışı genel olarak zayıf agrega kenarlarından gerçekleşmiştir. Serpantin agregası ile üretilen betonlarda en düşük basınç dayanımı değerleri elde edilmiştir. Bunun sebepleri: 1) Çizelge 5'te görüldüğü gibi betonun MgO içeriği çok yüksek olduğu için bünyesel genleşme olmuştur. Betonun basınç dayanımı deneyleri gerçekleştirilirken renginin açık gri olduğu gözlenmiştir. 2) Üretilen betonun istenilen 6 – 8 cm çökme değerini verebilmesi için eklenen su miktarının çok yüksek olması sebebiyle s/ç oranı artmış ve bundan dolayı oluşan porozite agrega-çimento ara yüzünü zayıflamıştır. Bayburt taşı ile üretilen betonların basınç dayanımı 28 gün yaşında yaklaşık 16 MPa ve 90 gün yaşında yaklaşık 22 MPa olarak ölçülmüştür. Ayrıca betonların (TC) kuru birim hacim ağırlık (BHA) değerleri yaklaşık 1,6 kg/dm<sup>3</sup> değerindedir. TC betonlarının S/Ç oranı hesap tasarımın üstüne çıktığı ve harcın kohezif yapısından dolayı su emme oranı %12 olarak elde edilmiştir. TC betonlarının basınç dayanımı verileri incelendiğinde erken dayanımın oldukça düşük ancak geç dayanımların yüksek olduğu görülmektedir. Bayburt taşı agregalı betonun 90 gün yaşındaki basınç dayanımı 28 gün yaşındaki basınç dayanımına göre yaklaşık olarak %36 daha yüksektir. Bu artış geleneksel betonlarda beklenen sonuç değildir. Bunun sebebinin Bayburt taşının filler olarak kullanılan kısmının puzolanik aktivite oluşturduğu ve bu sebeple geç yaşlarda dayanım değerlerini artırdığı yaklaşımı uygun görülmüştür [18, 24]. Tekin [18] yaptığı çalışmada Bayburt taşının puzolanik aktivitesi olduğunu belirlemiştir. Bu değerler atık haldeki Bayburt taşının geleneksel betonda 16 MPa'a kadar dayanım gerektiren

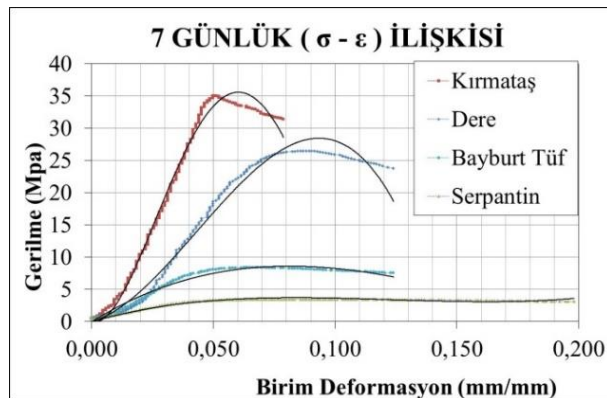
betonlar örneğin grobeton olarak ve bölme duvarların üretiminde kullanılabileceğini göstermiştir.

**Çizelge 5.** Beton örneklerin XRF analiz sonuçları (Results of the XRF analyses of concrete specimens)

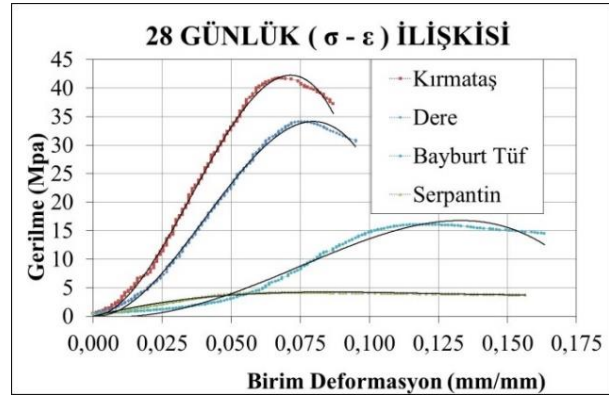
Oksit (%)	Betonlar			
	LC	TC	NC	SC
SiO <sub>2</sub>	11,04	42,19	17,44	37,46
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,40	6,51	3,11	3,84
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,25	0,70	1,77	4,96
CaO	46,27	25,67	44,97	18,48
MgO	0,93	2,28	1,23	13,53
SO <sub>3</sub>	0,71	0,65	0,84	0,63
Na <sub>2</sub> O	0,10	0,22	0,18	0,23
K <sub>2</sub> O	0,33	1,30	0,36	0,68
LOI	36,45	19,78	29,44	19,52
CaCO <sub>3</sub>	78,65	35,22	65,75	34,10

Su emme deney sonuçları beton numunelerin içerdiği poroziteyi gösteren verilerden biridir. Çalışmada su emme deneyinden elde edilen sonuçlara göre agrega tipi değiştiğinde su emme oranları ve buna bağlı olarak porozitenin de değiştiği görülmektedir. Betonun yoğunluğunu belirleyen en önemli parametrelerden biri agreganın yoğunluğudur. Ancak bu yaklaşım agreganın inert olması koşuluyla gerçekleşmektedir [1-3]. Çalışmada kullanılan serpantin agregasının BHA değerinin 2,41 kg/dm<sup>3</sup> olarak belirlenmesine karşın serpantinle üretilen betonların BHA değerleri 1,60 kg/dm<sup>3</sup>'e kadar gerilemiştir. Ayrıca çalışmada dere ve kireçtaşı agregasıyla normal ağırlıklı beton üretilirken, Bayburt taşı ile üretilen betonların hafif beton sınıfında olduğu görülmüştür.

7 ve 28 gün yaşlarında beton numuneler üzerinde gerçekleştirilen basınç dayanımı deneyleri sırasında kayıt altına alınan gerilme - deformasyon verileri Excel programı ile grafik haline dönüştürülmüş ve Şekil 3 ve Şekil 4'te verilmiştir. Şekil 3 ve Şekil 4'te gerilme - deformasyon eğrileri üzerinde regresyon analizi yapılarak R<sup>2</sup> değerini en yüksek veren denklemin eğrileri noktalar üzerinde çizdirilmiştir. Elde edilen denklemler LC, TC, NC ve SC için R<sup>2</sup> değerleri ile Çizelge 6'da gösterilmiştir.



**Şekil 3.** 7 gün yaşındaki beton numunelerin  $\sigma - \epsilon$  eğrileri (The  $\sigma - \epsilon$  curves of the concrete specimens at 7<sup>th</sup> day)



**Şekil 4.** 28 gün yaşındaki beton numunelerin  $\sigma - \epsilon$  eğrileri (The  $\sigma - \epsilon$  curves of the concrete specimens at 28<sup>th</sup> day)

**Çizelge 6.** Şekil 3 ve Şekil 4'te verilen  $\sigma - \epsilon$  eğrilerinin denklemleri ve regresyon katsayıları (Equations and regression coefficients of  $\sigma - \epsilon$  curves taken from Figure 3 and Figure 4)

7 gün yaşındaki beton numunelerin ( $\sigma - \epsilon$ ) ilişkisi		
LC	$y = 2728746,90x^4 - 677815,21x^3 + 42168,66x^2 - 86,35x$	R <sup>2</sup> = 0,99
TC	$y = 3191,84x^3 - 1825,27x^2 + 233,28x$	R <sup>2</sup> = 0,98
NC	$y = -57337,54x^3 + 7437,97x^2 + 110,07x$	R <sup>2</sup> = 0,98
SC	$y = 2640,84x^3 - 974,73x^2 + 107,74x$	R <sup>2</sup> = 0,96
28 gün yaşındaki beton numunelerin ( $\sigma - \epsilon$ ) ilişkisi		
LC	$y = -227884,43x^3 + 24315,42x^2 + 17,24x$	R <sup>2</sup> = 1,00
TC	$y = -33601,03x^4 - 7651,36x^3 + 2869,20x^2 - 41,16x$	R <sup>2</sup> = 0,98
NC	$y = -140498,09x^3 + 17006,59x^2 - 34,81x$	R <sup>2</sup> = 1,00
SC	$y = 3028,75x^3 - 1092,29x^2 + 120,78x$	R <sup>2</sup> = 0,99

Şekil 3'te agrega tiplerinin kırılma davranışına olan etkileri açıkça görülmektedir. Kireçtaşı ve dere agregası ile üretilen betonlarda deformasyon davranışının az olması bu betonların gevrek olduğunu gösterirken, serpantin agregası ve Bayburt taşı ile üretilen betonların deformasyonlarının yüksek seviyede olması bu betonların sünek beton olduğunun bir göstergesidir. Elastisite modülleri TS 500'de [25] verilen  $E_{cj} = 3250\sqrt{f_{ckj}} + 14000$  formülüne göre LC, NC, TC ve SC için sırasıyla 35212, 33117, 27161 ve 20894 MPa olarak hesaplanmıştır. Böylece LC betonunun elastisite modülünün diğerlerine göre en yüksek olduğu belirlenmiştir. Tokluk indeksleri her bir betonun gerilme-şekil değiştirme eğrisi altında kalan alan üzerinde kireçtaşı agregası için normalize edilerek 1 olarak

tanımlandığında dere agregası, Bayburt taşı agregası ve serpantin agregasıyla üretilen betonlar için oranlar sırasıyla 0,86, 0,69 ve 0,25 olmaktadır. Bu sonuçlara göre en yüksek enerji yutma kabiliyeti kireçtaşı ile üretilen betonlarda en düşük enerji yutma kabiliyeti serpantin agregasıyla üretilen betonlardadır.

#### 4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir:

1. Serpantin mineral yapıları kayaçlar betonda agrega olarak kullanılamazlar.
2. Bayburt taşı hafif beton üretiminde beton agregası olarak kullanılabilir. Ancak 28 gün yaşındaki dayanım 17 MPa'nın altında kaldığı için yapısal beton üretiminde kullanılamaz. S/Ç oranı düşürülerek ve akışkanlaştırıcı kullanımıyla bu değerin aşılabilmesi mümkündür.
3. Bayburt taşı agregalı betonların tokluk indeksi kireçtaşından %30 daha azdır.
4. Elastisite modülü en yüksek olan beton kireçtaşı agregalı betondur.
5. Betonun birim hacim ağırlık değeri agreganın inert olmasına doğrudan bağlıdır.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Erdoğan Y.T., "Aggregates", *Türkiye Hazır Beton Birliği*, İstanbul, Türkiye, (1985).
2. Neville A.M., "Properties of Concrete", Third Ed., *Longman Press*, USA, (1981)
3. Mehta P.K. and Monteiro P.J.M., "Concrete: Microstructure, Properties, and Materials", *McGraw-Hill*, USA, (2006).
4. ACI Education Bulletin E1, "Aggregates for Concrete", *American Concrete Institute*, USA, (2007).
5. Mindess S. and Young J.F., "Concrete", *Prentice-Hall*. USA, (1981).
6. Yang C.C. and Huang R., "A two-phase model for predicting the compressive strength of concrete", *Cement and Concrete Research*, 26(10): 1567–1577, (1996).
7. Lydon F.D., "Concrete mix design", 2<sup>nd</sup> Ed., *Applied Science Publishers*, London, (1982).
8. Davis D.E. and Alexander M.G., "Properties of Aggregate in Concrete: Part 1", *Hippo Quarries Technical Publication*, South Africa, (1989).
9. Davis D.E. and Alexander M.G., "Properties of Aggregate in Concrete: Part 2", *Hippo Quarries Technical Publication*, South Africa, (1992).
10. Ozturan T. and Cecen C., "Effect of coarse aggregate type on mechanical properties of concretes with different strength", *Cement and Concrete Research*, 27(2): 165–170, (1997).
11. Baalbaki W., Benmokrane B., Chaallal O. and Aitton P.C., "Influence of coarse aggregates on elastic properties of high performance concrete", *ACI Material Journal*, 88 (5): 499–503, (1991).
12. Alexander M.G. and Milne T.I., "Influence of cement blend and aggregate type on stress– strain behavior and elastic modulus of concrete", *ACI Material Journal*, 92 (3): 227–234, (1995).
13. Kaplan M.G., "Ultrasonic pulse velocity, dynamic modulus of elasticity, Poisson ratio, and strength of concrete made with thirteen different coarse aggregates", *RILEM Bulletin*, 1:17–28, (1986).
14. De Larrard F. and Belloc A., "The influence of aggregate on the compressive strength of normal and high-strength concrete", *ACI Material Journal*, 94 (5): 417–425, (1997).
15. Bremner T.W. and Holm T.A., "Elasticity, compatibility and the behavior of concrete", *ACI Material Journal*, 83(2): 244–250, (1986).
16. Giaccio G., Rocco C., Violini D., Zappitelli J., Zerbino, Highstrength R., "Concrete incorporating different coarse aggregates", *ACI Material Journal*, 89(3): 242–246, (1992).
17. TS EN 197-1, "Çimento: Bölüm 1: Kompozisyon, Özellikler ve uyum kriterleri", (2010).
18. Tekin İ., "Properties of NaOH activated geopolymer with marble, travertine and volcanic tuff wastes", *Construction and Building Materials*, 127: 607–617, (2016).
19. TS EN 12390-3, "Sertleşmiş beton testleri: Bölüm 3: Basınç Dayanımı", (2010).
20. TS 3624, "Kimyasal katkıları - Beton, harç ve şerbet için - Deney metotları - bölüm 11: Sertleşmiş betonda hava boşluğu özelliklerinin tayini", (1981).
21. TS EN 206-1, "Beton- Bölüm 1: Özellik, performans, imalat ve uygunluk", (2014).
22. TS 706 EN 12620+A1, "Beton agregaları", (2009).
23. BS EN 12620, "Aggregates for concrete", (2013).
24. Çavdar A. and Yetgin Ş., "Availability of tuffs from northeast of Turkey as natural pozzolan on cement, some chemical and mechanical relationships", *Construction and Building Materials*, 21(12): 2066–2071, (2007).
25. TS 500, "Betonarme Yapıların Tasarım ve Kuralları", (2000).



# POLİTEKNİK DERGİSİ

## JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://www.politeknik.gazi.edu.tr/index.php/PLT/index>

# A comparison of metaheuristics for the allocation of elevators to calls in buildings

*Yazar(lar) (Author(s)):* Berna BOLAT, Oğuz ALTUN, Pablo CORTES, Yunus Emre YILDIZ, Ali Osman TOPAL

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz:** Bolat B., Altun O., Cortes P., Yıldız Y. E. and Topal O., “A comparison of metaheuristics for the allocation of elevators to calls in buildings”, *Politeknik Dergisi*, 20(3): 519-529, (2017).

**To cite this article:** Bolat B., Altun O., Cortes P., Yıldız Y. E. and Topal O., “A comparison of metaheuristics for the allocation of elevators to calls in buildings”, *Journal of Polytechnic*, 20(3): 519-529, (2017).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://www.politeknik.gazi.edu.tr/index.php/PLT/issue/archive>

**DOI:** 10.2339/politeknik.339358



# A Comparison of Metaheuristics for the Allocation of Elevators to Calls in Buildings

Berna BOLAT<sup>1,\*</sup>, Oğuz ALTUN<sup>2</sup>, Pablo CORTES<sup>3</sup>, Yunus Emre YILDIZ<sup>4</sup>, Ali Osman TOPAL<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Yildiz Technical University, Mechanical Engineering Department, Istanbul, Turkey

<sup>2</sup> Yildiz Technical University, Computer Engineering Department, Istanbul, Turkey

<sup>3</sup> Escuela Tecnica Superior de Ingeniería , Ingeniería Organizacion, University of Seville , Camino de los Descubrimientos, s/n Sevilla, Spain

<sup>4</sup>Epoka University, Faculty of Architecture and Engineering, Computer Engineering Department, Tirana, Albania

<sup>5</sup>Epoka University, Faculty of Architecture and Engineering, Computer Engineering Department, Tirana, Albania

(Received : 11.07.2016 ; Accepted : 12.07.2016 )

## ABSTRACT

This paper deals with the car-call allocation problem in vertical transportation in buildings. We have made a wide comparison of different metaheuristic optimization algorithms to identify those with a better performance dealing with the problem. The tested approaches are Differential Evolution (DE), Simulated Annealing with Random Starts (SAR), Artificial Bee Colony (ABC), Bat Algorithm (BA), Bacterial Foraging Optimization Algorithm (BF), Particle Swarm Optimization (PSO), Genetic Algorithm (GA), and Tabu Search (TS). Each algorithm was tested in high-rise building simulations of 10 to 24 floors, with car configurations of 2 to 6 cars. Results proved that the ABC and TS algorithms generally result in better average journey times compared to other methods. It has to be noted that we introduced a new version of the Simulated Annealing, Simulated Annealing with Restarts (SAR), which ranked as the third best algorithm.

**Keywords :** Elevator group control system, evolutionary algorithms, optimization.

## ÖZ

Bu çalışma binalarda düşey taşımacılıkta kullanılan asansörler için çağrılarının kabinlere dağıtılması problemi üzerinedir. Geniş bir spektrumda farklı sezgisel optimizasyon algoritmaları problem üzerinde performans yönünden karşılaştırılmış ve başarılarını belirlenmiştir. Test edilen algoritmalar Çıkarımsal Evrim (Differential Evolution, DE), Rastgele Yeniden Başlatmalı Benzetimli Tavlama (Simulated Annealing with Random Starts, SAR), Yapay Arı Kolonisi (Artificial Bee Colony, ABC), Yarasa Algoritması (Bat Algoritması, BA), Bakteri Otlama Optimizasyon Algoritması (Bacterial Foraging Optimization Algorithm, BF), Parçacık Sürü Optimizasyonu (Particle Swarm Optimization, PSO), Genetic Algoritma (Genetic Algorithm, GA) ve Tabu Araştırmasıdır (Tabu Search, TS). Her algoritma simülasyon ile 10 ila 24 katlı binalar ve 2 ila 6 kabin ile test edilmiştir. Sonuçlar ABC ve TS algoritmalarının daha iyi bir ortalama yolculuk zamanı verdiğini göstermiştir. Ayrıca Benzetimli Tavlama algoritmasının yeni bir versiyonu olan Rastgele Yeniden Başlatmalı Benzetimli Tavlama (SAR) algoritması geliştirilmiştir. SAR deney sonuçlarında en iyi 3. algoritma olarak çıkmaktadır.

## 1. INTRODUCTION

The main problem in a vertical transportation system operated by an elevator group control system (EGCS) appears when a passenger in a floor makes a call and waits for a car to arrive his/her floor of destination in a quick and safe manner [1]. Therefore, the primary task an EGCS needs to solve efficiently is this landing call assignment problem. The major difficulty arises when such an EGCS needs to manage multiple elevators in a building in order to efficiently transport all the passengers in the building. Obviously, high-rise buildings with multiple coordinated cars increase the complexity of the problem. The generic problem to be solved consists of a passenger wanting to travel from one floor to another and therefore pressing the landing call button at a floor, generating what is called a landing call. The duty of the EGCS is to satisfy all the demands by

assigning an elevator to each landing call (call made at a floor) in a way that some criteria are optimized. The most usual criterion is to minimize the passengers' waiting times. This so characterized problem is known to be a complex NP-hard problem [2,3,4], as such, an efficient deterministic solution is not known.

This problem recently attracted the increasing interest of the scientific community and several contributions have been made. Contributions based on metaheuristics have showed an adequate performance to deal with such complex problem. Examples of such techniques include Genetic Algorithm [5,6,7], Tabu Search [8], Particle Swarm Optimization [9,10,11], Immune Systems [12], Ant Colony Optimization [13], Viral Systems [14], and Fuzzy Logic approaches [15,16,17,18,19].

In this paper we present a comparison of diverse metaheuristics that can provide an interesting analysis about their performance for allocating cars to landing calls in buildings managed by an EGCS. This whole comparison has not been done previously and allows

\*Corresponding Author

e-mail: balpan@yildiz.edu.tr

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/politeknik.339358

comparing different alternatives under the same basis of analysis. Tested techniques include Differential Evolution (DE), Simulated Annealing with Random Restarts (SAR), Artificial Bee Colony (ABC), Bat Algorithm (BA), Bacterial Foraging Optimization Algorithm (BF). All of them make use of the same solution encoding, which is based on a hall call allocation strategy to define the solution encoding (representation), together with a quick-to-evaluate car-call allocation quality estimation.

The rest of the paper deals with the specification of this solution encoding (in Section 2), the procedure to evaluate the quality of the different solutions (in Section 3), and the description of the different algorithms applied to the problem (in Section 4). The experimental results are described in Section 5.

$$c = \begin{cases} 0, & \text{Case I} \\ t(\psi_2 - \psi_1) + t_p(\psi_3 - \psi_1), & \text{Case II} \\ t(\psi_4 - \psi_1) + t_p(\psi_5 - \psi_1), & \text{Case III} \\ t(\psi_4 - \psi_1) + t|\psi_2 - \psi_4| + t|\psi_2 - \psi_6| + t_p|\psi_3 + \psi_5 - \psi_1|, & \text{Case IV} \end{cases} \quad (6)$$

## 2. REPRESENTATION

We start by the approach that was first proposed by [5]: Let  $l$  be number of elevators in an elevator system installed in a building with  $n$  floors. For the sake of giving an example let us assume  $l = 5$  and  $n = 10$ . The requests for going to an upper floor can be represented by a  $n - 1$  element binary vector as in (1), where a 1 represents a request (e.g. a push to the “up” button), and 0 represents no request. Notice there cannot be an up request in the highest floor.

$$B^u = \langle 0, 0, 1, 1, 0, 1, 1, 1, 1, \rangle \quad (1)$$

Down requests can also be represented with a similar  $n - 1$  element (there cannot be a down request in the lowest floor) binary vector  $B^d$ .

We then convert the representation of up requests to a more compact representation than proposed by [5], using an ordered set of integers where each element of the set represents a floor with an up request as in (2), where floor indices start from 0.

$$R^u = \{2, 3, 5, 6, 7, 8\} \quad (2)$$

Down requests can be represented with a similar set of integers  $R^d$ . Then a solution  $x$  can be represented by a vector of elevator assignments to the requests in  $R^u$  and  $R^d$  as in (3), where the first 6 assignments are for  $R^u$ , and the rest are for  $R^d$ .

$$X = \langle 3, 2, 2, 1, 0, 2, 1, 1, 3, 3 \rangle \quad (3)$$

Let  $s(A)$  be the number of elements in collection  $A$ . Then  $s(X) = s(R^u) + s(R^d)$ .

Elevator indices start from 0 and go to  $l - 1$ , hence upper bounds for each dimension can be shown in a vector  $U$  as in (4), and lower bounds for each dimension can be shown in a vector  $L$  as in (5). In this representation

changing the value of an element of  $X$  corresponds to changing the assigned elevator for that request.

$$U = \langle 4, 4, 4, 4, 4, 4, 4, 4, 4, 4 \rangle \quad (4)$$

$$L = \langle 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0 \rangle \quad (5)$$

## 3. COST EVALUATION

To calculate the cost of the whole elevator system  $s$ , we start by calculating the personal cost  $c$  for each elevator as in [9], where Case I is when there are no requests, Case II is when there are only down requests, Case III is when there are only up requests, Case IV is when there are both up and down requests,  $\psi_1$  is the ground floor level,  $\psi_2$  is the highest down request level,  $\psi_3$  is the number of down requests between  $\psi_1$  and  $\psi_2$ ,  $\psi_4$  is the highest up request,  $\psi_5$  is the number of up requests between  $\psi_1$  and  $\psi_4$ ,  $\psi_6$  is the lowest down request,  $t$  is the door opening and

closing time, and  $t_p$  is the passenger transfer time.

After we calculate personal cost  $c_i$  for each elevator  $i$ , we get the average group cost  $g$  as in (7), where  $l$  is the number of elevators.

$$g = \frac{1}{l} \sum_i f_i \quad (7)$$

Finally, we get the solution cost value  $c$  for solutions  $s$  as in (8), where  $t^+$  is the highest elevator trip time,  $t^-$  is the lowest elevator trip time, and  $k_1$  and  $k_2$  are constant weights.

$$c = k_1 g + k_2 (t^+ - t^-) \quad (8)$$

See [9] for a more in depth analysis of this cost function. We define cost mapper function  $f(S)$  that takes a list of elevator systems  $S$  and return a list of cost values for each elevator system in  $S$ .

## 4. ALGORITHMS

This section presents the different approaches we have tested to deal with the car-call allocation problem in buildings managed by EGCS. All of them make use of the same representation described in Section 2, and evaluates the quality of the solutions by the procedure described in Section 3.

### 4.1. Global Best and Fixing Solutions

In all the algorithms it makes sense to keep a best solution found so far (e.g. global best)  $x^*$ . Hence we augment the objective function  $f$  to also update the global best when necessary as seen in Algorithm 1. In addition  $f$  checks for the validity of the input solution, and fixes it using the *fix\_solution* function supplied by the user.  $f$  also takes care to return costs of all solution when there are more than one solutions.

**Algorithm 1** In addition to returning the cost, objective function  $f$  also a) updates the global best  $x^*$  if necessary,

b) fixes out of range and similar problems with the solution (Line 6), c) works for single or multiple dimensions.

```

1: function
f
Inputs:
2: X ←<
x1, ..., xn > //
solution list
3: c ← cost
function
4: s ←
function for
fixing invalid
solutions
Body:
5: if X is a
single solution
then
6: xf ←
s(X)
7: v ←
c(xf)
8: if
isbetter(v, v*)
then
9: x* ← xf
10: v* ← v
11: end if
12: return
xf, v
13: else
14: T ←< t1, ..., tn >
15: v ←< v1, ..., vn >
16: for each i ∈ indices(X) do
17: ti, vi ← f(xi)
18: end for
19: return T, v
20: end if
21: end function
    
```

All algorithms described in this section use the objective function  $f$  described in Algorithm 1.

**4.2. Particle Swarm Optimization**

Particle Swarm Optimization is a population based stochastic optimization method developed by Eberhart and Kennedy [20] in 1995. The algorithm, which is based on a metaphor of social interaction, searches a space by adjusting the trajectories of individual vectors. These vectors are called particles, as they are conceptualized as moving points in multidimensional space. The individual particles are drawn stochastically toward the positions of their own previous best performance and the best previous performance of their neighbors [21].

PSO algorithm is depicted in Figure 1. The algorithm starts with Node 1. In Node 2, we randomly initialize particle positions  $x_i$  and particle velocities  $v_i$ . In addition

particle “personal best positions”  $p_i$  are initialized as starting positions  $x_i$  and the global best position  $x^*$  is initialized as the best of personal bests. In Node 3 if we decide to continue, because e.g. we have more time, we

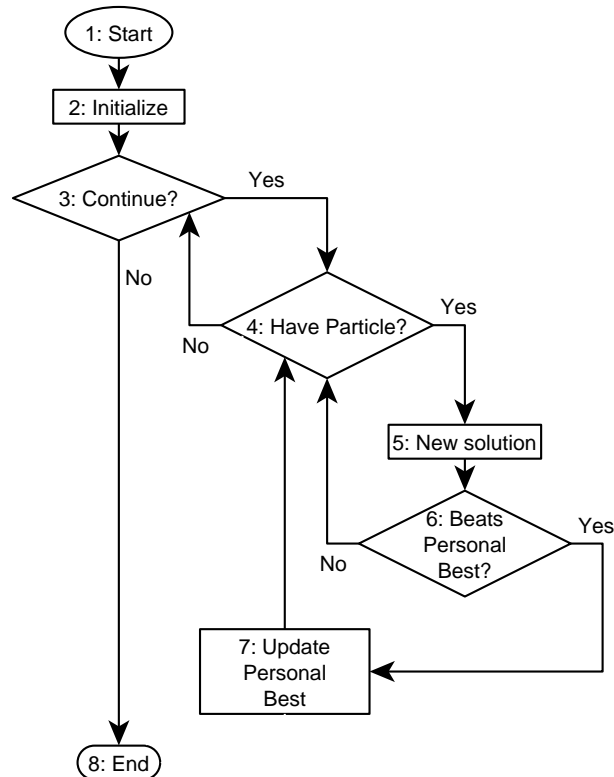


Figure 1. PSO algorithm flowchart.

start processing each particle  $i$  in the next generation  $t$  one by one. While we have unprocessed particles (Node 4), we get a new solution (Node5) using (9) and (10).

$$\begin{aligned}
 v_i(t+1) = & wv_i(t) \\
 & + c_1r_1(p_i - x_i(t)) \\
 & + c_2r_2(x^* - x_i(t))
 \end{aligned} \tag{9}$$

$$x_i(t+1) = x_i(t) + v_i(t+1) \tag{10}$$

Where  $w$ ,  $c_1$ , and  $c_2$  are constants and  $r_1$  and  $r_2$  are random values between [0,1] drawn from the uniform distribution. If the new solution is better than personal best ( $f(x_i(t+1)) > f(p_i)$ ) as in Node 6, we update personal best in Node 7:  $p_i = x_i(t+1)$ . When we have no more particles to process (Node 4), we get out of particle loop. When the termination criteria is met (e.g. “No” edge in Node 3) the algorithm ends.

**4.3. Artificial Bee Colony**

Artificial Bee Colony (ABC) [22,23], simulates behavior of bees in a bee hive in search of food sources. As depicted in Figure 2, the algorithm starts with initializing random initial solutions  $x$  (Node 2). Note that in ABC metaphor each solution is a food source.

If there is enough time (Node 3), the algorithm moves to updating food sources. In each iteration, each food source is “visited” once (Node4). Visiting a solution  $x_i$  entails making a recombination of it with a random other solution  $x_j$  as in (11), where  $d$  is a random dimension and  $r$  is a uniform random number in the range  $[-1,1]$ .

$$x_i[d] \leftarrow x_i[d] + r(x_i[d] - x_j[d]) \tag{11}$$

In Node 5 each food source is assigned a probability of being re-visited, e.g. “luck”, in the same iteration, based on the value of  $f$ . The food source with better  $f$  value has a higher probability  $p$  of being re-visited [15].

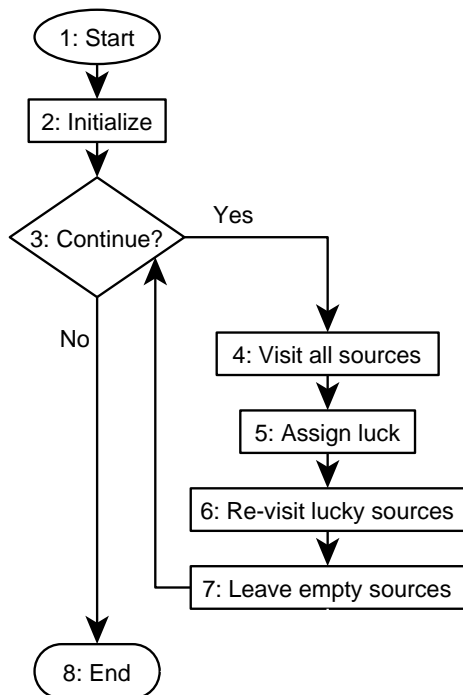


Figure 2. ABC algorithm flowchart.

$$p_i = \begin{cases} f(x_i) + 1, & f(x_i) \geq 0 \\ 1, & \\ (1 - f(x_i)), & otherwise \end{cases} \tag{12}$$

In Node 6 if the food source is lucky, e.g. if  $p_i > rand(0,1)$ , where  $rand(0,1)$  is a random number in the range  $[0,1]$  from the uniform distribution, the food source is re-visited according to probability determined in (12). This ensures that the neighborhoods of better solutions are visited more, hence makes the algorithm more elitist. In Node 7 the algorithm checks whether any of the current solution neighborhoods failed to produce any improvement for the last *limit* iterations. Such neighborhoods are abandoned for a random new neighborhood.

**4.4. Genetic Algorithm**

Genetic Algorithm (GA) [24], simulates evolution of solutions. As seen in Figure 3, GA starts with initialization of population  $x$  (Node2) randomly. If there is time to generate another generation of solutions (Node

3), the algorithm proceeds to produce a new generation. If still a new child is needed to complete the new generation (Node 4), two new children are generated in Node 5. In this step (Node 5), first two new parents are selected. From the two parents, two children are populated by crossover. Each child is mutated, and then added to the list of new generation solutions. In Node 6, the old generation is completely overwritten with the new generation. If no new generation is needed, the algorithm ends (Node 7).

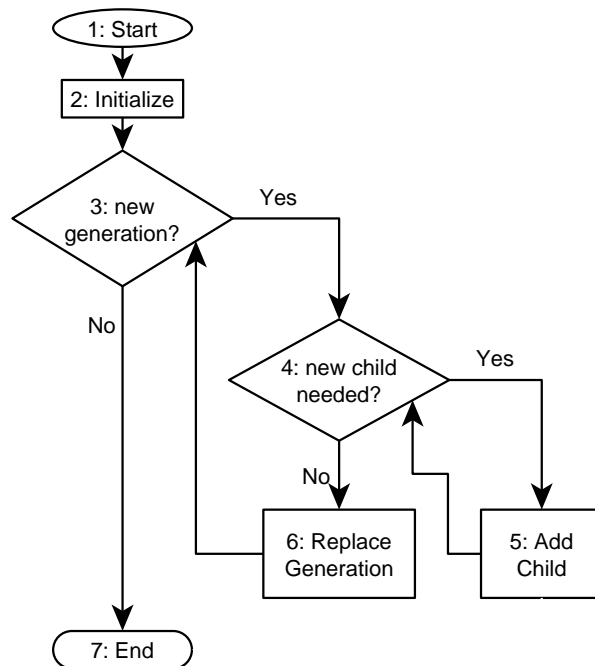


Figure 3. Genetic Algorithm flowchart.

**4.5. Differential Evolution**

Differential Evolution [24] is another algorithm that simulates the evolutionary behavior. As seen in Figure 4, the algorithm starts with initializing the populations of individuals  $X$  randomly. While we have time to work on another generation (Node 3), the algorithm takes a copy of the current population into parents  $Q$  (Node4), and iterates through each parent  $q$  (Node 5). In each iteration a new child  $e$  is made through (13) and (14), where  $a$ ,  $b$ , and  $c$  are random parents that are different from  $q$  and each other,  $m$  is the constant mutation rate, and  $\otimes$  represents the genetic crossover operator.

$$d = a + m(b - c) \tag{13}$$

$$e = q \otimes d \tag{14}$$

If the child  $e$  is better than the parent  $q$ ,  $e$  replaces corresponding element in  $X$ .



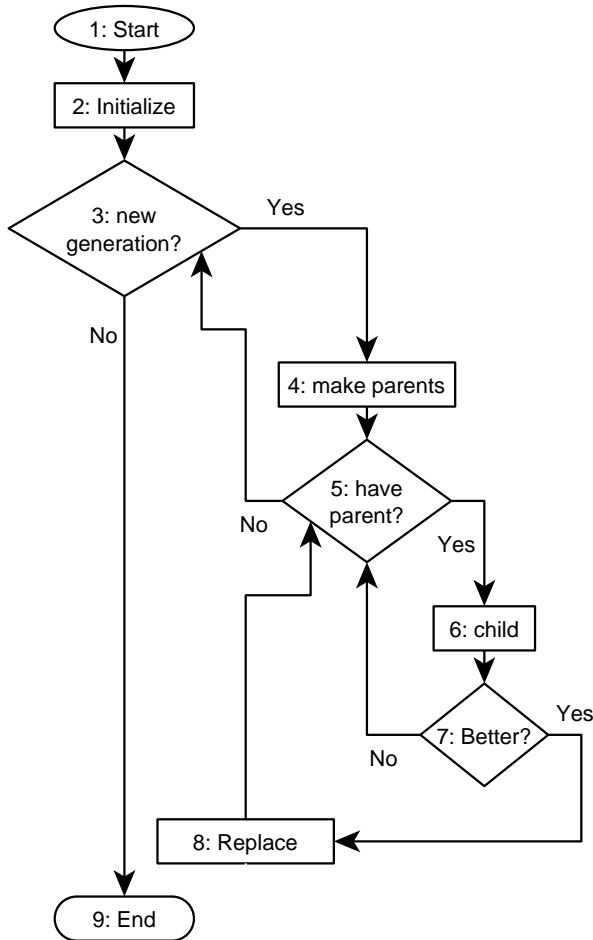


Figure 4. Differential Evolution flowchart

**4.6. Tabu Search**

Tabu Search [24] algorithm keeps a list of solutions that are already evaluated (tabu), and avoids re-evaluating those solutions. As depicted in Figure 5 the algorithm starts by initializing (Node 2) an empty tabu list  $L$ , getting a random current solution  $s$ , and adding  $s$  to  $L$ . While there is enough time (Node 3), we proceed to build a new solution  $r$  by tweaking the existing solution  $s$  (Node 4). If  $r$  is not in the tabu list (Node 5), current solution is updated (Node 5)  $s \leftarrow r$ , and  $r$  is added to the tabu list  $L$ .

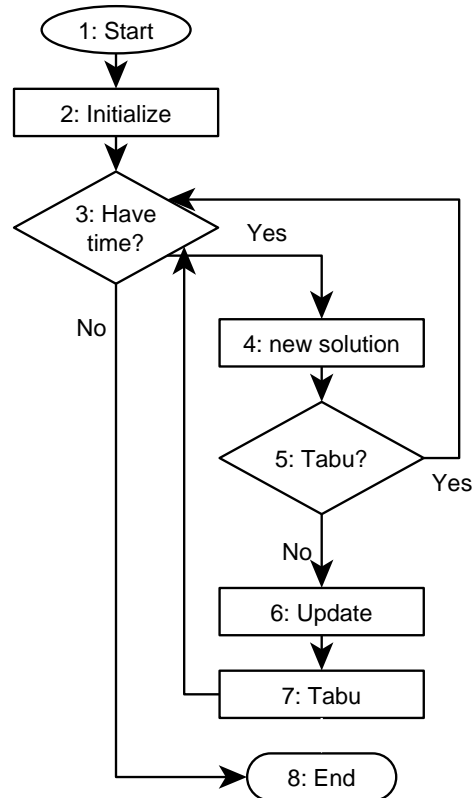


Figure 5. Tabu Search flowchart.

**4.7. Simulated Annealing with Random Restarts**

Simulated Annealing [24] algorithm simulates annealing process. The algorithm decreases the chance of getting stuck in local optima by occasionally accepting solutions that are worse than the current solution. This version with random restarts, restarts search from a random position after local search fails to improve a given time (limit  $l$ ). As seen in Figure 6, the algorithm starts by initializing (Node 2) constants limit  $l$ , initial temperature  $t_0$ , and cooling scheduler  $c$ . If there is time to another annealing (Node 3), algorithm resets (Node 4) current temperature with  $t \leftarrow 0$ , and current solution with  $s \leftarrow random\_solution$ . If number of bad trials  $n$  is less than limit  $l$ , we continue (Node 5) improving current solution by producing a tweak of it (Node 6). If the tweak  $r$  is better than  $s$  (Nodes 7-8), we directly update current solution:  $s \leftarrow r$ . The interesting thing about Simulated Annealing is that we still update when  $r$  is worse than  $s$  if  $r$  is “lucky”, e.g. if (15) holds, where  $rand(0,1)$  is a random value between 0 and 1, and  $|\cdot|$  denotes the absolute value.

$$rand(0,1) \leq \exp\left(-\frac{|f(s) - f(r)|}{t}\right) \tag{15}$$

This allows the algorithm to escape from local optimums. When there is an update, the number of bad trials is reset:  $n \leftarrow 0$ . When an update was not done, the number of bad trials is incremented:  $n \leftarrow n + 1$  (Node 9). In each

iteration the temperature is cooled down (Node 10) using schedule constant  $c$  that has a value less than 1:  $t \leftarrow ct$ .

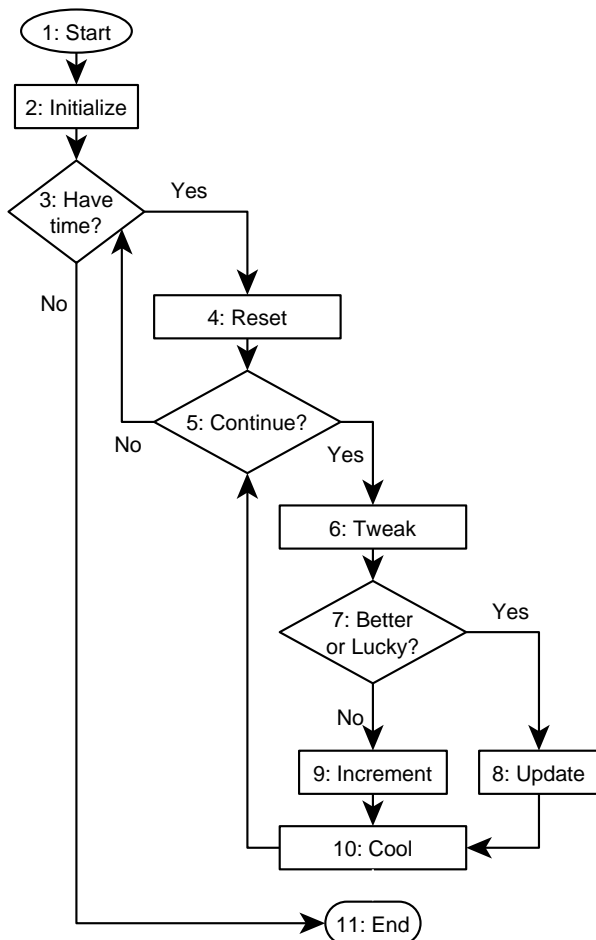


Figure 6. Simulated Annealing with Restarts flowchart.

#### 4.8. Bat Algorithm

Bath algorithm is a nature inspired algorithm that simulates bat’s echolocation ability to get optimum solution for tough optimization problems. Yang [25] has used advantages of other well-known algorithms (Particle Swarm Optimization (PSO)) and Harmony Search (HS) in the bat algorithm and proposed a powerful algorithm.

As depicted in Fig 7. the Bat Algorithm starts with  $n$  bats being placed randomly in the search space. Velocity  $v_i$ , frequency  $f_i$ , pulse rate  $r_i$ , and loudness  $A_i$  are initialized (Node 2) for each bat  $i$  at the beginning. Bat’s position and velocity are updated using (16), (17), and (18),

$$f_i = f_{max} + (f_{max} - f_{min})\beta \tag{16}$$

$$V_i^t = V_i^{t-1} + (x_i^t - x^*) \tag{17}$$

$$x_i^t = x_i^{t-1} + V_i^t \tag{18}$$

where  $\beta$  is a random vector generated from a uniform distribution in the range [0,1]. Then the algorithm

evaluates the fitness (solutions) and chooses the current best position  $x^*$  (Node 4). After these updates, in Node 5, if the bat’s pulse rate is low (which means bat is far away from the prey), with a high probability it will fly near the current best bat (Node 6) and make a random short fly there. If its pulse rate is high then it should be near prey and with a high probability it will make a random fly around its current position (Node 7). After this fly if the bat’s position is better than the current global best and its loudness is loud enough to be greater than a random number (Node 8), the bat will fly to this position and current global best will be updated with the new one. The bat’s pulse rate  $r_i$  will be increased and loudness  $A_i$  will be decreased (Node 9). Then in Node 10, again fitness will be evaluated and the current best  $x^*$  will be found.

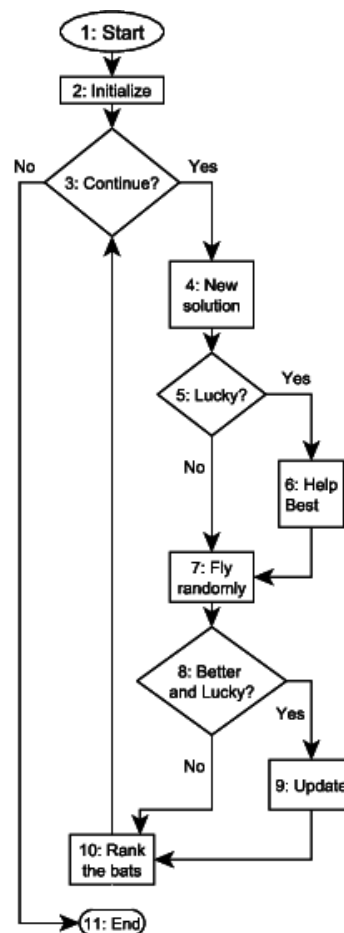


Figure 7. Bat Algorithm flowchart.

#### 4.9. Bacterial Foraging Optimization Algorithm

The bacterial foraging system consists of three principal mechanisms, namely chemotaxis, reproduction and elimination-dispersal [26].

As seen in Figure 8, the algorithm starts with initializing the bacterium position  $x_i$  randomly. Suppose  $\theta(i, j + 1, k, l)$  represents bacterium  $i$  (Node 12), chemotactic step  $j$  (Node 9), reproductive step  $k$  (Node 5) and elimination – dispersal step  $l$  (Node 4).  $C(i)$  is the size of the step taken in the random direction specified by the

tumble (Node 14). The chemotaxis movement of the bacterium may be represented by (19), where  $\Delta(i)$  is the random vector whose elements lie in range  $[-1,1]$ .

$$\theta(i, j + 1, k, l) = \theta(i, j, k, l) + C(i) \frac{\Delta(i)}{\sqrt{\Delta^T(i)\Delta(i)}} \quad (19)$$

$J(i, j, k, l)$  is the current bacterium's cost function value (Node 15). It only changes its position if the  $J(i, j + 1, k, l)$  is better than  $J(i, j, k, l)$ . We let bacterium  $i$  take a step size (Node 14 and 20) along the direction of tumble vector  $\Delta(i)$ . Elimination and dispersal events (Node7) may occur in the local environment when the bacteria are exposed to gradual or sudden changes such as significant rise of temperature or sudden flow of water. In order to simulate these events in BF, some bacteria are liquidated at random with a very small probability while the new replacements are randomly initialized over the search space. The health of each bacterium is computed as the sum of the objective function value during its lifetime. After each chemotaxis step, all bacteria are sorted in decreasing order of health. Only the first half of the bacteria (healthiest ones) asexually split into two bacteria

which are then placed at the same locations. In this way, the size of the population is kept constant (Node 10).

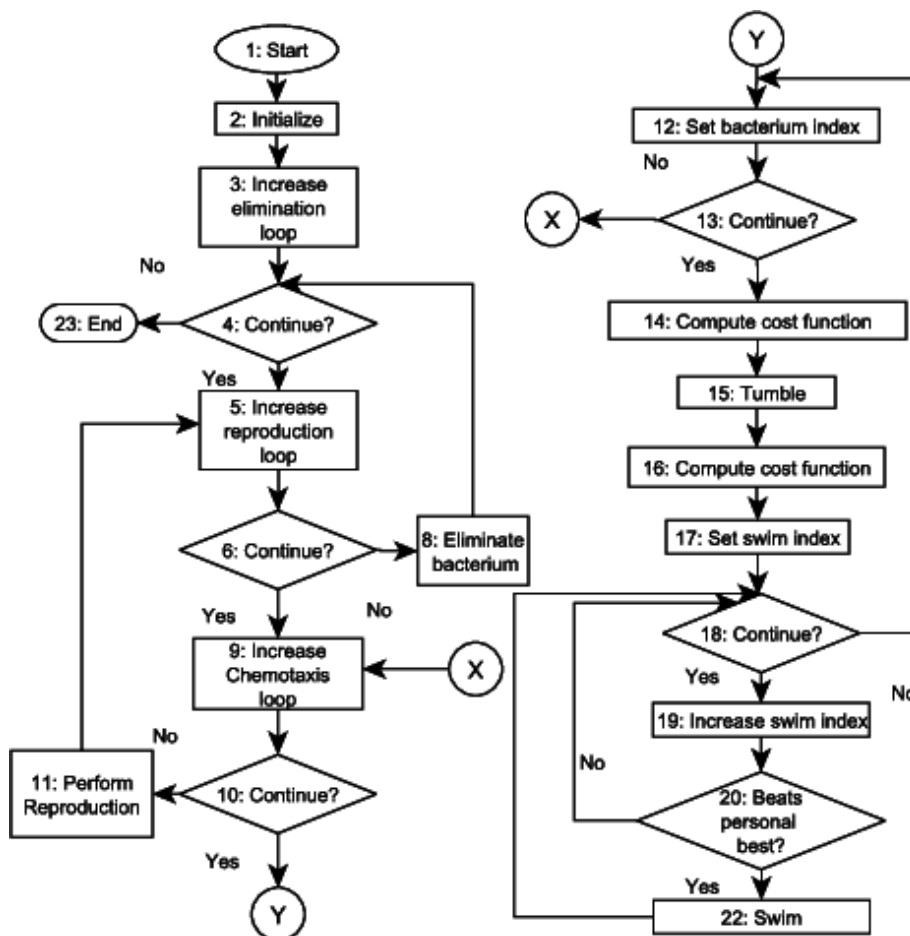
### 5. EXPERIMENTAL RESULTS

We devised 6 different problems by changing the number of floors  $n$  and number of elevators  $l$  as in Table 1, and compared each algorithm on each of the problems.

**Table 1.** Information on the problems  $p$  is problem number,  $n$  is number of floors, and  $l$  is number of elevators.

$P$	$N$	$l$
1	25	5
2	25	10
3	100	5
4	100	10
5	200	5
6	200	10

For comparison of the algorithms on a problem  $p$ , we follow the procedure detailed in Algorithm 2. In



**Figure 8.** Classical Bacterial Foraging Algorithm (BF) flowchart.

Algorithm 2, we first define inputs. Notice that  $E$  and  $d$  are functions that are used in the procedure. Inside the procedure we loop over problems  $P$ , and algorithms  $A$ . We do 30 trials for each  $\langle a, p \rangle$  pair and get an average convergence graph. On each trial, the algorithm terminates after 10000 function evaluations. For each problem  $p$  we draw convergence comparison graphs.

---

**Algorithm 2** The procedure that compares algorithms on problems. Line 10: Run the algorithm  $a$  on problem  $p$  to get list of  $\langle$ function evaluation, global best value $\rangle$  pairs  $Y$ . Algorithm  $a$  terminates after calling  $F$  function evaluations. Line 12: Get a mean  $Y_{ap}$  list of  $\langle$ function evaluation, global best value $\rangle$  pairs. Line 14: Draw the convergence comparison graph for  $A$  on  $p$ .

---

1: procedure compare

Inputs:

- 2:  $P \leftarrow$  set of problems
- 3:  $A \leftarrow$  set of algorithms
- 4:  $I \leftarrow$  set of trials to carry out
- 5:  $F \leftarrow$  number of function evaluations allowed
- 6:  $E \leftarrow$  function to take a set of list of  $\langle$ function evaluation, global best value $\rangle$  pairs and return a mean list

Body:

- 7: for each  $p \in P$  do
  - 8:     for each  $a \in A$  do
  - 9:         for  $i \leftarrow 1$  to  $I$  do
  - 10:              $Y_i \leftarrow a(p, F)$
  - 11:             end for
  - 12:              $Y_{ap} \leftarrow E(\{Y_i\})$
  - 13:             end for
  - 14:             draw( $\{Y_{ap}\}$ )
  - 15:         end for
  - 16: end procedure
- 

### 5.1. Convergence Graphs

As described in Algorithm 2, for each problem defined in Section 5 we draw a convergence graph.

A convergence graph shows the mean of the values of the best position found ( $f^*$ ) with respect to the number of cost function evaluations (FES). In our work  $f$  represents travel time, so lower curves are better.

In Figure 9a we see that ABC and TS are the best performing algorithms. ABC did not converge when the maximum number of FES was reached, so it could still lower the result. The objective function  $f$  was reduced to less than 100.

In Figure 9b we see that ABC and SAR lead again. ABC is not still converged.  $f$  was decreased to less than 100.

In Figure 9c we see that ABC and SAR are the two best performing algorithms. SAR seems to have converged, and ABC seems to be still improving. Hence we expect ABC to further improve. The  $f$  was reduced to less than 625.

In Figure 9d we see that ABC and SAR lead again. ABC is still not converged.  $f$  was decreased to less than 650.

In Figure 9e we see that SAR and ABC are the best performing algorithms. ABC seems to be still improving. The  $f$  was reduced to less than 1250.

In Figure 9f we see that SAR and ABC are performing best, and neither of them was converged.  $f$  was reduced to less than 1200 by SAR.

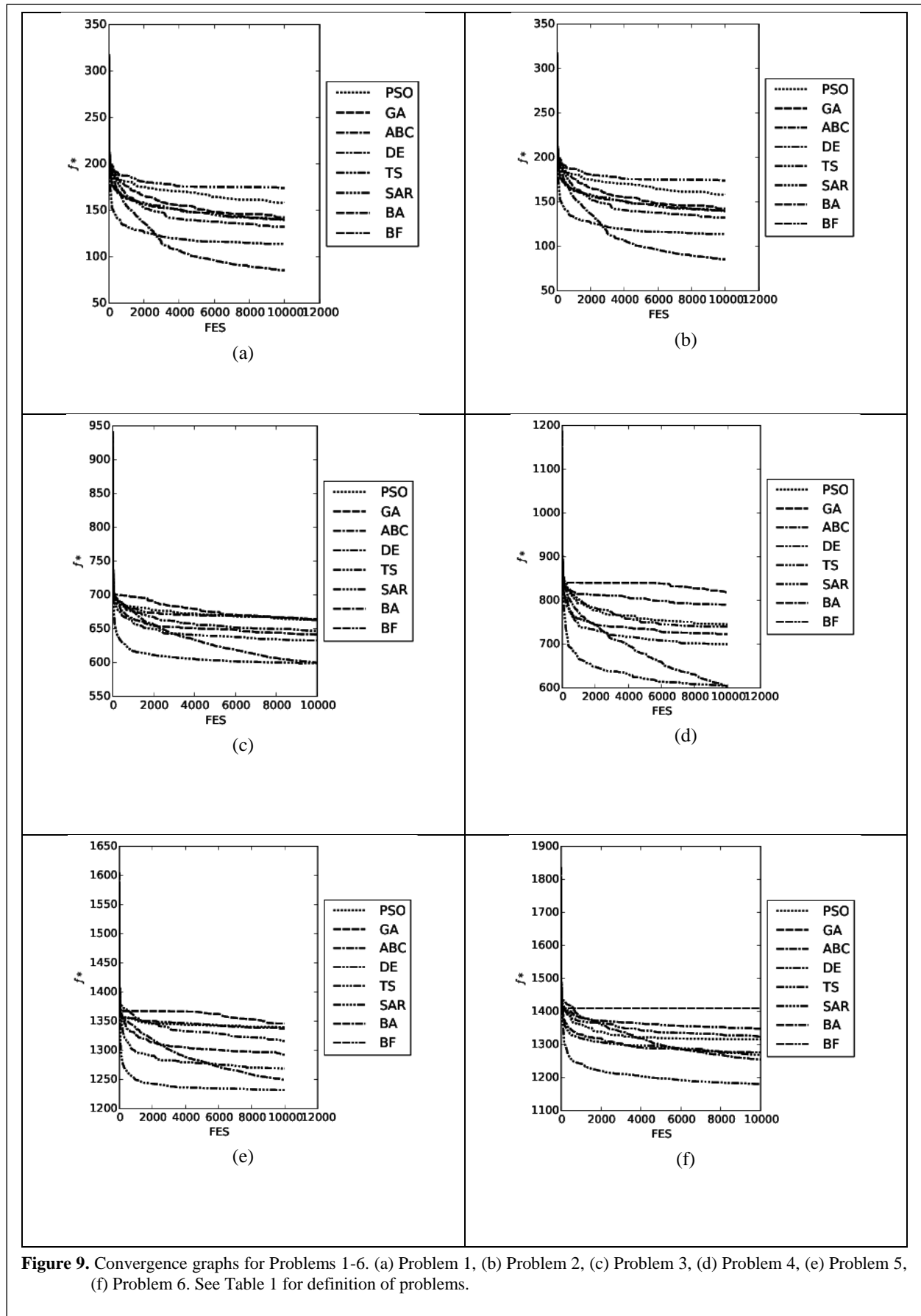
We see that ABC and TS are always in the top two. We also see that as number of floors  $n$  change, the successful algorithm change: for  $n = 25$  ABC is the best algorithm. When  $n$  increases to 100, TS becomes on par with ABC, and when  $n$  is increased furthermore to 200 TS beats ABC. SAR emerges as the third best algorithm for higher number of floors.

We also see that the number of elevators  $l$  does not affect the ordering of the algorithms, whereas number of floors  $n$  affects greatly. As the number of floors  $n$  increases, the probability of problem having a high dimensionality increases, since in the representation we introduced in Section 2, the dimensionality of the problem changes with the number of requests coming from the floors. E.g. when  $n = 200$ , the maximum possible dimensionality of the problem becomes  $2n - 2 = 398$ . Number of elevators  $l$  effects the upper bounds of the search space, and what we see from our experiments is that it does not affect the success order of different algorithms.

It needs to be noted that ABC did not seem to be converged in any of trails. When the convergence graphs of Problem 1, Problem 3 and Problem 5 are inspected consecutively, it can be hypothesized that ABC can beat TS in the long run, even for the larger number of floors  $n$ . Performance of ABC over much longer runs is to be seen.

The elevator system optimization obviously benefits from using soft computing techniques, as seen from the fact that the solution was improved vastly for all problems.





**Figure 9.** Convergence graphs for Problems 1-6. (a) Problem 1, (b) Problem 2, (c) Problem 3, (d) Problem 4, (e) Problem 5, (f) Problem 6. See Table 1 for definition of problems.

## 6. CONCLUSION AND FUTURE WORK

We have presented a comparison of Particle Swarm Optimization (PSO), Genetic Algorithm (GA), Artificial Bee Colony (ABC), Differential Evolution (DE), Tabu Search (TS), Simulated Annealing with Random Restarts (SAR), Bat Algorithm (BA), Bacterial Foraging Optimization Algorithm (BF) soft computing techniques for global optimization of the car-call allocation strategy of the controller in EGCS. Each algorithm was permitted 10000 function evaluations, and the convergence graphs of the global best function value were drawn. Results were provided for high-rise buildings from 10 to 24 floors, and several car configurations from 2 to 6 cars. We observe the SAR and ABC algorithms outperform the other algorithms in general. Furthermore, ABC has potential to further improve its results provided that more function evaluations are permitted.

Also, we introduced a new problem representation that sets up the problem as assignment of cars to floor requests, which allows easier programming of the simulation. In this presentation, the number of floors affects the success order of the algorithms, as it affects the dimensionality of the problem, whereas the number of elevators does not have an obvious effect on that order. We introduced a new version of Simulated Annealing, namely Simulated Annealing with Random Restarts (SAR), that restarts the search produce when stuck in a local optimum. SAR performed as the third ranked algorithm in general in our tests. Results showed that aforementioned soft computing optimization techniques, TS and ABC in particular, help in reducing the passenger travel times greatly, hence are suitable for this problem. ABC algorithm did not seem to be converged in any of the trials, and their performances over longer runs are to be seen in future works.

## REFERENCES

1. Fernandez J.R. and Cortes, P., "A survey of elevator group control systems for vertical transportation: a look at recent literature", *IEEE Control Systems*, 35(4): 38-55, (2015).
2. Cortes P., Munuzuri J. and Onieva L., "Design and Analysis of a Tool for Planning and Simulating Dynamic Vertical Transport", *Simulation*, 82: 255-274, (2006).
3. Knuth D. E., "A terminological proposal", *SIGACT News*, 6(1): 12-18, (1974).
4. Knuth D. E. (1974). Postscript about NP-hard problems. *SIGACT News*, 6(2): 15-16, (1974).
5. Cortes P., Munuzuri J. and Onieva L., "Genetic algorithm for controllers in elevator groups: analysis and simulation during lunchpeak traffic", *Applied Soft Computing*, 4(2): 159-174, (2004).
6. Bolat B., Cortes P., Yalçın E. and Alışverişçi M., "Optimal car dispatching for elevator groups using genetic algorithms", *Intelligent Automation & Soft Computing*, 16(1), (2010).
7. Chen T.C., Hsu Y.J, and Huang Y.J., "optimizing the intelligent elevator group control system by using genetic algorithm", *Advanced Science Letters*, 9(1), (2012).
8. Bolat B. and Cortes P., "Genetic and tabu search approaches for optimizing the hall call-car allocation problem in elevator group systems", *Applied Soft Computing*, 11(2), (2011).
9. Bolat B., Altun O. and Cortes P., "A particle swarm optimization algorithm for optimal car-call allocation in elevator group control systems", 13(5), (2011).
10. Li Z, Tan H.Z, and Zhang Y., "Particle swarm optimization applied to vertical traffic scheduling in buildings in", *11 th International Conference KES and XVII Italian Workshop on Neural Networks Conference on Knowledge-Based Intelligent Information and Engineering Systems : Part I*, (2007).
11. Fei L., Xiaocui Z. and Yuge X., "A new hybrid elevator group control system scheduling strategy based on particle swarm simulated annealing optimization algorithm in intelligent control and automation", *8th World Congress*, 5121-5124, (2010).
12. Li Z., Mao Za and Wu J., "Research on dynamic zoning of elevator traffic based on artificial immune algorithm", *8th Control, Automation, Robotics and Vision Conference*, 3: 2170-2175, (2004).
13. Liu J. and Liu Y., "Ant colony algorithm and fuzzy neural network- based intelligent dispatching algorithm of an elevator group control system, *IEEE International Conference on Control and Automation*, (2007).
14. Cortes P., Onieva L, Munuzuri J. and Guadix J., "A viral system algorithm to optimize the car dispatching in elevator group control systems of tall buildings, *Computers&Industrial Engineering*, 64(1) :403-411, (2013).
15. Cortes P., Fernandez J.R, Guadix J. and Munuzuri, J., "Fuzzy logic based controller for peak traffic detection in elevator systems", *Journal of Computational and Theoretical Nanoscience*, 9(2): (2012).
16. Jamaludin J., Rahim N. and Hew W.P., "An elevator group control sytem with a self -tuning fuzzy logic group controller", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 57(12): 4188-4198, (2010).
17. Rashid M., Kasemi B., and Faruq A. Alam., "Design of fuzzy based controller for modern elevator group with floor priority constraints, *4th International Conference on Mechatronics*, (2011).
18. Fernandez J.R., Cortes P., Munuzuri J. and Guadix J., "Dynamic fuzzy logic elevator group control system with relative waiting time consideration", *IEEE Transaction on Industrial Electronics*, 61(9): (2014).
19. Fernandez J.R., Cortes P., Guadix J., and Munuzuri J., "Dynamic fuzzy logic elevator group control system for energy optimization", *International Journal of Information Technology and Decision Making*, 12(3): (2013).

20. Kennedy J. and Eberhart R.C., "Particle swarm optimization, *IEEE International Conference on Neural Networks*, 4: 1942-1948, (1995).
21. Clerc M. and Kennedy J., "The particle swarm-explosion, stability, and convergence in a multidimensional complex space", *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 6(11): (2002).
22. Karaboğa D., "An idea based on honey bee swarm for numerical optimization, *Technical Report-tr06*, Erciyes University, Engineering Faculty, Computer Engineering Department, (2005).
23. Karaboğa D. and Basturk B., "A powerful and efficient algorithm for numerical function optimization : artificial bee colony (ABC) algorithm", *Journal of Global Optimization*, 39(3): 459-471, (2007).
24. Luke S., "Essentials of Metaheuristics, Lulu, Second Edn., (2013).
25. Yang X.S., "A new metaheuristic bat-inspired algorithm, in J. Gonzalez, D. Pelta, C. Cruz, G. Terrazas, N.Krasnogar (eds.), *Nature Inspired Cooperative Strategies for Optimization*, 284: (2010).
26. Passino K., "Biomimicry of bacterial foraging for distributed optimization and control, *IEEE Control Systems*, 22(3): 52-67, (2002).



# POLİTEKNİK DERGİSİ

## JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://www.politeknik.gazi.edu.tr/index.php/PLT/index>

## Analyzing the InGaN LED structures for white LED applications

### *Beyaz Led uygulamaları için InGaN LED yapılarının analizi*

*Yazar(lar) (Author(s)): İlknur KARS DURUKAN, Mustafa Kemal ÖZTÜRK, Süleyman ÖZÇELİK, Ekmel ÖZBAY*

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz:** Kars Durukan İ., Öztürk M, K., Özçelik S., and Özbay E., “Analyzing the InGaN LED structures for white LED applications”, *Politeknik Dergisi*, 20(3): 531-536, (2017).

**To cite this article:** Kars Durukan İ., Öztürk M, K., Özçelik S., and Özbay E., “Analyzing the InGaN LED structures for white LED applications”, *Journal of Polytechnic*, 20(3): 531-536, (2017).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://www.politeknik.gazi.edu.tr/index.php/PLT/issue/archive>

**DOI:** [10.2339/politeknik.339360](https://doi.org/10.2339/politeknik.339360)

# Analyzing The InGaN LED Structures for White LED Applications

İlknur KARS DURUKAN<sup>1\*</sup>, Mustafa Kemal ÖZTÜRK<sup>1,2</sup>, Süleyman ÖZÇELİK<sup>1,2</sup>, Ekmel ÖZBAY<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Gazi University, Faculty of Sciences, Department of Physics, Ankara

<sup>2</sup>Photonics Research Center, Gazi University, Ankara, Turkey

<sup>3</sup>Department of Physics, Bilkent University, Bilkent, Ankara

(Received : 20.08.2016 ; Accepted : 03.11.2016)

## ABSTRACT

In this paper, blue-light InGaN/GaN light-emitting diodes were deposited on sapphire substrate by the Metal Organic Chemical Vapor Deposition (MOCVD) to investigate the properties of blue LEDs with various well thickness having different indium composition. Structural properties of LEDs was studied by high-resolution X-ray diffraction (HRXRD), Photoluminescence (PL) and ultraviolet (UV). Our aim is to increase the quality of the LED structure by taking advantage of the mosaic structure calculations. The use of LED in commercial areas has increased. But, there are great difficulties in preventing defects. Lateral and vertical crystal size, dislocations, tilt and twist properties are investigated with HR-XRD device by Vegard and William hall semi-experimental methods. While dislocation value of the first sample is lower than first sample with less indium content ration, stress value of first sample is higher than second sample. In addition, The twist angle of first sample is lower. This shows that while the structure is crystallized, the tension is much greater, which is an interesting result. This is due to the mismatch when the diode is cooled to lower temperatures than the growth temperature.

**Keywords:** InGaN/GaN, MOCVD, HRXRD, PL, UV.

## Beyaz Led Uygulamaları için InGaN LED Yapıların Analizi

### ÖZ

Bu makalede, farklı indiyum kompozisyonu ve farklı kuyu kalınlıklarına sahip mavi LED'lerin özelliklerini araştırmak için mavi ışıklı InGaN / GaN ışık yayan diyotlar (LED) safir alttaş üzerine Metal Organik Kimyasal Buhar Biriktirme (MOCVD) yöntemi ile biriktirildi. Mavi LED yapının yapısal özellikleri X ışını kırınımı (XRD), Fotolüminesans (PL) ve Ultraviyole (UV) cihazları ile çalışıldı. Amacımız mozaik yapı hesaplamalarından yararlanarak LED yapısının kalitesini arttırmaktır. Ticari alanlarda LED kullanımı artmıştır. Ancak, kusurların önlenmesinde büyük zorluklar bulunmaktadır. Yanal ve dikey kristal boyutu, kusurlar, eğilme ve burkulma özellikleri, HR-XRD cihazı ile Vegard ve William Hall yarı deneysel yöntemleriyle incelendi. In oranı daha düşük olan birinci örneğin kusur değeri ikinci örnekten daha düşüken, stress değeri daha yüksektir. Buna ek olarak, birinci numunenin burkulma açısı daha düşüktür. Bu, yapının kristalleşmesine rağmen gerilmenin çok daha büyük olduğunu gösteriyor ve bu ilginç bir sonuçtur. Bunun nedeni, LED yapının, büyüme sıcaklığından daha düşük sıcaklıklara soğutulduğunda yapıdaki uyumsuzluktan kaynaklanmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** InGaN/GaN, MOCVD, HRXRD, PL, UV.

### 1. INTRODUCTION

The development of white-light light-emitting diode (LED) has become an important issue for lighting application. Especially, InGaN/GaN-based LED is expected to be an high efficient, long lifetime, reliable, cost-effective for the applications to the color display and lighting [1, 2]. Recently, commercial white LED production, phosphors are used for converting UV or blue photons, generated by a single-color InGaN/GaN-based LED, into longer-wavelength lights for color mixing. However, the use of phosphors brings many disadvantages of the Stokes-wave energy loss, low reliability, short lifetime and patent control [1,3,4].

Therefore; The development of phosphor-free white-light LEDs has become an important trend [5-7]. In the light of these developments, different device schemes has been suggested. Since the band gap of InGaN can cover up to the near-infrared range, using InGaN/GaN quantum wells (QWs) of different indium contents and/or thicknesses for emitting lights of various colors to mix into white-light can be obtained. By controlling the width of the QW, different piezoelectric field can be led to different emission wavelengths [6]. However, when most of the carriers are injected to produce the screening effect, the strong QCSE (quantum-confined Stark effect) in a QW of a large well width will occur. In this case, a significant shift in blue wavelength is observed [8]. In previous studies, InGaN/GaN QWs of different indium contents have been reported [5,9]. QCSE screening effect are still not fully resolved. So, different device schemes

\*Corresponding Author

e-mail: ilknurdurukan@gazi.edu.tr

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/politeknik.339360



must be investigated in detail. Obtained results can provide useful information which is very important for the best quality optoelectronic and other optical devices based on InGaN/GaN-based LEDs.

In this study, two different LED samples with InGaN/GaN multiple QW were grown. This paper is organized as follows. InGaN/GaN LED MQW structures were grown by MOCVD on c-oriented (001) sapphire substrate. The surface morphology of the samples and mosaic nature of the epitaxial layers were examined using nondestructive HRXRD. The mosaic structure parameters were obtained and discussed as depending on the In ratio and width of the QW. The optical characteristics of the InGaN/GaN LED structures were investigated by PL measurement. The transmission of the InGaN/GaN LED structures were investigated by UV analysis. Mosaic defects affect both optical and electrical properties of the structure. In our work, optical behavior of LED was investigated in terms of these mosaic defects. An aim of this study is to analyze stress and structural defects in LED structures in terms of mosaic calculations.

## 2. EXPERIMENTAL CONDITIONS

LED MQW structures with 30 nm thick nucleation AlN / GaN layer were grown by MOCVD on c-oriented (001) sapphire substrate (Figure 1). During growth, reactor pressure was fixed at 200 mbar. Before growing MQW structure, 700 nm thick AlN / GaN buffer layer produced and then 250 nm thick n-type GaN: Si layer was grown at 1090 ° C. The sample contains 2.2 nm active  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  layer which has five periods. The active layer was grown at 710 ° C on the 15.7 nm GaN. Cap layer was covered with 193.6-nm thick layer p-type GaN: Mg at 1030 ° C. Furthermore, the p-type AlN was used for the block type layer. Thickness period of first sample and second sample was 11.1051 nm and 7.7672 nm, respectively. Also; In ratio of first sample and second sample was 4.699 % and 8.391 %. These calculations are calculated in the XRAY data analysis program (LEPTOS) based on the vegard law.

The structural properties and defect analysis of the samples were characterized by the high-resolution X-ray diffraction (XRD) technique using a Bruker D8 system, delivering a  $\text{CuK}\alpha 1$  line. PL measurements were taken by using the JobinYvon Florong-550 PL system with a 50-mW He-Cd laser ( $\lambda = 325$  nm) as excitation light source at room temperature. The UV-vis optical transmission spectra of the InGaN led structures was measured using a lambda 2S Perkin Elmer UV-vis spectrometer at room temperature.

Layer	Matter	Thickness (Å)
p – Cap layer	GaN	2400
	InGaN	
	GaN	
n+ contact	GaN	
Buffer	AlN/GaN	
Nucleation	AlN/GaN	
Substrate	Safir	

Figure 1. General layer structure of LEDs

## 3. RESULTS AND DISCUSSION

Fig 2 shows the intensity curve for  $w-2\theta$ . The solid lines and dashed lines show the first and second samples, respectively. In both samples, the GaN (002) peak is observed at 17.291° and 17.270°, respectively. AlN (002) appears on the right side of the GaN (002) peak around 19°. In addition, the active layer InGaN is on the left of the GaN (002) peak and it is shouldered with GaN peak. Also, the peaks called fringe peaks and represent the quantum well structure related in thickness and these peaks are shown within square frame.

As the well thickness and the In ratio change, the spacing of the fringe peaks changes. In Figure 2, the peak separation in second sample is greater in the first sample. So the indium ratio is higher while the thickness value is smaller. Plane quality and defects properties of hexagonal structure were obtained with full width at half maximum (FWHM) values of the peaks obtained by  $w-2\theta$  scan. The  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  layer can be represented by the GaN layer and The active layer is highly dependent on the structural properties of the GaN layer. Therefore, the peak positions and FWHM of the symmetric surfaces of the GaN planes are given. FWHM values of LED samples are 0.067 and 0.045, respectively.

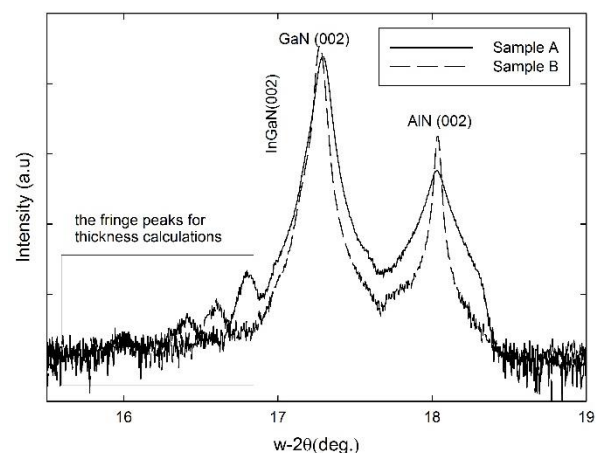


Figure 2. Omega-2θ scan of LEDs.

In ratio was determined from peak position in GaN(002) w-2 $\theta$  scan. Quantum well and barrier thickness were determined from the fringe peaks.

**Table 1.** In ratio, the well thickness, InGaN and GaN thickness of LED samples

	First sample	Second sample
<b>In ratio (%)</b>	4.699	8.391
<b>Well thickness (nm)</b>	11.051	7.7672
<b>InGaN thickness (nm)</b>	3.3049	2.6705
<b>GaN thickness (nm)</b>	7.8002	5.0967

Leszczynski et al. [10] reported the unstrained c-lattice and a-lattice parameters of the homoepitaxial GaN layers using high-resolution X-ray diffraction. The unstrained c-lattice and a-lattice parameters were 0.51850 and 0.31878 nm, respectively [10]. Our study, The a and c parameters of GaN, AlN and InGaN hexagonal crystal structures were calculated with symmetric (0002),(0004) and (0006) and asymmetric planes (10-12) and (12-31). The a- lattice parameters of every two sample are 0.317 nm and 0.321 nm, respectively. Also, The c- lattice parameters of LEDs are 0.519 nm and 0.508 nm, respectively.

a- and c- strain values were calculated using a and c lattice parameters. When the strain value of a direction is examined, the strain value of first sample is higher than that of second sample. The strain values of two samples are  $4.09 \times 10^{-2}$  nm and  $0.75 \times 10^{-2}$  nm, respectively. But, the strain values in the c direction are close together. These values are  $-1.95 \times 10^{-2}$  nm and  $1.94 \times 10^{-2}$  nm, respectively. The strain value of a direction of two samples are tension character, the strain values in the c direction are convention character and tension character, respectively. The strains are negative if the epilayer is under compression and positive if it is under tension [11].

Biaxial and hisrostatic strain values were calculated using strain and quasi experimental equations ((  $\varepsilon_c = \varepsilon_c^b + \varepsilon_h$  ve  $\varepsilon_a = \varepsilon_a^b + \varepsilon_h$ )). Hydrostatic strain is caused by point defects. By hydrostatic strain, lattice parameters widens as volume at equal values. Hydrostatic strain values of two samples are  $-0.1 \times 10^{-5}$  and  $0.147 \times 10^{-4}$ , respectively. Hydrostatic strain of second sample is higher than first sample. When the hydrostatic strain is negative, the structure shows compressive character. But; a large absolute value. Whereas the covalent radius of the N atom is quite narrower than that of the Ga atom ( $r_{Ga} = 0.126$  nm,  $r_N = 0.07$  nm) the covalent radius of the N atom is larger than that of the O atom ( $r_O = 0.066$  nm,  $r_N = 0.07$  nm) [12,13]. Oxygen is one of the most common impurities during MOCVD [14, 15], The other impurity is carbon. But; carbon is also an inherent impurity during MOCVD [14, 15]. Therefore, the compressive hydrostatic strains suggest that the relatively dominant point defects are vacancies ( $V_{Ga}$ ,  $V_N$ ) and substitutional type point defects

(  $N_{Ga}$ , and  $O_N$ ). Positive hydrostatic strain showed a expansion character and dominant substitutional type point defects(  $GaN$ ), interstitial type point defects ( $Ga_i$ ,  $N_i$ ,  $O_i$ , and  $C_i$  ). In the light of these explanations, hydrostatic strain in the first sample was tension while the hydrostatic strain of second sample was compression. With other words  $V_{Ga}$ ,  $V_N$ ,  $N_{Ga}$ , and  $O_N$  type point defects are dominant for second sample , whereas,  $GaN$   $Ga_i$ ,  $N_i$ ,  $O_i$ , and  $C_i$  type point defects are dominant for first sample.

However, biaxial strees is different. The lattice parameters widen in plane at equal values. The stresses in the heteroepitaxial films are biaxial. In heterostructures GaN /  $Al_2O_3$ , the tension caused by lattice mismatch of between epilayer and substrate lattice parameters is biaxial [ 16-20].  $\varepsilon_c^b$  ve  $\varepsilon_a^b$  are biaxial stress in the direction of c and a, respectively. Hydrostatic strain component  $\varepsilon_h$ ,

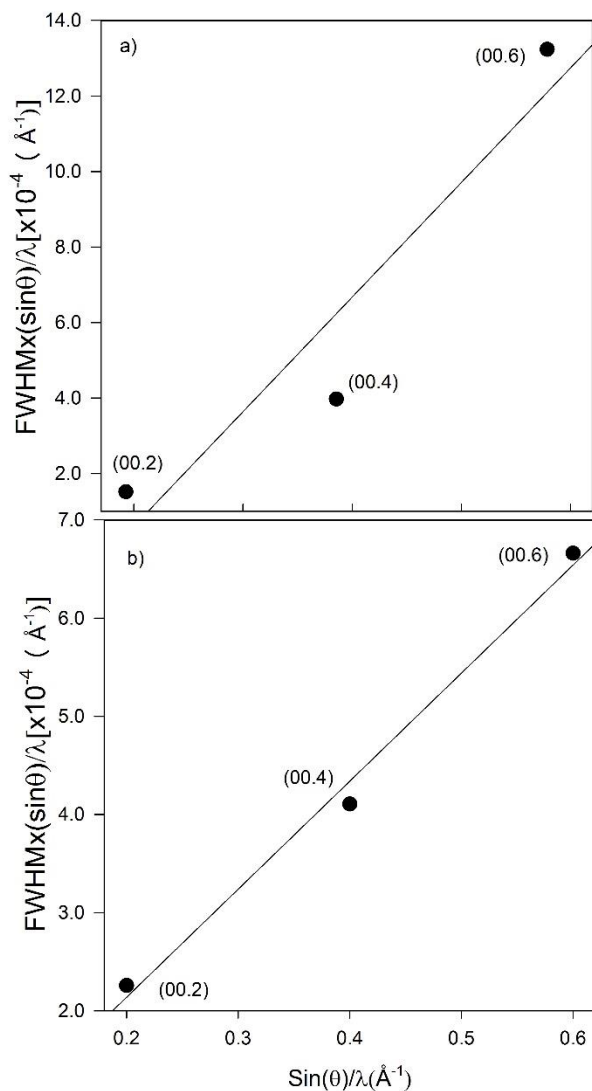
$$\varepsilon_h = \frac{1-\nu}{1+\nu} \left( \varepsilon_c + \frac{2\nu}{1-\nu} \varepsilon_a \right) \quad (1)$$

given by the Eq. 1. Poisson ratio ( $\nu$ ) determined from the elastic constants  $C_{13}$  and  $C_{33}$  with the relation of  $\nu = C_{13}/(C_{13} + C_{33})$ .  $C_{13} = 106$  Gpa ve  $C_{33} = 398$  Gpa are elastic constant of GaN [21].  $N(0.2103)$  is consistent with the literature. Biaxial strain in the a direction values of LED samples are  $3.95 \times 10^{-2}$  and  $1.75 \times 10^{-2}$ , respectively and biaxial strain in the c direction values of LED samples are  $-2.1 \times 10^{-2}$  and  $-0.93 \times 10^{-2}$ , respectively. a- and c- directions in LED samples were of the tensile and compressive types, respectively. In both cases, the biaxial strain values in first sample are higher. The biaxial strains can be effected by various type dislocations generated during the cooling process.

The in-plane biaxial stress in the GaN epilayer  $\sigma_f$  can be calculated from the following relationship  $\sigma_f = M_f \varepsilon_a^b$  where  $M_f = 478.5$  Gpa is the biaxial elastic modulus [12]. The in plane Biaxial strain of LED samples are 18.9 and  $8.3 ( \times 10^{-4} )$ , respectively. In ratio and biaxial strain were inversely proportional to each other. In the first example, whereas the In ratio is lower, the biaxial stress rate is higher.

The mosaic crystallite size and  $\alpha_{ill}$  calculated from the Hexagonal (0002), (0004) ve (0006) miller plane of rocking curve using Williamson–Hall equation [22, 23] in Fig 3. The mean  $\alpha_{ill}$  is obtained from the slope of the linear dependence and  $L_p = 0.9/(2y_0)$  from the inverse of the y-intersection  $y_0$  of the fitted line with the ordinate from the plot of the FWHM ( $\sin \theta$ ) /  $\lambda$  function against ( $\sin \theta$ ) /  $\lambda$  function (W-H plot). In the function expression, FWHM is in half width of rocking curve scans,  $\theta$  is the Bragg reflection angle, and  $\lambda$  is wavelength of  $CuK_{\alpha 1}$ . The expected linear behavior of

the graphs is experimentally well confirmed, which gives the rather accurate tilt angle values. The mean  $\alpha_{tilt}$  values of the samples are  $0.11 \times 10^{-2}$  and  $0.3 \times 10^{-2}$  degree, respectively. It can be seen in this table that the mean tilt angle for the second sample is the higher than first sample. The  $L_p$  of the HR-GaN epilayers were determined and this values are  $6.43 \times 10^4$  nm and  $9 \times 10^2$  nm, respectively. The maximum  $L_p$  values were observed for first sample.



**Figure 3.** Williamson–Hall curves for GaN of a) first sample and b) second sample for tilt and lateral coherence length calculation

Twist angle calculated from FWHM values of the reflection peaks of the "Rocking" and "Phi" scans of the hexagonal (12-31) planes. Twist angle values of LED samples are  $0.117^\circ$  and  $0.858^\circ$ , respectively. The screw and edge type dislocations of LED samples were calculated. Dislocations were calculated by the equations below [24].

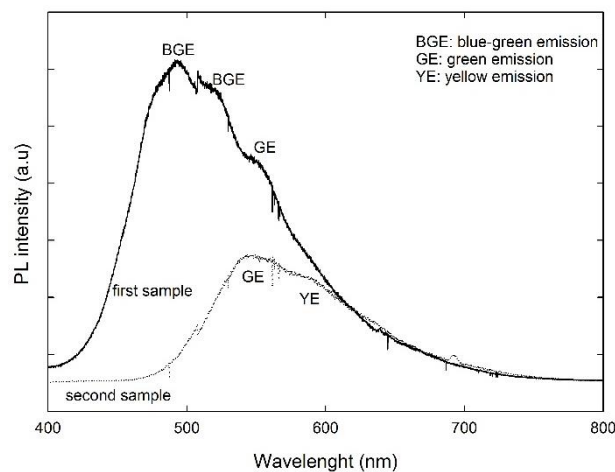
$$N_{screw} = \frac{\alpha_w^2}{4.35|b|^2} \tag{2}$$

Screw type discontinuity equation (Eq.2),  $\alpha_w$  stands for tilt angle and b, Burgers vector (0.519 nm for screw dislocation). The Burgers vector equals the lattice parameters. Screw type dislocation values of LED samples are  $0.32 \times 10^5$  and  $2.34 \times 10^5$ , respectively.

Edge type dislocation equation (Eq.3), b is Burgers vector length (Burger vectors are 0.39 nm for edge dislocation). Here,  $a_\phi$  is the half-width peak of the asymmetric plane is related with twist and  $L_{II}$ , stands for lateral mosaic coherence length. Edge type dislocation values of LED samples are  $0.568 \times 10^7$  and  $2.74 \times 10^9$ , respectively.

$$N_{Edge} = \frac{a_\phi}{2.1|b|L_{II}} \tag{3}$$

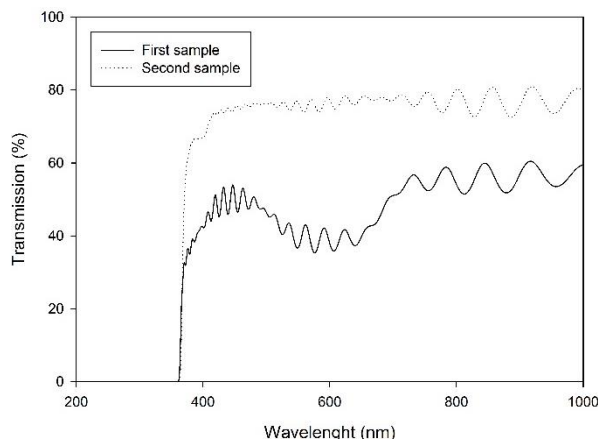
The optical characteristics of the InGaN LED structures were investigated by PL measurement. Figure 4 shows the room temperature PL spectra of the two samples. The experimental results are shown with solid lines and their Gaussian fits are shown with dashed lines. Usually, The PL spectrum from InGaN LEDs shows two emission peaks, which are at the blue and yellow regions. In our work, It can be seen that the two peaks blue-green and a green PL emissions of first sample are centered around 493 nm, 520 nm and 550 nm, respectively. First sample has a wider well width than second sample. Therefore, This situation will result in a significant blueshift when plenty of carriers are injected to produce the screening effect. In second sample, two kind of emission were observed in green and yellow emissions, centered around 543 nm and 587 nm, respectively. In second sample, the rate of indium is higher than first sample. When the In ratio is higher, emission shifts to red. For white LED applications, this is an undesirable situation. First sample is suitable for White LED applications.



**Figure 4.** PL intensity versus wavelength of the two samples.

The transmission of the InGaN LED structures were investigated by UV analysis. Figure 5 shows the transmission spectra of first sample and B. As can be seen

in the graphic, the first sample has a transmission of about 80 and the second sample has a transmission of about 60 percent. As the In ratio increased, the ratio of In in the second sample is less, the transmittance decreased. Also, in the second example, although the well width is narrow, the transmittance is reduced due to the interface roughness. Due to the 5-layer InGaN / GaN multi-quantum well in the structure, large amplitude oscillation occurs. Also, The between the 5-layer multi-quantum well and GaN layer has a low amplitude and frequent frequency interference, There is no distinction between these two interference.



**Figure 5.** Variation of transmittance with the wavelength for two samples

#### 4. CONCLUSION

The crystals formed in the structure of the first sample are larger. When these crystals are formed, the lattices are reformed due to the effects of biaxial strain in the c and a direction and hydrostatic strain and high stresses. These stresses are commonly known. This occurs when the structure is being cooled from the growth temperature to lower temperatures. These stresses increase the FWHM of the crystal plane peak, making it distorted. This does not affect the reduction of the value of the edge dislocation, twist and plane tilt angle of the structure. In Example B, while the FWHM is lower, the crystal size is reduced even though the stress is reduced. And as the crystal size decreases, the edge dislocation, twist, plane inclination angle, which is characteristic of the defect, increases. These biaxial a and c hydrostatic pressure values tend to decrease as point defects can not settle in the structure. As a result, the quality of LEDs can be easily observed with detailed high resolution x-rays. In this case, we can say that the crystal size of first sample is larger than second sample. Although Second sample has low FWHM values, Interface roughness, low number of fringe peaks, and low intensity values of these peaks are the proof of defect. Even if AlN is lower than the half-width of the buffer layer, it does not change. This may be due to a problem caused by the nucleation layer. The PL spectrum from InGaN LEDs showed that In ratio is higher, emission shifts to red. In addition, The

transmission of the InGaN LED showed that the ratio of In increases, transmittance decreases.

#### REFERENCES

- 1) Chen H.-S., Yeh D.-M., Lu C.-F., Huang C.-F., Lu Y.-C., Chen C.-Y., Huang J.-J., and Yanga C. C., "Mesa-size-dependent color contrast in flip-chip blue/green two-color InGaN/GaN multi-quantum-well micro-light-emitting diodes", *Applied Physics Letters*, 89: 093501, (2006).
- 2) Öztürk M.K., Çörekçi S., Tamer M., Çetin S.S., Özçelik S. And Özbay E. "Microstructural properties of InGaN/GaN light-emitting diode structures with different In content grown by MOCVD", *Applied Physics A*, 114: 1215–1221, (2014).
- 3) Yeh D.-M., Huang C.-F., Chen H.-S., Tang T.-Y., Lu C.-F., Lu Y.-C., Huang J.-J., Yang C. C., Liu I.-S. and Su W.-F., "Control of the color contrast of a polychromatic light-emitting device with CdSe–ZnS nano-crystals on an InGaN–GaN quantum-well structure", *IEEE Photonics Technology Letters*, 18: 5, (2006).
- 4) Chen H.-S., Yeh D.-M., Lu C.-F., Huang C.-F., Shiao W.-Y., Huang J.-J., Yang C. C. Liu I.-S. and Su W.-F. "White light generation with CdSe–ZnS nanocrystals coated on an InGaN–GaN quantum-well blue/green two-wavelength light-emitting diode", *IEEE Photonics Technology Letters*, 18:13, (2006).
- 5) Yamada M., Narukawa Y. and Mukai T., "Phosphor free high-luminous-efficiency white light-emitting diodes composed of InGaN multi-quantum well", *Journal Applied Physics*, 41: L246–L248, (2002).
- 6) Damilano B., Grandjean N., Pernot C. and Massies J. "Monolithic white light-emitting diodes based on InGaN/GaN multiple quantum wells", *Journal Applied Physics*, 40: L918–L920, (2001).
- 7) Shei S.C., Sheu J.K., Tsai C.M., Lai W.C., Lee M. L. and Kuo C.H., "Emission mechanism of mixed-color InGaN/GaN multi-quantum-well light-emitting diodes", *Japanese Journal of Applied Physics*, 45: 2463–2466, (2006).
- 8) Huang C.F., Lu C. F., Tang T. Y., Huang J. J. and Yang C. C., "Phosphor-free white-light light-emitting diode of weakly carrier-density-dependent spectrum with prestrained growth of InGaN/GaN quantum wells", *Applied Physics Letters*, 90: 151122, (2007).
- 9) Yamada M., Narukawa Y., Tamaki H., Murazaki Y. and Mukai T., "A methodological study of the best solution for generating white light using nitride-based light-emitting diodes", *IEICE Trans. Electron. IEICE TRANSACTIONS on Electronics*, E88-C: 1860, (2005).
- 10) Leszczynski M., Teisseyre H., Suski T., Grzegory I., Bockowski M., Jun J., Pakula K., Baranowski J.M., Foxon C.T. and Cheng T.S., "Lattice parameters of gallium nitride", *Applied Physics Letters*, 69:73, (1996).
- 11) Cho S. I., Chang K. and Kwon M. S., "Strain analysis of a GaN epilayer grown on a c-plane sapphire substrate with different growth times", *Journal of Materials Science*, 42: 3569–3572, (2007).
- 12) Harutyunyan V.S., Aivazyan A.P., Weber E.R., Kim Y., Park Y., Subramanya S.G., "High-resolution x-ray diffraction strain-stress analysis of GaN/sapphire heterostructures", *Journal of Physics D: Applied Physics*, 34: A35, (2001).

- 13) Kittel C., "Introduction to solid state physics", *John Wiley & Sons*, Singapore, 8, (1991).
- 14) Gil, B., "Group nitride semiconductor compounds", *Oxford University Press Inc.*, Oxford, 1, (1998).
- 15) Edgar J.H., Strite S., Akasaki I., Amano H. And Wetzell C., "Properties, processing and applications of gallium nitride and related semiconductors", *INSPEC*, London, 381, (1999).
- 16) Kisielowski C., Kruger J., Ruvimov S., Suski T., Ager J. W., Jones E., Liliental-Weber Z., Rubin M., Weber E. R., Bremser M.D. and Davis R. F., "Strain-related phenomena in GaN thin films", *Physical review B*, 54: 17745, (1996).
- 17) Kisielowski C., "Strain in GaN thin films and heterostructures", *Semiconductors and Semimetals*, 57: 275-317, (1999).
- 18) Perry W. G., Zheleva T., Bremser M. D., Davis R. F., Shan W. and Song J. J. , "Correlation of biaxial strains, bound exciton energies, and defect microstructures in gan films grown on AlN/6H-SiC(0001) substrates", *Journal of Electronic Materials*, 26: 224, (1997).
- 19) Skromme B. J., Zhao H., Wang D., Kong H. S., Leonard M. T., Bulman G. E. and Molnar R. J., "Strain determination in heteroepitaxial GaN", *Applied Physics Letters*, 71: 829, (1997).
- 20) Cetin S. S., Öztürk M. K., Özçelik S., Özbay E., "Strain analysis of InGaN/GaN multi quantum well LED structures", *Crystal Research and Technology*, 47: 824–833, (2012).
- 21) Polian A., Grimsditch M. and Grzegory I., "Elastic constants of gallium nitride", *Journal of Applied Physics*, 79: 3343, (1996).
- 22) Metzger T., Höppler R., Born E., Ambacher O., Stutzmann M., Stömmmer R., Schuster M., Göbel H., Christiansen S., Albrecht M. and Strunk H.P., "Defect structure of epitaxial GaN films determined by transmission electron microscopy and triple-axis X-ray diffractometry", *Philosophical Magazine a-Physics of Condensed Matter Structure Defects*, 77: 1013, (1998).
- 23) Williamson G. K. and Hall W. H., "X-ray line broadening from filed aluminium and wolfram", *Acta Metallurgica*, 1: 22, (1953).
- 24) Kars Durukan İ., Öztürk M. K., Çörekçi S., Tamer M., Bas Y., Özçelik S. and Özbay E., "Microstructural analysis with graded and non-graded indium in ingan solar cell", *Journal of Nanoelectronics and Optoelectronics*, 12: 109–117, (2017).



# POLİTEKNİK DERGİSİ

## JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://www.politeknik.gazi.edu.tr/index.php/PLT/index>

## Seri üretim boru bağlantı elemanlarının döküm işleminde optimizasyon

### *Optimization of casting process for mass produced fittings*

*Yazar(lar) (Author(s)): Özkan KÜÇÜK, Burak ÖZTÜRK, İrem DÜZDAR, Samed VARHAN, Hüseyin Alp ÇETİNDAG*

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz:** Küçük Ö., Öztürk B., Düzdar İ. Varhan S. ve Çetindağ H. A., “Seri üretim boru bağlantı elemanlarının döküm işleminde optimizasyon”, *Politeknik Dergisi*, 20(3): 537-542, (2017).

**To cite this article:** Küçük Ö., Öztürk B., Düzdar İ. Varhan S. and Çetindağ H. A., “Optimization of casting process for mass produced fittings”, *Journal of Polytechnic*, 20(3): 537-542, (2017).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://www.politeknik.gazi.edu.tr/index.php/PLT/issue/archive>

**DOI:** [10.2339/politeknik.339361](https://doi.org/10.2339/politeknik.339361)



# Seri Üretim Boru Bağlantı Elemanlarının Döküm İşleminde Optimizasyon

Özkan KÜÇÜK<sup>1\*</sup>, Burak ÖZTÜRK<sup>2</sup>, İrem DÜZDAR<sup>3</sup>, Samed VARHAN<sup>4</sup>, Hüseyin Alp ÇETİNDAG<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Kastamonu Üniversitesi, Müh. ve Mim. Fak., Malzeme Bilimi ve Nanoteknoloji Mühendisliği, KASTAMONU

<sup>2</sup>Konak Rakor, Ar-Ge Bölümü, ANKARA

<sup>3</sup>Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Bölümü, DÜZCE

<sup>4</sup>Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi

(Geliş/Received : 20.06.2016 ; Kabul/Accepted : 18.10.2016)

## ÖZ

Bu çalışmada petrol ve doğalgaz hatlarında yaygın olarak kullanılan ½", ¾", 1", 1½", 2" çaplarındaki boru bağlantı elemanlarının tasarım ve üretiminde optimizasyonlar gerçekleştirilerek üretim verimliliğinin artırılması araştırılmıştır. Yapılan çalışmalarda TS EN 10242 standart ölçülerine göre üretim ve inceleme yapılmıştır. Üretim verimliliğini etkileyen faktörler neden sonuç diyagramı yardımıyla incelenmiştir. Ürünlerin standartlara göre ortalama %12 daha ağır olduğu tespit edilmiş, modellerin yerleşiminde ise çeşitli hatalar saptanmıştır. 300×400 mm'lik derece sisteminin boru bağlantı üretimi için uygun olmadığı gözlemlenmiştir. Bunun yanında yolluk ağırlığının fazla ve yolluk giriş tasarımının hatalı olduğu belirlenmiştir. Bu sorunların çözümü için model üretim yöntemlerinin oluşturduğu hatalar araştırılmıştır. Bu araştırmalar sonrasında üretimde yeni bir yöntem geliştirilerek optimizasyon sağlanmıştır. Ayrıca boru bağlantı elemanlarının model üzerindeki yerleşim planının dizilim parametreleri matematiksel formüllerle ifade edilmiştir. Elde edilen bu formüllere göre boru bağlantı elemanları için en iyi sonucu 420x500' lük derece sisteminin verdiği saptanmıştır. Kullanılan bu yöntem sonucu firmada seri üretimi gerçekleştirilen ½", ¾", 1", 1½", 2" çaplarındaki boru bağlantı elemanları gözden geçirilip bu ürünlerde düzenlenmeye gidilmiştir. Bu sayede üretimin %90'ı optimize edilmiştir. Toplam yıllık hurda malzeme ağırlığı 246,660 kg'dan 188,496 kg'a düşürülmüştür. Ürünler TSE standart ölçülerine göre şekillendirilerek hata oranı azaltılmıştır ve malzeme ağırlıklarında %8-20 arasında düşüş sağlanmıştır. Geliştirilen yeni derece sistemi TÜBİTAK patent desteği almış ve 2013/00806 numaralı "Fittings malzemelerin dökümü için derece modeli" adıyla Rusya'da incelenerek patente uygun görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Üretim optimizasyonu, döküm, yolluk oranı, bağlantı elemanları.

## Optimization of Casting Process for Mass Produced Fittings

### ABSTRACT

In this study, improvement of manufacturing efficiency was investigated by conducting optimizations on the design and production of ½", ¾", 1", 1½", 2" fittings which are widely used in the oil and natural gas pipe lines. Manufacturing processes and inspections were carried out according to TS EN 10242 standard dimensions. Factors which affect the production efficiency are analyzed by using cause and effect diagram. As a result of the investigations, it was determined that the products are averagely 12% heavier than standards and some errors were found at the placement of models. It was observed that, 300x400 flask system does not pertain for the fittings production. Besides, it was seen that runner weight is too much and runner gate is imperfect. For the solution of these problems, errors which are created by manufacturing methods were studied. After these studies, a new method of production was developed in order to perform an optimization. Also, layout parameters of fittings on the models were expressed with mathematical formulas. With the obtained information, it was detected that the best result was attained from 420x500 flask system. As a result of this method, ½", ¾", 1", 1½", 2" fittings which are mass produced at the company were reviewed and adjusted. Thus, 90% of the production was optimized. Overall weights of scrap were reduced to 118,496 kg from 246,660 kg. Amount of error is decreased by shaping of products due to TSE standards and weights of products were decreased by 8-20%. New flask system took support of patent form TÜBİTAK and it was found suitable for patent in Russia with the name of "Flask model of fittings"(Patent nu: 2013/00806).

**Keywords:** Optimization of production, casting, amount of runner, fittings.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Endüstride ½", ¾", 1", 1½", 2" çaplarındaki boru bağlantı elemanları yaygın olarak kullanılmaktadır. Dolayısıyla bu ürünler üzerinde yapılan iyileştirmelerin dünya

çapında ürün kalitesi ve üretim maliyetleri açısından çok önemli etkileri olmaktadır. Çalışmaların yapıldığı firmada da bu etki çok iyi bir şekilde gözlemlenebilmektedir; ürünlerin hafifletilmesi ve üretim maliyetlerinin düşürülmesi, verimliliği artırarak üretim tesisinin kâr marjını arttıracaktır. Rekabet gücünü artırmak için firma çalışanları 2012 yılına kadar geleneksel yöntemlerle çe-

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: okucuk@kastamonu.edu.tr

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/politeknik.339361

şitli iyileştirme çalışmaları yaptıysa da işçilik maliyetlerinin artmasıyla rekabet gücü zayıflamıştır. Bu yüzden üretimde verimliliği artırmak için etkili bir kalite iyileştirme yönteminin uygulanması gerektiği anlaşılmıştır.

Maliyeti azaltmak, ürün kalitesini arttırmak ve ürünleri hafifletmek gibi amaçlar doğrultusunda çeşitli sektörlerde kullanılan boru bağlantı elemanları ile ilgili mevcut çalışmalar detaylı bir şekilde incelenmiştir. Yapılan bu incelemeler sonucunda ürün ve süreç geliştirme yöntemi olarak çeşitli kalite iyileştirme yöntemlerinin endüstride uygulandığı gözlenmiştir. AZ91 Magnezyum alaşımının dökümü için yolluk oranlarının ve hızlarının hesaplanmasında Pareto analizinin kullanıldığı belirlenmiştir [1]. Tekstil sektöründe yapılan üretim inceleme çalışmalarında da Pareto analizinin kullanıldığı görülmüştür [2]. Bunun yanında 6 Sigma yöntemi ile seri üretim pantolon imalatının iyileştirildiği tespit edilmiştir [3] ve 6 Sigma yönteminin otomotiv yan saniiyedeki uygulama aşamaları incelenmiştir [4]. Gömlek üretim hataları üzerinde yapılan incelemeler üzerinde çalışılmıştır [5]. Birçok alanda yapılan bilimsel çalışmada neden sonuç diyagramı kullanılmıştır. Örneğin vinç kazalarının deneyimli çalışanlar sayesinde azalacağını ve OHSAS 18001 standartlarının üretimde uygulanmasının gerekliliğini gösteren sebep sonuç diyagramları incelenmiştir [6]. Ayrıca, Al-7 % Si alaşımının kalıp dökümünde çekme özelliklerini etkileyen faktörleri incelemek için çizilen neden sonuç grafiği [7] ve döküm salkım ağırlığını etkileyen faktörleri göstermek için kullanılan neden sonuç grafiği incelenmiştir [8]. Boru bağlantı elemanlarının döküm hattındaki optimizasyonu sağlamak için de çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Bu araştırmalar süresince, 596x342 milimetrelik bir derece sisteminde Magmasoft programı yardımıyla % 30 tasarruf yapılmasını sağlayan bir çalışma incelenmiştir [9].

Bu araştırmalar ışığında, yukarıda bahsi geçen yöntemlerden yararlanılarak, üretimde ve tasarımda iyileştirmeler yapılması, bunun yanında da model yerleşimi için yeni bir formül geliştirilmesi hedeflenmiştir.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)

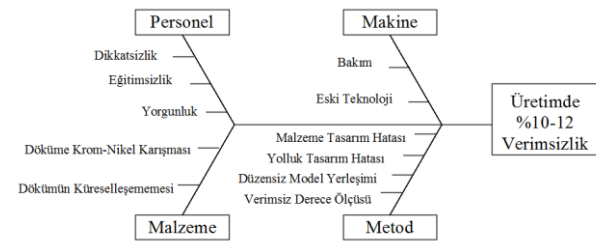
Günümüzde rekabetin arttığı endüstride verimliliği arttırmak ve üretim maliyetlerini kaliteden ödün vermeden düşürmek için çeşitli yöntemlerin kullanılması gerekmektedir. Literatür araştırmalarından elde edilen bu yöntemlerden bazıları 6 Sigma, Pareto analizi ve neden sonuç diyagramıdır. İyileştirme yöntemi malzeme çeşidine göre farklılık gösterebilmektedir bu yüzden etkili olacak yöntemin kullanılması çok önemlidir. Örneğin üretimi etkileyen birden fazla faktörün bulunduğu durumlarda neden sonuç diyagramının daha etkili olduğu gözlemlenmiştir.

Öncelikli olarak başlıca üretim hataları ve bu hataların sebepleri araştırılmıştır. Tespit edilen sorunların çözümü için yeni bir tasarım geliştirilmiştir. Geliştirilen tasarımın TS EN 10242 standardına uygun olmasına dikkat edilmiştir. Bunun yanında, önceki dereceler incelenerek üretimde optimizasyonun sağlanması için modellerin derece

sistemine göre nasıl yerleştirilmesi gerektiğini gösteren bir formül geliştirilmiştir.

### 2.1. Üretim Hatalarının Belirlenmesi (Determination of Production Defects)

Üretimde üretim hataları dört ana başlık altında incelenebilmektedir. Personel, Makine, Malzeme ve Metot kaynaklı üretim hataları Şekil 1'de gösterilmiştir. Personel kaynaklı hataların büyük kısmını derece kalıplama işlemindeki dikkatsizlik oluşturmaktadır. Bunun yanında yabancı malzemelerin karışması ve yetersiz aşılama yüzünden mikro yapıda küreselleşmenin yetersiz kalması da üretim hatalarının önemli bir kısmını meydana getirmektedir



Şekil 1. Hataların oluşumunu gösteren neden-sonuç diyagramı (Cause-effect diagram which presents failure developments)

Boru bağlantı elemanlarının tasarımlarındaki şekilsel bozukluklar tespit edilmiştir ve üretimde çeşitli döküm hatalarının olduğu saptanmıştır. Dökümün yapılmasında kalıba şeklin verilmesini sağlayan modeller kokil kalıpla üretildiği, tahta yollukların elle alıştırıldığı, yolluk girişlerine geliş güzel şekil verildiği gözlemlenmiştir. Derece yerleşiminde hataların olduğu saptanmış, yeni bir derecenin geliştirilip model tasarım parametrelerin araştırılması hedeflenmiştir. Bu optimizasyon çalışması öncesinde yapılan uygulamalar, bahsedilen bu sorunları önleyememiş ya da önlemede yetersiz kalmıştır. Bu yüzden ürünler yeniden modellenerek tasarımda optimizasyona gidilmiştir.

### 2.2. Parça Yerleşiminin Matematiksel Modelinin Oluşturulması (Construction of Mathematical Model of Part Arrangement)

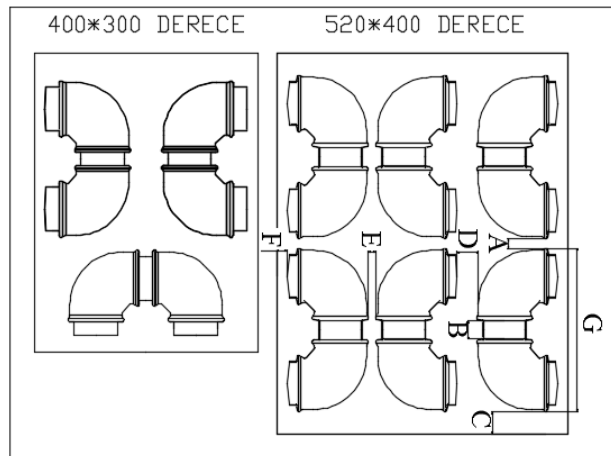
Optimizasyon çalışmaları için öncelikli olarak, 1/2", 3/4", 1", 1 1/2", 2" ölçülerindeki boru bağlantı elemanlarının iki boyutlu tasarımı TS EN 10242 standardına göre yapılmıştır. Tasarlanan bu modeller 300x400'lük bir dereceye sanal ortamda yerleştirilmiştir. Bu dizilim incelendiğinde çok fazla boş alan olduğu görülmüştür ve dış ölçüleri 1/2" den 2" e doğru artıkça parametrelerin değişkenlik gösterdiği belirlenmiştir. Bahsi geçen bu boşlukların azaltılması için çeşitli yerleşim planları denenmiştir. Bu denemeler sırasında ürün yerleşiminin matematiksel bir denklemle ifade edilebileceği fark edilmiştir. Oluşturulacak olan bu matematiksel model üzerinde kullanılacak semboller Çizelge 1'de gösterilmiştir. Yer alan parametre değerleri, farklı modeller, tasarımlar incelenmiştir ve bunların imalatı yapılarak gözle muayene edilmiştir.

**Çizelge 1.** Formüllerde kullanılan simgeler ve ölçüleri (Used symbols of formulas, and their values)

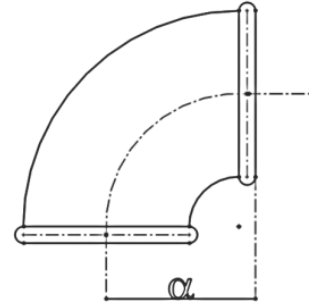
Simge	Açıklama	Minimum Ölçü (mm)
A	İki model çifti arası boşluk	8-12
a	Merkezden diğer ucun fitiline kadar olan uzaklık	-
B	Yolluk geçiş boşluğu	20-23
C	X ve Y Dış kum boşluğu	13-18
D	Sıralı model arası boşluk	6-20
E	Fitiller arası boşluk	6-12
F	Y Dış kum boşluğu	14-30
G	Maça Ölçüsü	Değişken
H	Yolluk Boşluk Miktarı	30-40

### 2.2.1 Maça uzunluğunun bulunması (Determination of core length)

2" dirseğin iki farklı derece sistemine göre dizilimi ve formüllerde kullanılan simgeler Şekil 2'de gösterilmiştir. Burada "A", "D" ve "E" maçalar arası uzaklıkları, "G" maçanın tam uzunluğunu, "B" ise yollukların geçiş boşluğunu ifade etmektedir. "C" ve "F" değerleri maçalarla derece kenarları arasındaki uzaklığı göstermektedir.

**Şekil 2.** 2" Dirsek yerleşimi ve parametrelerin gösterimi (Representation of 2" elbow arrangement and parameters)

Maçaların ölçüleri aşağıda yer alan formül yardımıyla, TS EN 10242 standart ölçüleri dikkate alınarak hesaplanmıştır. Bu hesaplamada Şekil 3'te gösterildiği üzere "a" merkezden fitile olan uzaklığı ifade etmektedir. Hesaplamalarla elde edilen tam maça ölçüleri dirsekler için Çizelge 2'de yer almaktadır.

**Şekil 3.** Dirseklerdeki "a" ölçüsünün gösterimi (Figure.3: Representation of measure "a")

$$\text{Maça Uzunluğu} = 2x(a + B + \text{Fitil Yarı Çapı}) \quad (1)$$

**Çizelge 2.** Maça ölçüleri (Core dimensions)

Ölçü	TS EN 10242 Ölçüsü (a)	Fitil Yarıçap Ölçüsü	Yolluk Geçiş Boşluğu (B)	Maça Uzunluğu (G)
½"	28	15	20	134
¾"	33	16,5	20	147
1"	38	22,5	22	193
1¼"	45	26,5	22	199
1½"	50	30,5	23	217
2"	58	37,5	23	237

### 2.2.2 Yerleşim uzunluğunun bulunması (Determination of arrangement length)

Boru bağlantı elemanlarının yerleşimi için bir formül geliştirmek istenmiş, 520\*400'lük derecenin tasarım sonuçlarında uygunluğunun doğrulanması için dirsek yerleşim denklemi oluşturulmuştur. Aşağıda geliştirilen formülde "G" maça ölçüsünü, "C" dış kum boşluğunu, "Y. U<sub>min</sub>" en düşük yerleşim uzunluğunu, A<sub>min</sub> ise iki model arası en kısa mesafeyi ifade etmektedir. A<sub>min</sub> değeri yapılan kum sıkışma deneyleri göz önünde bulundurularak 10 mm olarak kabul edilmiştir. ½" ten 2" e kadar olan parçaların minimum yerleşim uzunlukları aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmış ve Çizelge 3'te verilmiştir.

$$G_{\min} = 2x(a + \text{Fitil Yarı Çapı}) + B \quad (2)$$

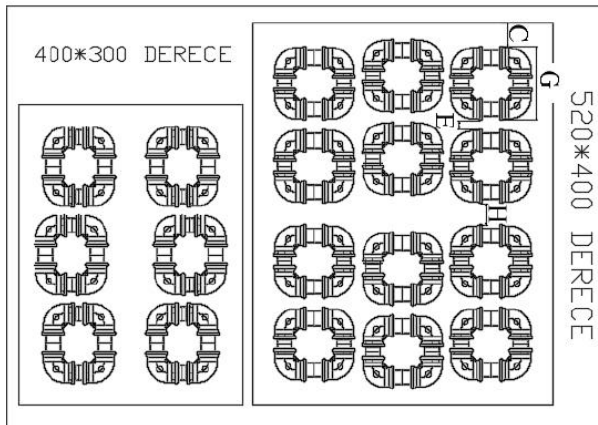
$$Y. U_{\min} = 2x(G + C) + A_{\min} \quad (3)$$

**Çizelge 3.** Boru bağlantı elemanları için minimum yerleşim uzunluğu (Minimum arrangement length for the fittings)

Ölçü	Maça Uzunluğu G(mm)	Dış kum boşluğu C (mm)	Minimum Yerleşim Uzunluğu Y. U <sub>min</sub> (mm)
½"	134	13	294
¾"	147	13	332
1"	193	15	426
1¼"	199	16	430
1½"	217	17	478
2"	237	18	520

Yapılan bu hesaba göre 1¼", 1½" ve 2" dirsek elemanı için oluşturulacak çift hat yerleşiminde en az 520 mm genişliğinde bir derecenin gerekli olduğu hesaplanmıştır. Bu ölçü ile 400 mm'nin üstüne çıkıldığı ve dış çap ölçüleri büyük olduğu için iki hat dizimi yapılarak ürünlerin sayısının tamamında artacağı ve yolluk oranının sık dizilim sayesinde azalacağı öngörülmüştür.

Çizelge 3'teki değerler göz önüne alındığında ½", ¾" ve 1" ölçülerindeki elemanlar için farklı bir yerleşim şekline ve bu yerleşimi gösteren farklı bir formüle ihtiyaç duyulduğu anlaşılmıştır. Şekil 4'te gösterilen, ½" diresek için yapılan dörtgen dizilimin küçük malzemelerde kullanılması ve minimum derece ölçüsünün belirlenmesi için ise aşağıdaki denklemler geliştirilmiştir. 4 numaralı formüldeki H değeri, cürufluk ve yolluğun yerleştirilebilmesi için minimum 30 mm olarak kabul edilmiştir. Önceden 10 mm olarak kabul edilen A<sub>min</sub> değerinin yerine iki fitil arası ölçüyü gösteren E<sub>min</sub> değeri, küçük malzemeler için 8 mm olarak yeniden tanımlanmıştır. Bu değer kumun sıkışması için yeterlidir. "k" değeri ise dizilim adedi olup ürünlere göre değişkenlik göstermektedir. Maksimum sayıda üretim yapmak için "k" değerinin mümkün olduğunca büyük seçilmesi gerekmektedir. Geliştirilen yöntemler kullanılarak ½", ¾" ve 1" ölçüsündeki malzemeler için elde edilen parametreler Çizelge 4'te



verilmiştir.

Şekil 4. ½" Dirsek yerleşimi ve parametrelerin gösterimi (Figure.4: Representation of ½" elbow arrangement and parameters)

$$Y.U_{min} = 2C + H + (k) \times (G_{min} + E_{min}) \quad (4)$$

Çizelge 4. Küçük malzemelerde maça uzunluğu ve bu uzunluğu etkileyen parametreler (Table.4: Core length and parameters which affects these parameters)

Ölçü	TS EN 10242 Ölçüsü – a (mm)	Fitil Yarıçap Ölçüsü (mm)	Maça Uzunluğu - G <sub>min</sub> (mm)
½"	28	15	106
¾"	33	16,5	119
1"	38	22,5	143

Çizelge 5. Küçük malzemeler için minimum "Y" uzunluğu (Minimum "Y" length for small products)

Ölçü	Maça Uzunluğu - G <sub>min</sub> (mm)	2C+A	Seçilen "k" Değeri	Y <sub>min</sub> (mm)
½"	106	34	4x	506
¾"	119	34	3x	433
1"	143	38	3x	509

Bu Çizelgeden Y uzunluğunun en az 509 olması gerektiği görülmektedir. Minimum X uzunluğunun tespiti için 1¼", 1½", 2" malzemeler incelenip kum sıkışması göz önünde bulundurulduğunda, D<sub>min</sub> ve E<sub>min</sub> değerlerinin sırasıyla 12,5mm ve 8mm olduğu belirlenmiştir. P.Ö ise porti başı ölçüsüdür. Bu bilgiler ışığında aşağıdaki formül türetilmiş olup hesaplama sonuçları Çizelge 6'da yer almaktadır.

$$X.U_{min} = 2F + D + (k \times (a + P.Ö + D)) + (E \times (k - 1)) \quad (5)$$

Çizelge 6. Büyük malzemeler için minimum "X" uzunluğu (Minimum "X" length for larger products)

Ölçü	X Maça Uzunluğu (a + P.Ö + D)	2F(C)+D	Seçilen "k" Değeri	X <sub>min</sub> (mm)
1¼"	84	40	4x	400
1½"	93	42	3x	337
2"	108	44	3x	384

Yapılan hesaplamalara göre büyük malzemeler için gerekli olan Minimum X uzunluğu 400mm olması gerektiği belirlenmiştir. Küçük malzemeler için ise aşağıdaki denklem geliştirilmiştir. 1/2", 3/4" ve 1" boru bağlantı elemanları için Çizelge 7'de 403 mm ideal ölçü olarak hesaplanmıştır.

$$X.U_{min} = 2C + (k \times G) + (E \times (k - 1)) \quad (6)$$

Çizelge 7. Küçük malzemeler için minimum "X" uzunluğu (Minimum "X" length for small products)

Ölçü	G <sub>min</sub>	2C+A	Seçilen "k" Değeri	X <sub>min</sub>
½"	106	34	4x	364
¾"	119	34	3x	403
1"	143	38	2x	330

Yapılan bu denklemler diğer malzemelere uygulanmış olup 520x400'lük derece yerleşim hesabı, malzeme sayısını iki kat artırmıştır. Böylece türetilen formüller ve standartlara uygun olarak yeniden tasarlanan modeller üretim hattına uygulanmış olmaktadır. Uygulama sonucunda ortaya çıkan veriler, optimizasyon çalışmasının ve

uygulanan metotların değerlendirilmesi için önceki yılların üretim miktarlarıyla karşılaştırılmıştır.

### 3. SONUÇ, DEĞERLENDİRME ve TARTIŞMA (RESULT, ASSESSMENT and DISCUSSION)

Yürütülen bu çalışma sonucunda elde edilen formlerin kullanılmasıyla, tasarım denemelerinde 520x400'lük bir derecelere iki kat ürün yerleştirmek mümkün olmuştur. Şekil 4'te gösterildiği gibi düzenleme yapıldığında 1/2" dirsek için 400x300 ve 520x400 model yerleşimlerinde parça sayısının 24 adetten 48adete çıkacağı sonucuna varılmıştır.

Yeni tasarımlar ve elde edilen formler kullanılarak yapılan optimizasyon çalışması sonucunda elde edilen veriler Çizelge 8'de yer almaktadır. Bu Çizelgeye göre yeni tasarım ürünler kullanılarak ağırlıkta ortalama %12

sakat oranı ise %13,3'ten %7'ye gerilemiştir. Yıllık hurda malzeme ağırlığı 246,660 kg' dan 188,496 kg'a düşürülerek toplamda 58,164 ton ağırlığında 204,802 adet ürünün geri kazanımı sağlanmıştır

Yapılan bu çalışma ile malzeme, elektrik ve işçilik giderleri göz önüne alındığında, yıllık ortalama 300,000 TL kar sağlanmıştır. TÜBİTAK patent desteğine yapılan 2013/00806 numaralı başvuru Rusya'da onaylanıp kabul edilerek bu matematiksel model ve tasarım, "Fittings malzemeler için derece modeli" adı altında telif hakları ile koruma altına alınmıştır.

### TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Yazarlar, bu çalışmadaki üretim iyileştirme sürecinde; Konak Rakor firması çalışanlarına yapmış oldukları katkıları için ve Prof. Dr. Resul Fettahov'a patent desteği

**Çizelge 9.** Yıllık üretilen ürünlerin birim ürün ağırlık oranı (Table.9: Rate of product weights which are manufactured annually)

Üretim Tarihleri	Yıllık Döküm (kg)	Ortalama Yıllık Üretim (Adet)	Ortalama Yıllık Üretim (kg)	Ürün Başına Malzeme Ağırlığı (kg)
2012-15	517,487	978,766	278,271	0,284
2009-12	517,770	982,580	312,278	0,317

**Çizelge 10.** 2009-12 Yılları arası 400x300 ve 2013-16 yılları arası 520x400'lük yeni derece için hurda ürün dağılımı (Table.10: Scrap rates for 400x300 flasks and new 520x400 flasks between 2009-2012 and between 2013-2016 respectively)

Yıllar	Döküm Miktarı (kg)	Yolluk Oranı	Sakat Oranı	Toplam Hurda Ürün	Toplam Hurda Miktarı (kg)
2009	33,840	%40,2	%13,5	%53,7	18,172
2010	41,400	%39,5	%13,4	%52,9	21,900
2011	42,560	%38,8	%14,2	%53	22,556
2012	40,320	%39,5	%12,3	%51,8	20,885
(2009-2012)	39,530	%39,5	%13,3	%52,8	20,555
2013-1	46,185	%33,2	%10,5	%43,7	20,182
2013-2	44,100	%29,6	%9,8	%39,4	17,375
2014-1	44,580	%28,5	%9,6	%38,1	16,984
2014-2	44,600	%28,2	%8,8	%37	16,502
2015-1	44,000	%27,3	%8,4	%35,7	15,708
2015-2	45,500	%26,7	%8,1	%34,8	15,834
2016-1	44,000	%26,4	%7	%33,4	14,696

tasarruf sağlanmıştır.

TS EN 10242'ye göre yeni modellerin tamamından Çizelge 9'da gösterildiği üzere malzeme ağırlığında %12 kazanç sağlanmıştır. Döküm hattı üretim raporları 2009-2012 arası yılları arasında 300x400 derece için, 520x400 derece için ise 2013-2016 arası olmak üzere 6'şar aylık iki kısım halinde Çizelge 10'da gösterilmiştir.

Geliştirilen yeni derece sisteminin 7 dönemlik üretim iyileştirme planı ile ortalama hurda ürün miktarı 20,555 kg'dan 14,696 kg'a düşürülmüştür. Bununla birlikte ürünlerin ortalama ağırlığı standart ölçüler korunarak 0,317 kg'dan 0,284 kg'a azaltılmıştır. Hurda üründen %29 ve malzeme ağırlığından %11 kazanç sağlanmıştır. Ürünlerin yolluk oranı ortalama %39,5'den %26,4'e,

çalışmalarından dolayı müteşekkirdirler.

### KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Kor J., Chen X., Sun Z. and Hu H., "Casting design through multi-objective optimization", **18th World Congress The International Federation of Automatic Control**, Milano, (2011).
2. Birican H. ve Gedik H. , "Tekstil sektöründe istatistiksel proses kontrol teknikleri uygulaması üzerine bir deneme", *C.Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 4: (2003).

3. Erden M.,“6 Sigma yönteminin denim pantolon üretiminde kullanılması üzerine bir araştırma”, *Yüksek Lisans Tezi*, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, (2011).
4. Erdiller A. ve Orbak A. Y., “Otomotiv yan sanayinde altı sigma araçlarının kullanımı ve uygulama örneği”, *V. Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu*, İstanbul Ticaret Üniversitesi, (2005).
5. Güner M., Akman Ü. ve Yücel Ö., “Erkek gömleği üretim sürecinin altı sigma yöntemiyle iyileştirilmesi”, *Tekstil ve Konfeksiyon*, 1: 75-82, (2010).
6. Atalay O. ve Kılıç Ö., “balık kılıcı yöntemi ile mobil vinç kazası olası nedenlerinin incelenmesi”, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 30: 73-78, (2015).
7. Kumar S. , Kumar P. And Shan H. S., “Optimization of tensile properties of evaporative pattern casting process through taguchi’s method”, *Journal of MaterialsProcessing Technology*, 204: 59-69, (2008).
8. Syrcos. G. P., “Die casting process optimization using taguchi methods”, *Journal of MeterialsProcessingTechnology*, 135(1): 68-74, (2003).
9. Nimbalkar S. L. and Dalu R. S. “Design optimization of gatingand feeding system through simulation technique for sand casting of wear plate”, *Perspectives in Science*, 1: (2016).





# POLİTEKNİK DERGİSİ

## JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://www.politeknik.gazi.edu.tr/index.php/PLT/index>

## Pediatric hastalarda ontoloji tabanlı mobil ateş takip ve konsültasyon sisteminin geliştirilmesi

### *Developing ontology-based mobile fever monitoring and consultation system for pediatric patients*

*Yazar(lar) (Author(s)):* Duygu ÇELİK ERTUĞRUL, Pelin HÜRCAN ALPAY

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz:** Çelik Ertuğrul D. ve Hürcan Alpay P., “Pediatric hastalarda ontoloji tabanlı mobil ateş takip ve konsültasyon sisteminin geliştirilmesi”, *Politeknik Dergisi*, 20(3): 543-556, (2017).

**To cite this article:** Çelik Ertuğrul D. and Hürcan Alpay P., “Developing ontology-based mobile fever monitoring and consultation system for pediatric patients”, *Journal of Polytechnic*, 20(3): 543-556, (2017).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://www.politeknik.gazi.edu.tr/index.php/PLT/issue/archive>

**DOI:** [10.2339/politeknik.339362](https://doi.org/10.2339/politeknik.339362)

# Pediatric Hastalarda Ontoloji Tabanlı Mobil Ateş Takip ve Konsültasyon Sisteminin Geliştirilmesi

Duygu ÇELİK ERTUĞRUL<sup>1\*</sup>, Pelin HÜRÇAN ALPAY<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Doğu Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Gazimağusa, KKTC

<sup>2</sup>İstanbul Aydın Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul, TÜRKİYE

(Geliş/Received : 05.06.2016 ; Kabul/Accepted : 02.11.2016)

## ÖZ

Akut Solunum Yolu Enfeksiyonu (ASYE) çocukluk çağında sıkça görülen bir hastalık grubudur. Bu makalede, Ontoloji Tabanlı Pediatric Hastalarda Mobil Ateş Takip ve Destek Sistemi (mPCMS) önerilmiştir. Sistemin ilk amacı uzaktan konsültasyona olanak sağlamaktır. Diğer deyişle, mobile uyarlanmış bazı medikal aparatlar yardımıyla, çocuk hastalardan ev ortamında bazı anlık medikal veriler toplayarak, kayıtlı doktoruyla paylaşmaktır. İkinci amaç ise, evde çocuk hasta bakım süreçlerinde ebeveynlere yardımcı olmaktır. Sistem, hastanın anlık medikal verilerine göre, ev ortamında uygulanmak üzere tedavi destek amaçlı bazı tıbbi adımlar önermektedir. Bunu yapmak için, sistem, yapay zekâ tabanlı medikal çıkarsama kuralları çalıştıran ontoloji anlam bilgi tabanı içermektedir. Sistemin kural tabanında uzman doktorlarla hazırlanan çocuk hastalıklarının seyrini işaret eden yaklaşık 61 farklı Case (Durum) tanımlanmıştır. Her durum altında farklı sayıda Tedavi Destek Önermeleri (Suggestions) tanımlanmış olup, ebeveynler için en uygun tıbbi adımların önerilmesi, özellikle çocuk hasta vücut sıcaklığının ev ortamında kontrol altında tutulması hedeflenmiştir. Önerilen mPCMS sistemi, ev, yurt, kreş, hastane, klinik ya da okul ortamındaki çocuklarda ateşli hastalıkların gözlemlenmesi ve bakımı süreçlerinde ilgili kişilere destek sağlamak amacıyla da kullanılabilir.

**Anahtar Kelimeler:** Pediatric hastalıklar ontolojisi, semantik web, Web 3.0, mobil konsültasyon ve hasta takip sistemleri, mobil ortamdaki acil durum medikal destek önerme sistemi.

# Developing Ontology-Based Mobile Fever Monitoring and Consultation System for Pediatric Patients

## ABSTRACT

Acute Respiratory Infection (ARI) are the most common disease group in childhood. In this article, Ontology based Mobile Pediatric Consultation and Monitoring System (mPCMS) is suggested. The first objective of the system is to allow remote consultation. In other words, system provides to gather instant medical data from child patients by using certain add-on mobile medical apparatuses and then share them with its registered doctor at home. The second aim is to help parents in the healthcare steps at home. System suggests certain appropriate medical steps according to the instant medical conditions of the child patient to be applied at home. To do this, the system has its own ontology knowledge base that includes artificial intelligence based medical inferencing rules. The rule base of system's inferencing mechanism are prepared by pediatricians the course of pediatrics that are indicated about 61 different Durum (Case). Each case are determined with various Medical Suggestions to advise appropriate medical steps for keeping the fever under control at the moment by parents at home. Finally, such a mobile pediatric consultation and monitoring system can be extensively used in dormitory, nursery, and hospital or school environment.

**Keywords:** Pediatric disease ontology, semantic web, Web 3.0, mobile consultation and patient monitoring systems, mobile medical support suggestion system for immediate response.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Mobile Health (mHealth) alanında teknolojik çözümlerin kullanılmasıyla birlikte sağlık alanında hastaların refah seviyeleri artmış ve sağlık hizmetlerindeki süreçler kolaylaşmıştır. Özellikle, verilerin anlaşılabilirliği ve makine öğrenmesi gibi yaklaşımlarla, sağlık risk grubundaki bireylerin veya hastaların şikâyetlerine yönelik medikal verilerin toplanması ve makineler tarafından değerlendirilmesi hakkında çeşitli çalışmalar yürütülmektedir [1-2].

Günümüzde, yetişkinlere göre bağışıklık sistemi daha az gelişmiş olan çocuk grubundaki hastaların, anlık olarak medikal verilerinin toplanması ve uzaktan hasta takip süreçlerini mobil sistemler yoluyla yürütülmesi önemli bir teknolojik katkıdır. Dolayısıyla, ebeveynler çocuklarının hastalık dönemlerinde yapmaları gereken yardımcı medikal adımları en doğru şekilde yapabilmek ve daha bilinçli bir şekilde bu dönemi atlatabilmeyi arzulamaktadırlar. Çocukluk döneminde görülen soğuk algınlığı, grip, bademcik iltihabı, orta kulak enfeksiyonu, otit vb. alt ve üst solunum yolu enfeksiyonları günümüzde sıkça görülen pediatrik hastalıklardır. İstatistiklere bakıldığında, Türkiye İstatistik Kurumu'nun, 2014 yılı Türkiye Sağlık

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: duygucecelik@msn.com

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/politeknik.339362

Araştırması verilerine<sup>1</sup> göre, özellikle 0-6 yaş grubundaki çocuklarda en çok görülen hastalık türleri incelendiğinde; %41,9 ile üst solunum yolu enfeksiyonu ilk sırada yer almıştır. Bunu sırasıyla; %33,2 ile ishal, %10,8 ile kansızlık, %10,1 ile alt solunum yolu enfeksiyonu ve %9,3 ile ağız ve diş sağlığı sorunları izlemiştir. Çocukların bu hastalık dönemlerinde, vital değerlerinin anlık olarak takibini yapmak, kontrol altında tutmak ve ayrıca hastanın doktoru ile uzaktan konsültasyon yürütmek için bu verileri anlık olarak paylaşmak önemli bir katkı sağlayacaktır. Dolayısıyla, çocukların ateşli hastalık döneminde, tüm ailenin mevcut yaşam kalitesinin daha üst seviyelere çıkarılması, ayrıca ebeveynlerin bu dönemde yaşamış oldukları endişe ve anksiyetenin azaltılması elzem bir ihtiyaçtır. Bu nedenle, çocukların ateşli hastalık döneminde, hem ebeveynlerin hem de kayıtlı doktorunun kullanabileceği, güçlü bilgi yönetim teknolojileri ile desteklenmiş, akıllı medikal sistemlere ihtiyaç artmıştır. Bu tür akıllı medikal sistemler, bilgi tabanına dayalı olan diğer e-sağlık hizmetlerine veya araçlarına entegre olabilecek yapıda olmalı ve böylece; aralarında bilgi paylaşımını sağlayabilecek nitelikte tasarlanmalıdır.

Anlamsal Web (Semantic Web —SW) [3] diğer adıyla Web 3.0 teknolojisi, mevcut Web yapısının bir uzantısı olarak ortaya atılmış ve bilginin düzgün tanımlanmış bir anlama sahip olduğu ve insanlar ile bilgisayarların beraber çalışabildikleri yeni bir Web teknolojisidir. Diğer deyişle, Web içeriklerinin sadece doğal dillerde değil, aynı zamanda ilgili yazılımlar tarafından anlaşılabilir, yorumlanabilir ve kullanılabilir bir biçimde ifade edilebileceği, böylece bu yazılımların veriyi anlamsal tabanda aramasını, paylaşmasını ve bilgiyi birleştirmesini sağlayabilen bir Web teknolojisidir.

Semantik Web teknolojisinin en büyük katkısı; Web Ontology Language (OWL) [4] dili kullanılarak belirli bir problem uzayındaki kavramları, terimleri ve ilgili bağlantıları; Ontoloji (Ontology) [5] bilgi tabanı biçimde ifade edilmesine olanak sağlamasıdır. Böylece ontolojiler sayesinde, dağıtık bilgi sistemlerindeki heterojen bilginin uyumunu sağlamak mümkün olabilecektir.

İlaveten, Semantik Web teknolojisi günümüzde birçok farklı alanlara ve sistemlere uyarlanacağı gibi kişisel sağlık sistemlerine ve e-sağlık araçlarına entegre edilebilir bir teknolojidir. OWL kullanılarak, geliştirilen medikal tabanlı ontolojiler sayesinde, heterojen yapıdaki kişisel sağlık Web süreçleri, mHealth destekli hizmet ve araçlar arasında bilgi aktarımının sağlanması mümkündür. Örneğin, bir medikal ontoloji bilgi tabanında; çocuk hastalarda sıklıkla tekrarlayan üst ve alt solunum yolu enfeksiyonları, hastaların görüntü özellikleri, gözlemlenen semptomlar/bulgular gibi anamlandırılmış (semantik) bilgiler (kavramlar, özellikler, ilişkiler, kısıtlamalar vb. veriler) ilişkilendirilebilir. Dolayısıyla, bu tür anlam bilgi tabanları makineler tarafından okunabilir, anlaşılabilir

ve gelecek semptomların veya sonraki medikal sürecin çıkarsaması mümkün olabilir. Böylece, benzer yapıda yapay zekâ teknolojilerin kullanılmasıyla, hastaların veya ebeveynlerin mobil cihazlar üzerinden ihtiyaç duydukları anlık sağlık hizmetlerine veya medikal verilerine kolayca erişim sağlanabilir ve bu verilerin akıllı hizmetler ile yorumlanmasıyla, sağlık alanında önemli katkılar sağlanabilir [6], [7]. İlaveten, yapay zekâ mobil sağlık uygulamaları, doktor ve hasta arasında uzaktan konsültasyon için olanak sağlayabilmektedir [8].

Günümüz mHealth sistemleri, gelecek doktor randevusunu belirlerken, mevcut sağlık verilerine erişirken (tıbbi kararlar, laboratuvar sonuçları, sağlık dokümanlarına vb. bilgilere) kullanıcılara büyük kolaylık sağlanabilmektedir. Özellikle, yapay zekâ tabanlı mHealth sistemlerin geliştirilmesi ve kullanılması ile birlikte, bu avantajların daha da artması ve sağlık süreçlerinde yaşanan sıkıntıların zamanla azaltılması beklenmektedir. Bu alanda yapılan çalışmalardan biri, TÜBİTAK (Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu) tarafından 2014 yılında desteklenen yapay zekâ tabanlı mobil hasta-doktor konsültasyon sistemi olan; Ontoloji Tabanlı Pediatrik Hastalarda Mobil Ateş Takip ve Destek Sistemi (mPCMS) isimli araştırma projesidir. Ebeveynler, sistemin mobil uygulamasını mobil cihazlarına indirerek, sistemin mevcut Web ortamındaki pediatrik sağlık hizmetlerini çocukları için kullanabilecektir. Bu makalede, mPCMS' nin genel çalışma prensibi, geliştirilen sistemin mobil uygulaması, çocuk hastadan ebeveyni tarafından anlık olarak toplanan medikal verilerin yeni açılmış bir mobil muayene kartına işlenmesi anlatılmıştır.

Sistemin iki temel fonksiyonu vardır. Birinci temel fonksiyonu, uzaktan konsültasyonu desteklemek için, ebeveyn tarafından anlık toplanan medikal verilerin işlendiği mobil muayene kartının kayıtlı doktoru ile ev ortamından paylaşılmasıdır. İkinci temel fonksiyonu, hastanın anlık toplanan bu medikal verilerine göre, ebeveynin isteğine bağlı olarak, ev ortamında uygulanmak üzere bazı tedavi destek amaçlı tıbbi adımların sistem tarafından otomatik önerilmesidir. Mobil cihazlara uyarlanmış bazı medikal aparatlar yardımıyla sırayla toplanan ve veri tabanına anlık aktarılan medikal veriler; boğaz ve bademcik görüntüsü, kulak içi yüzey (kulak iltihap akıntısı) görüntüsü, çocuğun yüzünün genel görüntüsü veya video çekimi, anlık ateş verisi ve akciğer solunum sesleri vb. medikal verilerdir.

Proje konusu oldukça geniş kapsamlı olduğundan, bu makalede, sadece ebeveynler tarafından çocuk hastadan anlık toplanan medikal verilerin, sistemin yapay zekâ ontoloji bilgi tabanındaki medikal kurallar yoluyla işlenmesi ve önermelerin otomatik çıkarsaması anlatılmıştır. Makalenin gelecek bölümlerinde, bu önerme işlemini sağlayan ontoloji tabanlı çıkarsama mekanizması, kullanılan teknolojiler, çıkarsama sonuçlarının çekilmesi için kullanılan metotlar, örnek

<sup>1</sup> TUIK, [http://www.tuik.gov.tr/HbGetir.do?id=18854&tb\\_id=1](http://www.tuik.gov.tr/HbGetir.do?id=18854&tb_id=1)

çalışmalar ve elde edilen çıktılar hakkında bilgi verilmektedir. Makalenin geri kalanında; Bölüm 2’de problem tanımı ve ilgili uluslararası mobil sağlık projeleri anlatılırken; Bölüm 3’de sistemin geliştirilmesinde kullanılan materyal ve metotlar bölümü anlatılmaktadır. Bu bölümde, Pediatrik Hastalıklar Ontolojisi ve içinde tanımlanan medikal kullarlara bağlı çıkarım mekanizması detaylandırılmıştır. Bölüm 4’de sistemin mobil uygulaması üzerinden yürütülen bazı örnek vaka çalışmaları sunulmaktadır. Bölüm 5’de sonuçlara yer verilmektedir.

## 2. İLGİLİ MOBİL SAĞLIK SİSTEMLERİ (RELATED MOBILE HEALTH SYSTEMS)

Bu bölümde, mPCMS yapısına benzer mevcut uluslararası projelere, aralarındaki benzerliklere ve farklılıklara yer verilmiştir. Öncelikle, mPCMS, bir sağlık hizmeti olarak düşünülmüş ve kit halinde planlanmıştır. Kit içerisinde: medikal aparatlar, kullanım kılavuzu, mobil sisteme giriş bilgileri vb. parçalardan oluşmaktadır. Ebeveynler, mPCMS’nin mobil uygulamasını indirerek ev ortamında hasta çocuğu için bir defalığına yeni çocuk kaydı açabilmekte ve o kayıtlı çocuğu için her seferinde yeni bir muayene kartı açabilmektedirler. Bu muayene kartı üzerinden; boğaz yolu/bademcik görüntüleri, kulak içi kısımlarının yüzeysel bölüm görüntüleri (iltihap veya akıntı gözlemlenmek için), o an çocuğun yüzünün genel görüntüsü veya video görüntüleri, hasta sırtından altı farklı noktadan akciğer ses kayıtları, en son vücut sıcaklık verileri, anlık gözlemlenen semptomlar vb. veriler mobil cihazlara takılabilen bazı medikal aparatlar yoluyla sırasıyla toplanıp mobil muayene kartına yüklenmektedirler. Mobile uyarlanmış bu medikal aparatlar; bir infrared dijital termometre, bir pediatrik otoskop başlık ve yine akıllı telefonlar ile uyumlu bir dijital stetoskoptur. Sistem, kayıtlı doktoruyla çevirimçi/çevirim dışı konsültasyon sağlamak amacıyla, ev ortamında ebeveyn tarafından açılan ve güncel medikal verileri içeren mobil muayene kartını, Wi-Fi yoluyla veri tabanından paylaşılabilir. Ayrıca, eğer ebeveyn isterse, bu verileri kullanarak, sistemin kural tabanı üzerinde analiz edebilir ve bazı tıbbi önermeler alabilir. Bu önermeler, ebeveynlere ev ortamında o anda uygulamaları gereken medikal adımlar hakkında yol gösterir ve bu hastalık döneminde acil durumları belirlemek için gereklidir. Aynı zamanda, ilgili doktora en kısa vakitte ulaşma ve acil hizmetlerine/hastaneye otomatik alarm verme, yakın hastaneleri/eczaneleri belirleme, yüksek ateş seyrinde soğuk uygulama/soğuk duş uygulaması vb. bilgilerin detaylarına kolay ulaşılmasına yol göstericidir.

Sistem, akıllı cihazlara takılabilen medikal aparatlar ya da donanımlar (mobil otoskop, dijital stetoskop ve kızıl ötesi ateş ölçer) ile anlamsal arama, anlamsal çıkarım teknikleri ile tasarlanmış ontoloji tabanlı bir mobil yazılımdır. Sistem, mobil uygulaması üzerinden ebeveynlere; doktorunuzdan bir randevu alınız, acil uzmana başvurunuz, anlık uzaktan bağlantı için doktorunuza

bağlanın, yüksek ateş durumunda ebeveynleri yönlendirme örneğin; soğuk uygulama metotları vb. önermeler sunmaktadır. Ayrıca, sistemden rapor almak, acil durumu gösteren belirtilerde alarm merkezine çağrı yapmak, hastanın iyileşme oranını izleme vb. fonksiyonlara da sahiptir.

mPCMS yapısına benzer uluslararası birkaç proje mevcuttur [9-21]. Bunlardan ilki, CellScope (diğer adıyla Remotoscope) projesidir [9], çocuklarda bulunan kulak enfeksiyonlarını uzaktan teşhis etmek için hekimlerin kullandığı aparat niteliğinde akıllı telefonlara takılabilen özel bir otoskop projesidir. Ebeveynlerin, akıllı telefonlarının mevcut kamera lensinin önüne kolayca takılabilen ve bir aparat olarak düşünülen, kulak içi görüntüsü göndererek uzaktan doktorların teşhis yapmalarını kolaylaştıran bir mobil sağlık projesidir.

**Çizelge 1.** mPCMS sisteminin diğer CellScope, ThermoDock ve StethoMic projeleri ile kıyaslanması (mPCMS system in comparison to CellScope, ThermoDock and StethoMic projects).

Mevcut Fonksiyonlar	mPCMS	CellScope [9]	StethoMic [10]	ThermoDock [21]
Muayene kartı yaratma	+	-	-	-
Mobil kamera ile boğaz/bademcik görüntüsü	+	-	-	-
Mobil otoskop ile kulak içi yüzey görüntüsü	+	+	-	-
Mobil kamera çocuğun yüzünün genel görüntüsü veya videosunun aktarımı	+	-	-	-
Mobil infrared aparat ile ateş ölçülmesi	+	-	-	+
Mobil dijital stetoskop aparat ile akciğer solunum sesi kayıt alınması	+	-	+	-
Kayıtlı doktoru ile anlık konsültasyon	+	-	-	-
Kayıtlı doktordan genel değerlendirme isteme	+	+	+	-
Kayıtlı doktor ile anlık mesajlaşma ortamı	+	-	-	-
Gözlemlenen semptomlar, son verilen ilaçlar ve zamanı, son ölçülen ateş, son medikal soğuk uygulama ve zamanı vb. verilerinin anlam kural tabanında çıkarılması ve medikal önermeler verilmesi	+	-	-	-

Diğer ise StethoMic [10] dijital stetoskop projesidir. Stetho Cloud ekibi tarafından geliştirilmiştir. StethoMic mobil cihazlara kolayca takılabilen düşük bütçeli bir dijital stetoskoptur. Akıllı telefonların JAK girişinden ayrı bir aparat olarak kolayca takılabilir. StethoMic’in mobil uygulaması Windows Phone, Android ve J2ME uyumlu telefonlarda çalışabilmektedir. Ayrıca IOS sürümü halen geliştirilme aşamasındadır. İlâveten Stetho Cloud, diğer dijital stetoskoplarda var olmayan yapay zekâ tarafı içerdiği 'Cloud Computing' özelliği ile akıllı olma gücünü taşımayı amaçlamaktadır. Mobile uyarlı veya Wi-Fi özellikli, StethoMic ile benzer bir yapı içeren, ayrıca hesaplama gücü kuvvetli olan yapay zekâ tabanlı çeşitli

dijital stetoskop projeleri halen yürütülmektedir [11]-[20]. Son benzer çalışma ise, ThermoDock mobil termometre projesidir [21]. ThermoDock, mobil cihazların soket girişine takılarak, mobil uygulaması üzerinden, kızıl ötesi çalışan bir sensor<sup>2</sup> yardımıyla, çocuğun alın bölgesinden 3 cm mesafeden tutularak okunan ateş verisini, mobil cihaza dijital olarak taşınmasını sağlar. Taşınan ateş verileri mobil uygulama üzerinde grafiksel, belli tarih aralıklarında sunularak, üçüncü kişileri ile paylaşımını sağlamaktadır. Fakat ThermoDock, ateş verilerinin analizini yapmamaktadır.

Çizelge 1’de mPCMS sisteminin, diğer CellScope, ThermoDock ve StethoMic projelerinden fonksiyonel farklılıkları sunulmuştur. Sistem, sadece mobil ortamdan kulak görüntüsü olarak veya sadece akciğerler seslerini paylaşarak veya sadece çocuklarda anlık ateş ölçümü toplayarak veri tabanına kayıt yapmakla kalmamaktadır.

Sonuç olarak, mPCMS, bir sağlık hizmeti olarak tasarlanmış, hastane/kliniklerden uzak bölgelerde yaşayan ebeveynlerin, çocuklarının hastalık döneminde yaşadıkları yüksek ateş bulgusunu kontrol altında tutmak için, bilhassa hastaneye yetişene kadar o an alınması gereken medikal adımlar çıkarsama yoluyla önerilebilmektedir. Kimi zaman bu medikal adım önermeleri ileride çocuklarda muhtemel bazı kalıcı rahatsızlıkların oluşmasının önüne geçebilir.

### 3. MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

Bu bölümde sistemin geliştirilmesinde kullanılan metot ve yazılım araçlarından bahsedilmiştir.

#### 3.1. Sistem Ontoloji Bilgi Tabanı (Ontology Knowledgebase of the System)

Sistemin ontolojisi, solunum yolu enfeksiyon türlerine neden olan çeşitli hastalıkların; kavramları, özellik tanımları, kavramlar arası ilişkiler, ilgili veriler vb. gibi tanımların OWL dilinde kodlanmasıyla oluşturulmuştur. Kişilerin profil bilgileri, hastalık tanımları, medikal tedavi tanımları ve hastalıkta gözlemlenen semptomlar vb. tanımlar ontolojiye birer kavram halinde girer ve bu kavramlar arası ilişkiler bağları tanımlamaktadır. Sistemin ontolojisi, Protégé editör<sup>3</sup> [22] kullanılarak W3C standardı olan OWL yapısında geliştirilmiştir.

Sistem ontolojisinin geliştirilmesinin amacı, çocukta gözlemlenen vücut sıcaklığının seyri, hastalık türü, önceden verilen ilaç tedavisi, ilaç etkileşim zamanı ve gözlemlenen semptomlar vb. bilgilere göre Semantik Web Kural Tabanı sayesinde ebeveynlere Tedavi Destek Amaçlı Medikal Önermeler sunabilmektedir. Ontoloji oluşturulurken, OWL dilinin, owl:class, rdfs:subClassOf, owl:DatatypeProperty, owl:ObjectProperty, owl: Individual vb. anlamsal etiketleri kullanılmıştır.

Şu anda, sadece alt ve üst solunum yoluna bağlı enfeksiyon ve ateşli hastalıklar ile sınırlıdır, ve zaman içerisinde ontoloji mühendisleri tarafından Pediatrik Hastalıklar Ontolojisi daha çok geliştirilebilir.

Çizelge 2. Pediatrik Hastalıklar Ontolojisi Bilgi Tabanından Kesit (A portion of Pediatric Diseases Ontology Knowledgebase).

Kavram/Sınıflar	Öneri Adı	Öneri ID
Thing→Öneri→ Öneri Adı	Oda sıcaklığını ayarlayınız	SG 6
Thing→ Öneri → Öneri ID	Çocuğun elbiselerini çıkarınız ve çıplak tutunuz.	SG 7
	Ilık su pansuman uygulayınız	SG 8
	Doktor verdiği ateş düşürücü ilacı veriniz	SG 9
	Ilık duş uygulayınız	SG 10
	24 saat ateş takibi yapınız	SG 11
	Yarım saat sonra tekrar ateş ölçünüz	SG 12
	Bir saat sonra tekrar ateş ölçünüz	SG 13
	Bir buçuk saat sonra tekrar ateş ölçünüz	SG 14
	İki saat sonra tekrar ateş ölçünüz	SG 15
	Üç saat sonra tekrar ateş ölçünüz	SG 16
	Dört saat sonra tekrar ateş ölçünüz	SG 17
	Altı saat sonra tekrar ateş ölçünüz	SG 18
	Çocuğu hastaneye götürünüz	SG 19
	Sistem alarm tanımlar ve acil çağrı yapmaktadır	SG 20
	Çocuğunuzun ateşi normaldir	SG 21
	Ateş etkisi geçtiğinde tekrar ölçün	SG 22
	Ateş düşmeye başlamıştır	SG 41
	Herhangi bir öneri tanımlanamadı	SG 61
	Öneriler tamamlandı	SG 99

<sup>2</sup> MLX90615: Infrared Thermometer Sensor, <http://www.melexis.com/Infrared-Thermometer-Sensors/Infrared-Thermometer-Sensors/MLX90615-685.aspx>

<sup>3</sup> Protégé Editor, Stanford University. <http://protege.stanford.edu/>

<b>Thing→Bulgu→ Bulgu Adı</b>	<b>Bulgu Adı</b>	<b>Bulgu Türü</b>	<b>Bulgu ID</b>
<b>Thing→ Bulgu → Bulgu ID</b>	Baş ağrısı	Local	SY21
<b>Thing→ Bulgu → Bulgu Türü</b>	Burun akıntısı	Local	SY22
	Burun tıkanıklığı	Local	SY23
	Öksürük	Local	SY24
	Hapşırma	Local	SY25
	Ses kısıklığı	Local	SY26
	Boğaz ağrısı	Local	SY27
	Göz Kızarıklık, Sulu göz ve Göz	Local	SY28
	deşarjı	Local	SY29
	Anoreksi	Minor	SY30
	Halsizlik	Minor	SY31
	Kas ağrısı	Minor	SY32
	Eklemlerde ağrı	Majör	SY33
	Eklemlerde şişlik	Majör	SY34
	Şiddetli kusma	Minor	SY35
	Normal kusma	Majör	SY36
	İsilik	Majör	SY37
	Sarılık		
	<b>Case</b>	<b>Has Case Suggestion ID</b>	<b>(Durum Önerme ID)</b>
<b>Thing→ Case (Durum)</b>	Case 1	SG13, SG21	
	Case 2	SG06, SG07, SG12	
	Case 3	SG06, SG07, SG08, SG12	
	Case 4	SG06, SG07, SG08, SG09, SG13	
	Case 5	SG07, SG20	
	Case 6	SG07, SG09, SG20	
	Case 7	SG13, SG21	
	.	.	
	.	.	
	.	.	
	Case 61	SG09, SG20	

Kısacası, diğer hastalıklara ait uygulanan tedaviler, tedavi sonuçları, gözlemlenen bulgular, ilaç etkileşimleri vb. ilgili veya bağıntılı tanımlamalar ontolojiye ilave edilerek genişletilebilir.

Çizelge 2' de, Pediatrik Hastalıklar Ontolojisinin OWL 2.0 formundaki güncel halinden bir kesit sunulmuştur. Pediatrik Hastalıklar Ontolojisi'nin yapısında 10 temel sınıf, 10 alt sınıf, 13 nesne türünde özellik ve 9 alt nesne türünde özellik, 6 veri türü özelliği, yaklaşık 160 veri ögesi (individual) ve 61 SWRL tabanlı medikal kural seti içermektedir. Sistem Pediatrik Hastalıklar Ontolojisi, Biportal'da açık kaynak olarak yayınlanmış olan ve evrensel bir araştırma projesi olan PEDTERM v2.0<sup>4</sup> adlı çocuk hastalıkları ontolojisinden esinlenerek üretilmiştir. PEDTERM ontolojisi, 21 yaşından küçük çocukların sağlığı ve gelişimi ile ilgili bilgileri ve ilgili kavramları içeren ve ayrıca Çocuk Sağlığı ve İnsan Gelişimi Ulusal Enstitüsü tarafından katkıda bulunarak geliştirilen bir ontolojidir.

Sistemin ontolojisi 'Thing' sınıfı ile başlamış ve 'Child', 'Symptom', , 'Case', 'Suggestion', 'User', vb. gibi çeşitli alt sınıflara ayrılmıştır. Bu sınıflarda kendi aralarında alt sınıflarlar, çeşitli özellik tanımları ve birçok veri öğeleri içermektedirler. Çocuk profil özellikleri, ateş, lokasyon, öneri ve gözlemlenen bulgular vb. kavramlar arasında;

'Suggestion Name', 'Symptom Name', 'Disease Name', 'Child ID', 'Measure Step', 'Fever', veya 'Location' vb. çeşitli anlamsal bağıntılar bulunmaktadır (Çizelge 2).

Ontoloji içindeki 'Symptom Name' kavramı çeşitli veri öğelerini (individuals) içermektedir. Örneğin; 'Sore Throat Ache', 'Fever', 'Sneezing Besides Coughing', 'Discharge', ve 'Headache' vb. Ayrıca, 'has age value', 'has temperature', 'has drug time', 'has last suggestion id', 'has measure step' vb. gibi özellikler kavramlar arası ilişkileri kurmak ve veri öğelerini yorumlamak için yaratılmıştır.

Pediatrik Hastalıklar Ontolojisi'nin güncel sürümünde, çocuklarda virüsler veya bakterilerin neden olduğu alt ve üst solunum yolu hastalıklarında yaygın olarak görülen 17 farklı Bulgu (Symptoms) ele alınmıştır. Bu 17 farklı bulgu; Major, Lokal ve Minör olarak üçe gruba ayrılmıştır. Yaygın olarak bilinen bu bulgular: 9 lokal, 4 minör ve 4 majör olarak tasarlanmıştır. Bu bulgu tanımlarının sayısı, ontoloji içinde önceden tanımlanmış 'has minor symptom count', 'has local symptom count', ve 'has major symptom count' OWL obje türü özelliği ile ilişkilendirilmektedir. Çıkarılma fonksiyonu tetiklendiğinde, çocukta o anda gözlemlenen kulak akıntısı, yüksek ateş, hapşırık, öksürük, burun akıntısı, boğaz ağrısı, göz akıntısı vb. gibi medikal bulguların

<sup>4</sup> PEDTERM, <http://biportal.bioontology.org/ontologies/PEDTERM>



toplam sayısı önemlidir. Kısacası; sistem, anlık minör, lokal ve majör bulguların sayılarının toplamını dikkate alarak kural tabanını çalıştırır ve önermelerini oluşturur.

Sistem ontolojisi içinde geliştirilen medikal kurallar (Semantik Web Kural Tabanı), W3C standardı olan Semantik Web Kural Dili (Semantic Web Rule Language — SWRL) [23] ile Protégé editörünün SWRL tabı altında geliştirilmiştir.

### 3.2.SWRL Dili ile Medikal Kural Tabanının Oluşturulması (Generating Medical Rule Base by SWRL)

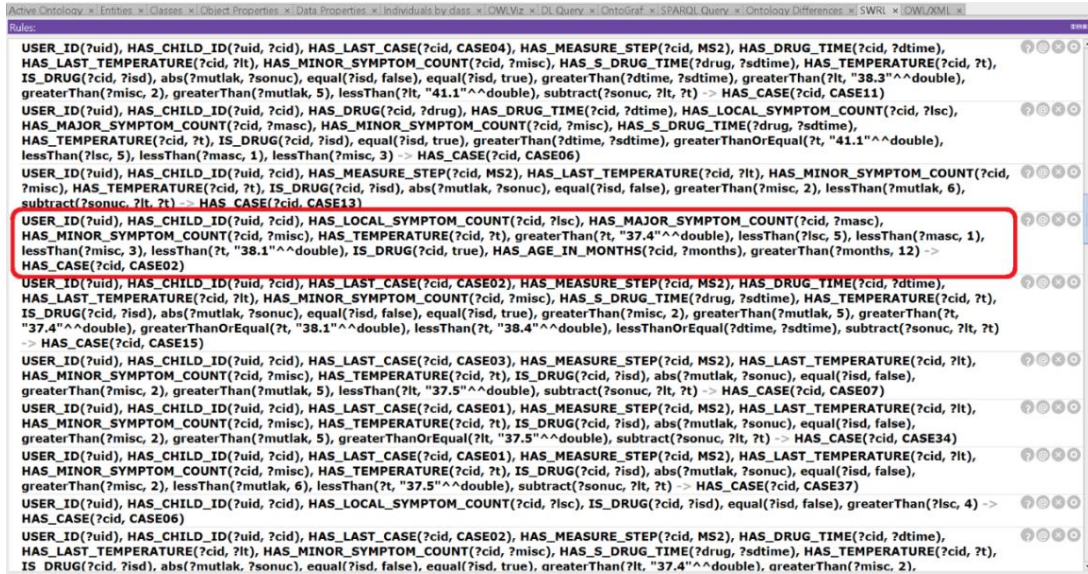
Semantik Web Kural Dili (Semantic Web Rule Language — SWRL) [23] OWL teknolojisi üzerine

(Gövde/Öncül) ve, ‘ $\Rightarrow$ ’ sembolünden sonra yine mantıksal bağlaçlarla birleştirilmiş Consequent (Baş/Kural Sonucu) içermektedir. Aslında bu kurallar daha çok 'If-Then (Eğer-İse)' mantığını içermektedirler. Örneğin, aşağıdaki gibi bir kural, Eq. 1;

$$A (?x) \wedge B (?x) \Rightarrow C (?x) \quad (1)$$

'Eğer x değişkeni A sınıftan ise ve eğer x değişkeni B sınıftan ise  $\Rightarrow$  x değişkeni ayrıca C sınıfındandır' anlamına gelmektedir. Yukarıdaki örnekte, Antecedent (Gövde/Öncül) kısmında pozitif bağlaçlar taşımaktadır. Diğer bir deyişle, atomların birleşimini içermektedir;

$$\text{atom} \wedge \text{atom} \dots \rightarrow \text{atom} \wedge \text{atom} \dots$$



Şekil 1. Sistemin Semantik Web Medikal Kural Tabanı (Semantic Web Medical Rule Base of the System)

temellendirilmiş, tümden gelim özelliğine sahip güçlü bir kural tanımlama dilidir. SWRL kuralları atomlardan oluşup her bir atom: OWL sınıflarından (OWL classes), OWL özelliklerinden (OWL object, annotation ve datatype properties), OWL veri öğelerinden (OWL individuals) vb. yapıları içermektedir. Geliştirilen SWRL tabanlı kurallar, sistem ontolojisinin bir parçası olarak yerleşiktir. Sistemin Web servislerinde konuşlanan bir Java tabanlı bir çıkarsama yazılımı üzerinde kurallarla birlikte veri öğeleri yürütülür. Çıkarsama yazılımları mevcut OWL tabanlı çıkarsama kütüphaneleri ile geliştirilmektedir, bazıları; Pellet [24], Fact++, RacerPro. Geliştirilen sistemin çıkarsama servislerinde, Stanford Üniversitesinin geliştirmiş olduğu Pellet API Java kütüphanesi kullanılmıştır. Böylece, çıkarsama esnasında, ontolojiye atanmış hastaya ait veriler (individuals), SWRL kuralları üzerinde yürütülerek medikal önermelerin çıkarsaması sağlanabilmektedir.

Sistemin kurallarını anlatmaya başlamadan önce; kısaca SWRL kural yapısını anlamak gerekir daha sonra sistemin SWRL tabanlı çıkarsama mekanizmasının detayları sunulacaktır. SWRL yapısında ‘ $\Rightarrow$ ’ sembolü kullanılmaktadır ve; ‘ $\Rightarrow$ ’ sembolünden önce mantıksal bağlaçlarla birleştirilmiş bir Antecedent

Bir atom, Yükleme (Predicate) sembolü içerebilir, örneğin P diye ifade edelim. Ayrıca, bazı parametreler içerebilir, örneğin; par1, par2, ... parn. Yükleme sembolü olan P: OWL sınıflarını, nesne özelliklerini veya veri öğelerini (OWL individuals) temsil edebilir.

P bazı parametreler içerebilir; veri öğeleri veya değişkenler: P(par1, par2, ... parn). Örneğin;

$$\text{has\_temperature} (?cid, ?t) \square \text{greaterThan} (?t, 37.6)$$

Buradaki ‘?cid’, çocuk hastanın kimlik numarasına işaret etmektedir ve ontolojideki ‘CHILD\_ID’ sınıfına ait olduğunu ifade etmektedir.

Ayrıca, ‘?t’, aynı has temperature ifadesi içindeki xsd:double sınıfına ait başka bir öge olduğunu ifade etmektedir. Burada ‘?t’, çocuğun ölçülen son vücut sıcaklığı verisini taşıyacak olan bir değişkendir. Aynı zamanda, greaterThan yapısı ise iki parametre almaktadır. Yukarıdaki örnekte, ilk parametre olan ‘?t’ değişkeni mobilden girilen ateş verisini tutmaktadır ve o değer ikinci parametre ile kıyaslanacaktır. Örnekte, ‘?t’ değişkeninin taşıdığı çocuk ateş değeri, greaterThan yapısı içinde kullanılan ikinci parametre ‘37.6’ değeri ile kıyaslanmaktadır. Eğer daha büyük ise TRUE döndürecek ve aradaki mantıksal ‘VE’ bağlacı doğrulanmış olacaktır. Ayrıca, sistemde tanımlanan

SWRL kuralları çocukta gözlemlenen bulguların sayısına göre medikal önermelerini yapmaktadır. Önceki bölümde bahsettiğimiz gibi, gözlemlenen bulguların sayısı, ontoloji içinde önceden tanımlanmış olan 'has minor symptom count', 'has local symptom count', ve 'has major symptom count' obje özellikleri ile ilişkilendirilmiştir. SWRL ile geliştirilen kural tabanı, Protégé editör görseli Şekil 1'de sunulmuştur. Sistemin, kural tabanındaki hemen hemen her kuralda; çocuk hastadan ölçülen:

- Son vücut sıcaklık verisi (has temperature) özelliği,
- Muayene esnasında çocukta gözlemlenen lokal, majör ve minör bulguların sayıları ('has minor symptom count', 'has local symptom count', ve 'has major symptom count') özelliği,
- Yakın zamanda verilen ilaçlar ve verilme zamanı (has drug ve has drug time) özelliği,

—Yakın zamanda yapılan herhangi bir tıbbi soğuk uygulamanın varlığı (is shower özelliği) gibi verilerde değerlendirilmiştir;

⇒ 61 farklı Case (Durum) tanımlarından sadece biri çıkarsama sonucu olarak seçilmektedir.

EK A'da sadece birkaç Case (Durum) kuralın yapısını gösteren akış diyagramı sunulmuştur. Her Case (Durum) kendi altında bir veya birden fazla Önerme ID (Suggestion ID) tanımları bulunmaktadır.

Çizelge 2'de OWL yapısında bazı Case (Durum) tanımlarının bağlı olduğu önerme numaraları sunulmuştur.

Şekil 2'de Protégé ara yüzünde sağ üst köşede, yukarıdaki 'Susanne Brown' (44937141788) adlı bir çocuk vakası için, medikal girdi verileri mobil uygulamadan

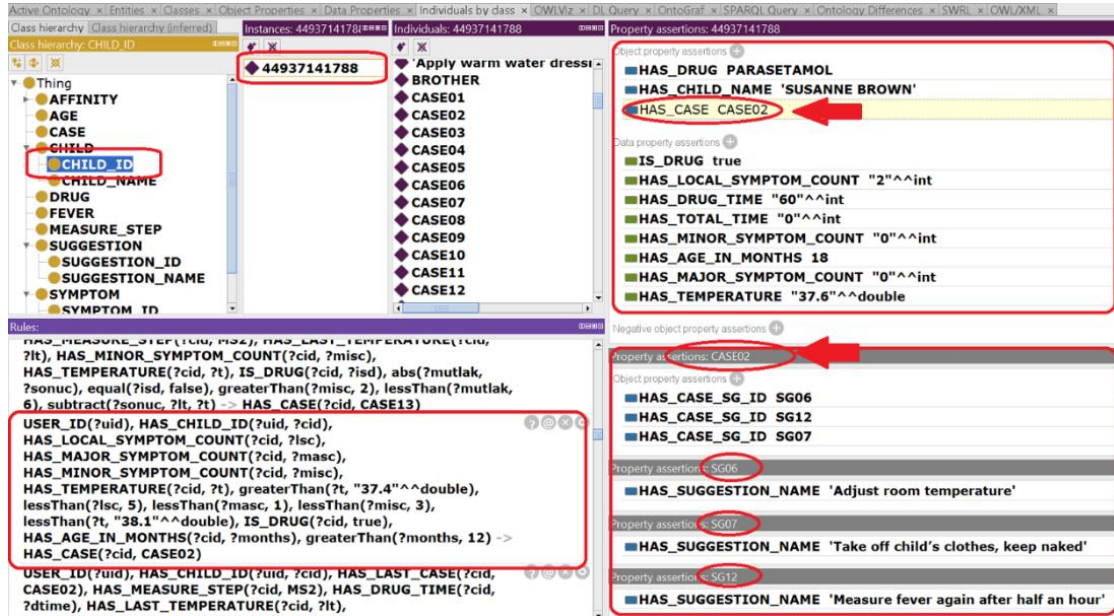
çekilmiş (sağ üst), daha sonra Web servisler üzerinden sunucudaki ontolojiye anlık olarak gömüldüğünün görseli sunulmuştur. Daha sonra, 'Susanne Brown' (44937141788) vakası için, Pellet çıkarıyıcısı CASE 02 durumunu en uygun olarak çıkarıyıcıdır. Böylece, CASE 02'ye bağlı olan 'HAS CASE SG ID' obje türünde özellik numaraları: SG06, SG07 ve SG12 önerme numaralarıdır. Bu önermeler 'has suggestion name' obje türünde özellik tanımları ile bağdaştırılmış ve böylece, sistem şu sonuçları çıkarıyıcıdır: 'Oda Sıcaklığını Ayarla', 'Çocuğun elbiselerini çıkar ve çıplak bırak', ve 'Yarım saat sonra vücut sıcaklığını yeniden ölçünüz' (bkz. Şekil 2 sağ taraf).

Yukarıdaki CASE02 numaralı kuralın detayları aşağıda anlatılmıştır:

**Rule: USER ID(?uid), HAS CHILD ID (?uid, ?cid), HAS LOCAL SYMPTOM COUNT (?cid, ?lsc), HAS MAJOR SYMPTOM COUNT (?cid, ?masc), HAS MINOR SYMPTOM COUNT (?cid, ?misc), HAS TEMPERATURE (?cid, ?t), greaterThan (?t, "37.4" ^^xsd:double), lessThan (?lsc, 5), lessThan (?masc, 1), lessThan (?misc, 3), lessThan (?t, "38.1" ^^xsd:double), IS DRUG (?cid, true), HAS AGE IN MONTHS (?cid, ?months), greaterThan (?months, 12) ⇒ HAS CASE (?cid, CASE02)**

Yukarıda verilen SWRL kuralının yapısal açıklaması aşağıdaki gibidir:

- USER ID(?uid):** 'uid' bir kullanıcı (ebeveyn) ise ve,
- HAS CHILD ID(?uid, ?cid):** 'uid' ebeveynin bir çocuğu var ise ve çocuk id'si 'cid' ise ve,
- [HAS LOCAL SYMPTOM COUNT (?cid, ?lsc), lessThan (?lsc, 5)]:** Eğer 'cid' numaralı çocuktan anlık



**Şekil 2.** Protégé [22] içinde gömülü olan Pellet [24] çıkarıyıcısı 'Susanne Brown' (i.e. 44937141788) vakası için CASE 02 kuralını uygun bulmuştur. Dahası, CASE 02 ye 'HAS CASE SG ID' obje türünde özellikle bağlı olan SG06, SG07 ve SG12 numaralı önermeleri sonuç olarak çıkarıyıcıdır. The Pellet [24] reasoner, embedded in the Protégé [22], found the CASE 02 rule suitable for 'Susanne Brown' (ie 44937141788) case. Furthermore, the cases SG06, SG07 and SG12 numbered, which are linked to the CASE 02 via the 'HAS CASE SG ID' object type property, are found as inferred suggestions).



gözlemlenen lokal bulgular var ise ve eğer HAS LOCAL SYMPTOM COUNT değeri 'lsc' ise ve eğer 'lsc' değeri '5' değerinden küçük ise ve,

**[HAS MAJOR SYMPTOM COUNT (?cid, ?masc), lessThan (?masc, 1)]:** Eğer 'cid' numaralı çocuktan anlık gözlemlenen majör bulgular var ise ve eğer HAS MAJOR SYMPTOM COUNT değeri 'masc' ise ve eğer 'masc' değeri '1' değerinden küçük ise ve,

**[HAS MINOR SYMPTOM COUNT (?cid, ?misc), lessThan(?misc, 3)]:** Eğer 'cid' numaralı çocuktan anlık gözlemlenen minör bulgular var ise ve eğer HAS MINOR SYMPTOM COUNT değeri 'misc' ise ve eğer 'misc' değeri '3' değerinden küçük ise ve,

**[HAS AGE IN MONTHS(?cid, ?months), greater Than(?months, 12)]:** Eğer 'cid' numaralı çocuktan HAS AGE IN MONTHS değerini 'months' ise ve eğer 'months' değeri '12' değerinden büyük ise ve,

**[HAS TEMPERATURE (?cid, ?t), greater ThanOrEqual (?t, 37.4), lessThan(?t, 38.1)]:** Eğer çocuk 'cid' anlık ölçülen vücut sıcaklık değeri 't' ise ve eğer 't' değeride '37.4' den büyük ise ve eğer 't' değeri '38.1' den küçük ise ve,

**[IS DRUG(?cid, true)]:** Eğer 'cid' numaralı çocuğa yakın zamanda ilaç verilmişse yani IS DRUG değeri 'true' ise, → öyleyse **HAS CASE(?cid, CASE02):** 'cid' numaralı çocuk için CASE02 durumunu en uygun çıkarsamıştır, dolayısıyla:

**HAS CASE SG ID(CASE02, SG06):** Sistem ebeveyn için 'SG06' nolu önermeyi, diğer deyişle; 'Oda sıcaklığını ayarlayınız' önermesini

**HAS CASE SG ID(CASE02, SG07):** Sistem ebeveyn için 'SG07' nolu önermeyi, diğer deyişle; 'Çocuğun elbiselerini çıkarıp ve çıplak bırakınız' önermesini

**HAS CASE SG ID(CASE02, SG12):** Sistem ebeveyn için 'SG12' nolu önermeyi, diğer deyişle; 'Yarım saat sonra vücut sıcaklığını yeniden ölçünüz' önermelerini 'uid' nolu ebeveyne sunmuştur.

Java ortamında Pellet API [24] ve OWL API [25] kütüphaneleri kullanılarak sistemin Web servislerindeki çıkarsama fonksiyonları oluşturulmuştur. SWRL

kuralları, anlık olarak veri tabanından veya mobil ara yüzden direk gelen veri öğeleri ile çalıştırılarak, elde edilen çıkarsama sonuçları Java *OWL Named Individual* yapısında çekilebilmektedir.

Çekilen çıkarsama sonuçları, Java Script Object Notation (JSON)<sup>5</sup> yapısına dönüştürülmekte ve ardından RESTful<sup>6</sup> servisleri üzerinden veri iletimi sağlanabilmektedir.

Servis fonksiyonları çalıştığında, çocuğun o anki yüklenen medikal verilerine göre, kural tabanından, 'James Brown' ebeveyni için bir/birden fazla *Önerme (Suggestion)* numaraları çıkarsama sonucu olarak dönecektir. Daha sonra sistem, bu sonuçları JSON dosyaları halinde RESTful servislerinden çekebilecek ve mobil ara yüze aktaracaktır.

Pediyatrik Hastalıklar Ontolojisi ve Semantik Web Kural Tabanı, hem İngilizce hem de Türkçe olarak geliştirilmiştir. EK A'da sistemin çıkarsama mekanizmasını oluşturan toplam 61 Cases (Durum)'lar dan bazıları örnek olarak sunulmuştur.

#### 4. VAKA ÇALIŞMALARI VE BULGULAR (CASE STUDIES AND RESULTS)

Bu bölümde, ebeveynlerin mPCMS sistemi ile evde muayene kartı oluşturması ve medikal verilerin toplanmasına yönelik iki vaka çalışması anlatılmaktadır. Her iki vakada da, ebeveynlerin mobil cihazlarının veri portuna takılan bir mobil otoskop, bir dijital stetoskop ve bir kızıl ötesi ateş ölçer yardımıyla anlık medikal verilerin toplanmasına değinilmiştir. Toplanan veriler Wi-Fi bağlantısı üzerinden sistemin veri tabanına kaydedilmektedir ve bu sayede kayıtlı uzman tarafından uzaktan konsültasyon mümkün olmaktadır.

##### 4.1. Mobil Aparatların Kullanılması ve 'Yeni Muayene' Kartı (Mobile Apparatuses Usage and 'New Examination' Card)

Ebeveyn, mobil sisteme giriş yaptıktan sonra, hesabındaki kayıtlı uzmanını seçer ve uzaktan çevrimdışı (veya o anda doktor çevrimiçi de olabilir) konsültasyon sürecini başlatmak için; boğaz



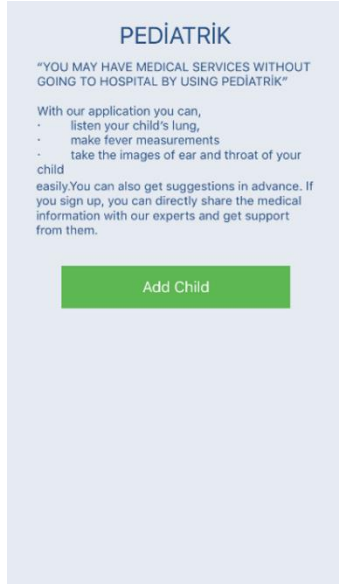
**Şekil 3.** Mobile uyarlanmış medikal aparatlar ile pediatrik hastalardan toplanan veriler (Data gathered from pediatric patients via mobile adaptive medical apparatus).

<sup>5</sup> JSON, <http://www.json.org/json-tr.html>

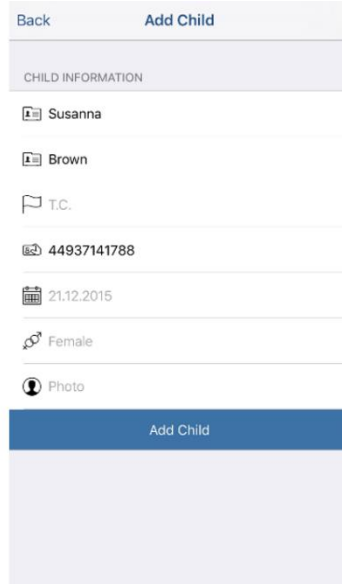
<sup>6</sup> RESTful, <http://www.ibm.com/developerworks/library/ws-restful/>

İç/bademcik görüntüsü, kulak içi yüzey (kulak iltihap akıntısı) görüntüsü, çocuğun o an yüzünün (renk) görüntüsü, hastanın sırt bölgesinden altı farklı noktadan akciğer ses kayıtları ve en son ateş verisi, kit içerisinde bulunan mobile uyarlı medikal aparatlar ile çocuk hastadan toplanır. Şekil 3’de veri toplanırken kullanılan aparatlar sunulmuştur.

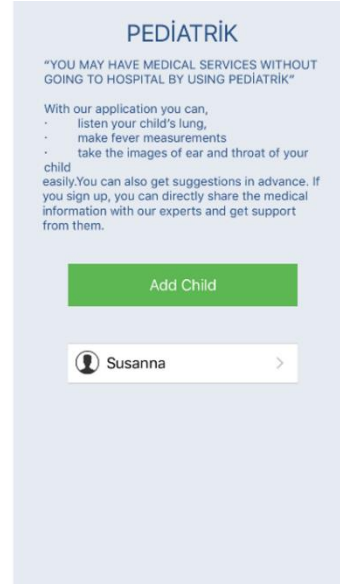
Birden fazla çocuk için ayrı hesaplar açabilmektedir (Şekil 4a ve Şekil 4b). Ebeveyn bir sonraki girişinde, tüm çocukları için açmış olduğu hesapları liste şeklinde görebilecektir (Şekil 4c). Bir sonraki sayfada; ebeveyn, yeni açtığı 'Susanne Brown' adlı çocuk hesabı için 'New Examination (Yeni Muayene)' oluşturmaya başlayabilecektir (Şekil 4d). Ebeveyn, gelecek sayfada 'Susanne Brown' adlı çocuktan yeni muayene için medikal veriler toplama sayfasına geçiş gösterilmiştir.



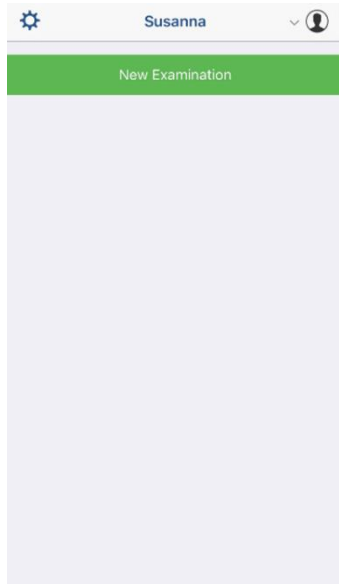
4a



4b



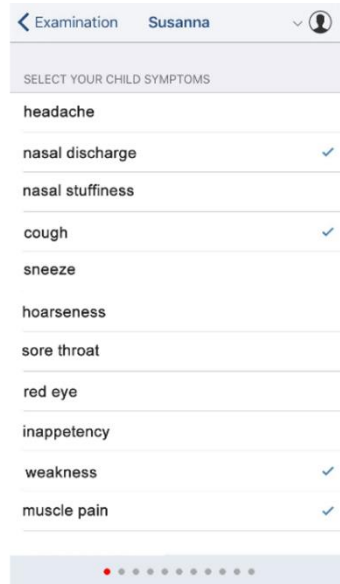
4c



4d



4e



4f

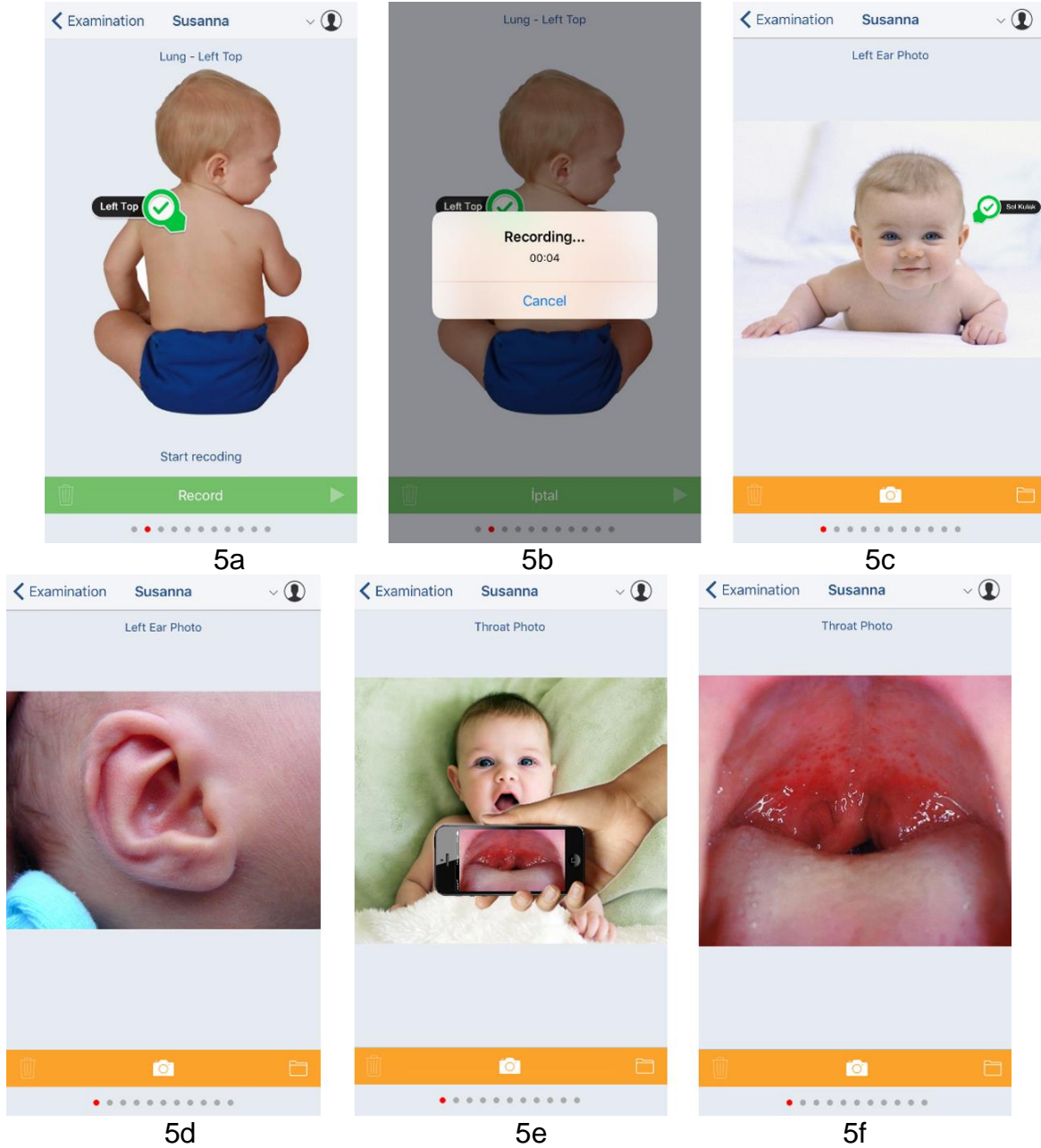
Şekil 4. 'Susanne Brown' adlı bir bebek için yeni açılmış bir muayene kartı menüsü gösterilmektedir (A newly opened pre-examination card menu for a baby named 'Susanne Brown' is shown).

Şekil 4’de ki senaryoya göre; ebeveyn 'James Brown' (ID:44937141779), sistemin mobil uygulamasına giriş yapmış ve sisteme çocuğunu ilk defa kaydetmek istemektedir. Bu nedenle, ebeveyn, kullanıcı hesabından 'Add Child' butonuna basarak yeni sayfada 'Susanne Brown' adlı çocuğu için hesap açmaktadır. Bu menüden

Bu aşamada; sistem, hastalık döneminde uzaktan takip aşamasında kayıtlı uzmana yol gösterecek farklı sağlık verilerini toplamak için 'Yeni Muayene' kartını sunmaktadır (Şekil 4e). Şekil 4e’de görüldüğü üzere; açılan bu kart, başlangıçta; 'No Symptoms', '0/6 Kayıtlı Akciğer Ses Kaydı', '0/2 Kayıtlı Kulak Görüntüsü', '0/1

Kayıtlı Boğaz Görüntüsü', 'Ateş Ölçümü Tamamlanmamıştır', '0/1 Kayıtlı Yüz Görüntüsü' ibarelerini içermektedir. Ebeveyn, 'Symptoms' butonuna tıkladığında, o anda çocukta gözlemlenen bulguları bir listeden seçilmesi istenecektir. Örneğimize göre, ebeveyn, 'Burun Akıntısı', 'Öksürük', 'Halsizlik' ve 'Kas Ağrısı' bulgularını girmiş olsun (Şekil 4f).

toplama kısmı daha detaylı olarak gösterilmektedir. Şekil 5'de görüldüğü üzere, çocuktan anlık medikal veri toplamak için mobil uygulamadan gelen direktiflere göre, Şekil 3'deki mobile uyarlanmış otoskop, stetoskop ve dijital infrared termometre gibi medikal aparatlarının bağlanması istenecek ve böylece sırayla Yeni Muayene kartının doldurulması ve bu toplanan medikal verileri sisteme direk yükleyebilecektir. Ebeveyn tarafından;



**Şekil 5.** Ebeveyn, veri toplama sayfasında, (a) - (b) çocuğunun 6 farklı noktadan 10 sn.lik akciğer sesini, (c) - (d) daha sonra sağ-sol kulak görüntülerini, (e) - (f) ağız içi/bademcik görüntülerini sisteme yüklemektir

The parent collects the medical data required on the data collection page (a) - (b) firstly, a 10-second lung sound from 6 different points of her children, (c) - (d) then install the right-left ear images, (e) - (f) intraoral / tonsil images of the child to the system

Sistem, gelecek adımlarda, ebeveyninden sırayla boğaz/bademcik/kulak/yüz görüntüleri çekme, ateş ölçme ve çocuğun akciğer ses verilerini kaydetmesini isteyecektir. Muayene işleminin bitmesi için tüm kart verilerin tamamlanması gerekmektedir. Şekil 5'de veri

1 – Akciğer/Solunum dinleme: Mobil cihazların JAK portuna takılabilen bir dijital stetoskop aparatı yardımıyla veri toplama menüsünden çocuğun sırt bölgesinden 6 farklı noktadan maksimum 10 sn. lik

toplanan ses verisi kaydedilir (Şekil 5a, Şekil 5b, Şekil 3).

2 - Kulak yüzey görüntüsü: Kamera objektifine yerleştirilen ve telefonun led flash özelliği ile aydınlatılan; akıllı telefonlar ile uyumlu pediatrik bir mekanik otoskop aparatıyla ile sağ ve sol kulak içi yüzey görüntüleri çekilir. Yüzeyde görünen kulak iltihabı, miktarı, kıvamı, rengi vb bilgiler uzaktan konsültasyon işleminde karar vermede yardımcı olmaktadır (Şekil 5c ve Şekil 5d, Şekil 3).

3 – Boğaz içi/Bademcik görüntüsü: Bu aşamada, sistemi geliştirirken, yaptığımız görüntü testleri sonucunda, çoğu akıllı telefonun kameralarının iyi görüntü yakalayabildiğini (en az 5 MP ve üstü) fark edilmiş ve herhangi bir kamera önü aparatına çok da ihtiyaç olmadığı fikrine varılmıştır. Fakat alternatif diğer bir metot ise; kamera lensini daha güçlendirmek için objektifine yerleştirilen ve telefonun LED flaş özelliği ile aydınlatılan; yuvarlak ve kolayca monte olabilen bir aparatla (mercek) boğaz görüntüsü çekilip karta aktarılabilir (Şekil 5e ve Şekil 5f, Şekil 3).

4 –Ateş Ölçme: Bu aşamada, mobile uyarlı dijital bir kızıl ötesi termometre aparatı ile akıllı telefonların soketine takılarak, çocuğun alın bölgesinden 3 cm uzaklıkta okunan anlık ateş verisi otomatik olarak mobil ekranına yüklenir (Şekil 3, Şekil 6a).

5- Genel Görünüm: Ebeveynin, son olarak çocuğun iyi ışıklandırılmış ev ortamındaki yüzünün resmini mobil kamera ile çekmesini veya 10’snlık videosunu kaydetmesi istenmektedir. Böylece, doktoru tarafından, çocuğun yüz renginde her hangi bir solukluk, morarma, kızarma vb. bulguların uzaktan görüntülenebilmesi mümkün olabilmektedir.

Makalede şimdiye kadar sistemin, ebeveynleri yönlendirerek, anlık medikal verilerin toplama yöntemleri ve yeni muayene kartının doldurulması hakkında bilgi verilmiştir. Makalenin gelecek bölümünde, 'Susanne Brown' adlı çocuk vakasının maruz kaldığı yüksek ateş ve diğer gözlemlenen anlık semptomların mobile girilmesinden sonra sistem tarafından, aileye sunulan anlık medikal adım önerilerinin çıkarsaması işlenecektir. Bu vaka için; sisteme kart üzerinden yüklenen: son ateş verisi, gözlemlenen anlık medikal semptomlar, ebeveyn tarafından en son verilen ilaç/antibiyotiğin zamanı, en son yapılan soğuk uygulama ve zamanı gibi verilere dayalı aileye anlık Tedavi Destek Önergeleri (Suggestions) sunulmuştur.

#### 4.2. Tedavi Destek Önergelerinin Kural Tabanında Çıkarsaması (Medical Support Suggestions are Inferred Through Rule Base)

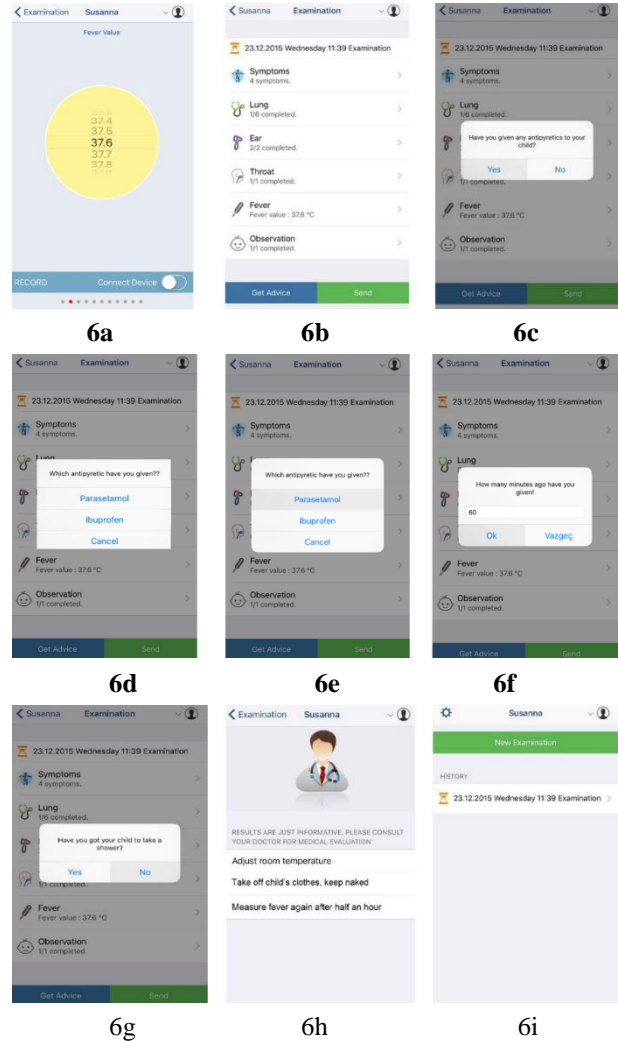
Bu bölümde, 'Susanne Brown' adlı çocuk vakasının 'Yeni Muayene' kartında toplanan;

—Ateş verisi,

—Ebeveyn tarafından muayene menüsünden seçilerek girilen ve o anda çocukta gözlemlenen medikal bulgular (burun akıntısı, hapşırma, baş ağrısı, kulak akıntısı vb.),

— Ebeveyn tarafından önceden çocuğa, ateşi düşmesi için verilmiş ilaç/ilaçlar varsa adları ve verilme zamanı ve

— Ebeveyn tarafından önceden uygulanan herhangi bir medikal uygulama varsa (soğuk duş, soğuk mendil uygulaması vb) bilgiler istenip sistemin kural tabanında değerlendirilmeye alınmaktadır. Şekil 6a’da görüldüğü üzere, çocuk ateş verisi evde bulunan başka bir termometre ile opsiyonel olarak ölçülebilir ve ölçülen ateş verisi sisteme manuel olarak ebeveyn tarafından girilebilir.



Şekil 6. Ebeveyn, sistemin IOS uygulamasından dönen Tedavi Destek Amaçlı Medikal Önergeleri görmektedir (Figure 6. The parent is seeing the medical suggestions returning from the IOS application of the system)

Diğer yöntem ise, 'Connect Device' butonuna basılarak, akıllı telefonlara uyarlı bir dijital infrared termometre ile akıllı telefonların soket girişine takılması istenir, ardından çocuğun alın bölgesinden 3 cm uzaklıkta tutularak, ateş verisi ölçülüp otomatik olarak mobil ekrana aktarılır.

Toplanan medikal verilerin ilk ve son halleri 'Yeni Muayene' kartında görüntülenmektedir (Şekil 4e ve Şekil 6b). Sonraki adımda sistem, kayıtlı uzmanı tarafından önceden reçete edilen herhangi bir



antibiyotik yakın zamanda kullanıldı mı diye sorgulamaktadır (Şekil 6c). Eğer ebeveyn, 'EVET' tercihini yapmış ise, bu durumda verilen antibiyotiğin ismi sorgulanmaktadır. Bu ekranda, kayıtlı uzman tarafından önceden verilen tüm ilaç isimleri görüntülenecektir (Şekil 6d). Günümüzde, yaygın olarak çocuklarda yüksek ateşi düşürmek için 'Parasetamol' veya 'Ibuprofen' türünde ilaçlar verilmektedir. Bu adımda, ebeveyn, sistemde listelenen ilaç isimlerinden, çocuğuna yakın zamanda hangisini vermiş ise onu seçmelidir. Örnekte, ebeveyn, yakın zamanda çocuğuna Parasetamol vermiş olduğu için, Parasetamol'u seçtiği görüntülenmektedir (Şekil 6e). Daha sonraki adımda, sistem, ebeveyn ne kadar zaman öncesinde çocuğuna Parasetamol verdiğini sorgulamaktadır. Örnekte, ebeveyn, 60 dakika önce çocuğuna ilaç verdiğini önüne gelen bir metin kutusuna girdiği görülmektedir (Şekil 6f). Genellikle, vücut sıcaklığı değerlendirilmesinde, uzman tarafından bir değerlendirme yapılmadan önce, mutlaka öncesinde çocuğa verilen herhangi bir antibiyotik (ateş düşürücü) olup olmadığı sorgulanmalıdır. Ayrıca, etki süresi bilinmelidir.

Son olarak, çocuğa ev ortamında herhangi bir medikal uygulama (soğuk duş ve mendille soğuk uygulaması vb.) yapıp yapılmadığı bilinmelidir. Bu nedenle, ebeveynin yakın zamanda çocuğuna soğuk duş uygulaması yapıp yapmadığını sorgulanmaktadır. Örneğimize göre; bu noktada, ebeveyn 'HAYIR' seçeneğini seçerek herhangi bir soğuk duş uygulamasını yakın zamanda yaptırmadığını sisteme bildirmektedir (Şekil 6g).

Sonuçta; ebeveynin, 'Susanne Brown' adlı çocuk vakası için sisteme mobil uygulama üzerinden **girdiği veriler**;

—**Bulgular**: 'Burun Akıntısı', 'Öksürük', 'Halsizlik' ve 'Kas Ağrısı' bulguları seçilmiştir (Şekil 4f).

—**Ateş**: 37.6 °C (Şekil 6a)

—**İlaç Kullanımı**: EVET (Şekil 6c)

—**İlaç Türü**: Parasetamol (Şekil 6e)

—**İlaç Verilme Zamanı**: 60 dk önce (Şekil 6f)

—**Soğuk Duş Uygulaması**: HAYIR (Şekil 6g) iken;

Ebeveyn sistem tarafından sunulan sonuç **Tedavi Destek Amaçlı Medikal Önermeleri** (Şekil 6h):

—**Önerme 1**: Oda sıcaklığını ayarlayınız,

—**Önerme 2**: Çocuğun elbiselerini çıkarıp çıplak bırakınız,

—**Önerme 3**: Yarım saat sonra vücut sıcaklığını yeniden ölçünüz gibi önermeler çıkarılmıştır.

Diğer bir durum ise sistemin acil durumu algılaması ve uyarı verebilmesidir. Hastanın geçmiş ateş verileri ve en son ateş değeri, ayrıca mevcut medikal bulguları, verilen ilaçlar vb. bilgiler toplandıktan sonra olası tehlike veya normal dışı durumlar gözlemlenir. Acil durum tespit edildiğinde; sistem, ambulans sağlık ekibini otomatik olarak uyarılmaktadır. Ardından, sistem tarafından harekete geçirilen sağlık ekibinin, acil durumu teyit alması için ebeveynleri veya sisteme kayıtlı numaraları en kısa zamanda arayarak acil iletişim sağlanmaktadır.

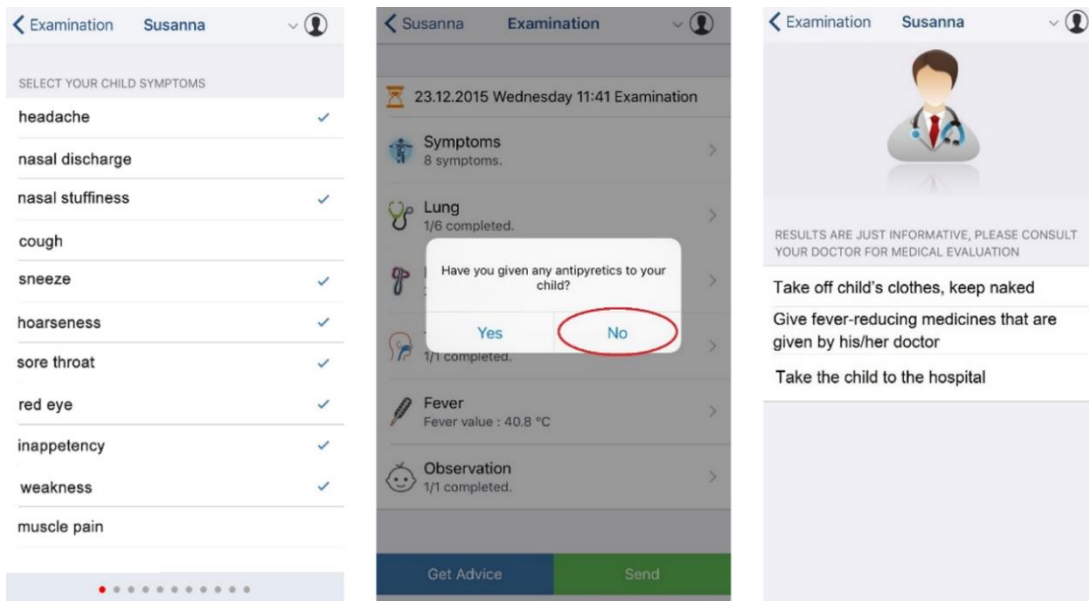
Şekil 7'de görüldüğü üzere, ebeveynin 'New Examination (Yeni Muayene)' ekranındaki 'Symptoms (Bulgular)' ekranından girdiği veriler: örneğimize göre, ebeveynin sisteme mobil uygulama üzerinden **girdiği veriler**;

—**Bulgular**: 'Baş Ağrısı', 'Burun Tıkanıklığı', 'Hapşırma', 'Ses Kısıklığı', 'Boğaz Ağrısı', 'Kızarmış Gözler', 'İştahsızlık', ve 'Halsizlik' bulguları seçilmiştir (Şekil 7a).

—**Ateş**: 40.8 °C (Şekil 7b)

—**İlaç Kullanımı**: NO (Şekil 7b) iken;

Ebeveyn sonuç olarak sunulan **Tedavi Destek Amaçlı Medikal Önermeler**;



Şekil 7. Ebeveyn diğer bir senaryoya göre sistemden 'Acile Gidiniz' önerisi almıştır (The parent has received the 'Go To Emergency Service' suggestion from the system according to another scenario).

—**Önerme 1:** Çocuğun elbiselerini çıkar ve çıplak bırak (Şekil 7c).

—**Önerme 2:** Kayıtlı doktoru tarafından reçete edilmiş ateş düşürücüyü verin (Şekil 7c).

—**Önerme 3:** Çocuğu acilen hastaneye götürünüz (Şekil 7c).

Yukarıdaki önermeler oluştuğunda, eğer ebeveynler sisteme kayıtlı müşteri ise, Acıbadem Mobil A.Ş. Ambulans hizmetlerine çağrı yapan “Alarm Butonu” sistem tarafından mobil uygulama üzerinde açılmaktadır. Butona basıldığında, hastane ambulans ekibi alarm durumundan haberdar olmuş ve en kısa zamanda ebeveynler ile iletişime geçip, ebeveynleri yapacakları doğrultusunda yönlendireceklerdir.

Mobil sistemden toplanan medikal veriler doğrultusunda çalıştırılan medikal kurallar, proje bünyesindeki iki pediatri uzmanı ile çalışılmış ve 61 farklı Durum (Case)’lara dökülmüştür (bkz. Bir kesiti EK A’da sunulmuştur). Bu Durum (Case)’ler sistemin yapay zekâ kural tabanını oluşturmaktadır. Sistem tarafından belirlenen sonuç Durum (Case), ontolojide bir medikal kurala işaret etmekte ve bu kurala bağlı önermeler sonuç olarak ebeveyne sunulmaktadır. Böylece, ilk defa çocuğu olan veya sürekli hastalık geçiren çocuklu ailelerin bilgi yetersizliğinde destek sağlayacak ve ebeveynlerin yaşadıkları anksiyeteyi azaltarak, kendilerini daha güvende hissettirecektir. Sistem üzerinden girdi verilerinin depolanması ve kayıtlı uzmanına anında bu verileri paylaşılabilmesi hızlı aksiyon almada oldukça fayda sağlamaktadır. Özellikle, soğuk kış aylarında hastanelerin acil polikliniklerinin % 48’i çocuk hastadan oluşmakta ve genellikle soğuk algınlığı, ateş, kusma, bulantı gibi ön muayene gerektiren fakat acil durum gerektirmeyen hastalardan oluşmaktadır [26]. Ailelerin hastane ulaşımında geçen süre gerek trafik, gerekse acil bölümlerinde gereksiz oluşabilen yoğunluğu yaratırken, bu tür sistemler üzerinden mevcut verilerin uzmanıyla anlık paylaşabilmesi yaşanan anksiyeteyi azaltabilir.

## 5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Çocukluk döneminde görülen soğuk algınlığı, grip, bademcik iltihabı, orta kulak enfeksiyonu, otit vb. alt ve üst solunum yolu enfeksiyonları günümüzde sıkça görülen pediatrik hastalıklardır. Çoğunlukla ebeveynler, çocuklarının bu hastalık döneminde, stres, endişe ve tedirginlik içinde geçirmektedirler.

Ontoloji Tabanlı Pediatrik Hastalarda Mobil Ateş Takip ve Destek Sistemi (mPCMS) çalışması ile ebeveynlerin yaşadıkları mevcut sıkıntılarını azaltmak, kayıtlı doktoruyla anlık uzaktan konsültasyon yapabilmek, olası acil durumları önceden tespit ederek erken müdahaleye olanak sağlamak vb. işlevlerle bu zorlu dönemde hasta bakımına destekleyici katkı sağlanması hedeflenmiştir.

Ebeveynler, çocuklarının hastalık dönemi süresince, sistemin mobil uygulamasını kullanarak, kayıtlı doktoruyla uzaktan konsültasyon sürecini ihtiyaç

duydıkları zaman başlatabilirler. Uzaktan konsültasyon işlemini başlatmak için, sistemin mobil uygulamasından yeni bir muayene kartı açmaları gerekmektedir. Ebeveynler, bu mobil muayene kartını takip ederek çocuklarından anlık bazı medikal veriler toplayabilmektedir. Mobil muayene kartına toplanan bu medikal veriler mobil cihazlara uyarlanmış bazı medikal aparatlar yardımıyla sırayla karta toplanmaktadır. Mobile uyarlanmış bu medikal aparatlar; bir infrared dijital termometre, bir pediatrik otoskop başlık ve yine akıllı telefonlar ile uyumlu bir dijital stetoskoptur. Muayene kartına toplanan bu medikal veriler ise; boğaz ve bademcik görüntüsü, kulak içi yüzey (kulak iltihap akıntısı) görüntüsü, çocuğun yüzünün genel görüntüsü veya video çekimi, anlık ateş verisi ve akciğer solunum sesleri vb. verilerdir.

mPCMS’nin iki temel fonksiyonu vardır. Birinci temel fonksiyonu, ebeveyn tarafından ev ortamından çocuğundan güncel olarak topladığı medikal verilerin işlendiği mobil muayene kartının, kayıtlı doktoru ile uzaktan konsültasyonu başlatmak için paylaşmasıdır. Mobil cihaz üzerinde açılan muayene kartına toplanan medikal veriler, önce Wi-Fi bağlantısıyla sistem veri tabanına oradan da kayıtlı doktorun mobil cihazına aktarılır. Böylece, hastanın kayıtlı doktoruyla uzaktan konsültasyon mümkün olabilmektedir.

İkinci temel fonksiyonu, yeni açılan muayene kartı üzerinde toplanan bu medikal verilerin bazıları, mPCMS’nin ontoloji bilgi tabanına aktarılarak, ontoloji bilgi tabanındaki bulunan medikal kurallar ile yorumlanıp, ebeveynlere ev ortamında uygulanmak üzere Tedavi Destek Amaçlı Medikal Önermelerin çıkarılmasını sağlamaktır.

Sistem öneri çıkarılma mekanizmasında; akciğer solunum ses kaydı, boğaz/bademcik görüntüleri, kulak içi yüzey görüntüleri ve yüz görüntüleri vb. verilerin kural tabanında işlenmesi proje kapsamında konulmamıştır. Çünkü, görsel tabanlı medikal veriler, kayıtlı uzman ile sadece çevrimdışı veya çevrimiçi uzaktan konsültasyon yapabilmek amacıyla paylaşılmaktadır. Böylece, muayene kartına toplanan çeşitli görsel medikal veriler, pediatrik hastanın kayıtlı doktoru tarafından, uzaktan ön değerlendirmeye alınabilecek ve hastanelerde oluşan gereksiz hasta yığılımalarının bir nebze azalması mümkün olabilecektir. Gelecek çalışmalarda, zamanla boğaz ve kulak yüzeyinden toplanan görsel medikal veriler, görüntü işleme teknikleri ile analiz edilerek, hastalıkların seyri ve iyileşme oranlarını tahmin eden yeni bir çıkarım mekanizması planlanmaktadır.

Sonuç olarak, önerilen mPCMS bir sağlık hizmeti olarak kit halinde planlanmıştır. Kit içerisinde: mobile uyarlanmış medikal aparatlar, mPCMS’nin IOS ve Android mobil uygulamalarına kullanıcı girişi bilgileri, kullanım kılavuzu vb. parçalardan oluşmaktadır.

## TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

3140242 nolu “Mobil Pediatrik Ön muayene ve İzleme Sistemi” projesi TUBİTAK tarafından 1501 Sanayi

ARGE Destek Programı kapsamında 2014 yılında desteklenmiş ve 2015 yılı sonlarında başarıyla tamamlanmıştır (Proje Destek Süresi: 01.04.2014 - 30.06.2015).

Proje, Acıbadem Sağlık Grubu ve Semantica Internet ve Yazılım Hiz. Tic. Ltd. Şti işbirliğiyle yaklaşık 17 mühendis ve çocuk hastalıkları uzman kadrosu ile birlikte çalışılarak yaklaşık 15-18 ayda geliştirilmiş bir mobil sağlık projesidir. Yasal hakları korunmaktadır.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Germanakos P., Mourlas, C. and Samaras G., "A mobile agent approach for ubiquitous and personalized eHealth information systems.", *Workshop on 'Personalization for e-Health' of the 10th International Conference on User Modeling (UM'05), Edinburgh*, 67-70, (2005).
2. Foster K. R., Koprowski R. and Skufca J.D., "Machine learning, medical diagnosis, and biomedical engineering research—commentary", *BioMed Eng Online*, 13(1): 94, (2014).
3. Berners-Lee T., Hendler J. and Lassila O., "The semantic web", *Scientific American*, 29-37, (2001).
4. OWL 2.0, "Web ontology language overview", *W3C Recommendation*, <http://www.w3.org/TR/owl2overview/>, (2012).
5. Gruber T., "Ontology", *Encyclopedia of Database Systems*, 1963-1965, (2009).
6. McMurray J., Zhu L., McKillop I. and Chen H., "Ontological modeling of electronic health information exchange", *Journal of Biomedical Informatics*, 56: 169-178, (2015).
7. Workman M., "Using symbols for semantic representations: a pilot study of clinician opinions of a Web 3.0 medical application", *Semantic Web. Springer International Publishing*, 31-38, (2016).
8. Zhang Y. F., Gou L., Tian Y., Li T. C., Zhang M. and Li J.S., "Design and development of a sharable clinical decision support system based on a semantic web service framework", *Journal of Medical Systems*, 40(5): 1-14, (2016).
9. "Cellscope Mobile Stethoscope Project", <http://mobihealthnews.com/17598/cellscope-smartphone-diagnostic-startup-raises-1m/>, Last Accessed: (30 Jan 2016).
10. Leng S., San Tan R., Chai K. T. C., Wang C., Ghista D. and Zhong L., "The electronic stethoscope", *Biomedical Engineering Online*, 14(1): 66, (2015).
11. Frishman H. W., "Is the stethoscope becoming an outdated diagnostic tool?", *American Journal of Medicine*, 7(128): 668-669, (2015).
12. Mobile Stethoscope. <http://mobilestethoscope.com/>, Last Accessed (30 Jan 2016).
13. "Littmann 3M Stethoscope", <http://www.littmann.com/wps/portal/3M/enUS/3M-Littmann/stethoscope/>, Last Accessed (30 Jan 2016).
14. "Welch-Allyn Elite Electronic Stethoscope", <http://www.welchallyn.com>, Last Accessed (30 Jan 2016).
15. "Cardionics E-scope II", <http://www.cardionics.com/clinical-e-scope.html>, Last Accessed (30 Jan 2016).
16. "Rijuvén Cardio Sleeve Stethoscope", <http://rijuvén.com/cardiosleeve.html>, Last Accessed (30 Jan 2016).
17. "Ekoscope", [www.ekoscope.com/](http://www.ekoscope.com/), Last Accessed (30 Jan 2016).
18. "ViScope", [www.cardionics.com/](http://www.cardionics.com/), Last Accessed (30 Jan 2016).
19. "Sensi Cardiac Electronic Stethoscope", [www.sensicardiac.com/](http://www.sensicardiac.com/), Last Accessed (30 Jan 2016).
20. "Thinklabs", [www.thinklabs.com](http://www.thinklabs.com), Last Accessed (30 Jan 2016).
21. "VitaDock", [www.vitadock.com/](http://www.vitadock.com/), Last Accessed (30 Jan 2016).
22. Musen M. A., "Protégé ontology editor", *Encyclopedia of Systems Biology*, 1763-1765, (2013).
23. Horrocks I., Patel-Schneider P. F., Boley H., Tabet S., Grosz B. and Dean M., "swrl: a semantic web rule language combining OWL and RuleML", *W3C Member submission*, 21: 79, (2004).
24. Sirin E. and Parsia B., "PELLET. An OWL DL Reasoner", *International Workshop on Description Logics*, Whistler, 212-213, (2004).
25. Horridge M. and Bechhofer S., "The OWL API: A Java API for working with OWL 2 ontologies", *Proceedings of the 6th International Conference on OWL: Experiences and Directions*, 529: (2009).
26. Altinkalem D. Y., "Annelerin ateş ve ateşli havale ile ilgili bilgi düzeyleri", *Aile Hekimliği Uzmanlık Tezi*, T.C. Sağlık Bakanlığı Bakırköy Dr. Sadi Konuk Eğitim ve Araştırma Hastanesi, İstanbul, (2007).



# POLİTEKNİK DERGİSİ

## JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://www.politeknik.gazi.edu.tr/index.php/PLT/index>

## Yatay düzleme gelen difüz ışınım modellerinin ölçüm sonuçlarına göre analizi

### *Analysis of diffuse radiation models for horizontal surface according to measurement results*

Yazar(lar) (Author(s)): Nesrin İLGİN BEYAZİT, Hüsamettin BULUT, Yunus DEMİRTAŞ

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz:** İlgin Beyazıt N., Bulut H. ve Demirtaş Y., “Yatay düzleme gelen difüz ışınım modellerinin ölçüm sonuçlarına göre analizi”, *Politeknik Dergisi*, 20(3): 557-563, (2017).  
**To cite this article:** İlgin Beyazıt N., Bulut H. ve Demirtaş Y., “Analysis of diffuse radiation models for horizontal surface according to measurement results”, *Journal of Polytechnic*, 20(3): 557-563, (2017).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://www.politeknik.gazi.edu.tr/index.php/PLT/issue/archive>

**DOI:** [10.2339/politeknik.339363](https://doi.org/10.2339/politeknik.339363)

# Yatay Düzleme Gelen Difüz Işınım Modellerinin Ölçüm Sonuçlarına Göre Analizi

Nesrin İLGİN BEYAZİT\*, Hüsamettin BULUT, Yunus DEMİRTAŞ

Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa.

(Geliş/Received : 08.06.2016 ; Kabul/Accepted : 26.07.2016)

## ÖZ

Yeterli ölçümlerin yapılamaması ve ölçüm aletlerinin pahalı olmasından dolayı, yatay düzleme gelen toplam ışınım verileri kullanılarak yatay düzleme gelen difüz ışınımı, çeşitli modellerle hesaplanmaktadır. Bu çalışmada, literatürde verilen difüz ışınım modelleri kullanılarak Şanlıurfa için yatay düzlem difüz ışınım değerleri hesaplanmış ve modellerden elde edilen sonuçlar ölçüm verileriyle karşılaştırılmıştır. Analizde, Şanlıurfa ili Harran Üniversitesi Makina Mühendisliği bölümünde bulunan güneş takip sistemli güneş ışınım ölçüm sisteminden elde edilen 7 yıllık yatay toplam ve difüz güneş ışınım verileri kullanılmıştır. 5 farklı difüz ışınım modelinin istatistiksel hataları hesaplanmıştır. Difüz ışınım, zamanla değişkenlik göstermekle beraber istatistiksel hatalara göre en iyi modelin Erbs ve arkadaşlarının geliştirdiği model olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanında, yaygın olarak kullanılan Liu ve Jordan modelinin ise ölçüm verilerinden büyük sapma gösterdiği tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Güneş ışınımı, toplam ışınım, difüz ışınım modelleri, Şanlıurfa.

# Analysis of Diffuse Radiation Models For Horizontal Surface According To Measurement Results

## ABSTRACT

Due to insufficient measurements and expensive measuring instruments, the diffuse radiation incident to horizontal surface is calculated from global solar radiation incident horizontal surface by using various models. In this study, horizontal diffuse radiation values for Şanlıurfa were calculated by using diffuse radiation models given in literature with aid of horizontal global radiation measurements and the results of models was compared with measurement results of diffuse radiation. In the analysis, 7 years measurements data from solar radiation measurement system with solar tracker which is set up at Department of Mechanical Engineering, Harran University were used for horizontal total and diffuse solar radiation. The statistical errors of five diffuse radiation models were calculated. It was determined that although the diffuse radiation data vary with time, Erbs et al. model is the most appropriate according to statistical errors. Moreover, Liu and Jordan model which is used commonly in the literature was found to show large deviation from measurement data.

**Keywords:** Solar radiation, global radiation, diffuse radiation models, Şanlıurfa.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Yeryüzünde herhangi bir yüzeye gelen toplam güneş ışınımı, direkt, difüz ve yansıyan ışınımlardan meydana gelir. Genelde yüzeye gelen toplam güneş ışınımı ölçümü yapılmaktadır. Yatay yüzey difüz ışınım ölçümü ise çok nadiren yapılmakta veya bulunmamaktadır. Difüz ışınım daha çok literatürdeki çeşitli hesaplama modelleri ile tespit edilmektedir.

Difüz ışınım modelleri, temelde berraklık indeksi değerine dayanmaktadır. Literatürde berraklık indeksi değerine göre bir çok yer için difüz ışınımı veren değerli çalışmalar bulunmaktadır [1-10]. İzmir ili için eğimli yüzeye gelen toplam ışınım değerlerini tespit etmek için, yatay düzleme gelen difüz ışınımının hesabında, Liu ve Jordan modeli ve Ülgen ve Hepbaşı modelleri kullanılmıştır [1]. Literatürde çalışılan yerler için en uygun modeli tespit etmek için güneş ışınım modelleri karşılaştırılmaları yapılmıştır. Kuo ve ark.[5], Tayvan

için ölçümlere en yakın hesaplama modellerinden birinin Erbs ve arkadaşları, Chandrasekaran ve Kumar modeli ve Boland ve arkadaşları modellerinin olduğunu tespit etmişlerdir. Yeryüzüne düşen güneş ışınım hesabı yapılırken direkt ışınımı doğru hesaplayabilmek için önce yatay düzlem difüz ışınım hesaplama metodlarının doğrulanması gerekmektedir. Kotti ve ark. [6] direkt ışınım hesabını etkileyen difüz ışınım hesaplama hatalarını gidermek için 4 difüz ışınım düzeltme modelini mukayese etmişlerdir. Souza ve ark.[7] ise yatay yüzey difüz ışınım değerlerini doğru bir şekilde hesaplamak için farklı eğimlerde difüz ışınım değişimini incelemişlerdir. Souza ve ark.[8] farklı eğimler için difüz ışınım hesabının toplam ışınım hesabını nasıl etkilediğini incelemişlerdir. Gulin ve ark.[9] eğimli yüzey için toplam ışınım hesabında kullanılan farklı modelleri incelemişlerdir. Shukla ve ark.[10] eğimli yüzey toplam ışınım hesabında en iyi sonuç veren modelleri belirlemeye çalışmışlardır. Notton ve ark.[11] yatay yüzey toplam ışınım verilerini kullanarak literatürde bilinen eğimli yüzey difüz ışınım hesaplama modellerini, yapay sinir ağ modelini ve deneysel

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: nesrinnilgin@gmail.com

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/politeknik.339363

ölçüm verilerini karşılaştırmış ve yapay sinir ağ modelinin bilinen hesaplama modellerinden daha düşük hata oranıyla hesaplama yaptığını belirlemişlerdir. Demain ve ark.[12] farklı gökyüzü koşulları altındaki farklı modellerin performans ilişkisini değerlendirmişlerdir. Tüm gökyüzü koşullarında iyi performans veren modelin dik-kate alındığı bir modelin olmadığı istatistiksel değerlendirme ile açığa çıkması sonucu Belçika için geliştirilen farklı gökyüzü koşulları altında üç modelin davranışının birleşiminden yeni bir model geliştirmişlerdir. Yapılan çalışmaların ortak amacı yüzeye gelen güneş ışınım hesabı yapılırken hesaplama sonuçlarının istatistiksel olarak minimum hata oranlarına sahip olmasıdır. Davis ve

## 2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL AND METHOD)

Şanlıurfa ili Harran Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümünde bulunan güneş takip sistemli güneş ışınım ölçüm sisteminden 7 yıllık (2009-2015) ölçüm sonucunda elde edilen saatlik yatay düzlem toplam ve difüz güneş ışınım verileri kullanılmıştır. Şekil 1’de güneş takip sistemli güneş ışınım ölçüm sistemi görülmektedir. Şekil 1’de görüldüğü gibi güneş takipli ölçüm sistemi üzerinde bulunan gölge topu ve piranometre ile difüz ışınım ve diğer piranometre ile toplam ışınım ölçülmektedir. Çizelge 1’de güneş ışınımı ölçüm sistemindeki cihazların teknik özellikleri verilmiştir.

**Çizelge 1.** Güneş takip sistemli güneş ışınım ölçüm sistemindeki cihazların teknik özellikleri (Some specifications of devices in the solar measurement system)

Cihaz	Doğruluk	Hassasiyet	Çalışma Sıcaklık Aralığı, °C
Güneş takip edici (2AP Tracker)	<0,05°	0,0025°	-20/+50
Piranometre (CM11)	±10 W/m <sup>2</sup>	4-6 µV/W/m <sup>2</sup>	-40/+80
Datalogger (CR 800)	0.33 µV	%0.06	-25/+50

ark.[13] yatay yüzey güneş ışınım 12 hesaplama modeli ile 7 ülkenin ölçüm verilerini karşılaştırmışlardır. Yatay yüzey saatlik difüz ışınım için Erbs ve arkadaşlarının en az hatayı veren model olduğunu belirlemişlerdir. El-Sebaai ve ark.[14] saatlik berraklık indeksine göre Mısır’da 5 yerleşim yeri için yatay yüzey aylık ve günlük toplam ışınım ölçüm verilerinin analizini yapmışlardır. Yapılan çalışmada 2. ve 3. dereceden denklemlerin sonucu olumlu etkilemediğini, 1. dereceden hesaplama denkleminin doğru olduğunu belirlemişlerdir. Noorian ve ark.[15] yatay yüzey ölçüm verilerinden eğimli yüzeylerdeki saatlik difüz ışınımı tahmin etmek için 12 modelin performansını değerlendirmiştir. 12 hesaplama modeli sonuçları Karaj, İran’daki eğimli yüzey (batı ve güney) için ölçüm verileriyle karşılaştırmışlardır. Çalışmada isotropik modellerde yansıyan ışınımın etkisi çok küçük olduğu fakat difüz ışınım modelleri arasında büyük farklılıklar olduğu tespit edilmiştir. Jastrzebska-Frydrychowicz ve ark.[16] güneş takip sistemli fotovoltaik modülün güneş ışınım dağılımını hesaplamak için Polonya için güneş meteoroloji istasyonunda alınmış güneş ışınım verileri kullanılarak isotropik ve anisotropik modellerle karşılaştırılmıştır. Çalışmada Liu ve Jordan modeli modifiye edilip eğimli yüzeyler için hesaplama yapılan difüz ışınım modelleri ve ölçüm verileri ile karşılaştırmışlardır. Li ve ark.[17] Hon Kong’ta 2008-20012 yılları için yatay düzlem toplam, direkt ve difüz güneş ışınım ölçüm verileri ile çeşitli iklimlerde direk güneş ışınımının normalini tahmin eden modelleri değerlendirmişlerdir.

Bu çalışmada, Şanlıurfa ili için yatay düzlem difüz ışınım hesaplama modellerinden en uygun yatay düzlem difüz ışınım modelinin tespit edilmesi amaçlanmıştır.

Şanlıurfa ilinin yatay düzlem difüz ışınım şiddetini belirlemek için literatürde en çok kullanılan, Liu ve Jordan modeli (Eşitlik 5), Erbs ve arkadaşları modeli (Eşitlik 6.1, 6.2, 6.3), Miguel ve arkadaşları modeli (Eşitlik 7.1, 7.2, 7.3), Ülgen ve Hepbaşlı doğrusal olmayan modeli (Eşitlik 8.1,8.2,8.3) ve Ülgen ve Hepbaşlı doğrusal olmayan modeli (Eşitlik 9.1, 9.2, 9.3) baz alınmıştır [1, 18-21]. Analizlerde 5 farklı modelin ölçüm değerleri ile karşılaştırması, her ayın referans gününe veya ona yakın güne göre yapılmıştır.



**Şekil 1.** Güneş Takip Sistemli Güneş Işınım Ölçüm Sistemi (Solar Radiation Measurement System With Solar Tracking System)



Yatay düzleme gelen difüz ışınım hesabında temel parametre, yatay düzleme gelen saatlik toplam ışınımının ( $I_t$ ), atmosfer dışı saatlik toplam güneş ışınımına ( $I_0$ ) oranı olan  $k_t$  saatlik berraklık indeksine (Eşitlik 1), bağlı olarak aşağıdaki hesaplama modelleri ile tespit edilmiştir. Güneş Sabiti,  $I_c = 1367 \frac{W}{m^2}$  ve düzeltme faktörü (Eşitlik 2) kullanılarak, atmosfer dışı saatlik toplam güneş ışınımı,  $I_0$ , Eşitlik 3'ten hesaplanmıştır [3]. Yatay düzleme gelen saatlik toplam ışınım,  $I_t$ , ise ölçüm sisteminden alınmıştır (Şekil 1).

$$k_t = \frac{I_t}{I_0} \quad (1)$$

$$f = 1 + 0,33 \cos\left(360 \frac{n}{365}\right) \quad (2)$$

$$I_0 = I_c f [\cos(e) \cos(d) \cos(w) + \sin(e) \sin(d)] \quad (3)$$

**Model 1:** Liu ve Jordan modeli ile yatay düzlem difüz ışınım miktarı

$$I_{ld} = I_t(0,384 - 0,416k_t) \quad (5)$$

**Model 2:** Erbs ve Ark. modeli ile yatay düzlem difüz ışınım miktarı

$$k_t \leq 0,22 \quad \text{için} \quad E_{ld} = I_t(1 - 0,09k_t) \quad (6.1)$$

$$0,22 < k_t \leq 0,8 \quad \text{için}$$

$$E_{ld} = I_t[0,9511 - 0,16014k_t + 4,388 k_t^2 - 16,638k_t^3 + 12,336 \times k_t^4] \quad (6.2)$$

$$k_t > 0,8 \text{ için} \quad E_{ld} = I_t 0,165 \quad (6.3)$$

**Model 3:** Miguel ve Ark. modeli ile yatay düzlem difüz ışınım miktarı

$$k_t < 0,21 \text{ için} \quad M_{ld} = I_t(0,995 - 0,081k_t) \quad (7.1)$$

$$0,21 \leq k_t \leq 0,76 \quad \text{için}$$

$$M_{ld} = I_t[0,724 + 2,738 k_t - 8,32 k_t^2 + 4,967 k_t^3] \quad (7.2)$$

$$k_t > 0,76 \quad \text{için} \quad M_{ld} = I_t 0,18 \quad (7.3)$$

**Model 4:** Ülgen ve Hepbaşlı doğrusal modeli ile yatay düzlem difüz ışınım miktarı

$$k_t > 0,32 \quad \text{için} \quad U_{ld} = I_t 0,68 \quad (8.1)$$

$$0,32 < k_t < 0,62 \quad \text{için} \quad U_{ld} = I_t(1,0609 - 1,21 k_t) \quad (8.2)$$

$$0,62 < k_t \quad \text{için} \quad U_{ld} = I_t 0,30 \quad (8.3)$$

**Model 5:** Ülgen ve Hepbaşlı doğrusal olmayan modeli ile yatay düzlem difüz ışınım miktarı

$$k_t < 0,32 \quad \text{için} \quad H_{ld} = I_t 0,68 \quad (9.1)$$

$$k_t < 0,62 \quad \text{için} \quad H_{ld} = I_t 0,30 \quad (9.2)$$

$$0,32 < k_t < 0,62 \quad \text{için} \quad H_{ld} = I_t[0,0743 - 19,343 k_t + 206,91 k_t^2 - 719,72 k_t^3 + 1053,4 k_t^4] - 562,69k_t^5 \quad (9.3)$$

Modellerin başarısını test etmek için ortalama mutlak hata (MAE), ortalama bağıl hata (MAPE, %) ve hata kareler ortalamasının karekökü (RMSE) gibi istatistik parametreler kullanılmıştır (Eşitlik 10-12). Hata parametrelerinin düşük olması ölçülen verilerle modellerin tahmin ettiği verilerin yakınlığını ifade etmektedir.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (I_{d_{model}} - I_{d_{ölçüm}}) \quad (10)$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{I_{d_{model}} - I_{d_{ölçüm}}}{I_{d_{ölçüm}}} \right) 100 \quad (11)$$

$$RMSE = \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (I_{d_{model}} - I_{d_{ölçüm}})^2 \right]^{1/2} \quad (12)$$

### 3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA (RESEARCH FINDINGS AND DISCUSSION)

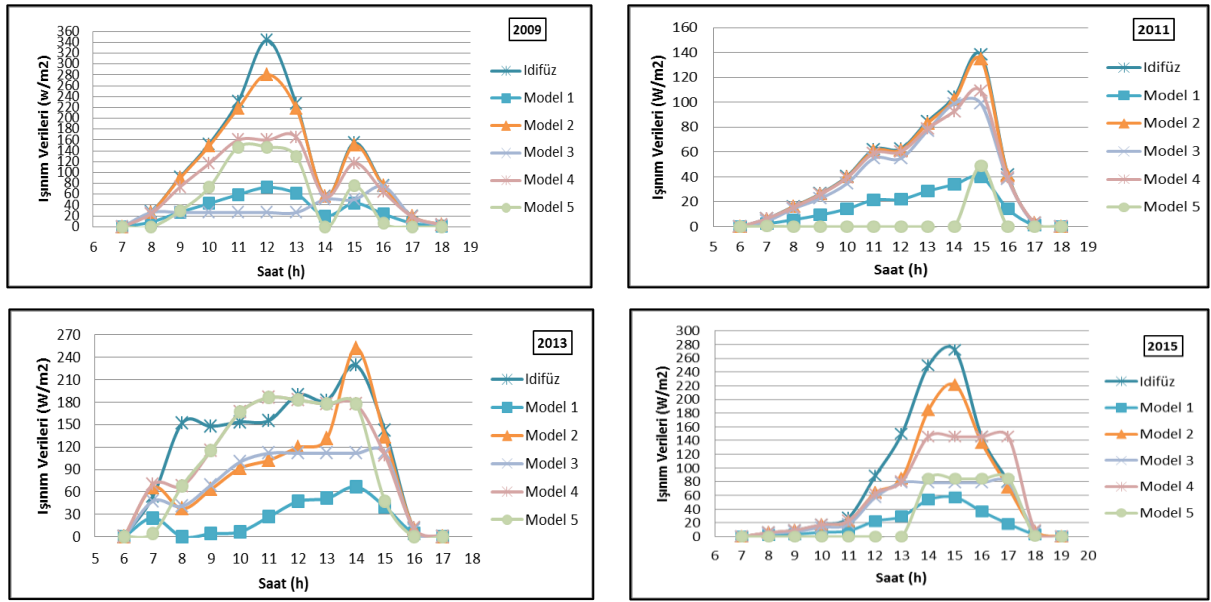
Modellerin 7 yıllık ölçüm sonuçlarına göre istatistiksel hataları Çizelge 2'de verilmiştir. Çizelgeden yatay difüz ışınım için, en düşük hatalara sahip olan modelin Erbs ve arkadaşları modeli (Model 2) olduğu tespit edilmiştir. Modeller içinde en büyük sapma, literatürde en çok bilinen ve yaygın olarak kullanılan Liu ve Jordan modelinde (Model 1) olduğu belirlenmiştir. Miguel ve arkadaşları modeli (Model 3) de istatistiksel olarak kabul edilebilir sonuçlar vermiştir.

**Çizelge 2.** Ölçüm sonuçlarına göre modellerin istatistiksel hataları (Statistical Errors of The Models According To Measurement Results)

Model	$\pm$ MAE, W/m <sup>2</sup>	% MAPE, $\pm$	RMSE, W/m <sup>2</sup>
Model 1	83,07	63,08	112,12
Model 2	-3,21	-22,30	65,40
Model 3	35,99	1,62	97,72
Model 4	-21,65	-43,35	91,39
Model 5	-9,51	-15,40	97,95

Ölçüm sonuçları ve modellerden elde edilen verilerin karşılaştırılması Şekil 2-6 arasında belirlenen mevsimsel aylara göre verilmiştir. Ölçüm sonuçlarının yıldan yıla değiştiği şekillerden görülmüştür. Şekil 2'de şubat ayı için difüz ışınımın saatlik değişimi görülmektedir. Yatay düzlem difüz ışınım ölçüm verileriyle hesaplama sonucu elde edilen yatay düzlem difüz ışınım değerleri için en az sapma gösteren Model 2'dir. Farklı  $k_t$  şartları için hesaplama yapan Model 3, 4 ve 5 ise 2011 yılı hariç ölçüm verilerinden önemli oranda büyük sapmalar yaptığı görülmektedir. Model 1 ise Şekil 2-6'dan da görüldüğü gibi değişik mevsimlerdeki değişik aylar ve yıllar için yüksek oranda mutlak hatalar göstermektedir.

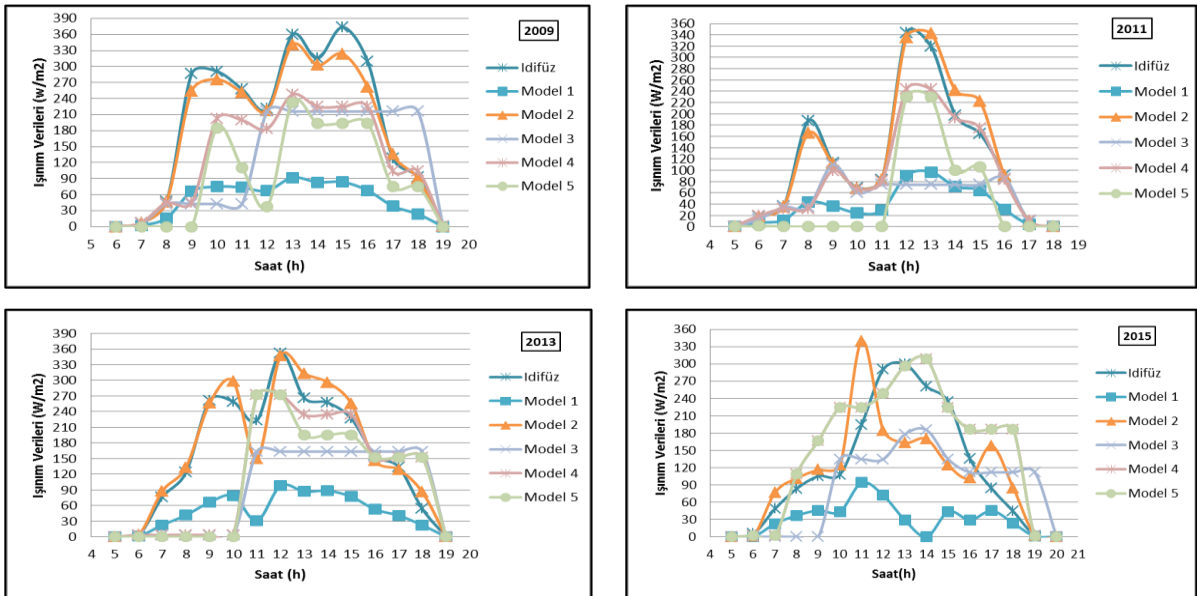




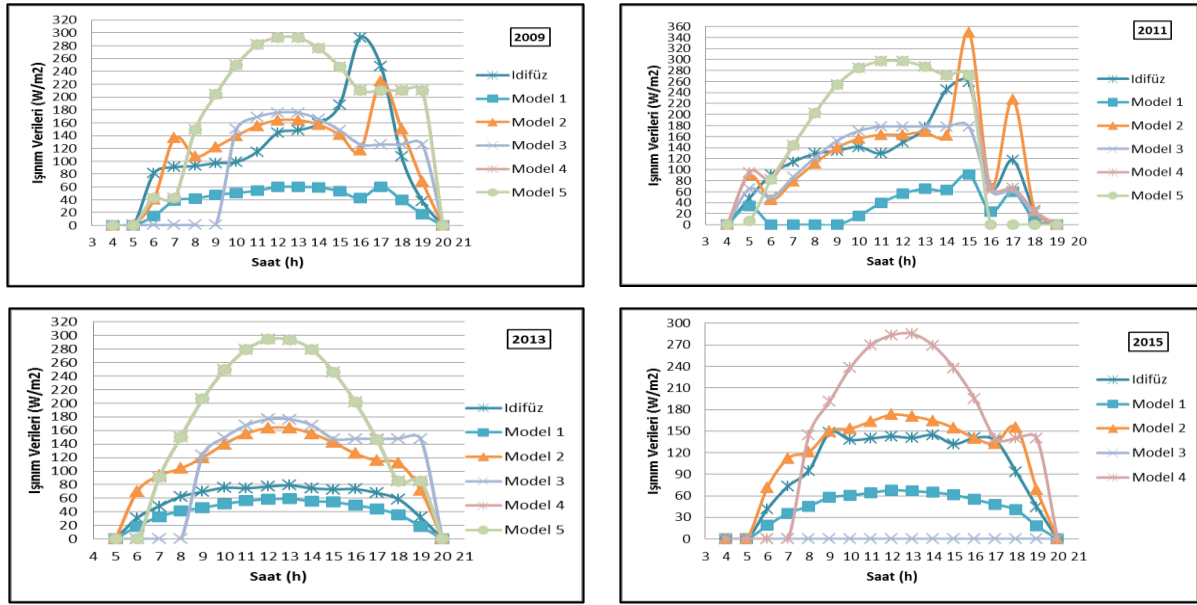
Şekil 2. Şubat ayı referans günü (16 Şubat) için model sonuçlarının yatay düzlem difüz ışınım ölçümleri ile mukayesesi. (Comparison of the results of models with horizontal diffuse radiation measurements for reference day of February (16<sup>th</sup> day of February))

Nisan ayı yatay düzlem difüz ışınım ölçüm ve hesaplama modellerinin değişim eğrisi Şekil 3'te 2009, 2011, 2013, 2015 yılları için verilmiştir. En az mutlak hata oranıyla hesaplama yapan Model 2, yüksek mutlak hata oranıyla hesaplama yapan metod Model 1 olduğu Şekillerden görülmektedir. Ayrıca, 2015 yılı için incelendiğinde Model 2'nin yatay düzlem difüz ışınım ölçüm değerinden yüksek oranda mutlak hata gösterdiği durumlar için Model 5 daha az bir mutlak hatayla ölçüm sonuçlarını takip ettiği görülmüştür.

Haziran ayı, yatay düzlem difüz ışınım ölçüm ve hesaplama modellerinin değişim eğrileri Şekil 4'te 2009, 2011, 2013, 2015 yılları için verilmiştir. En az mutlak hata oranıyla hesaplama yapan Model 2 olup yatay düzlem difüz ışınım ölçüm değerlerinin çok küçük olduğu yıllar için en çok mutlak hata oranıyla hesaplama yapan metodun Model 1 olduğu görülmektedir.



Şekil 3. Nisan ayı referans günü (15 Nisan) için model sonuçlarının yatay düzlem difüz ışınım ölçümleri ile mukayesesi. (Comparison of the results of models with horizontal diffuse radiation measurements for reference day of April (15<sup>th</sup> day of April))

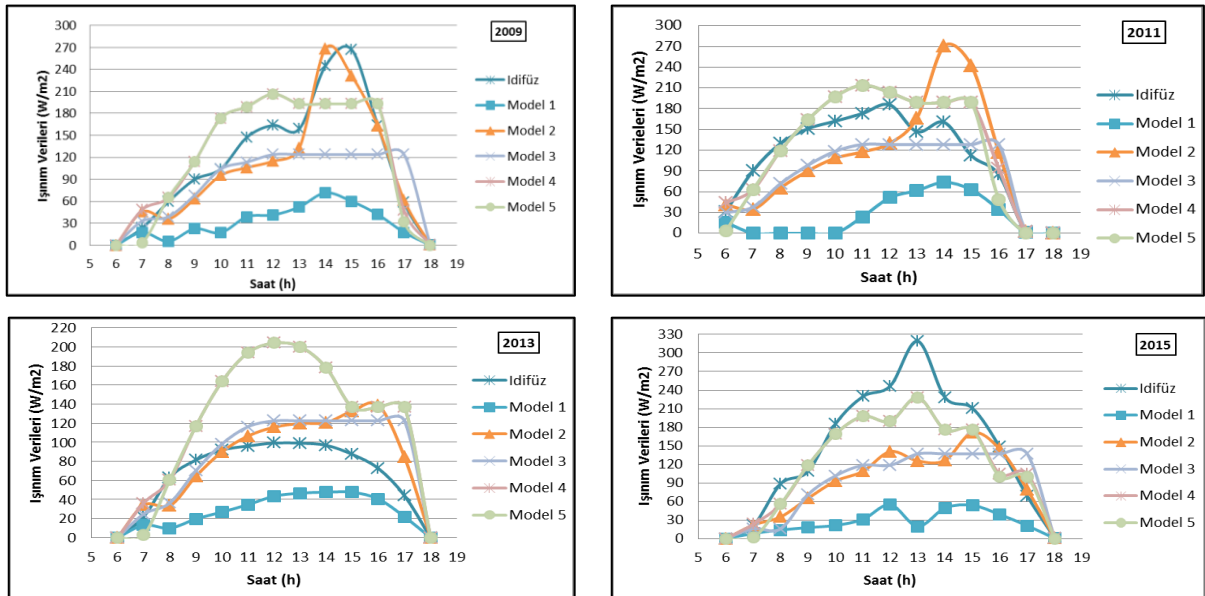


Şekil 4. Haziran ayı referans günü (11 Haziran) için model sonuçlarının yatay düzlem difüz ışınım ölçümleri ile mukayesesi. (Comparison of the results of models with horizontal diffuse radiation measurements for reference day of June (11<sup>th</sup> day of June) )

Şekil 5'te 2009, 2011, 2013, 2015 yılları için Ekim ayı, yatay düzlem difüz ışınım ölçüm ve hesaplama modellerinin değişim eğrileri verilmiştir. 2011 ve 2015 yılları incelendiğinde Model 2'nin yatay düzlem difüz ışınım ölçüm değerinden yüksek mutlak hata oranı gösterdiği durumlar için Model 5 daha az bir mutlak hata oranıyla hesaplama yapmıştır.

#### 4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Yatay düzlem saatlik difüz ışınımını hesaplayan literatürdeki 5 farklı modelin uygunluğu, Şanlıurfa'da yapılan 7 yıllık ölçüm verileri kullanılarak belirlenmeye çalışılmıştır.



Şekil 5. Ekim ayı referans günü (15 Ekim) için model sonuçlarının yatay düzlem difüz ışınım ölçümleri ile mukayesesi. (Comparison of the results of models with horizontal diffuse radiation measurements for reference day of October (15<sup>th</sup> October) )

Difüz ışınım zamanla değişkenlik göstermekle beraber istatistiksel hatalara göre en iyi modelin Erbs ve arkadaşlarının geliştirdiği model olduğu tespit edilmiştir. Erbs ve arkadaşları modeli için, ortalama mutlak hata, -3,21 W/m<sup>2</sup>, ortalama bağıl hata % -22,30 ve hata kareler ortalamasının karekökü 65,4 W/m<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır. Liu ve Jordan modelinin ölçüm verilerinden genellikle büyük sapma gösterdiği tespit edilmiştir. Liu ve Jordan modelinin ortama bağıl hatası %63,08 ve ortalama mutlak hatasının 83,07 W/m<sup>2</sup> olduğu tespit edilmiştir. Çalışılan diğer modellerin ise bazı yıllarda ölçüm değerleri ile uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Saatlik berraklık indeksine dayanan tek bir modelin yerine, daha düşük hata oranlarını verecek karma modellerin geliştirilmesi ve kullanılması uygun olacaktır. Gerçek difüz ışınım değerleri zamanla değişim gösterdiği için, yıl boyunca tek bir model yerine farklı modellerin kullanılması daha hassas sonuçlar verecektir. Ayrıca, eğimli yüzeyler için ölçüm değerlerinin olmadığı yerlerde en uygun eğimli yüzey difüz ışınım modellerinin tespit edilmesi gerekir.

#### SEMBOL VE KISALTMALAR (SYMBOLS AND ABBRIVATION)

$I_t$	yatay düzlem saatlik toplam ışınım (W/m <sup>2</sup> )
$I_0$	atmosfer dışı saatlik toplam ışınım (W/m <sup>2</sup> )
$I_{difüz}$	yatay düzlem saatlik difüz ışınım (W/m <sup>2</sup> )
$k_t$	berraklık indeksi
$f$	düzeltilme faktörü
$n$	yılın gün sayısı
$e$	enlem
$d$	denklinasyon açısı
$w$	saat açısı
$LId$	Liu ve Jordan modeli ile yatay düzlem difüz ışınım miktarı
$EId$	Erbs ve Ark. modeli ile yatay düzlem difüz ışınım miktarı
$MId$	Miguel ve Ark. modeli ile yatay düzlem difüz ışınım miktarı
$UI_d$	Ülgen ve Hepbaşlı doğrusal modeli ile yatay düzlem difüz ışınım miktarı
$UI_d$	Ülgen ve Hepbaşlı doğrusal olmayan modeli ile yatay düzlem difüz ışınım miktarı
MAE	ortalama mutlak hata
MAPE	ortalama bağıl hata
RMSE	hata kareler ortalamasının karekökü

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Bulut H., "Bina enerji analizi ve güneş enerji sistemleri için eğimli yüzeylere gelen toplam güneş ışınım şiddeti değerlerinin hesaplanması", *IX. Ulusal Tesilat Mühendisliği Kongresi*, İzmir, 435-448, (2009).
2. Bulut H., Durmaz A. F. ve Yeşilata B., "Eğik yüzeye gelen güneş ışınımı değerlerinin deneysel olarak incelenmesi", *I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi*, Eskişehir, 143-149, (2006).
3. Bulut H. ve Durmaz A. F., "Türkiye için pencerelerden geçen güneş ışınımının analizi", *II. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi*, Eskişehir, 85-95, (2008).
4. El-Sebaai A.A., Al-Hazmi F.S., Al-Ghamdi, A.A. and Yagmour, S.J., "Global, direct and diffuse solar radiation on horizontal and tilted surfaces in Jeddah, Saudi Arabia", *Applied Energy*, 87: 568-576, (2010).
5. Kuo, C., Chang, W. and Chang, K., "Modeling the hourly solar diffuse fraction in Taiwan", *Renewable Energy*, 66: 56-61, (2014).
6. Kotti, M.C., Argiriou A.A. and Kazantzidis A., "Estimation of direct normal irradiance from measured global and corrected diffuse horizontal irradiance", *Energy*, 70: 382-392, (2014).
7. Souza, A.P. and Escobedo, J.F., "Diurnal evolution of the hourly diffuse solar radiati on incident on tilted surface in Southeast of Brazil", *International Journal of Energy Science*, 3(3): 137-147, (2013).
8. Souza, A.P. and Escobedo, J.F., "Estimates of hourly diffuse radiation on tilted surfaces in Southeast of Brazil", *International Journal of Renewable Energy Research*, 3(1): 207-221, (2013).
9. Gulin, M., Vasak, M., and Baotic, M., "Estimation of the global solar irradiance on tilted surfaces", *17th International Conference on Electrical Drives and Power Electronics*, Dubrovnik-Croatia, 334-339, (2013).
10. Shukla, K.N, Rangnekar, S. and Sudhakar, K., "Comparative study of isotropic and anisotropic sky models to estimate solar radiation incident on tilted surface: a case study for Bhopal, India", *Energy Reports*, 1: 96-103, (2015).
11. Notton, G., Paoli, C., Vasileva, S., Ivanova, L., Nivet, M. L. and Stoyanov L., "Transformation of horizontal global solar data into tilted irradiation at hourly scale: comparison of various methodologies", *Ecological Engineering and Environment Protection*, 3: 13-19, (2012).
12. Demain, C., Journee, M. and Bertrand, C., "Evaluation of different models to estimate the global solar radiation on inclined surfaces", *Renewable Energy*, 50: 710-721, (2013).
13. Davies, J. A. and Mckay, D. C., "Evaluation of selected models for estimating solar radiation on horizontal surfaces", *Solar Energy*, 43(3): 153-168, (1989).
14. El-Sebaai, A.A. and Trabea, A.A., "Estimation of global solar radiation on horizontal surfaces over Egypt", *Egypt. J. Solids*, 28(1): 163-175, (2005).
15. Noorian, A.M., Moradi, I. and Kamali, G.A., "Evaluation of 12 models to estimate hourly diffuse irradiation on inclined surfaces", *Renewable Energy*, 33: 1406-1412, (2008).
16. Jastrzębska-Frydrychowicz, G. and Bugała, A., "Modeling the distribution of solar radiation on a

- two-axis tracking plane for photovoltaic conversion”, *Energies*, 8: 1025-1041, (2015).
17. Li, D. H.W., Lou, S.W. and Lam, J.C., “An analysis of global, direct and diffuse solar radiation”, *Energy Procedia*, 75: 388–393, (2015).
  18. Notton, G., Cristofari, C., Muselli, M. and Poggi P., “Calculation on an hourly basis of solar diffuse irradiations from global data for horizontal surfaces in Ajaccio”, *Energy Conversion and Management*, 45(18-19): 2849–2866, (2004).
  19. Wong, L.T. and Chow, W.K., “Solar radiation model”, *Applied Energy*, 69: 191–224, (2001).
  20. Miguel, A.D., Bilbao, J., Aguiar, R., Kambezidis H. and Negro E., “Diffuse solar irradiation model evaluation in the North mediterranean belt area”, *Solar Energy*, 70: 143-153, (2001).
  21. Ulgen, K. and Hepbaslı, A., “Prediction of Solar radiation parameters through clearness index for İzmir, Turkey”, *Energy Sources*, 24: 773-785, (2002).



# POLİTEKNİK DERGİSİ

## JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://www.politeknik.gazi.edu.tr/index.php/PLT/index>

## Kuantum nokta ara bant oluşumlu güneş hücresinin büyütülmesi, fabrikasyonu ve karakterizasyonu

### *Growth, fabrication and characterization of quantum dot intermediate band solar cell*

*Yazar(lar) (Author(s)): Uğur SERİNCAN, Hülya KURU MUTLU, Mustafa KULAKCI*

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz:** Serincan U., Kuru Mutlu H. ve Kulakçı M., “Kuantum nokta ara bant oluşumlu güneş hücresinin büyütülmesi, fabrikasyonu ve karakterizasyonu”, *Politeknik Dergisi*, 20(3): 565-569, (2017).

**To cite this article:** Serincan U., Kuru Mutlu H. and Kulakçı M., “Growth, fabrication and characterization of quantum dot intermediate band solar cell”, *Journal of Polytechnic*, 20(3): 565-569, (2017).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://www.politeknik.gazi.edu.tr/index.php/PLT/issue/archive>

**DOI:** [10.2339/politeknik.339365](https://doi.org/10.2339/politeknik.339365)

# Kuantum Nokta Ara Bant Oluşumlu Güneş Hücresinin Büyütülmesi, Fabrikasyonu ve Karakterizasyonu

(Bu çalışma V. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi'nde sözlü olarak sunulmuştur.)

Uğur SERİNCAN\*, Hülya KURU MUTLU, Mustafa KULAKCI

Anadolu Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, ESKİŞEHİR

(Geliş/Received : 09.06.2016 ; Kabul/Accepted : 02.08.2016)

## ÖZ

Katmanlar arasında sıkıştırılmış kendinden oluşumlu InAs kuantum noktalar n- üzeri p-GaAs tek eklem güneş hücresinin taban kısmına yakın bir bölgesinde sentezlenmiştir. Güneş hücresi yapısı p-tipi GaAs alttaş üzerine epi-katman olarak moleküler demet epitaksi yöntemiyle büyütülmüştür. Kuantum nokta içeren katmanlar, 15 tekrar olarak 25 nm kalınlığındaki GaAs örtü-katmanları arasına 2,7 tek-katman (ML) InAs büyütülerek oluşturulmuştur. 490 °C'de büyütülen InAs/GaAs ara-bant katmanlar dışında güneş hücresi yapısı 580 °C'de büyütülmüştür. Karşılaştırma yapabilmek adına ayrıca InAs kuantum nokta içermeyen bir referans örneği de büyütülmüştür. Büyütülen güneş hücresi yapıları aygıt haline getirilmiş ve opto-elektronik verimliliklerinin belirlenebilmesi için AM 1.5G güneş spektrumu altında ölçümler yapılmıştır. InAs kuantum noktaların, güneş hücresinin optik performansının üzerindeki etkisinin incelenmesi için, sonuçları destekleyici nitelikte, fotoluminesans ölçümleri de gerçekleştirilmiştir. Akım-gerilim ölçümlerinden elde edilen güneş hücresi parametreleri, kuantum noktalı ara-bant güneş hücresinin veriminin referans örneğine göre daha iyi olduğunu ortaya koymuştur. Güneş hücrelerinin şant direncinin aynı çıkması, hücreler arasındaki verimlilik farkının aygıt üretim sürecine değil, aygıtın içsel özelliklerine bağlı olduğunu göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** QD-IBSC, GaAs, InAs, Güneş Hücresi, MBE.

## Growth, Fabrication and Characterization of Quantum Dot Intermediate Band Solar Cell

### ABSTRACT

Stacked layers of self-assembled InAs quantum dots were synthesized within the base region close to the back surface field of GaAs single junction n- on p- solar cell. The solar cell structure was grown epitaxially on p-type GaAs substrate by using molecular beam epitaxy technique. Quantum dot layers with 15 periods were grown by growing 2.7 monolayers (ML) of InAs and each layer were capped with 25 nm GaAs. Except InAs/GaAs intermediate band layers which were grown at a substrate temperature of 490 °C, solar cell structure was grown at 580 °C. For comparison, a reference structure was also grown without InAs quantum dots. Solar cell devices were fabricated and measured under AM 1.5G solar spectrum to evaluate and compare opto-electronic performances of each structure. Corroborative photo luminescence measurements were also performed to draw out the effects of InAs quantum dots in the optical performance of cells. Extracted parameters of solar cells from the current-voltage measurements revealed that, the quantum dot intermediate band solar cell exhibits better performance compare to the reference one. For both cell structures shunt resistances are same, which indicates that the difference in efficiency is due to the intrinsic property of devices other than fabrication processes.

**Keywords:** QD-IBSC, GaAs, InAs, Solar Cell, MBE.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

P-n tek eklemli güneş hücrelerinin AM 1.5G güneş spektrumunda sahip olabileceği verimlilik değeri Shockley ve Quessier tarafından hesaplanmış ve 1,34 eV yasak bant aralıklı bir malzeme için ulaşılacak limit olarak %33,7 gibi bir değer öngörülmüştür [1]. Günümüzde Shockley ve Quessier limitine en yakın tek eklem güneş hücresi %29 verimlilikle GaAs esnek ince film güneş hücreleridir [2]. Bu limiti aşmak için çeşitli yaklaşımlar kullanılmış ve bazıları pratik uygulamalarda yerini almıştır; çoklu eklem güneş hücreleri, ışık yoğunlaştırma, foton yükseltme (up conversion), çoklu eksiton oluşturma, ara

bant oluşturma vs. [3]. Bu yaklaşımlardan en ilgi çekenlerden birisi 1997 yılında Luque ve Martí nin öngördüğü güneş hücresi malzemesinin yasak bandı içerisinde yeni bir ara bant oluşturmaktır [4]. Ara bant yapısı oluşturularak tek eklem bir güneş hücresinde verimlilik değerinin %63,1 gibi bir seviyeye çıkarılabileceği teorik olarak hesaplanmıştır. Ara bant yaklaşımının en büyük avantajı normal koşullarda malzemenin soğuramadığı düşük enerjili fotonlarında soğurularak özellikle kısa devre akımında ciddi derecede artış oluşturulmasıdır. Ara bant oluşturmada kuantum noktaların etkin bir şekilde kullanılabilmesi ve bu yapılarla oluşturulan güneş hücrelerinden yaklaşık %63,2 gibi rekor seviyede verimlilik değeri elde edilebileceği hesaplanmıştır [5]. Pratik uygulama açısından kuantum noktalı ara bant güneş hücreleri (QD-IBSC) henüz emekleme aşamasında olmasına rağmen özellikle GaAs tabanlı güneş hücrelerinde gelecekte çığır

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: userincan@anadolu.edu.tr

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/politeknik.339365

açacak yapılardan biri olarak gözükmekte ve bu hedefe ulaşmak için yoğun araştırma geliştirme faaliyetleri sürdürülmektedir [6].

Burada sunulan çalışmada, GaAs tek eklem güneş hücrelerinde verimliliğin artırılması için GaAs katmanlar arasında sıkıştırılmış kendiliğinden oluşumlu InAs kuantum noktalar kullanılmıştır. InAs kuantum noktalar, özellikle GaAs katmanının soğurmadığı kızılötesi bölgedeki ışığı soğurmak amacıyla kullanıldığı için tek eklem güneş hücresinin taban kısmında, azınlık taşıyıcı yansıtıcı katmana yakın bir bölgede, oluşturulması tercih edilmiştir. Soğurulmanın artırılması için kuantum nokta içeren katman 15 tekrar olarak büyütülmüştür. Kuantum nokta katmanının verimlilik üzerindeki etkisini anlayabilmek adına kuantum nokta katmanı içermeyen bir referans örneği de büyütülmüştür.

Büyütülen güneş hücresi yapıları standart litografi işlemleri kullanılarak aygıt haline getirilmiş ve enerji dönüşüm verimliliklerinin belirlenebilmesi için AM 1.5G güneş spektrumu altında ölçümler yapılmıştır. InAs kuantum noktalı katmanla ilgili optik bilgi edinebilmek için ayrıca fotoluminesans (PL) ölçümleri de gerçekleştirilmiş ve kuantum nokta içeren/içermeyen yapılar hakkında bilgi sahibi olunmuştur.

## 2. DENEYSEL AYRINTILAR (EXPERIMENTAL DETAILS)

Tek eklem GaAs tabanlı güneş hücresi yapıları moleküler demet epitaksi (MBE) yöntemi kullanılarak büyütülmüştür. MBE, çok yüksek taban vakumu ( $\sim 7 \times 10^{-11}$  Torr) altında bulunan kaynak malzemelerin, atom/molekül demeti olarak, belli sıcaklıklarda tutulan alttaşın üzerine gönderilmesi ve alttaş üzerinde, atom katmanı hassasiyetinde, epi-katmanlar oluşturulabilmesini sağlayan bir yöntemdir. Kaynak malzemeler, efüzyon hücresi içerisinde konumlandırılan PBN haznecikler içerisinde tutulmakta ve büyütülmek istenilen bileşiğe göre hazneciklerin hemen önündeki kepenkler açılarak büyütme işlemi gerçekleştirilmektedir. Yapılar, Veeco GEN20MC model MBE kullanılarak, InAs kuantum nokta katman içermeyen (NB491) ve içeren (NB500) olmak üzere iki farklı yapıda büyütülmüştür. Yapıların epi-katman ayrıntıları Çizelge 1 ve 2'de sunulmuştur. Yapıların verimliliklerinin karşılaştırılabilir olması amacıyla 15 tekrarklı InAs kuantum nokta ve GaAs örtü-katmanı kalınlığı da dikkate alınarak güneş hücrelerinin toplam kalınlığı ( $\sim 4 \mu\text{m}$ ) ayarlanmıştır. Her iki yapı da 4 inç p-tipi GaAs alttaş üzerine büyütülmüştür. 490 °C'de büyütülen (InAs kuantum nokta)/GaAs ara-bant katmanlar dışında

**Çizelge 1.** NB491 kodlu yapının katman özellikleri (Structure of the sample NB491)

Katmanlar	Katkı Miktarı ( $\text{cm}^{-3}$ )	Kalınlık (nm)
$n^{++}$ -GaAs (Si)	$4,2 \times 10^{18}$	300
$n^{+}$ - $\text{Al}_{0,85}\text{Ga}_{0,15}\text{As}$ (Si)	$3,0 \times 10^{18}$	42
$n^{+}$ -GaAs (Si)	$3,0 \times 10^{18}$	185
p-GaAs (Be)	$2,3 \times 10^{17}$	3300
p- $\text{Al}_{0,30}\text{Ga}_{0,70}\text{As}$ (Be)	$3,0 \times 10^{18}$	45
p-GaAs(Be)	$3,0 \times 10^{18}$	410
4 inç p-tipi GaAs alttaş		

**Çizelge 2.** NB500 kodlu yapının katman özellikleri (Structure of the sample NB500)

Katmanlar	Katkı Miktarı ( $\text{cm}^{-3}$ )	Kalınlık (nm)
$n^{++}$ -GaAs (Si)	$4,2 \times 10^{18}$	300
$n^{+}$ - $\text{Al}_{0,85}\text{Ga}_{0,15}\text{As}$ (Si)	$3,0 \times 10^{18}$	42
$n^{+}$ -GaAs	$3,0 \times 10^{18}$	185
p-GaAs (Be)	$2,3 \times 10^{17}$	2100
GaAs (Örtü-katmanı) + InAs QD x15 TEKRAR		25x15
p-GaAs (Be)	$2,3 \times 10^{17}$	500
p- $\text{Al}_{0,3}\text{Ga}_{0,7}\text{As}$ (Be)	$3,0 \times 10^{18}$	45
p-GaAs(Be)	$3,0 \times 10^{18}$	400
4 inç p-tipi GaAs alttaş		



güneş hücresi yapısı 580 °C’de büyütülmüştür. Örneğin gerçek sıcaklığı pirometre kullanarak ölçülmüş ve demet akı kalibrasyonları için de örnek tutucunun arkasında bulunan iyon vakum ölçer kullanılmıştır. MBE sisteminde kullanılan Ga/In hücreleri çift filamanlı, katkı hücreleri Be/Si hücreleri tek filamanlı ve As hücresi de vanalı-kırıcı (valve cracker) efüzyon hücreleridir. Büyütme öncesi, GaAs altta As akısı altında 610 °C sıcaklığa çıkarılarak yüzeydeki doğal oksit tabakası temizlenmiş ve bu süreç yansımali yüksek enerjili elektron kırımı (RHEED) yöntemiyle takip edilerek yüzeydeki doğal oksit tabakasının temizlendiğinden emin olunmuştur. Bu sürecin ardından altta sıcaklığı 580 °C’ye indirilmiş ve yapının büyütülmesine başlanmıştır. GaAs ve AlGaAs katmanlar için büyütme hızı ~0,7 ML/s ve InAs katman için de 0,1 ML/s kullanılmıştır.

Büyütülen yapılar standart litografik işlemler kullanılarak 1x1cm<sup>2</sup> lik aygıtlar haline getirilmiş ve AM 1.5G güneş spektrumu altında güneş hücresi parametrelerinin belirlenmesi için ölçümler yapılmıştır. Oda sıcaklığında yapılan ölçümlerden elde edilen akım-gerilim grafiğinden güneş hücrelerinin verimliliği ve diğer parametreleri belirlenmiştir.

Yapıların optik özelliklerinin incelenmesi için sıcaklık bağımlı PL ölçümleri yapılmış ve yapıdaki katmanlar hakkında bilgi sahibi olunmuştur. PL ölçümleri, Bruker VERTEX80v model PL modül eklentili FT-IR spektrometresi (fourier transform infrared spectrometer) ile ölçülmüş ve uyarım kaynağı olarak da 532 nm dalga boyuna sahip lazer kullanılmıştır. NB500 kodlu örnekte InAs kuantum nokta katmanındaki sinyalin daha belirgin gözlemlenebilmesi için yüzeyden ~2,4 µm’lik bir tabaka PL ölçümleri öncesi kaldırılmıştır.

Örnekler, yüzey kusurlarının belirlenebilmesi amacıyla ZEISS Ultraplus model taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile 20 kV çalışma gerilimi, 4,4 mm çalışma mesafesi ve ikincil elektron dedektörü kullanılarak incelenmiştir.

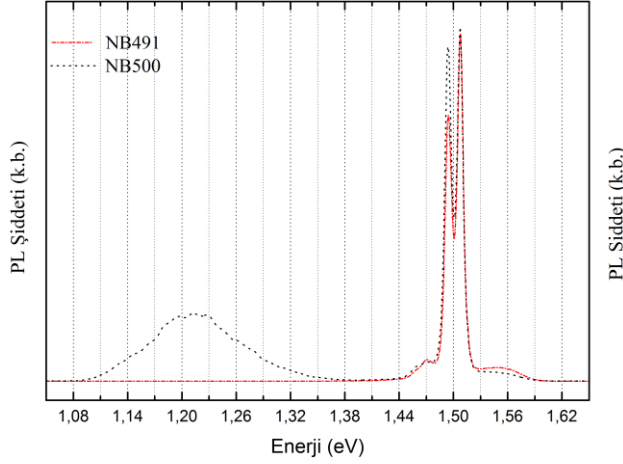
### 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Örneklerin optik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla sıcaklık bağımlı PL ölçümleri alınmıştır. Elde edilen sinyal şiddeti düşük sıcaklıklarda daha belirgin olduğu için bu çalışmada sadece 8 K sıcaklıkta alınan spektrumlar sunulmuştur (Şekil 1). Şekil 1’den görüleceği üzere, InAs kuantum nokta katmanı içeren NB500 kodlu örneğinin spektrumunda NB491 örneğinin spektrumundan farklı olarak 1,08-1,35 eV aralığında geniş bir tepe ortaya çıkmaktadır. Bu tepenin kaynağı, GaAs katman arasına sıkıştırılmış farklı büyüklükteki InAs kuantum noktalarıdır [7]. NB500 kodlu örnekte bu tepenin görüntülenmesi, yapı içerisinde, InAs kuantum noktaların başarıyla oluşturulduğunu göstermektedir. Şekil 1’de her iki örneğin spektrumunda da gözlemlenen 1,49, 1,51 ve 1,56 eV noktalarındaki tepeler ise farklı katlı GaAs katmanlardan gelmektedir.

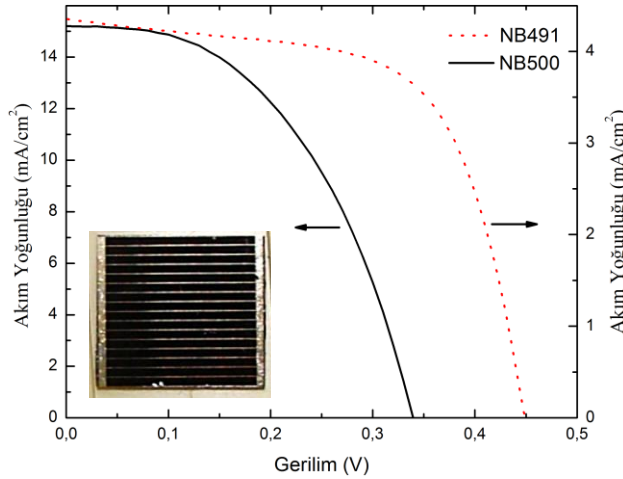
Yapılan optik ölçümlerin ardından aygıt haline getirilen yapıların güneş hücresi performans parametrelerinin belirlenebilmesi için her iki yapının da AM 1.5G güneş spektrumunda akım-gerilim ölçümleri yapılmış ve Şekil 3’de sunulmuştur. Güneş hücrelerinin akım yoğunluğu-gerilim eğrisinden performans parametreleri üretilmiş ve Çizelge 3’de verilmiştir. Çizelge 3’ten görüleceği üzere referans (NB491) ve QD-IBSC (NB500) güneş hücrelerinin yansıtmasız yüzey kaplaması olmadan verimlilikleri, sırasıyla, %1,25 ve 2,48 olarak hesaplanmıştır. Kuantum noktalı güneş hücresinin verimlilik değeri referans hücresinininkinin yaklaşık iki katıdır. Her iki aygıtın performans değerleri beklenenin çok altında çıkmasına rağmen kendi aralarında karşılaştırma açısından dikkate değerdir. Büyütülen yapılarda SEM analizleriyle tespit edilen Ga kaynaklı oval kusurlar (Şekil 4), örneklerin beklenenden daha düşük performans göstermelerinin sebebi olarak gösterilebilir [8]. Yapıların kristal kalitesi yüksek çözünürlüklü X-ışını kırınımı (HRXRD) eğrilerinde (burada sunulmamıştır) iyi gözükmüş olsa da, aygıtların ön ızgara ohmik kontak kaplanması ve fırınlanması sırasında bu kusurlardan içeriye sızan kontak malzemesi yayıcı (emitter) ve taban (base) katmanları arasında kusurlu bölgelerde kısa devreye sebep olarak hem açık devre voltajı ve hemde kısa devre akımında büyük kayıplara sebep olduğu gözlenmiştir. Yapıların gerçek performanslarının belirlenebilmesi için bu kusurları içermeyecek şekilde aygıtların üretilmesi gerekmektedir. Ancak her iki grup örneklerin büyüme koşulları ve fabrikasyon süreçleri aynı olduğu için kendi aralarında karşılaştırma açısından oldukça değerlidir.

İki aygıt parametreleri karşılaştırıldığında, seri ve şant (paralel) dirençlerin hemen hemen aynı fakat açık devre voltajı ve özellikle kısa devre akımlarının farklı olduğu gözükmektedir. QD-IBSC yapısının kısa devre akımı beklenildiği gibi referans örnekten oldukça fazladır, yapı içerisindeki periyodik kuantum nokta katmanlarının GaAs bandı içerisinde ara bant oluşturduğu ve referans örneğin soğurmadığı GaAs’in bant aralığından daha düşük enerjili fotonları soğurarak çok daha fazla elektron-deşik çifti ürettiği açıkça gözükmektedir. Kısa devre akımındaki bu artış, PL spektrumundaki kuantum noktaların GaAs’e göre daha düşük enerjili bölgede ışınmasıyla uyum içerisinde. Kısa devre akımındaki yaklaşık 3,5 katlık artış, kuantum noktalı yapının görece daha düşük doluluk faktörü ve açık devre voltajına rağmen toplamda enerji dönüşümü açısından daha iyi performans göstermesini sağlamıştır. Her iki güneş hücresinin doluluk faktörünün nispeten düşük olması yüksek seri direnç ve düşük paralel dirençten kaynaklandığı Çizelge 3’te açıkça görülmektedir. Oval kusurlardan kaynaklı çok düşük paralel direnç kayıpları kendini açık devre voltaj değerlerindeki kayıplarda özellikle belli etmektedir. Her iki direnç değerlerinin beklenen değerlerden uzak olması maksimum güç noktasını çok aşağılara çektiğinden enerji dönüşümünü dahada düşük seviyede tutmuştur. Seri dirence en büyük katkının ön ızgara metal kontaklardan geldiği tahmin edilmektedir;

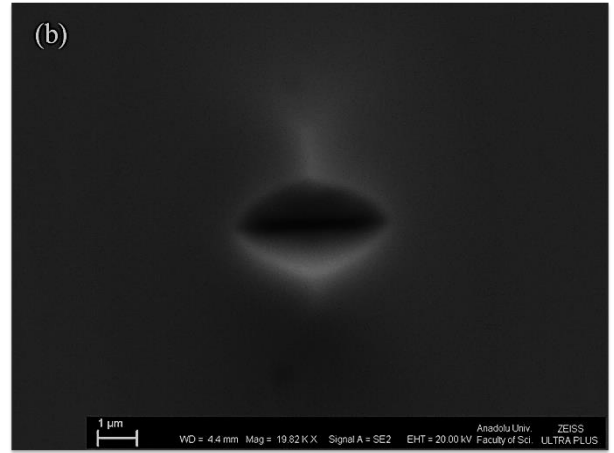
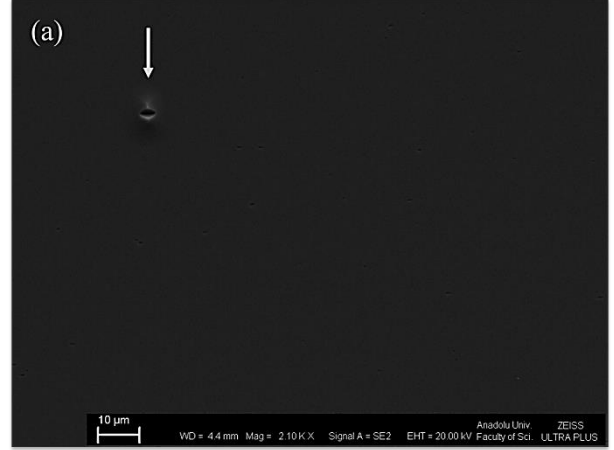
mevcut hücrelerdeki 500 nm civarındaki metal kalınlığının artırılması ve ızgara geometrisinin yeniden tasarlanması gerektiği anlaşılmıştır.



Şekil 2. NB491 ve NB500 kodlu yapıların 8 K sıcaklıkta alınmış PL spektrumları (PL spectra of the samples NB491 and NB500 conducted at 8 K)



Şekil 3. NB491 ve NB500 kodlu örneklerin akım yoğunluğu-gerilim eğrileri. Güneş hücresinin aygıt hali içşekilde gösterilmektedir (Current density-voltage curves of the samples NB491 and NB500. Picture of the solar cell is presented in the inset)



Şekil 4. Güneş hücresi yüzeyinden elde edilen Ga kaynaklı oval kusurun (a) 2,1 K ve (b) 19,8 K büyütme altında SEM görüntüsü (SEM micrograph of the solar cell surface which shows Ga based oval defect at a magnification of (a) 2.1 K and (b) 19.8 K)

### 3. SONUÇ (CONCLUSION)

InAs kuantum noktalarının GaAs tabanlı tek-eklem güneş hücresi verimliliği üzerindeki etkisinin araştırılması için kuantum noktasız ve kuantum noktalı olmak üzere 2 adet güneş hücresi yapısı MBE yöntemi kullanılarak

Çizelge 3. Güneş hücrelerinin performans değerleri (Parameters of solar cells)

Yapı kodları	NB491 (Referans örneği)	NB500 (QD-IBSC)
Verimlilik (%)	1,25	2,48
Doluluk Faktörü (%)	63	48
Kısa devre akım yoğunluğu (mA/cm <sup>2</sup> )	4,4	15,2
Açık devre Voltajı (V)	0,45	0,34
Seri Direnç (Ω)	10,7	9,2
Şant Direnç (Ω)	667	669

büyütülmüştür. Yapılan PL ölçümleri, InAs kuantum noktaların başarılı bir şekilde oluşturulduğunu göstermiştir. Aygıt haline getirilen güneş hücresi yapılarının verimlilikleri karşılaştırılmış ve elde edilen sonuçlar InAs kuantum nokta içeren yapının veriminin daha yüksek olduğunu ortaya koymuştur. Her iki yapı için de verimlilik değerleri beklenenden düşük çıkmıştır. SEM analizleri, bu durumun Ga kaynaklı oval kusurlardan kaynaklandığını ortaya koymuştur. Bununla birlikte, büyütülen yapıların karşılaştırılabilir özellikte olması nedeniyle, InAs kuantum nokta katmanının beklendiği gibi ara bant oluşumu sağladığı ve GaAs katmanının soğurmada yetersiz kaldığı bölgede güneş hücresinin kısa devre akımına ciddi katkı sağladığı gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, bu çalışmada, QD-IBSC güneş hücresi yapısı başarılı bir şekilde büyütülmüş ve kuantum noktaların güneş hücresi verimliliğini artırdığı ortaya konmuştur. Elde edilen bulgular doğrultusunda malzeme büyütme ve metal kontak aşamalarında iyileştirme yapılması gerekliliği ve yapılacak bu iyileştirmelerle QD-IBSC yüksek verimli güneş hücrelerinin yakın gelecekte üretilbileceği anlaşılmıştır.

#### TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENTS)

Bu çalışma, Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığı 1403F062 ve 1506F541 kodlu projeler ile desteklediği için Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığına teşekkür ederiz.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Shockley W. and Queisser H. J., "Detailed balance limit of efficiency of p-n junction solar cells", *Journal of Applied Physics*, 32: 510-519, (1961).
2. Chart of Best Research-Cell Efficiencies Provided by NREL. [http://www.nrel.gov/pv/assets/images/efficiency\\_chart.jpg](http://www.nrel.gov/pv/assets/images/efficiency_chart.jpg)
3. Pandey A. K., Tyagi V. V., Selvaraj J. A/L, Rahim N. A. and Tyagi S. K., "Recent advances in solar photovoltaic systems for emerging trends and advanced applications", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53: 859-884, (2016).
4. Luque A. and Martí A., "Increasing the efficiency of ideal solar cells by photon induced transitions at intermediate levels", *Physical Review Letters*, 78: 5014-5017, (1997).
5. Martí A., Cuadra L. and Luque A., "Quantum dot intermediate band solar cells", *Proceedings of the 28<sup>th</sup> IEEE Photovoltaics Specialists Conference*, 940-943, (2000).
6. Okada Y., Ekins-Daukes N. J., Kita T., Tamaki R., Yoshida M., Pusch A., Hess O., Phillips C. C., Farrell D. J., Yoshida K., Ahsan N., Shoji Y., Sogabe T. and Guillemoles J. F., "Intermediate band solar cells: recent progress and future directions", *Applied Physics Reviews*, 2: 021302-1-48, (2015).
7. Alonso-González P., González L., Fuster D., Martín-Sánchez J. and González Y., "Surface localization of buried III-V semiconductor nanostructures", *Nanoscale Research Letters*, 4: 873-877, (2009).
8. Szerling A., Kosiel K., Wójcik-Jedlińska A., Płuska M. and Bugajski M., "Properties and origin of oval defects in epitaxial structures grown by molecular beam epitaxy", *Optica Applicata*, 35: 537-548, (2005).



# POLİTEKNİK DERGİSİ

## JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://www.politeknik.gazi.edu.tr/index.php/PLT/index>

## The environmental importance of flue gas purification systems; case of Yatağan thermal power station

### *Baca gazı arıtma sistemlerinin çevresel önemi; Yatağan termik santrali örneği*

*Yazar(lar) (Author(s)): Ömer ERSOY, Mahmut ÖZBAY, Filiz ÇETİNKAYA KARAFAKI, Demet EROL*

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz:** Ersoy Ö., Özbay M., Çetinkaya Karafakı F. ve Erol D., “The environmental importance of flue gas purification systems; case of Yatağan thermal power station”, *Politeknik Dergisi*, 20(3): 571-577, (2017).

**To cite this article:** Ersoy Ö., Özbay M., Çetinkaya Karafakı F. and Erol D., “The environmental importance of flue gas purification systems; case of Yatağan thermal power station”, *Journal of Polytechnic*, 20(3): 571-577, (2017).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://www.politeknik.gazi.edu.tr/index.php/PLT/issue/archive>

**DOI:** [10.2339/politeknik.339367](https://doi.org/10.2339/politeknik.339367)

# The Environmental Importance of Flue Gas Purification Systems; Case of Yatağan Thermal Power Station

(This study has been presented as oral presentation in 2nd International Sustainable Buildings Symposium.)

Ömer ERSOY<sup>1,\*</sup>, Mahmut ÖZBAY<sup>2</sup>, Filiz ÇETİNKAYA KARAFAKI<sup>3</sup>, Demet EROL<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Ankara, Türkiye

<sup>2</sup>Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

<sup>3</sup>Hitit Üniversitesi Güzel Sanatlar Tasarım ve Mimarlık Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Çorum, Türkiye

<sup>4</sup>Gazi Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, Ankara, Türkiye

(Received : 09.06.2016 ; Accepted : 10.06.2016)

## ABSTRACT

During the production of energy from large combustion plants will cause the combustion process to air pollution stands out various gases. That gases are quite harmful on the urban ecosystem. Wet flue gas desulphurisation systems are preferred because of their applicability and easily operable structures without a deep information. The Station flue gas purification systems are designed as a gas desulphurisation process. Each of these units has their own chimney and fluepurification systems. In flue gas purification systems, SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>, dust and heavy metals are purified. SO<sub>2</sub> which occurs by fuel burning can be increased in flue gas purification systems with 98% efficiency. The process is worked on the basis of spraying the lime milk produced by grinding the limestone in the mill and mixing it with water, into the waste gas in the washing tower. The lime milk polluted after spraying process is segregated by way of hydro cyclones and discarded. The lime milk which diminishes is taken from the stock tank and given to the system. SO<sub>2</sub> gas which enters in the flue gas purification system can be increased to 500 mg/Nm<sup>3</sup>. It is seen how important the gas desulphurisation process in preventing environment pollution and for a healthy landscape. This study has been presented at the II. International Sustainable Buildings Symposium in the same form.

**Keywords:** Flue gas desulphurisation, SO<sub>2</sub> absorption, Yatağan thermal power plant, air quality, air pollution and environment.

## Baca Gazı Arıtma Sistemlerinin Çevresel Önemi; Yatağan Termik Santrali Örneği

### ÖZ

Büyük yakma tesislerinde enerji üretimi sırasında yakıtın yanması sonucu hava kirliliğine neden olacak çeşitli gazlar çıkmaktadır. Bu gazlar kent ekosistemi üzerinde oldukça zararlıdır. Yaş baca gazı desülfürizasyon sistemleri, uygulanabilirliği geniş ve kimyasal proseslerin yönetiminde derin bir bilgi gereksizinden dolayı tercih edilmektedir. Yatağan termik santrali baca gazı arıtma sistemleri yaş baca gazı desülfürizasyon prosesi olarak tasarlanmıştır. Ünitelerin her birinin kendi bacası ve kendi baca gazı arıtma sistemi vardır. Baca gazı arıtma sistemlerinde SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>, toz ve ağır metallerin arıtımı yapılmaktadır. Yakıtın yakılması sonucu ortaya çıkan SO<sub>2</sub> gazı, baca gazı arıtma sistemlerinde %98'e varan tutma verimiyle arıtılabilmektedir. Proses, belirli ölçülere kadar kırılmış kireç taşının değirmende öğütülmesi ve su ile karıştırılması sonucu hazırlanan kireç sütünün, yıkama kulesinde atık gazın üzerine püskürtülmesi esasına göre çalışmaktadır. Püskürtme sonrası kirlenen kireç sütü yoğunluk farkına göre hidro siklonlar vasıtasıyla ayrılmakta ve atılmaktadır. Eksik kalan kireç sütü ise belirli miktarda kireç sütü depolama tankından alınarak sisteme verilmektedir. Yatağan termik santrali örneğinde baca gazı arıtma sistemine giren SO<sub>2</sub> gazı 500 mg/Nm<sup>3</sup>'e kadar arıtılabilmektedir. Çıkan bu sonuçlar değerlendirildiğinde, santralin baca gazı desülfürizasyon proseslerinin çevre kirliliğini önlemesi ve sağlıklı bir peyzaj açısından ne kadar önemli olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu çalışma II. Uluslararası Sürdürülebilir Yapılar Sempozyumu'nda aynı şekliyle sunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Baca gazı desülfürizasyon, SO<sub>2</sub> absorpsiyonu, Yatağan termik santrali, hava kalitesi, hava kirliliği ve çevre.

### 1. INTRODUCTION

In the larger burning stations, several gases occur which cause air pollution during the process of fuel burning.

These wastes cause air, water and soil pollution. This situation cause many illness and deterioration of the environmental landscape character. Plant facilities, water resources, agricultural lands, forested areas etc. of the near and far surrounding can be damaged. One of the main of this waste is SO<sub>2</sub>. After burning the fuel, there becomes energy but after this burning process the gasses

\*Corresponding Author

e-mail: omer\_ersoy@msn.com

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/politeknik.339367

extracted to the air causes air pollution. Approximately 80% of SO<sub>2</sub> emissions are produced by fuel burning [1]. It is seen that after the catalysation by solid particles or sun rays or oxidation upon water drops by complex reactions, a minor part of SO<sub>2</sub> turns to SO<sub>3</sub> and after that it leaves atmosphere by solid dry deposit. It might be a fatal problem for the respiratory tract or lung failure patients when SO<sub>2</sub> in the air reaches higher degrees. Besides that it also harms the plants and technological materials. However, its most serious effect on nature is demolishing and destroying effect on the forests, flora, soil structure and water resources [2]. On the purpose of controlling and decelerating the air pollution in producing energy, gas purification systems are established in burning stations. Flue gas purification systems are purified the pollution in its resource and they minimise the damage in the air quality. A well-working flue gas purification station can decrease the harm level of the gases that occur after fuel burning process and produce clean energy in this way. On this ground, flue gas purification systems are crucial to control air pollution and to protect the air quality. The waste which occurs after coal burning can be discarded by applying either or few of physical, chemical or biological methods [3].

As a rule, the method of purification the SO<sub>2</sub>, one of the contaminants found in flue gas, depends on the principle of transferring the contaminant to the purifier liquid prepared for the purpose of purification by reaction with flue gases. This transferring system depends on absorbing, ravelling or adsorption of the contaminant [4]. Flue gas purification systems purify the contaminants produced by coal burning in the thermal power stations in energy producing. These purified contaminants are SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>, dust and heavy metals. Flue gas purification systems are composed of flue gas washing tower, limestone stocking, the systems of preparing absorbent, cultivation, plaster dewatering and ash mixing and the other helper systems.

## 2. MATERIAL AND METHOD

Yatağan Termik Santralinde ıslak tip baca gazı desülfürizasyon sistemi kullanılır. Wet flue gas desulphurisation systems work as in the figure given below.

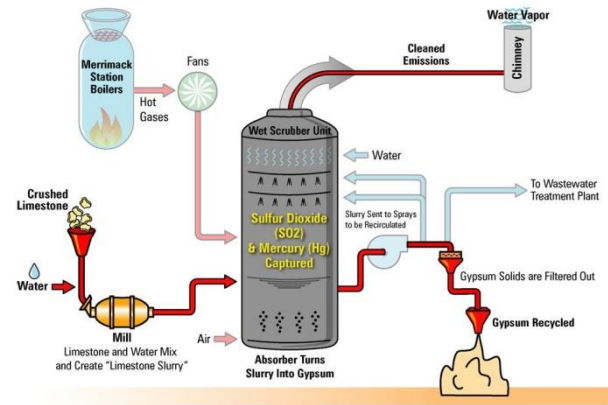
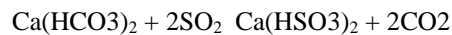


Figure 1. The desulphurisation process of wet chimney [5]

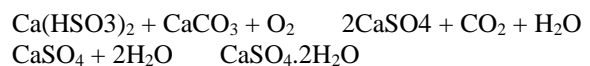
### 2.1. Lime Milk Preparation Process

The flue gas purification system of our case Yatağan Thermal Power Station is also composed of the systems given in the figure above. The limestone needed for preparing lime milk are stocked in the silos, measured in dimensions and sent to the crackers. The limestone cracked in specific dimensions are granulated and transformed into water and lime milk. Well-granulated limestone are dispersed in the water and it turns into a suspension [2]. Prepared lime milk is stocked in the absorbent tank and the needed amount of it is sent to the washing tower (scrubber) through the feeding bands. Using the recirculation pumps, lime milk is given to the distribution bands in the washing tower and then sprayed in such a way that it contact with raw gas with the approximate percentage of 100% by the help of nozzles. SO<sub>2</sub> found in flue gas is absorbed in the water and react with limestone.



### 2.2. Purification Process in the Washing Tower

While the processed gas is getting high, it passes through the drop catchers, dehumidified here and sent to the chimney from the fresh air exit. Calciumsulphide which occurs after the reaction of lime milk and the polluted gas is osculated to the oxygen and tuned into calcium sulphate. When the density in the was hing tower exceeds the treshhold limits (1130 kg/m<sup>3</sup>), the material is sent to the cyclones. Taking the advantage of the density gap, the one which has higher density is taken to the plaster tank and the other with lower density is taken again to the washing tower (scrubber). The reactions which occur in the washing tower through the purification process in the flue gas purification systems are given below.



The well-used wet and dry flue gas purification systems and the information of the products which occur after the reaction of the active materials in these systems are given below.

**Table 1.** The processes of flue gas desulphurisation mostly applied

Process	Active Material	Product
<b>WET SYSTEMS</b>		
Limestone	CaCO <sub>3</sub> (discarded)	CaSO <sub>3</sub> / CaSO <sub>4</sub>
Lime	Ca(OH) <sub>2</sub> (discarded)	CaSO <sub>3</sub> / CaSO <sub>4</sub> (discarded)
Double alkaline	Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> (regained)	CaSO <sub>3</sub> / CaSO <sub>4</sub>
Sodium carbonate	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> /Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> (Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> /Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> regained)	CaSO <sub>3</sub> / CaSO <sub>4</sub>
Mag-Ox	MgO (regained)	SO <sub>2</sub> (may be used in the production of S or H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )
Wellman-Lord	Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> (regained)	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
<b>DRY SYSTEMS</b>		
Limestone	CaCO <sub>3</sub> (discarded)	CaSO <sub>4</sub>
Lime	Ca(OH) <sub>2</sub> (discarded)	CaSO <sub>4</sub>
Trona	(Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> - NaHCO <sub>3</sub> ) (discarded)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
Spray drying	Lime, lime stone, soda (trona)	DryCaSO <sub>3</sub> orNaSO <sub>3</sub>

**2.3. Chimney Gas Desulphurisation System Equipments**

Our case Yatağan Thermal Plant is composed of the sub-systems below:  
 Flue gas washing system  
 Limestone stocking, operating and preparing absorbent system  
 Dewatering plaster and ash jamming system  
 Flue gas washing system of every unit is composed of the sub-systems below  
 Flue gas way  
 Scrubber  
 Helper systems are composed of the sub-systems below  
 Limestone system  
 Limestone stocking, transporting and urgent stocking system  
 Preparing and feeding absorbent  
 Plaster dewatering  
 Hydrocyclone station (Units 1-2-3)  
 Gypsum parrying  
 Filtrates recycle  
 Transferring plaster mud

Ash transfer  
 Ash mixing  
 Provision of process water  
 Provision of the service and device air  
 Drainage hole  
 Urgent stocking tank  
 Flue gas washing system  
 Flue gas way: The elements of the way of flue gas which links the existing flue gas channels to scrubber are given below:  
 Flue gas channels  
 Booster fan  
 Urgent spraying system  
 Gas-gas warmer  
 Air dryer  
 The processes given below are done in washing tower  
 Disposing SO<sub>2</sub>  
 Disposing the dust  
 Turning the disposed SO<sub>2</sub> and O<sub>2</sub> to sulphuric acid  
 Catching the drop  
 Sub-equipments of the washing tower are given below:  
 The entrance of flue gas  
 Absorption region  
 Drop catchers  
 Oxidation region  
 Crystallisation region  
**Scrubber pumps**  
 The measurements of the analysis  
 Some of the technical information about the scrubber are given below  
 Flue gas entrance section: 10 000×4200 mm  
 Speed of the dirty flue gas exit: 12,7 m/s  
 Absorption Region: 69 m<sup>3</sup>/h  
 The speed of the gas entrance in drop catchers: 4,4 m/s  
 The productivity of drop catcher: %99  
 Number of washing tower: 3×1  
 Type :Bischoff  
 Gas flow rate (max) :1461595 Nm<sup>3</sup>/h (wet in the entrance)  
 Tower diameter :13,5 m  
 Height of tower :48,3 m  
 Drop catchers :1 unit (two-level)  
 Scrubber materials:carbon steel  
 Spray level :6 level  
 Number of mixers :4  
 Material :carbon steel  
 Nominal motor power:25 kW (each)  
 Speed of the gas in scrubber :3,3 m/sn



The height of oksidation region:from water level 5,4 m      Grind ability      : max 10 kWsaat/t  
 Air temperature exiting from oxidation fan :75°C      The capacity of reaction penetration      : %50

**Table 2.** The attributions of constant measurement device

Place of measurement	Parameter	Model	Measurement range	Calibration Method
	CO		0-750 mg/m <sup>3</sup>	Automatic
	SO <sub>2</sub>		0-2.000 mg/m <sup>3</sup>	Automatic
	NOX		0-2.000 mg/m <sup>3</sup>	Automatic
	O <sub>2</sub>		0-%20	Automatic
	Dust		Sick AG- OMD41	0-450 mg/m <sup>3</sup>
BGD Setting entrance	Flow	Sensor PitoPub	Method: Pressure Transmitter	

**Oxidation fans**

Total number:4 (one for reserve)  
 Type :turbo  
 Capacity:18 500 Nm<sup>3</sup>/hour  
 Pressure:1,85 bar  
 Height of crystallisationregion :13.6 m (from bottom to oxidation region)  
 Circulation pumps: 3/scrubber  
 Type :santrifüj  
 Capacity:13 500 m<sup>3</sup>/h  
 Pump pushing height :19,90 / 23,40 / 27,00 m  
 Material :iron + rubber covering

**Shaft;**

Power:1 200 / 1330 / 1540 kW  
 Speed :350-450 rpm  
 Productivity :%87  
 Salmastra type:mechanic  
 Stimulation motor ;  
 Number :3×3  
 Power:1 250-1750 kW  
 Voltage:6,3 kV  
 Speed:1 500 rpm  
 Measurements done  
 There is pressure meter, density meter, pH meter and flow meter in the pump line  
 The chemical attributions of limestone  
 CaCO<sub>3</sub>: min%90  
 MgO: <%3  
 SiO<sub>2</sub>: max%4  
 Moisture: %5

Particle size : 0-60 mm

**3. PERSISTENT MEASUREMENT SYSTEMS IN FLUE GAS PURIFICATION SYSTEMS**

SO<sub>2</sub>, nitrogen oxide NOX (NO), carbon monoxide (CO), oxygen (O<sub>2</sub>) and dust emission limits are persistently automatically monitored in the exit channels of the flue gas purification (FGP) systems. The attributions of the measurement devices are given in the table below.

**3.1. Measurement Techniques in FGP Systems**

Satisfying the isokinetic conditions and taking sample are important factors in doing right measurements. Taking isokinetic sample can be defined with taking the sample at an equal rate without any breakdown in flow conditions in the resource. The flow characteristics are crucially important in the samples which involve both of the gas and the particles. Taking a sample at any speed and point is sufficient if the flow speed and concentration are both stable in the sample taking point. But, in case of taking a sample from a resource which has unstable flow characteristic, expected concentration would be higher than the observed concentration when the speed of taking gas sample would be higher then the speed of the waste gas and vice versa. The characteristic of the flow speed are both valid for the gas and the particle materials [6].

In the table below isokinetic gas and dust samples are analysed within the scope of the principles that SKHKKY anticipates for the emission resource chimneys by using the standard measurement techniques given in the table. The way of isokinetic dust sampling is shown in the figure below.

Table 3. Standard measurement techniques using in emission measurements

Measured parameter	Standard method
Designation case points	EPA Method 1
Gas speed and flow measurement	EPA Method 2
Identifying the moisture context	EPA Method 4
Oxidation gases CO SO <sub>2</sub> NO <sub>x</sub>	EPA Method CTM 030 EPA Method 6C EPA Method CTM 022
Dust	EPA Method 17
Halogens	EPA 26

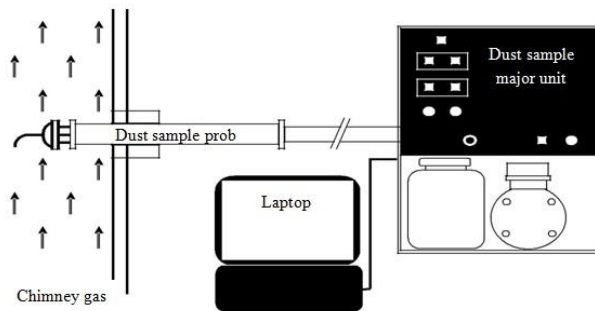


Figure 2. Isokinetic dust sample system

**4. RESULTS OF THE MEASURES DONE IN FGP SYSTEMS AND THEIR EVALUATION**

The emission measurement results of the dust, CO, NO<sub>x</sub> and SO<sub>2</sub> parameters taken from flue gas measurement device for each three unit in the dates between January 2011 and December 2012 in CGP system are gained as daily averages.

**4.1. Carbon Monoxide Emissions and the Evaluation**

The results of the measures are shown in the graphics below where the CO emission values saved for each three unit are given with the threshold limits. From these graphics it is observed that CO emission data is rarely above from the threshold limits in terms of daily averages for Unit 1 and especially in Unit 3 its rate of being above extreme limit is higher. CO emission mostly increases parallel with the operation problems and negation in burning conditions. Looking these graphics it can be said that the burning conditions can be unfavourable.

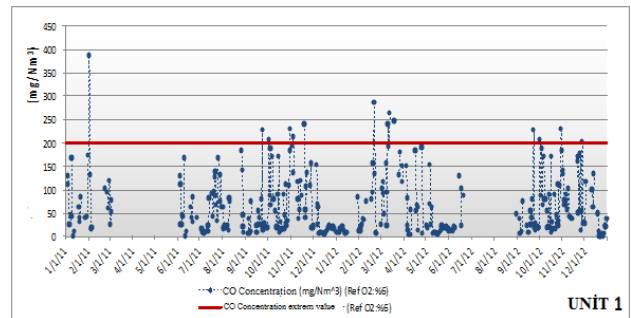


Figure 3. CO emission values and its comparison with threshold limit (Unit 1)

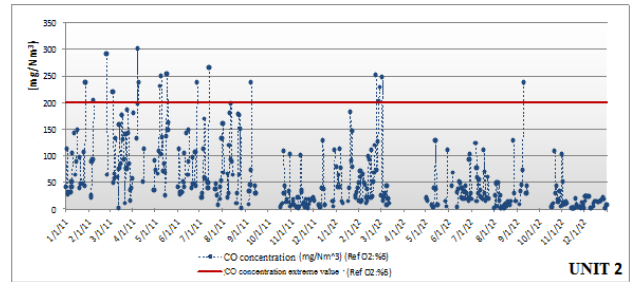


Figure 4. CO emission values and its comparison with threshold limit (Unit 2)

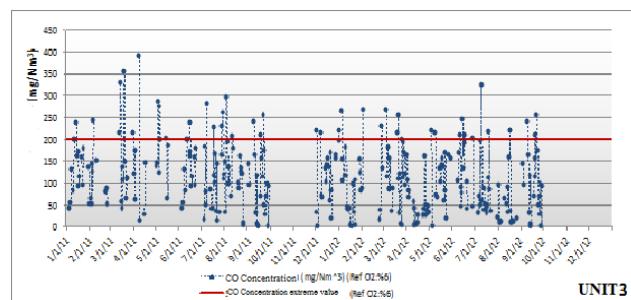


Figure 5. CO emission values and its comparison with threshold limit (Unit 3)

**4.2. Sulphur Dioxide Emissions and the Evaluation**

The results of the measurements are shown in the graphics below and the averages of the months where the number of measurements are below 10 are not calculated. In the graphics, SO<sub>2</sub> daily emission data saved in the units are given with the threshold limits. In terms of Daily averages, in each of these units it is observed that SO<sub>2</sub> concentrations is higher the threshold limit for some days, but in general, they are below from the threshold limit for each three units.

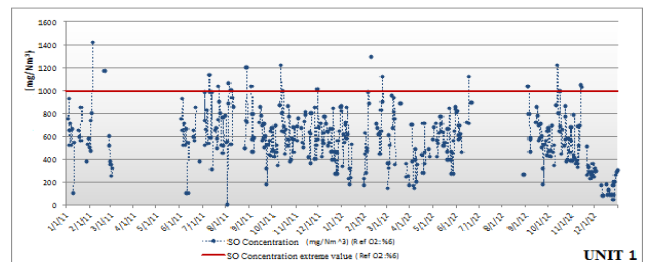


Figure 6. SO emission values and its comparison with threshold limit (Unit 1)

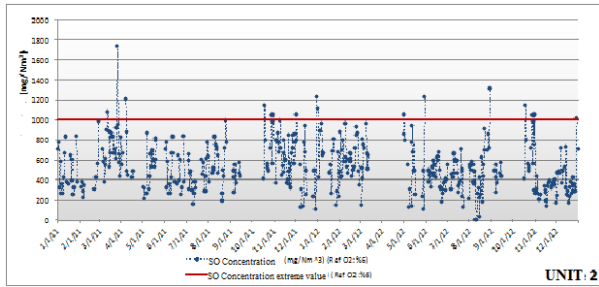


Figure 7. SO emission values and its comparison with threshold limit (Unit 2)

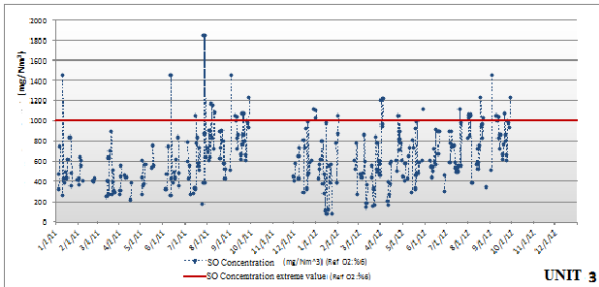


Figure 8. SO emission values and its comparison with threshold limit (Unit 3)

#### 4.3. Nitrogen oxide Emissions and the Evaluation

The results of the measurements are shown in the graphics below and the averages of the months where the number of measurements are below 10 are not calculated. In the graphics, NOX daily emission data saved in the units are given with the threshold limits. As it is seen in the graphics, it not a matter of being higher than the threshold limit for three units in terms of daily emissions measured for the periods of January 2011 and December 2012.

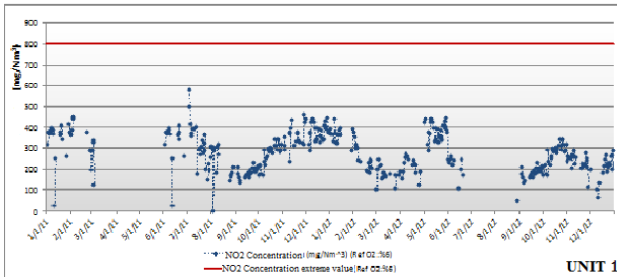


Figure 9. NOX emission values and its comparison with threshold limit (Unit 1)

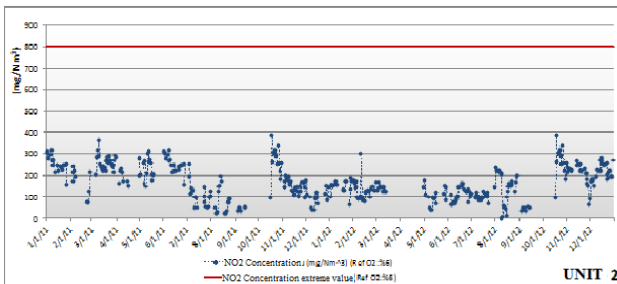


Figure 10. NOX emission values and its comparison with threshold limit (Unit 2)

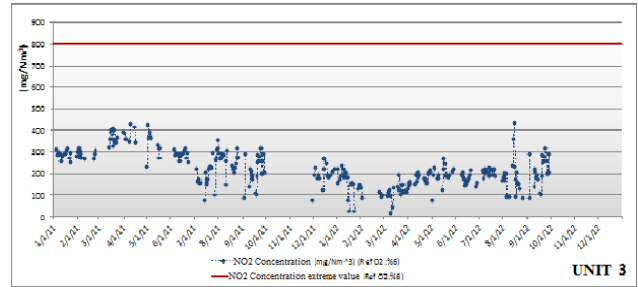


Figure 11. NOX emission values and its comparison with threshold limit (Unit 3)

#### 4.4. Dust Emissions and the Evaluation

The results of the measurements are shown in the graphics below and daily averages are given with the threshold limits. In terms of daily averages, in every unit, there are very few days where the average values are higher than the threshold limits and in Unit 2 it is seen that emissions are closer to the threshold limits.

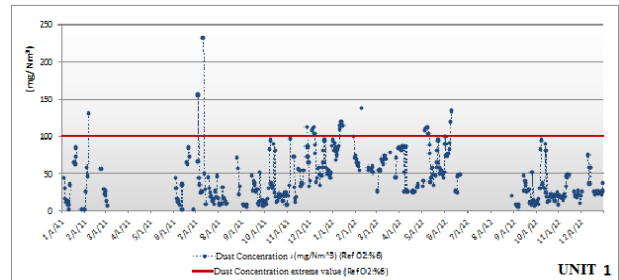


Figure 12. Dust emission values and its comparison with threshold limit (Unit 1)

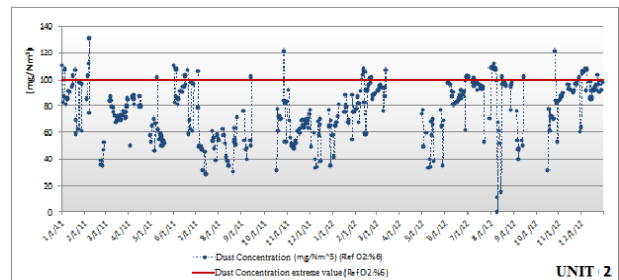


Figure 13. Dust emission values and its comparison with threshold limit (Unit 2)

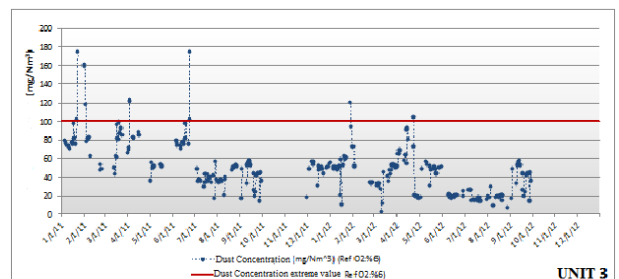


Figure 14. Dust emission values and its comparison with threshold limit (Unit 3)

## 5. CONCLUSION

When the daily average values gained from the station in the period of January-December 2012 are transformed into monthly averages, it is seen for every unit that the averages are not higher than the threshold limits for SO<sub>2</sub>. In the station, threshold limits are reached for the three units. Nitrogen dioxide emissions gained from the flue gas purification system of the station are taken daily and the monthly averages are evaluated. In the daily measurements rises in the nitrogen dioxide emission are identified. In the station there exists a flue gas purification system. But, higher degrees in the emissions may be result of the flue gas purification station which does not work efficiently or the higher nitrogen values in the burning room. In order to hold the nitrogen dioxide emission below the threshold limit, it is required to be careful about preparing the lime milk that can be occur in the operation conditions of the flue gas purification system and be able to ensure the station to work efficiently.

In the station, in every unit and for the mentioned period, the averages are not higher than the threshold limits for NO. Any rise is seen in the emissions of NO<sub>x</sub> measured in the flue gas exit, but dust emissions are gained daily and the monthly averages are evaluated. In the dust emissions there are some levels where daily values are higher than the threshold limits. The electrostatic precipitator system of the station is renewed by annual revisions but it is seen that this renovation is now sufficient in some cases. In order to decrease the dust emissions, it is required to change or renew the electrostatic system.

In the station and for the period of January-December 2012, it is seen for every unit that the averages are not higher than the threshold limits for CO. For CO emission threshold limits are ensured. The data gained from the automatic analyser in the flue gas purification station are noted daily and the monthly averages are evaluated. In the CO emissions there are some levels where daily values are higher than the threshold limits. These higher degrees in the emissions may be the result of unfavourable burning conditions or the problems about the operation system. If the oxygen is getting lower and the fuel is getting higher in the burning room, CO emission would rise. In order to ensure CO not to be exceeded from the threshold limits, it is required to control the amount of the oxygen and fuel in the burning room and the unfavourable conditions which arise from the operation systems should be removed and, by this way, emission values should be stabilised at the threshold limit.

In this study it was concluded that Yatağan Thermal Power flue gas purification systems had not a negative effect on environmental health and landscape character. Yatağan Thermal Power does not create a permanent damage on the basic landscape parameters like air, water and soil quality.

## REFERENCES

1. [http://www.yildiz.edu.tr/~erturk/course\\_notes/air\\_poll\\_control/air70.doc](http://www.yildiz.edu.tr/~erturk/course_notes/air_poll_control/air70.doc), access (2015).
2. Çavuşoğlu H. ve Gülaboğlu, M.Ş., “Yaş baca gazı desülfürizasyon yöntemleri”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19(4): 187-194, (2013).
3. [http://www.yildiz.edu.tr/~erturk/course\\_notes/air\\_poll\\_control/air70.doc](http://www.yildiz.edu.tr/~erturk/course_notes/air_poll_control/air70.doc), access (2015).
4. Durmaz, A., “Türkiye'nin enerji altyapısı ve hava kirliliği”, *Uluslararası Yanmadan Kaynaklanan Hava Kirliliği Sempozyumu*, Ankara, (1987).
5. <https://www.psnh.com/EnergyProjects/Clean-Air-Project.aspx>, access (2015).
6. Tırıs M., Okutan H. ve Kalafatoğlu E., “Hava kirliliği kaynakları ve kontrolü” *Tübitak MAM*, Kimya Mühendisliği Araştırma Bölümü, 93-106, (1993).
7. Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara, (2009).
8. Ersoy Ö., “Yatağan Termik Santrali Etki Alanında Hava Kirliliği Açısından Değerlendirilmesi”, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (2014).



# POLİTEKNİK DERGİSİ

## JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://www.politeknik.gazi.edu.tr/index.php/PLT/index>

## Exergy analysis of solar radiation based on long term for Van city

### *Van ili için uzun dönemli güneş radyasyonunun exerji analizi*

Yazar(lar) (Author(s)): İrfan UÇKAN

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz:** Uçkan İ., “Exergy analysis of solar radiation based on long term for Van city”, *Politeknik Dergisi*, 20(3): 579-584, (2017).

**To cite this article:** Uçkan İ., “Exergy analysis of solar radiation based on long term for Van city”, *Journal of Polytechnic*, 20(3): 579-584, (2017).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://www.politeknik.gazi.edu.tr/index.php/PLT/issue/archive>

**DOI:** [10.2339/politeknik.339369](https://doi.org/10.2339/politeknik.339369)

# Exergy Analysis of Solar Radiation Based on Long Term for Van City

İrfan UÇKAN\*

Yüzüncü Yıl University, Department of Mechanical Engineering, 65080 Van, TURKEY

( Received : 16.06.2016 ; Accepted : 16.07.2016)

## ABSTRACT

The present study has analyzed the solar radiation exergy for the period of 1993 to 2007 in Van (38.28°N, 43.20°E). In this regard, various models have been applied for determination of solar radiation exergy. The exergy efficiency of solar radiation taken from meteorological data is evaluated based on these models for Van. According to results, the highest long term monthly average solar radiation exergy values is observed in June with 26.85 MJ/m<sup>2</sup> for Petela Model and same result also is observed for Spanner model but Jeter's approach is different from these models approximately %1.7. The ratio of solar radiation exergy to the long term monthly average solar radiation energy values varies from 0.934 to 0.939 both Spanner and Petela approach, and from 0.950 to 0.954 for Jeter's approach. The highest annual value exergy of the solar radiation is observed for the year of 2000 with 19.68 MJ/m<sup>2</sup> and the lowest annual value exergy of the solar radiation is found for the year of 1993 with 16.50 MJ/m<sup>2</sup>.

**Keywords:** Solar radiation, solar exergy, renewable energy, energy utilization.

# Van İli için Uzun Dönemli Güneş Radyasyonunun Exerji Analizi

## ÖZ

Bu çalışma 1993 ve 2007 yılları arasındaki Van ilinin ((38.28°N, 43.20°E) güneş radyasyonunun exerjisini analiz etmektedir. Bu bağlamda çeşitli modeller güneş radyasyonunun exerjisini belirlemede kullanıldı. Van için güneş radyasyonunun exerji verimi, çeşitli modellerin meteorolojiden alınan verilere uygulanmasıyla değerlendirildi. Sonuçlara göre; en yüksek uzun dönem aylık ortalama güneş radyasyonu exerji değeri Haziran ayında 26.85 MJ/m<sup>2</sup> ile Petela modelinde gözlemlendi ve aynı sonuç Spanner modeli içinde gözlemlendi fakat Jeter'in yaklaşımı bu modellerden yaklaşık olarak %1.7 kadar farklıdır. Güneş radyasyon exerjisinin uzun dönem aylık ortalama güneş radyasyon enerjisine oranı 0.934'ten 0.939'a kadar hem Petela hem de Spanner modellerinde değişmektedir. Jeter modelinde ise bu değer 0.950'den 0.954'e kadar değişmektedir. En yüksek yıllık güneş radyasyon exerjisi 2000 yılında 19.68 MJ/m<sup>2</sup> olarak hesaplandı ve en düşük yıllık güneş radyasyon değeri ise 1993 yılında 16.50 MJ/m<sup>2</sup> olarak hesaplandı.

**Anahtar Kelimeler:** Güneş radyasyonu, güneş ekserjisi, yenilenebilir enerji, enerji kullanımı.

## 1. INTRODUCTION

Biomass, wind power, tidal power, hydro-electric power and solar energy are important renewable sources that are intended to replace of fossil fuels. Due to restricted energy sources, environmental concerns make that renewable energy technology can be good alternatives to fossil fuels [1]. Many administration have researched to enhance the portion of renewable energy in total energy sources, so many governments in Europe ensured an outline for improve such sources in this region[2]. The irreversibility does not consider in the first law of thermodynamics that is mainly deal with energy efficiency and represent the quantity of energy. The second law of thermodynamics deals with losses in the system so the quality of energy is important for this law [3]. The first law of thermodynamics is more suitable for energy equilibrium. Because energy equilibrium equations are mostly used for systems designs. But the

second law of thermodynamics is more suitable if the performance of a system or its every component is to be investigated with regard to qualitative. Different solar energy systems are investigated based on exergy concept of solar energy implementation [4]. One of main conclusion of their study is that thermal efficiency is not adequate in order to select the requested system. So, the concept of exergy is essential for specific designs to succeed better performance of a system.

The exergy analysis broadly used for different applications that are performance assessment and design of systems has been strong apparatus. So, it is very important for analyses of energy systems. To reveal faults in the system or to investigate quantitatively of an energy system, the exergy analysis has to be evaluated [5].

Based on these literature reviews it can be say that calculation of exergy is very important for analyzing of solar assisted energy system.

The notion of exergy has emerged during the development of ordinary thermodynamics in the 19th

\* Corresponding Author

e-mail: irfanuckan@yyu.edu.tr

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/politeknik.339369



century study that are taken by Thomson and Gibbs, Clapeyron, Carnot and Rankine. But this term was first used in 1953 by Rant [6]. The general rule of thermodynamic gives the upper limit of the any reversible thermodynamic system. This upper limit is generally called as the Carnot efficiency. Besides this, the law indicates that how always realizes the irreversibility in the real system.

This situation of system gives a reference for determining of a case function named exergy [7]. Exergy can be defined as the maximum amount of useful work that can be obtained theoretically if the system provides balance with environment [8]. Exergy is also described by [9] as the maximum work obtained when a system come thermodynamic equilibrium states from beginning state after various reversible process.

In literature, it is observed that there is very limited paper on exergy analysis of solar radiation in a given location. Whereas, a lot of work has been done on the potential of solar radiation, and the exergy analysis was also performed in most of works on solar energy systems.

So, the solar radiation exergy has a significant effect on renewable energy system such as solar energy system when it is analyzed for the performance. Due to this importance of exergy, different researchers give more efforts to prediction the solar radiation exergy on the world [10-14]. In literature, generally three methods are considered for calculating the exergy of solar radiation. These methods are called with researchers names that are Petela [15], Jeter [16] and Spanner [17]. Petela model is widely used model by many researchers [18-21]. Definition of solar radiation exergy is evaluated by Petela [22]. The solar radiation exergy also has been evaluated by Jeter and Spanner. Their models can be useful for evaluate the solar radiation exergy. The installation place of solar energy system has very important effect on efficiency of solar exergy due to decreasing of solar radiation by the environment. This effect should be considered when evaluating the capacity of different region, or when assessing various renewable energies in offered area [23]. It is observed from literature that the territorial solar radiation exergy values have been studied very limited. Recently, different methods are used to determine the solar radiation exergy.

Alta et al. [24] has mapped the spread of the monthly average solar radiation exergy from the satellite and they found amount of solar radiation exergy reaching to the Earth's surface depending on latitude, longitude and season.

The map of solar radiation exergy term is improved by Joshi et al. [25] and they accomplished a wide case work to illustrate how it would be useful for solar energy systems. However, to understand the accuracy of these methods, the researchers again compare the results of their studies with previous models such as Petela model. It observed that although several novel studies have been undertaken in the literature, most of studies are usually based on the three models that are Petela, Jeter and

Spanner. One of the other regional studies is estimated by Öztürk et al. [26]. They examined the solar radiation exergy of the Southeast Anatolia region of Turkey. They found that the average value of solar radiation exergy and annual mean ratio of solar radiation exergy to solar radiation energy is 446.2 W/m<sup>2</sup> and 0.93 respectively. Hepbasli and Alsuhaibani [1] investigated the solar exergetic values based on different approach. This is one of the researches conducted recently on regional study of solar radiation exergy. They investigated difference between two regions that are northeastern of Saudi Arabia and İzmir, Turkey. Based on investigated models, they found that the ratio of solar radiation exergy to solar radiation energy is 0.933 for Petela and Spanner approach. But, they found 0.950 in Jeter's approach. They also calculated these ratios for Izmir, Turkey, and they found that it is 0.935 and 0.951 for the same approaches, respectively.

Based on literature it is observed that solar radiation exergy should be known for application of solar energy systems that is depend of regional location. Therefore, a case work about solar radiation exergy is carried out based on meteorological data for Van, Turkey location. Van is located between the Latitude of 38.28° N, Longitude 43.20° E. Van province has one of locations with the longest yearly daily sunshine duration and is one of optimal location for improve of solar energy applications in Turkey. Van has high annual average solar radiation potential with 18.75MJ/m<sup>2</sup> and highest monthly mean value of solar radiation was measured in the month of June with 28.72MJ/m<sup>2</sup>. Based on this data, it is decided that Van is an appropriate place for the improving of solar energy applications. According to literature this paper investigates three different approaches proposed by Patela, Spanner and Jeter for comparison of solar radiation data of Van, Turkey.

## 2. THE EXERGY OF SOLAR RADIATION

Heat transfer by radiation plays an important role for high temperature engineering applications. The main goal of any solar energy conversion model is to create an upper limit for converting the efficiency of solar energy to work. In literature survey, it is observed that most accepted models based on solar radiation exergy are the Petela, Spanner and Jeter models. Jeter's approach is relevant to the analysis of heat engine and the researcher described exergy of heat radiation with Carnot efficiency. The solar radiation exergy is also evaluated by Petela [15] who considered that it has accepted as thermal radiation at temperature of sun. According to the proposal of Spanner's, exergy of direct solar radiation is concerned with exact work instead of beneficial work. The exergy of black body radiation emission flux  $Ex_{rad,b}$  using the laws of thermodynamics based on conservation equations is modeled by Petela [15]. This model is developed on a surface at the environment temperature  $T_o$ .

$$Ex_{rad,b} = \frac{ac}{12} (3T^4 + T_o^4 - 4T_oT^3) \quad (1)$$

The equation for gray surface with emissivity  $\epsilon$  is also derived by Petela.

$$Ex_{rad,g} = \epsilon \frac{ac}{12} (3T^4 + T_o^4 - 4T_oT^3) \quad (2)$$

where  $a$  is the universal constant ( $7.561 \times 10^{-19} \text{ kJ/m}^3 \text{ K}^4$ ),  $c$  is the light speed in vacuum, and  $T$  is the absolute temperature.

According to Petela, exergy efficiency of radiation can be defined as follow,

The energy emission for a surface of emissivity  $\epsilon$   $E_{rad}$  ( $\text{kW/m}^2$ ) is:

$$E_{rad} = \epsilon \cdot \frac{ac}{4} \cdot T^4 \quad (3)$$

where  $\epsilon=1$  for black surface.

The energy conversion efficiency  $\eta_e$  can be evaluated as the ratio of the work  $W$  to the energy  $E_{rad}$ :

$$\eta_e = \frac{W}{E_{rad}} \quad (4)$$

According to Petela, solar radiation exergy  $\psi$  is equal to maximal solar radiation efficiency. Researcher evaluated as ratio of the maximum solar radiation exergy to solar radiation energy:

$$\psi = \eta_{e \max} = \frac{Ex_{rad}}{E_{rad}} \quad (5)$$

as result, Petela efficiency can written as follow;

$$\psi = 1 + \frac{1}{3} \left( \frac{T_o}{T_1} \right)^4 - \frac{4}{3} \left( \frac{T_o}{T_1} \right) \quad (6)$$

The same formula is also derived by Candau [27]. According to this researcher, the formula of efficiency is positive every time. If  $T=T_o$ , efficiency goes to 0, if  $T < T_o$ , the efficiency can be bigger than 1.

A different equation is recommended also by Spanner

source is black-body radiation, the specific exergy fluxes are represented as:

$$\psi_s = 1 - \frac{4 T_o}{3 T_s} \quad (7)$$

Jeter's work is the heat engine cycle work, the heat  $q$  is supplied to the engine at temperature  $T$ , and this heat is converted to the work  $W$  at the Carnot efficiency  $\eta$ , which is equal to the Jeter's conversion efficiency  $\eta_j$ :

$$\psi_j = \eta_{cs} = \frac{T_s - T_o}{T_s} = 1 - \frac{T_o}{T_s} = \frac{W_j}{q_j} \quad (8)$$

### 3. RESULT AND DISCUSSION

The data used in the exergy analysis of solar radiation for Van province are based on the measured values obtained from in the Turkish State Meteorological Service (TSMS) which is the

meteorological authority of Turkey and the data are taken for a fifteen year period from 1993 to 2007. For the definition of exergy, the yearly average values of the outdoor temperature are taken as reference temperature  $T_o$ . In this study, solar radiation exergy of VAN province is investigated based on three different approaches proposed by Petela, Spanner, and Jeter. These approaches are also used for comparison purposes.

Table 1 illustrates the variation of monthly average long term global solar radiation exergy efficiency and exergy values for a period of 15 year for Van. As can be seen in this table, the monthly highest and lowest temperatures are observed on July with 296.06(K) and January with 271.05 (K), respectively. Using Petela and Spanner

**Table 1.** The Long Term Monthly Average Solar Radiation Exergy values for Van

Months	Temperature, $T_o$ (K)	Exergy-to-Energy Ratios			Solar Radiation Exergy Values, $\text{MJ/m}^2$		
		$\Psi_{petela}$	$\Psi_{spanner}$	$\Psi_{jeter}$	$Ex_{petela}$	$Ex_{spanner}$	$Ex_{jeter}$
Jan.	271.05	0.939768	0.939767	0.954825	9.51	9.51	9.67
Feb.	271.57	0.939653	0.939651	0.954738	13.08	13.08	13.29
Mar.	275.40	0.938801	0.938799	0.954099	16.43	16.43	16.70
Apr	281.25	0.937502	0.937500	0.953125	19.24	19.24	19.56
May	286.92	0.936242	0.936241	0.952181	23.40	23.40	23.80
June	292.20	0.935069	0.935067	0.951301	26.86	26.86	27.32
July	296.06	0.934212	0.934210	0.950657	25.86	25.86	26.32
Aug.	295.98	0.934229	0.934227	0.950671	23.60	23.60	24.02
Sept.	290.93	0.935351	0.935349	0.951512	20.12	20.12	20.47
Oct.	284.85	0.936702	0.936700	0.952525	14.29	14.29	14.53
Nov.	277.85	0.938257	0.938256	0.953692	10.10	10.10	10.27
Dec.	272.95	0.939346	0.939344	0.954508	8.15	8.15	8.29

for the maximum conversion efficiency. He introduced a maximum economic efficiency  $\eta_s$  and assumed that if the

**Table 2.** The Long Term Annual Average Solar Radiation Exergy Values for Van

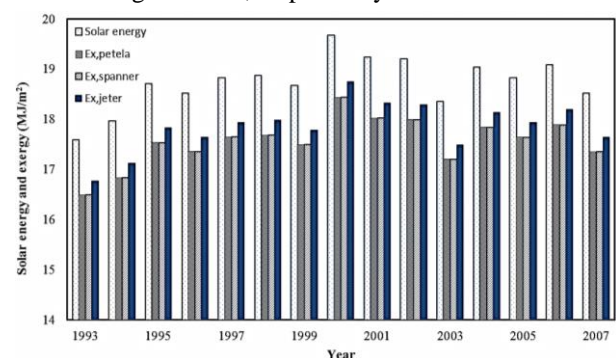
Months	Temperature, $T_o$ (K)	Exergy-to-Energy Ratios			Solar Radiation Exergy Values, MJ/m <sup>2</sup>		
		$\Psi_{petela}$	$\Psi_{spanner}$	$\Psi_{jeter}$	$Ex_{petela}$	$Ex_{spanner}$	$Ex_{jeter}$
1993	281.88	0.937363	0.937361	0.953021	16.50	16.50	16.77
1994	283.28	0.937050	0.937048	0.952786	16.84	16.84	17.12
1995	282.84	0.937148	0.937146	0.952860	17.54	17.54	17.83
1996	283.53	0.936996	0.936994	0.952746	17.36	17.36	17.65
1997	282.37	0.937253	0.937252	0.952939	17.65	17.65	17.94
1998	283.59	0.936981	0.936980	0.952735	17.69	17.69	17.99
1999	283.82	0.936931	0.936930	0.952697	17.50	17.50	17.79
2000	283.46	0.937011	0.937009	0.952757	18.44	18.44	18.75
2001	283.98	0.936894	0.936893	0.952669	18.03	18.03	18.33
2002	282.72	0.937176	0.937174	0.952881	18.00	18.00	18.30
2003	283.08	0.937096	0.937094	0.952821	17.21	17.21	17.50
2004	282.69	0.937181	0.937180	0.952885	17.85	17.85	18.15
2005	283.08	0.937094	0.937093	0.952819	17.64	17.64	17.94
2006	283.15	0.937079	0.937078	0.952808	17.89	17.89	18.19
2007	282.79	0.937159	0.937157	0.952868	17.36	17.36	17.65

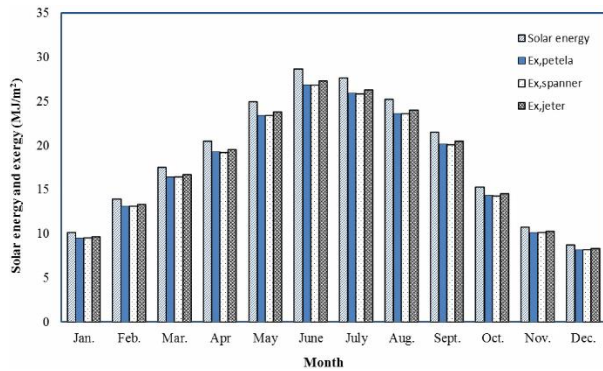
approach for Van, exergy of solar radiation varies between 8.15 and 26.86 MJ/m<sup>2</sup> while Jeter approach values vary from 8.29 to 27.32 MJ/m<sup>2</sup>. It is observed that Calculation of solar radiation exergy efficiency depend of Spanner and Petela models gives very near result to each other. However, tAASSDS here are very few different between Jeter's model and the other models outcomes. This difference of solar radiation exergy values for three approaches is less than %1.7. Table 2 shows multiple years variations of annual average solar radiation exergy values that are exergy efficiency and solar radiation exergy for a fifteen year period from 1993 to 2007. It is observed that solar radiation exergy values vary from 16.50 to 18.44 MJ/m<sup>2</sup> using Petela and Spanner approach for long term period. According to Jeter's approach solar radiation exergy values vary between 16.77 - 18.75 MJ/m<sup>2</sup>. It is seen that the long term exergy to energy ratios according to Petela and Spanner approach is very close to each other and exergy to energy ratios vary from 0.934 to 0.954 according to three approaches.

It is also observed that the difference of annual average temperature is very small for multiple year variations and these temperature difference vary from 281.88 (K) to 283.98 (K) between the years of 1993-2007.

So, it can be say that there is not more difference between exergy-to-energy ratios for multiple years variations. Figure 1 shows variation of the annual average values of the global solar energy and solar radiation exergy in order to detect year-to-year variation. It is observed from this figure that there is not a large difference between the years of 1993-2007. The highest annual value of the solar radiation energy and exergy is observed for the year of 2000 with 19.68 MJ/m<sup>2</sup> and 18.44 MJ/m<sup>2</sup>, respectively.

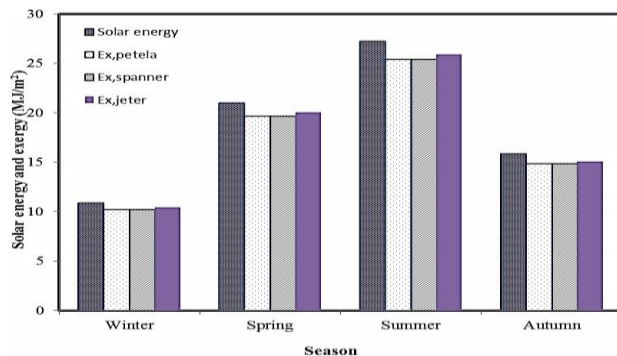
The lowest annual value of the solar radiation energy and exergy is observed for the year of 1993 with 17.60 MJ/m<sup>2</sup> and 16.50 MJ/m<sup>2</sup>, respectively., The annual average values of solar radiation exergy that is evaluated based on Petela and Spanner approach varies between 16.50-18.44 MJ/m<sup>2</sup> while Jeter approach values changes between 16.77-18.75 MJ/m<sup>2</sup>. It is seen that annual average of solar radiation exergy is close to each other for three approaches. Variation of the monthly average values of the global solar radiation energy and solar radiation exergy for the long term period is shown in Figure 2. As can be seen in this figure, the highest monthly long term energy and exergy of average global solar radiation is observed in the month of June with 28.72MJ/m<sup>2</sup> and 26.86 MJ/m<sup>2</sup> that is according to Petela, respectively. The lowest solar radiation energy and exergy for the fifteen year period is calculated in the month of December with 8.68 MJ/m<sup>2</sup> and 8.15 MJ/m<sup>2</sup> that is according to Petela, respectively.

**Figure 1.** Variation of the annual average values of the global solar radiation energy and exergy for fifteen years



**Figure 2.** Variation of the monthly average values of the solar radiation energy and exergy for long term period

Figure 3 illustrates variation of average values of the global solar radiation energy and solar radiation exergy for winter, spring, summer and autumn season for long term period. In this figure, seasonal global solar radiation energy and solar radiation exergy for the long term period is calculated. The effects of climate and seasons on solar radiation exergy are investigated by considering data for the fifteen years period. It seen that the solar radiation energy reaches to highest value in the summer season with 27.22 MJ/m<sup>2</sup>. It can be also seen from this figure that the maximum value of long term solar radiation exergy is observed during the summer season with 25.44 MJ/m<sup>2</sup> but the minimum value of long term solar radiation exergy is seen in winter with 10.25 MJ/m<sup>2</sup>.



**Figure 3.** Variation of the seasonal average of the solar radiation energy and exergy for long term period

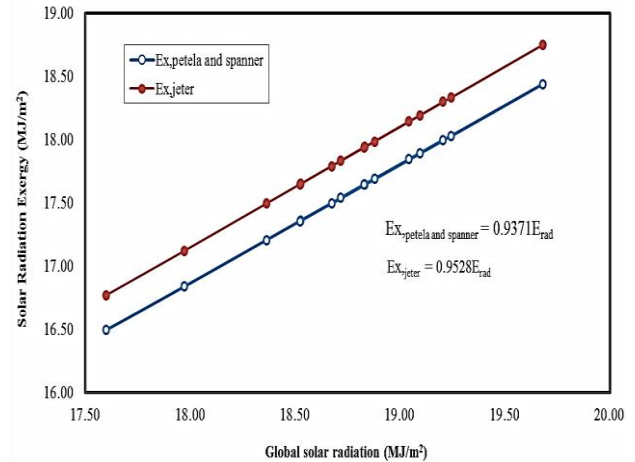
The finding of this study based on the long term period has been reflected by the correlation. Figure 4. shows variation of solar radiation exergy with long term global solar radiation energy for Van. The correlation shown in this figure presented that the correlations between global solar radiation energy and solar radiation exergy show a positive slope and a good linear fit. As a result, solar radiation exergy values can be calculated based on these correlation equations for three approaches. The prediction of solar radiation exergy by Petela and Spanner superimposes because the difference between the two approaches is very close. So, a single exergetic value can be accepted for Spanner and Patella approach for Van and it can be presented by;

$$Ex_{petela \text{ and } spanner} = 0.9371E_{rad}$$

Based on the long term period, the following equation can be used for Jeter’s approach;

$$Ex_{jeter} = 0.9528E_{rad}$$

In this way, it is possible to easy calculate solar radiation exergy multiplying this coefficient with the total solar radiation measured in Van, Turkey location.



**Figure 4.** Variation of the solar radiation exergy with annual average of solar radiation energy for long term period

#### 4. CONCLUSIONS

In this work, long term solar radiation data measured from 1993 to 2007 were analyzed for VAN city located in the eastern region of Turkey. This study aimed to demonstrate the solar exergy potential in a region and also to evaluate the performance of solar energy systems using the exergy analysis method. In this study three approaches suggested by various researchers have been used to determine the exergy of solar radiation.

Based on measured data, firstly, the long term monthly average solar radiation exergy values and the long term annual average solar radiation exergy values are processed based on Petela, Spanner and Jeter approach. After that correlations are made between exergy and energy of solar radiation. The main findings taken from the current work can be summarized as follows:

- a) The long term monthly average solar radiation exergy values for Van, Turkey change between 8.15 MJ/m<sup>2</sup> and 26.85 MJ/m<sup>2</sup> from December to June for both approaches of Petela and Spanner, and from 8.29 to 27.32 for Jeter’s approach. The difference of solar radiation exergy values for three approach is less than %1.7.
- b) The ratio of the long term monthly average solar radiation exergy to solar radiation energy values varies from 0.934 to 0.939 both Spanner and Petela approach, and from 0.950 to 0.954 for Jeter’s approach.
- c) It is observed that there is a difference in the solar radiation exergy between the four seasons; winter, spring, summer and autumn. The maximum and

minimum value of long term solar radiation exergy is observed during the summer and winter season with 25.8 MJ/m<sup>2</sup> and 10.2 MJ/m<sup>2</sup> based on three approaches, respectively.

- d) A linear regression has been fitted to easily determine variations of the solar radiation exergy with solar radiation energy for helping designers and engineers interested in solar energy field in Van, Turkey. Similar studies also are possible for other places.

## ACKNOWLEDGEMENTS

The author thanks to acknowledge the support of the Turkish State Meteorological Service which is the meteorological authority of Turkey for providing the data.

## REFERENCES

- 1) Hepbasli A., and Alsuhaibani Z. "Estimating and comparing the exergetic solar radiation values of various climate regions for solar energy utilization", *Energy Sources, Part A*, 36: 764-773, (2014).
- 2) Johnstone N., Hascic I. and Popp D. "renewable energy policies and technological innovation: evidence based on patent counts", *Environ. Resource Econ.*, 45: 133-155, (2010).
- 3) Kotas T.J., "The exergy method of thermal plant analysis". *Essex*, UK: Anchor Brendon Ltd., (1985).
- 4) Saidur R., BoroumandJazia G., Mekhlif S., and Jameel M. "Exergy analysis of solar energy applications", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16: 350-356, (2012).
- 5) Hepbasli A., "A key review on exergetic analysis and assessment of renewable energy resources for a sustainable future", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12: 593-661, (2008).
- 6) Munoz J.C.J., Sobrino J.A., and Mattar C. "Recent trends in solar exergy and net radiation at global scale", *Ecological Modelling*, 228: 59-65, (2012).
- 7) Pons M., "Exergy analysis of solar collectors, from incident radiation to dissipation", *Renewable Energy*, 47: 194-202, (2012).
- 8) Çengel Y.A. and Boles M.A. "Thermodynamics. An Engineering Approach", 3rd ed., *McGraw-Hill*, New York, (1998).
- 9) Szargut J.T., "Anthropogenic and natural exergy losses (exergy balance of the Earth's surface and atmosphere)", *Energy*, 28: 1047-1054, (2003).
- 10) Bejan A., "Advanced Engineering Thermodynamics". *Wiley*, New York, (1988).
- 11) Landsberg P.T. and Mallinson J.R., "Thermodynamic constraints, effective temperatures and solar cells". *CNES*, Toulouse, 27-46, (1976).
- 12) Parrott J.E., "Theoretical upper limit to the conversion efficiency of solar energy", *Solar Energy*, 21: 227-229, (1978).
- 13) Millan M.I., Hernandez F., and Martin E. "Available solar exergy in an absorption cooling process", *Solar Energy*, 56: 505-511, (1996).
- 14) Kabelac S., "A new look at the maximum conversion efficiency of black-body radiation", *Solar Energy*, 46: 231-236, (1991).
- 15) Petela R., "Energy of heat radiation", *J. Heat Transfer*, 86: 187-192, (1964).
- 16) Jeter S. M., "Maximum conversion efficiency for the utilization of direct solar radiation". *Solar Energy*, 26: 231-236, (1981).
- 17) Spanner D. C., "Introduction to thermodynamics". *London: Academic Press*, London, (1964).
- 18) Al-Sulaiman F.A., "Exergy analysis of parabolic trough solar collectors integrated with combined steam and organic Rankine cycles", *Energy Conversion and Management*, 77: 441-449, (2014).
- 19) Onan C., Ozkan D.B. and Erdem S. "Exergy analysis of a solar assisted absorption cooling system on an hourly basis in villa applications", *Energy*, 35: 5277-5285, (2010).
- 20) Mawire A., and Taole S.H., "Experimental energy and exergy performance of a solar receiver for a domestic parabolic dish concentrator for teaching purposes", *Energy for Sustainable Development*, 19: 162-169, (2014).
- 21) Dehghan A.A., Movahedi A., and Mazidi, M. "Experimental investigation of energy and exergy performance of square and circular solar ponds", *Solar Energy*, 97: 273-284, (2013).
- 22) Petela R., "Exergy of undiluted thermal radiation", *Solar Energy*, 74: 469-488, (2003).
- 23) Pons M., "Exergy analysis of solar collectors, from incident radiation to dissipation", *Renewable Energy*, 47: 194-202, (2012).
- 24) Alta D., Ertekin C., and Evrendilek F., "Quantifying spatio-temporal dynamics of solar radiation exergy over Turkey", *Renewable Energy*, 35: 2821-2828, (2010).
- 25) Joshi A.S., Dincer I. and Reddy B.V., "Development of new solar exergy maps", *Int. J. Energy Res.*, 33: 709-718, (2009).
- 26) Ozturk M., Elbir A., and Ozek N., "Analysis of the exergy values of solar radiation for the Southeast Anatolia region of Turkey", *6th International Advanced Technologies Symposium*, Elazığ, Turkey, (2011).
- 27) Candau Y., "On the exergy of radiation", *Solar Energy*, 75: 241-247, (2003).



# POLİTEKNİK DERGİSİ

## JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://www.politeknik.gazi.edu.tr/index.php/PLT/index>

## Reo-dökümlle üretilmiş AA7075 alüminyum alaşımasının metalografik incelenmesi

### *Metallographic examination of AA7075 alloy produced by rheocasting*

*Yazar(lar) (Author(s)):* Volkan KILIÇLI, Aşkın Hayat USLU, Meltem ÇİFCİ, Neşet AKAR

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz:** Kılıçlı V., Uslu A. H., Cifci M. ve Akar N., “Reo-dökümlle üretilmiş AA7075 alüminyum alaşımasının metalografik incelenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 20(3): 585-594, (2017).

**To cite this article:** Kılıçlı V., Uslu A. H., Cifci M. and Akar N., “Reo-dökümlle üretilmiş AA7075 alüminyum alaşımasının metalografik incelenmesi”, *Journal of Polytechnic*, 20(3): 585-594, (2017).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://www.politeknik.gazi.edu.tr/index.php/PLT/issue/archive>

**DOI:** [10.2339/politeknik.339372](https://doi.org/10.2339/politeknik.339372)



# Reo-Dökümle Üretilmiş AA7075 Alüminyum Alaşımının Metalografik İncelenmesi

Volkan KILIÇLI\*, Aşkın Hayat USLU, Meltem ÇİFCİ, Neşet AKAR

Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 06500, Teknikokullar, Ankara

(Geliş/Received : 22.06.2016 ; Kabul/Accepted : 18.10.2016)

## ÖZ

Bu çalışmada reo-döküm yöntemiyle şekillendirilen AA7075 alüminyum alaşımının mikroyapısı ve döküm hataları metalografik olarak araştırılmıştır. Al-Zn alaşımlarından endüstride en çok kullanılan ve dövme alüminyum alaşımı olan AA7075 alaşımı yarı-katı metal şekillendirme tekniklerinden reo-döküm yöntemiyle şekillendirilmiştir. Reo-dökümde döndürmeli entalpi dengeleme (swirled enthalpy equilibrium device-SEED) işlemi ile üretilen numuneler kullanılmıştır. Deneysel sonuçlar, AA7075 alaşımının reo-dökümle şekillendirilebileceğini göstermiştir. Reo-dökümle üretilmiş AA7075 alüminyum alaşımında dentritik mikroyapı yerine küresel şekilde mikroyapı oluşmuştur. Reo-dökümle üretilmiş AA7075 alüminyum alaşımında, sıvı fazca zengin olan bölgelerde mikro segregasyonun sıcak yırtılmaya neden olduğu anlaşılmıştır. Radyografik muayene sonucunda merkezde çekme boşluğu ve sıcak yırtılmanın varlığı tespit edilmiştir. Numunelerin kenar bölgelerinde sıvı segregasyonundan dolayı sertlik değerinin daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Yarı-katı metal şekillendirme, reo-döküm, AA7075 alaşımı, sıcak yırtılma, sıvı segregasyonu.

## Metallographic Examination of AA7075 Alloy Produced By Rheocasting

### ABSTRACT

In this study, microstructure and casting defects were investigated metallographically in AA7075 alloy part produced by rheocasting. AA7075 Al alloy is one of the most widely used Al-Zn alloy in the industry was formed by the rheocasting method, which is one of the semi-solid metal forming process. Specimens produced by the swirled enthalpy equilibrium device (SEED) process were used in rheocasting. Experimental results showed that AA7075 could be formed by rheocasting. In rheocast AA7075 aluminum alloy, globular grains were formed rather than dendrite in the microstructure. It is understood that in the liquid-rich regions, microsegregation were caused hot tearing in AA7075 aluminum alloy produced by rheocast casting. According to radiographic examination, the presence of hot tearing and shrinkage in the center of specimens was determined. It was found that lower hardness values obtained in the edge regions of the specimens due to liquid segregation.

**Keywords:** Semi-solid metal forming, rheocasting, AA7075 alloy, hot tearing, liquid segregation.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Çinko, bakır ve magnezyum temel alaşım elementleri içeren ticari dövme alüminyum alaşımlarından biri olan AA7075 alüminyum alaşımları 505 MPa akma dayanımı ve % 11 uzama değerleri gibi oldukça yüksek mekanik özelliklere sahiptirler. Bu alaşımlar yüksek mekanik özelliklerinin yanı sıra düşük yoğunluk, iyi korozyon direnci, işlenebilirlik, elektrik iletimi gibi birçok mükemmel özelliklere sahip olduğundan dolayı uzay, savunma, havacılık ve otomotiv endüstrisinde yaygın kullanım alanına sahiptir [1,2].

Dövme alüminyum alaşımlarının sıvı durumda akıcılık özelliklerinin çok kötü olmasından dolayı geleneksel döküm yöntemi ile şekillendirilmesi oldukça zordur. Bu alaşımlardan üretilen karmaşık şekilli parçalar çoğunlukla talaşlı imalat yöntemleri kullanılarak elde edilirler. Bu üretim yöntemlerinin çok pahalı olması, üretim süresinin çok uzun olması ve işleme sırasında çok fazla atık ürünün çıkması gibi birçok dezavantajları vardır [4].

Yarı-katı metal (YKM) şekillendirme yöntemleri; geleneksel dövme ve döküm yöntemlerine alternatif döküm alaşımlarının yanı sıra dövme alaşımlarının da kolaylıkla şekillendirilebildiği yeni yöntemlerdir [5,6]. YKM şekillendirme yöntemleri temelde iki guruba ayrılabilir. Alaşımların katılaşıma esnasında karıştırılması ile dendritik olmayan küresel şekilli mikroyapıya sahip hamurumsu halde malzeme üretilmesi ve bu malzemenin sıvı metal gibi doğrudan bir kalıba enjekte edilmesi "reo-döküm" olarak adlandırılmaktadır. "Tikso-döküm" ise yarı-katı bölgeye ısıtılarak bu sıcaklıkta küresel mikroyapı sergileyen besleme stoklarının bir kalıba enjekte edilmesi işlemidir [7].

Küresel şekilli mikroyapı, yarı-katı halde tiksotropik davranış gösterdiğinden küresel şekilli mikroyapıya sahip ön malzeme hazırlığı tiksotoks-döküm ve reo-döküm yöntemleri ile şekillendirme için zorunludur. Küresel şekilli mikroyapıya sahip ön malzeme hazırlığı için birçok yöntem mevcuttur [3-7]. Reo-döküm ön malzeme hazırlığı için Kanada'da ALCAN firması tarafından geliştirilen, ticari olarak kullanılan yöntemlerden biri de döndürmeli entalpi dengeleme (swirled enthalpy equilibrium device-SEED) yöntemidir [8,9].

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: vkilicli@gazi.edu.tr

Dijital Object Identifier (DOI) : 10.2339/politeknik.339372

Mevcu literatürde, reo-döküm yöntemi ile 7075 alüminyum alaşımlarının şekillendirilmesi üzerine oldukça çok az çalışma yapılmıştır [10-14]. Curle ve arkadaşları [10-12] ön malzeme hazırlığı için patentli (US7368690) zorlanmış hava ile soğutulmuş indüksiyon döndürme yöntemi (induction stirring with simultaneous forced air cooling) kullanırken diğer iki çalışmada ise sırasıyla ters konik döküm kanalı [13] ve dönen kalıba düşük sıcaklıkta döküm [14] yöntemleri kullanılmıştır. Bu çalışmalarda karmaşık olmayan basit kütle kesitli parçaların üretimi gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada SEED yöntemi kullanılarak AA7075 alaşımından reo-dökümle karmaşık şekilli bir geometriye sahip ambulans sedye ayağı üretimi hedeflenmiştir. AA7075 alaşımının reo-döküm yöntemi ile elde edilen döküm parçada oluşan döküm hataları, mikroyapı ve sertlik değişimleri araştırılmıştır.

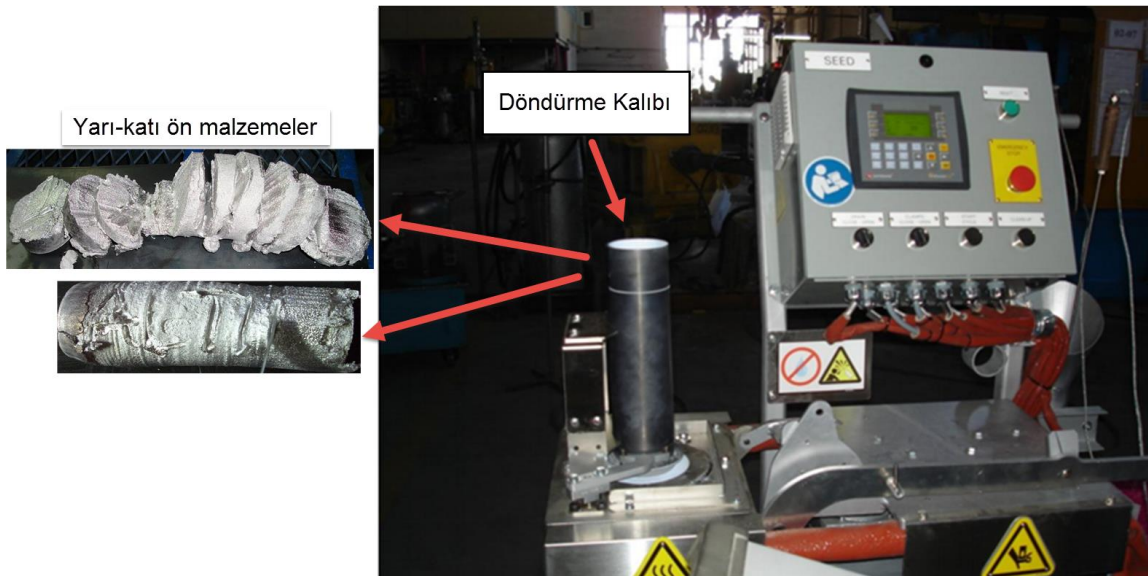
## 2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR (EXPERIMENTAL STUDIES)

Bu çalışmada, karmaşık şekilli ambulans sedye ayağının reo-döküm yöntemi ile üretilmesinde kullanılan AA7075 alüminyum alaşımının kimyasal kompozisyonu Çizelge 1'de verilmiştir. Kimyasal kompozisyonun belirlenmesinde Bruker marka Q4 Tasman model optik emisyon spektrometresi kullanılmıştır.

**Çizelge 1.** AA7075 alüminyum alaşımının kimyasal kompozisyonu; ağırlıkça % (Chemical composition of AA7075aluminum alloy; weight percent)

Zn	Mg	Cu	Mn	Si	Fe	Cr	Ti	Al
5,290	1,990	1,084	0,294	0,540	0,559	0,161	0,156	Kalan

Reo-döküm yöntemi ile metal şekillendirmede yarı-katı (hamurumsu) ön malzeme üretimi Şekil 1'de görülen döndürmeli entalpi dengeleme ünitesi (Swirled Entalphy Equilibrium Device-SEED) ile gerçekleştirilmiştir.

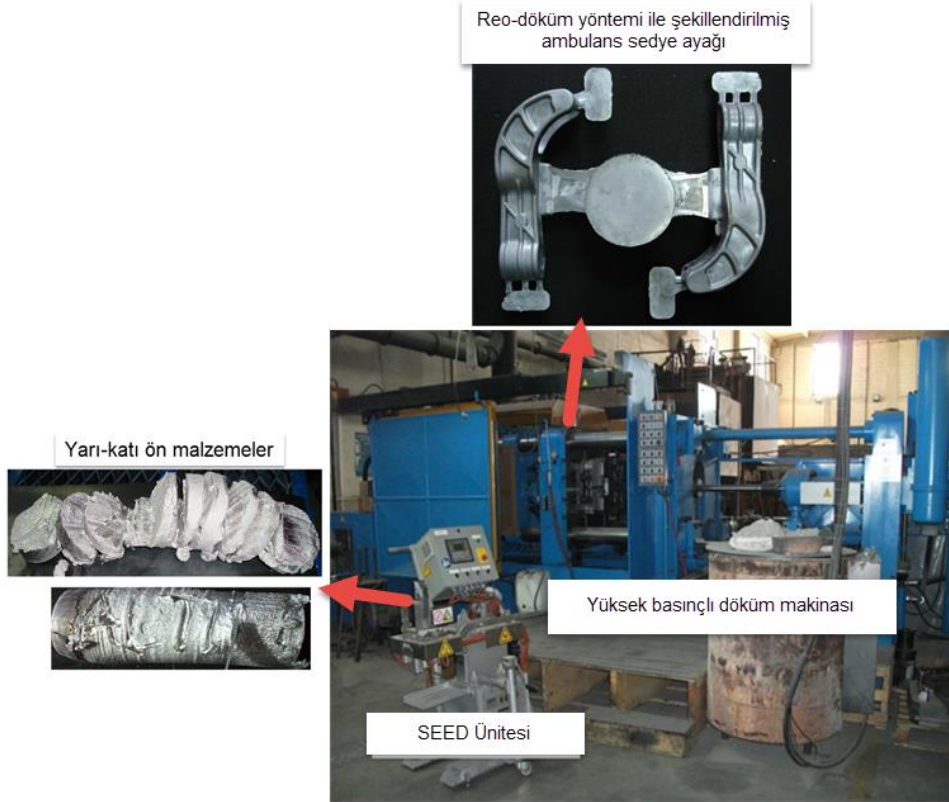


**Şekil 1.** SEED ünitesi ve yarı-katı ön malzemeler (SEED unit and semi-solid feedstocks)

Ergitilmiş sıvı metal 660°C'de döndürme kalıbına döküldükten sonra 200 rpm dönme hızı ile dönme ekseninden 12 mm uzaktaki döndürme kalıbı 70 s çalkalama işlemine tabi tutulmuş ve daha sonra 5 s bekleddikten sonra ön malzeme üretimi tamamlanmıştır.

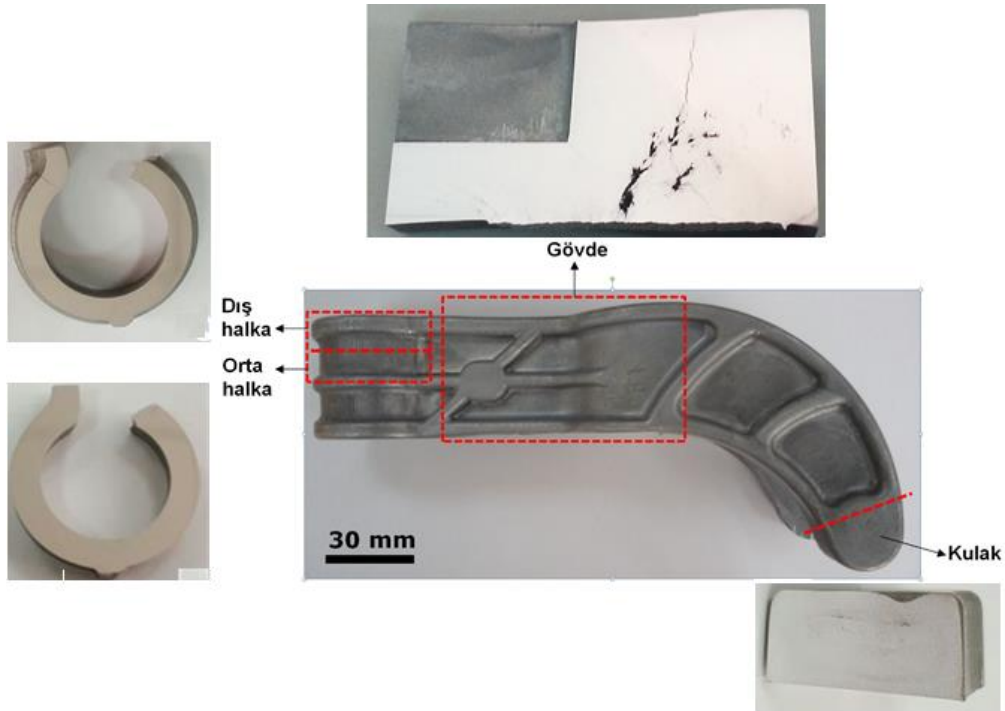
Yarı-katı ön malzeme işlemleri tamamlandıktan sonra yarı-katı ön malzemeler Şekil 2'de görülen 7473 kN kalıp kapama kapasitesine sahip yüksek basınçlı döküm makinasında 250°C'deki kalıba yaklaşık 0,5 m/s hız ile enjekte edilerek şekillendirilmiştir.

Reo-dökümle üretilmiş AA7075 alüminyum alaşımı ambulans sedye ayağının metalografik olarak incelemek için Şekil 3'te gösterildiği gibi parçanın farklı bölgelerinden dört numune alınmıştır. Numuneler ATM marka Brillant 250 model abrasif kesme cihazında metalografik olarak incelemeye uygun boyutlarda kesilmiştir. Numuneler standart zımparalama ve parlatma işleminin ardından Kellers çözeltisi (190ml saf su, 5ml HNO<sub>3</sub>, 3ml HCl, 2ml HF) ile dağlama işlemine tabii tutulmuştur. Mikroyapıların görüntülenmesinde Leica DMI 5000M model optik mikroskop kullanılarak mikroyapı fotoğrafları çekilmiştir. Ayrıca ambulans sedye ayağının yüzeyinde tespit edilen kusurlar Leica M205C model stereo mikroskop kullanılarak görüntülenmiştir.



Şekil 2. Reo-döküm şekillendirme ünitesinin görünümü (A view of rheo-casting process unit).

Mikroyapı karakterizasyonunda Jeol marka JSM 6060 LV model tarama elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır. Noktasal ve bölgesel elementel analiz tarama elektron mikroskobuna bağlı IXRF marka EDS (enerji dağılımlı X-ışını spektrometresi) cihazı ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3. Metalografik inceleme örnekleri (Specimens for metallographic examination)

Reo-dökümle üretilmiş AA7075 alüminyum alaşımının mikroyapısındaki metallerarası bileşikler (intermetalikler) X-ışınları kırınımı (X-RD) ile karakterize edilmiştir. X-ışınları kırınımı Bruker D8 Advance X-ışınları difraktometresinde 40 kV ve 40 mA monokromatik Cu K $\alpha$  ışını kullanılarak elde edilmiştir. Parlatılmış ve dağlanmış numune yüzeyinden iki teta ( $2\theta$ ) 30-50 ° aralığı 0.02°/dk hızla tarama yapılmıştır.

Reo-dökümle üretilmiş AA7075 alüminyum alaşımı ambulans sedye ayağının yüzeyindeki hataları daha iyi açığa çıkarmak için sıvı penetrant muayenesi yapılmıştır. Sıvı penetrant muayenesi yüzey temizliği, sıvı penetrant uygulaması (15 dak bekleme), ara temizleme ve geliştirici aşamaları olmak üzere dört aşamada gerçekleştirilmiştir.

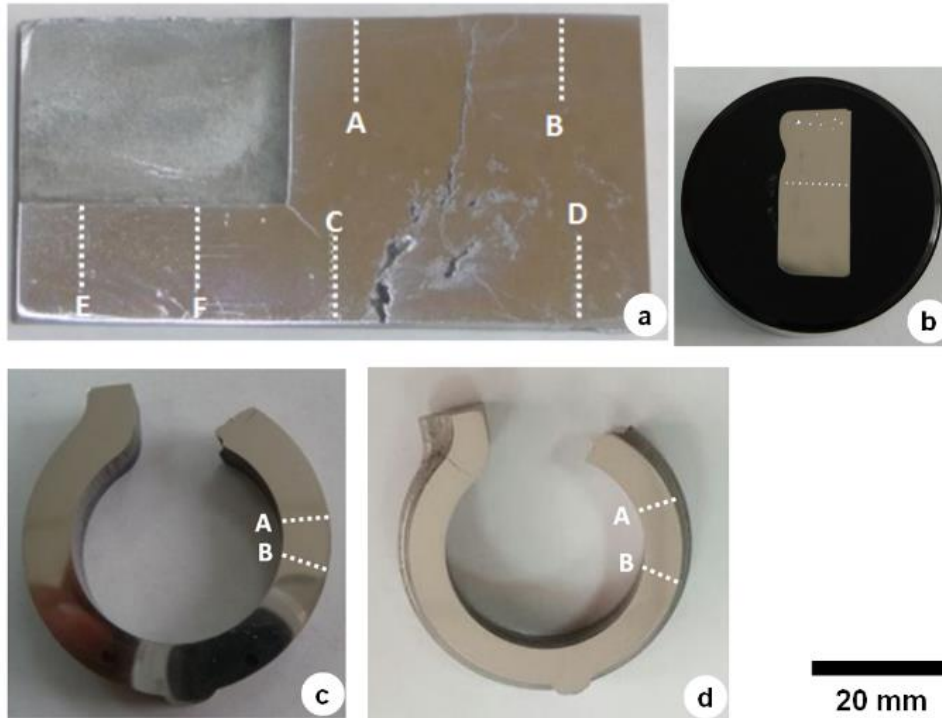
Reo-dökümle üretilmiş AA7075 alüminyum alaşımı ambulans sedye ayağında çekme gözeneği ve sıcak yırtılma gibi hataların tespiti için X-ışınları radyografisi ile tahribatsız muayene yapılmıştır. X-ışınları radyografisi gerçek zamanlı X-ışınları cihazında film kullanılmadan dijital resim olarak çekilmiştir. X-ışınları ile radyografik muayene Medex Loncin marka GemX-G200 model X-ışınları radyografi cihazında 90 kV ve 1200 mA ile gerçekleştirilmiştir.

Numunelerin sertliklerini belirlemek için Vickers sertlik ölçme yöntemi kullanılmıştır. Sertlik ölçümleri Qness marka Q30M model sertlik ölçüm cihazında 49 N (5 kgf) yükte 136° elmas piramit uç kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Reo-dökümle üretilmiş numunelerin sertlikleri, Şekil 4'te gösterilen hat boyunca kenarda merkeze doğru 1 mm aralıklarla sertlik ölçüm alınarak gerçekleştirilmiştir.

### 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

#### 3.1. Makroyapı ve Mikroyapı Karakterizasyonu (Macrostructural and Microstructural Characterization)

Reo-dökümle üretilmiş AA7075 alüminyum alaşımı ambulans sedye ayağının yüzey makro fotoğrafları Şekil 5'te verilmiştir. Şekillerden görüldüğü üzere, kesit ve yükseklik farklılıklarının olduğu yüzeylerde sıcak yırtılma kaynaklı çatlaklar gözlenmiştir. Reo-dökümle üretilmiş AA7075 alüminyum alaşımı ambulans sedye ayağının radyografik muayene fotoğrafları ve sıvı penetrant muayene sonuçları Şekil 6'da verilmiştir. Yüzeyde gözlenen bu sıcak yırtılma kaynaklı çatlaklar, uygun olmayan reo-döküm işlem parametrelerine (uygun olmayan basma hızı ve uygun olmayan sıvı-katı oranı) ve düşük kalıp sıcaklığına bağlı olduğu düşünülmektedir. Benzer şekilde araştırmacılar, AA7075 alaşımının yarı katı şekillendirilmesinde uygun olmayan yarı katı döküm işlem parametrelerinin (uygun olmayan sıvı-katı oranı, yanlış kalıp ve yolluk tasarımı ve düşük kalıp sıcaklığı) sıcak yırtılmalar ve mikroyapıda hataların oluşmasına sebebiyet verdiğini bildirmektedirler [8,9,15-20]. Vaneetveld ve arkadaşları [16] düşük sıvı oranlarında (% 15-16) dahi kalıbın keskin köşelerinde sıvı segregasyonu oluştuğunu ve buna bağlı olarak bu bölgelerde sıcak yırtılma ve çekme gözeneğinin meydana geldiğini bildirmektedirler. Bu çalışmada, et kalınlığının 30 mm ve üzerinde olduğu durumlarda merkezde çekilme boşluğu görülmüştür (Şekil 6).

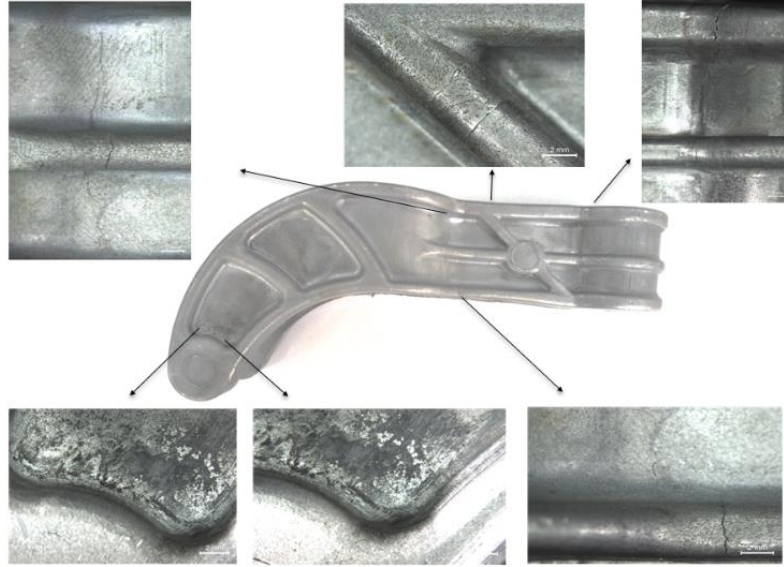


Şekil 4. Numunelerin sertlik ölçülen bölgeleri; a) gövde, b) kulak, c) orta halka ve d) dış halka (The hardness measurement regions of the specimens; a) body b) ear c) center ring and d) outer ring)

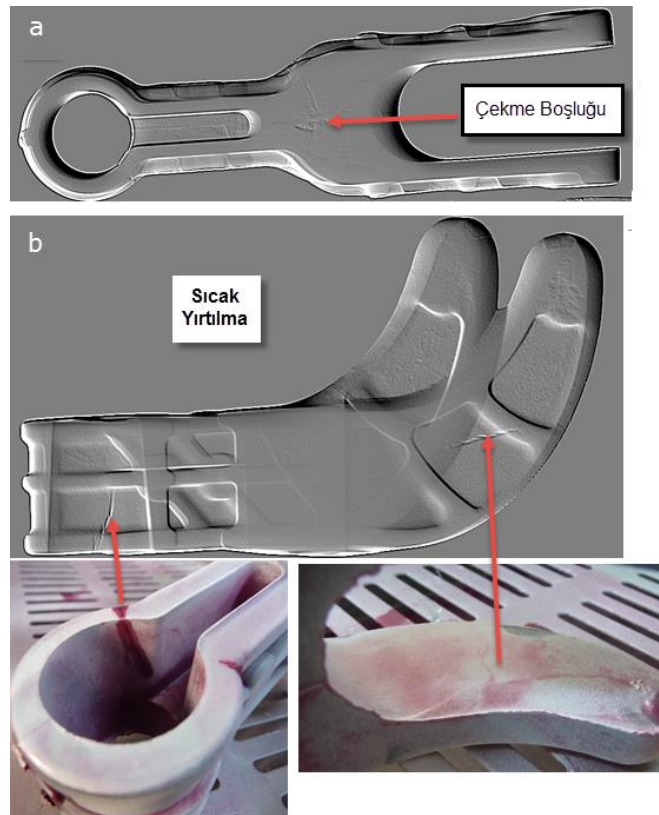


Al-Zn-Mg-Cu alaşımlarının sıcak yırtılmaya yatkın olduğu ve sıcak yırtılma hassasiyetinin oldukça yüksek olduğu bilinmektedir. Özellikle %6 Zn içeren Al-Zn- Mg-Cu alaşımı en yüksek sıcak yırtılma hassasiyetine sahiptir [12,17]. %0,5 Cu ilavesi sıcak yırtılma hassasiyetini en yüksek düzeye çıkardığını bildirmektedirler [12,17].

Araştırmacılar [12] AA7075 alaşımının reo-döküm ile şekillendirilmesinde sıcak yırtılma riskini azaltmak için yüksek enjeksiyon hızı önermekle birlikte yüksek enjeksiyon hızlarının da türbülans nedeniyle döküm parça içinde gaz boşluklarına sebep olduğu bildirmişlerdir.



**Şekil 5.** Reo-dökümle üretilmiş ambulans sedye ayağın makro fotoğrafları (Macro pictures of reo-cast ambulance stretcher's foot)



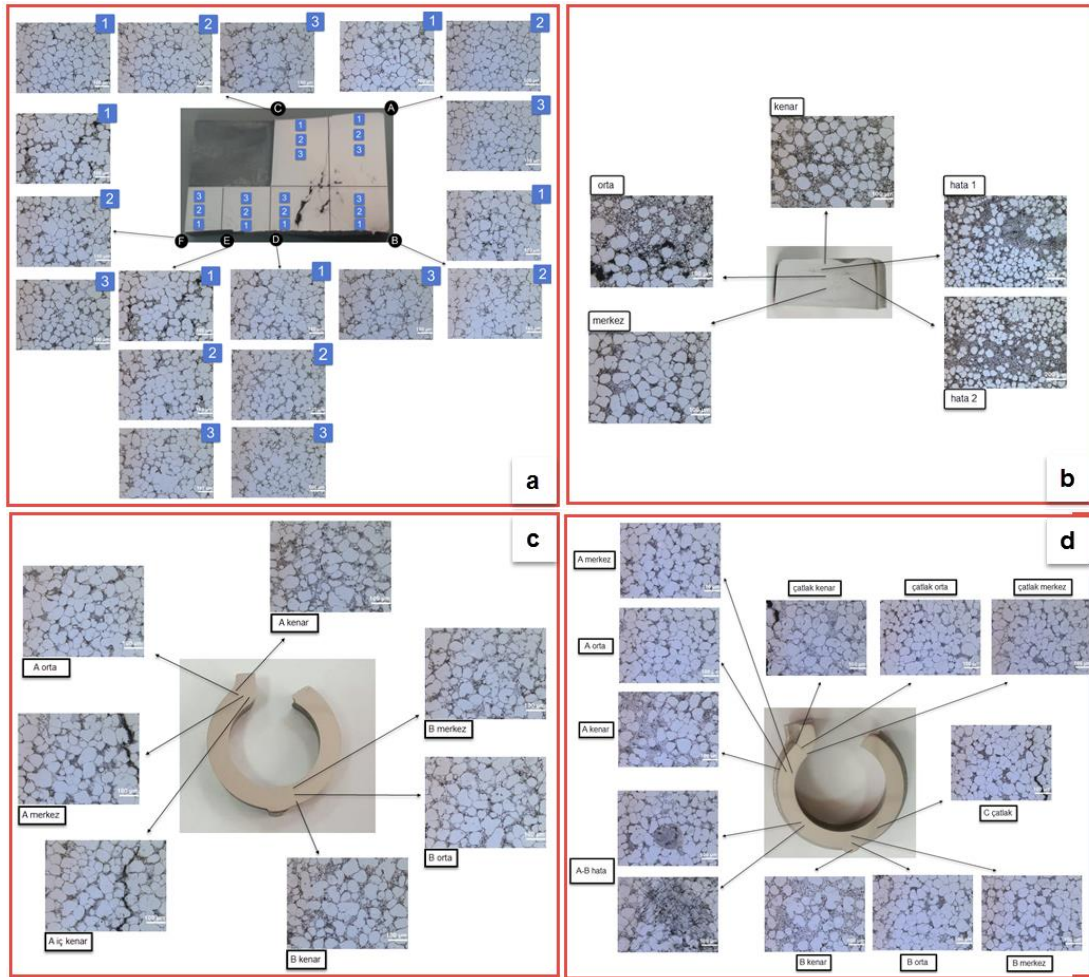
**Şekil 6.** Reo-dökümle üretilmiş AA7075 alüminyum alaşımı ambulans sedye ayağının a) X-ışını radyografisi ile tespit edilen çekme boşluğu b) Sıvı penetrant muayenesi ile tespit edilen sıcak yırtılma (Pictures of reo-cast ambulance stretcher's foot; a) Shrinkage detected by X-ray radiography and b) Hot tearings detected by liquid penetrant test)

Ambulans sedye ayağı AA7075 alüminyum alaşımından 610°C 'de reo-dökümle üretildiğinden, şekillendirme sıcaklığında mikroyapısı eş eksenli yapıda bulunan

sınırlarında aynı zamanda metaller arası bileşiklerin olduğu görülmüştür. Metaller arası bileşikler tane sınırlarına çökelerek tane büyümesini engellemiştir. [7]



Şekil 7. Reo-dökümle üretilmiş AA7075 alüminyum alaşımının mikroyapısı (The microstructure of reo-cast AA7075 aluminum alloy)



Şekil 8. Reo-dökümle üretilmiş AA7075 alüminyum alaşımının farklı bölgelerdeki mikroyapıları; a) gövde, b) kulak, c) orta halka ve d) dış halka (Microstructures of different regions of reocast AA 7075 alloy; a) body, b) ear, c) the center ring and d) an outer ring).

birincil  $\alpha$ -Al tanecikleri ile ötektik yapıdan oluşmuştur (Şekil 7). Geleneksel döküm yöntemine göre elde edilmesi beklenen birincil  $\alpha$ -Al hücreleri dendritik morfolojiden farklı olarak reo-dökümle üretildiği için küresel şekilde oluşmuştur. Tane sınırlarındaki sıvı bölgelerde ise ötektik katılaşma meydana gelmiştir. Tane

Reo-dökümle üretilmiş AA7075 alüminyum alaşımı ambulans sedye ayağından çıkarılan Şekil 3'de gövde, kulak, orta halka ve dış halka olarak tanımlanan bölgenin mikroyapıları Şekil 8'de verilmiştir. Şekil 8.a'da görüldüğü gibi gövde numunesi 6 bölgeye ayrılmış ve her bölgeden kenar-orta-merkez olmak üzere farklı



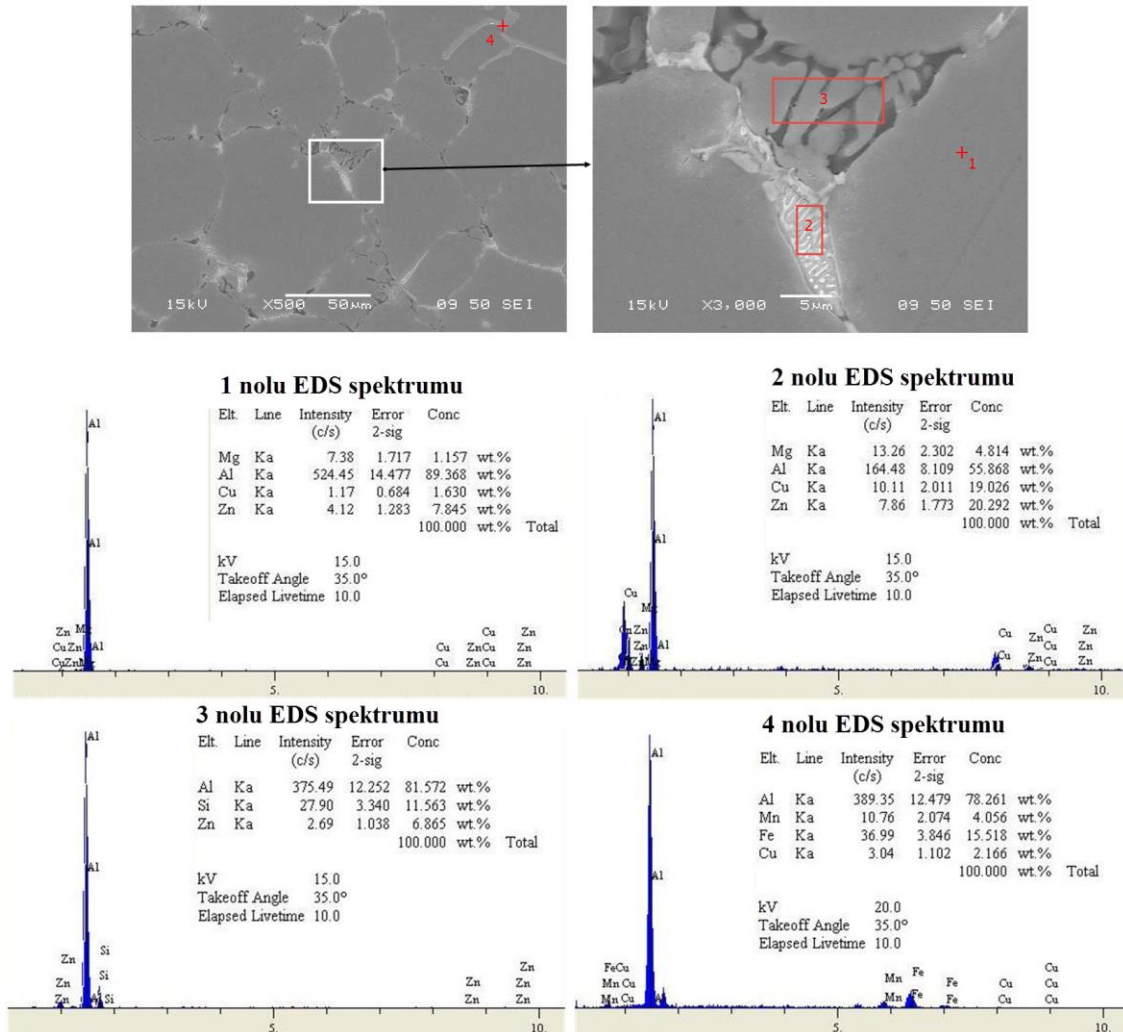
büyütmelerde görüntüler alınarak incelemeler yapılmıştır. Tane sınırları arasındaki sıvıların, tane sınırlarının hareketinden kaynaklanan tane birleşmesinin tanelerin içinde küçük sıvı havuzcuklarını oluşturdukları gözlemlenmiştir (Şekil 8). Daha önce yapılan çalışmalarda da araştırmacılar yarı katı dökümde sıvı havuzcuklarının oluştuğunu tespit etmişlerdir [3,4,13,15].

Kulak numunesinde kenara yakın bölgelerde yoğun bir şekilde sıvı segregasyonu gözlemlenmiştir. Orta ve merkez bölgelerde ise eş eksenli  $\alpha$ -Al tanelerinin daha yoğun olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 8.b). Metalografik incelemede, eş eksenli  $\alpha$ -Al tane boyutunu homojen olmadığı gözlemlenmiştir. Sıvı segregasyonun ise hızlı soğumanın etkisiyle homojen olmayan bir şekilde küresel tanelerin arasında kaldığı tespit edilmiştir.

Dış halka ve orta halka numunelerinin mikroyapıları benzer olup, yapıda  $\alpha$ -Al taneleri ve Al-Zn-Mg-Cu

gözlenmiştir. Ayrıca kenar bölgelerde yüksek basınçlı pres ile şekillendirmede, yüksek basıncın etkisinden kaynaklı hidrostatik basıncın etkisiyle sıvıca daha zengin bölgeler tespit edilmiştir.

Reo-dökümle üretilmiş AA7075 alaşımı EDS analizi ile mikroyapısı karakterize edilmiştir (Şekil 9). Matris mikroyapısının Al, Zn Cu ve Mg'dan oluştuğu ve sırasıyla ağırlıkça %89,368, % 7,845, %1,63 ve %1,157 konsantrasyona sahip olduğu belirlenmiştir (Şekil 9-1 nolu EDS spektrumu).  $\alpha$ -Al tane sınırlarında ve üçlü birleşim bölgelerinde (triple junctions) yer alan yapıda ise iki farklı ötektik yapı tespit edilmiştir. Birincisi Al(%55,868) - Zn(%20,292) - Cu(%19,026) - Mg(%4,814) çoklu ötektik (Şekil 9-2 nolu EDS spektrumu) diğerinin ise Al(%81,572) - Si(%11,563) - Zn(6,865) üçlü ötektik yapı (Şekil 9-3 nolu EDS spektrumu) olduğu belirlenmiştir. Ayrıca  $\alpha$ -Al tane sınırlarında üçlü birleşim bölgelerinin dışında Al (Fe,

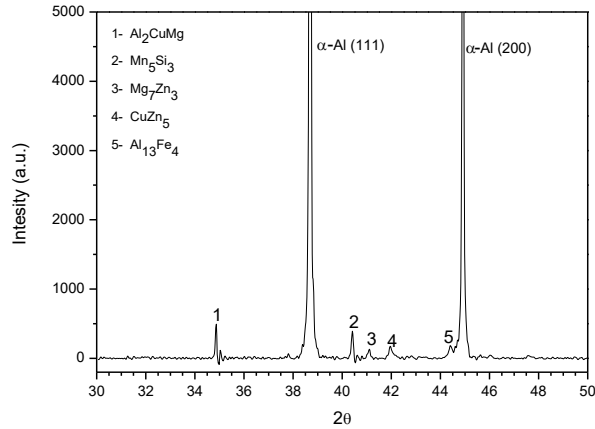


Şekil 9. Gövde numunesini SEM mikroyapıları ve farklı bölgelerin EDS spektrumları (SEM micrographs of the body specimen and EDS spectrums of different zones)

ötektik belirgin bir şekilde gözlenmektedir (Şekil 8.c-d). Yarı katı döküm yöntemlerinde besleyici bulunmaması nedeniyle en son katılaştıkları bölgeler sıvı fazca beslenemediğinden bu bölgelerde mikro çekme

Mn, Cu) intermetalik fazı belirlenmiştir (Şekil 9-4 nolu EDS spektrumu).

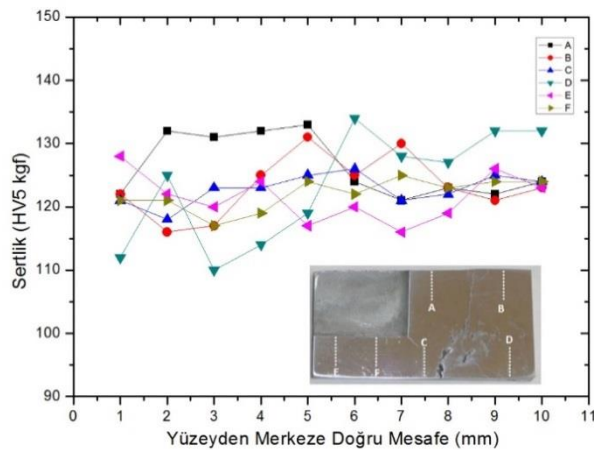
Reo-dökümle üretilmiş AA7075 alüminyum alaşımının X-ışınları kırınım deseni Şekil 10'da verilmiştir. X-ışınları kırınım desenine göre mikroyapıda  $Al_2CuMg$ ,  $Mn_5Si_3$ ,  $Mg_7Zn_3$ ,  $CuZn_5$ ,  $Al_{13}Fe_4$  metallerarası bileşiklerin (intermetalikler) varlığı tespit edilmiştir.



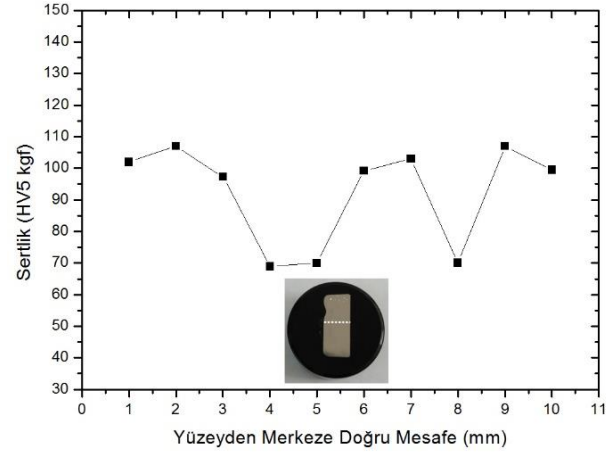
Şekil 10. Gövde numunesine ait X-ışınları kırınım deseni (X-RD pattern of the body specimen)

### 3.2. Reo-Dökümle Üretilmiş Parçanın Sertliği (The hardness of the rheocast part)

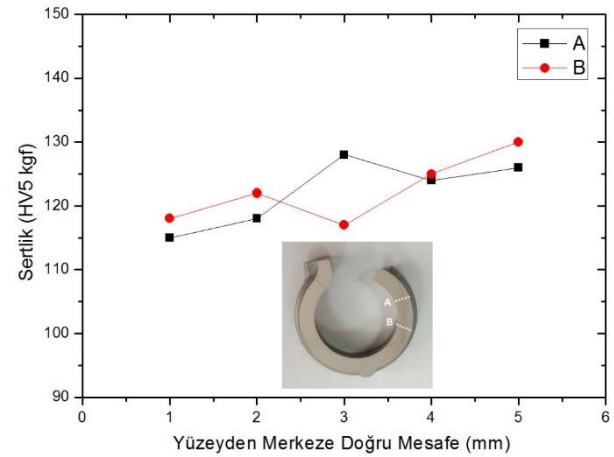
Reo-dökümle şekillendirme sonrası numunelerin yüzeyden merkeze doğru sertlik değişimleri Şekil 11-14'de verilmiştir. Sertlik değerleri yüzeyden merkeze doğru 1 mm eşit aralıklarla alınmıştır. Şekillerden görülebileceği üzere yüzeyden merkeze doğru sertlik taraması sonucu sertlik değerlerinin 110 HV ile 130 HV arasında değiştiği belirlenmiştir. Yalnızca kulak numunesinde daha düşük sertlik değeri ve daha geniş sertlik değeri dağılımı (60 HV- 110 HV) tespit edilmiştir.



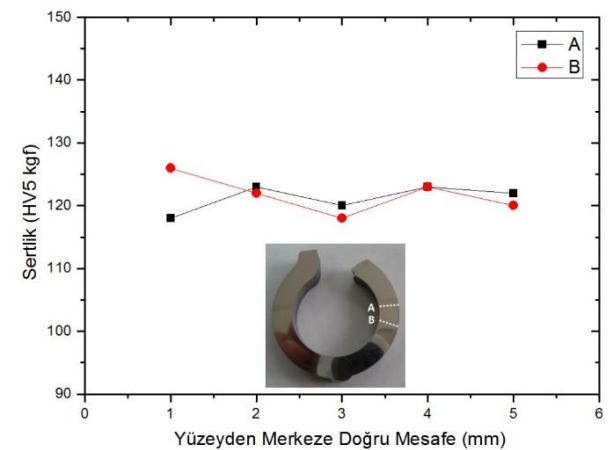
Şekil 11. Gövde numunesinde yüzeyden merkeze doğru sertliğin değişimi (Variation of the hardness of the body specimen from the surface to the center)



Şekil 12. Kulak numunesinde yüzeyden merkeze doğru sertliğin değişimi (Variation of the hardness of the ear specimen from the surface to the center)



Şekil 13. Dış halka numunesinde yüzeyden merkeze doğru sertliğin değişimi (Variation of the hardness of the outer ring specimen from the surface to the center)



Şekil 14. Orta halka numunesinde yüzeyden merkeze doğru sertliğin değişimi (Variation of the hardness of the center ring specimen from the surface to the center)

Çizelge 2’de reo-dökümle şekillendirilen numunelerin ortalama sertlikleri ve standart sapma değerleri verilmiştir. Numunelerin ortalama sertlik değerleri 121 HV - 126 HV arasında olup reo-dökümle şekillendirilen parçadan çıkarılan ve metalografik incelemesi yapılan numunelerde oldukça homojen bir sertlik dağılımı olduğu söylenebilir. Benzer şekilde diğer araştırmalarda da sertlik dağılımının üniform olduğu rapor edilmiştir [4,15]. Ancak kulak numunesinin kesitinde homojen olmayan bir sertlik dağılımı gözlenmiştir (Şekil 12). Bu durum sıvı segregasyonu nedeniyle homojen olmayan mikroyapıya atfedilmektedir (Şekil 8.b).

olan bölgelerde sertlik değerinin daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

#### TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Çalışmamızın gerçekleştirilmesinde kullanmış olduğumuz altyapı ve laboratuvar imkânlarının kurulmasını sağlayan Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri birimine (Proje No: 07 / 2013-01, Proje No: 07 / 2015-02, Proje No: 07 / 2015-08, Proje No: 07 / 2013-02) teşekkür ederiz. Ayrıca reo-döküm parçanın üretimi ve temini için, Altun Döküm A.Ş.’den (Konya) Sayın Ahmet Cevdet Altun’a teşekkür ederiz.

**Çizelge 2.** AA7075 alaşımından reo-dökümle üretilen numunelerin ortalama sertlik değerleri (Average hardness values of AA7075 alloy specimens produced by rheocasting)

Gövde A	Gövde B	Gövde C	Gövde D	Gövde E	Gövde F	Orta halka A	Orta halka B	Dış halka A	Dış halka B	Kulak
126.4	123.3	122.8	123.3	121.5	122.0	121.2	121.8	122.2	122.4	92.4
± 4.7	± 4.6	± 2.3	± 8.5	± 3.6	± 2.4	± 1.9	± 2.7	± 4.9	± 4.8	± 15.2

#### 4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Reo-dökümle üretilmiş AA7075 alüminyum alaşımının metalografik incelenmesinin yapıldığı bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir;

1. Dövme bir alüminyum alaşımı olan AA7075 alaşımı kullanılarak reo-döküm yöntemiyle karmaşık şekilli parça üretimi gerçekleştirilebilmektedir.
2. Reo-dökümle üretilmiş AA7075 alüminyum alaşımında dentritik mikroyapı yerine küremsi  $\alpha$ -Al tanelerinden oluşan mikroyapı oluşmuştur.
3. Reo-dökümle üretilmiş AA7075 alüminyum alaşımında, sıvı fazca zengin olan bölgelerde mikro segregasyonun sıcak yırtılmaya neden olduğu anlaşılmıştır. Sıvı fazca zengin olan bölgelerin kenar yakın bölgelerde ve kesit farklılıklarının olduğu bölgelerde tespit edilmiştir.
4. Reo-dökümle üretilmiş AA7075 alüminyum alaşımında  $\alpha$ -Al tane sınırlarında ve üçlü birleşim bölgelerinde (triple junctions) yer alan yapıda iki farklı ötektik yapı tespit edilmiştir. Ayrıca  $\alpha$ -Al tane sınırlarında üçlü birleşim bölgelerinin dışında Al (Fe, Mn, Cu) intermetalik fazı belirlenmiştir.
5. Reo-dökümle üretilmiş AA7075 alüminyum alaşımında radyografik muayene ve penetrant testi sonucunda yüzeyde sıcak yırtılmanın neden olduğu çatlaklar, merkezde ise çekme boşluklarının varlığı tespit edilmiştir.
6. Sertlik deneyi sonucunda numunelerimizin merkez ve kenar bölgelerinde mikro segregasyondan dolayı sertlik değerinin daha düşük olduğu tespit edilmiştir.
7. Reo-dökümle üretilmiş AA7075 alüminyum alaşımında sertlik dağılımının kesit boyunca homojen olduğu belirlenmiştir. Ancak sıvı segregasyonu varlığı

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Hatch J.E., “Aluminum: Properties and Physical Metallurgy”, *ASM International*, USA, (1984).
2. Kaufman J.G., “Introduction to Aluminum Alloys and Tempers”, *ASM International*, USA, (2000).
3. Kiliçli V., Akar N., Erdogan M. and Kocatepe K., “Microstructural Investigation of Casting Defects in AA7075 Alloy Produced by Thixocasting”, *Machines Technologies Materials Journal (MTM Journal)*, 9: 25-28, (2012).
4. Kiliçli V., Akar N., Erdogan M., Kocatepe K., “Tensile fracture behavior of AA7075 alloy produced by thixocasting”, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 26: 1222-1231, (2016).
5. Akar N. and Mutlu İ., "Effect of Predeformation Rate in SIMA Process on Thixotropic Structure of AA2024 Aluminium Alloy". *Journal of The Faculty of Engineering And Architecture of Gazi University*, 25: 663-670, (2010).
6. Akar N., “The effect of reheating temperature on the production of thixotropic structure with SIMA process in AA2024 alloy”, *Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 26: 381-388, (2011).
7. Taneroğlu H., Akar N. and Kiliçli V., “Examination of microstructure and mechanical properties of Al2024 alloy produced by thixocasting”, *Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 28: 803-809, (2013).
8. Dautre D., Hay G., Wales P. and Gabathuler J.P. “SEED: A new process for semi-solid forming”, *Canadian Metallurgical Quarterly*, 43: 265-272, (2004).
9. Dautre D., Langlais J., and Roy S., “The SEED process for semi-solid forming”, *8th International Conference on Semi-Solid Processing of Alloys and Composites*, Limassol, Cyprus, 397-408, (2004).
10. Curle, U.A. and Govender, G. “Semi-solid rheocasting of grain refined aluminum alloy 7075”, *Transactions of*

- Nonferrous Metals Society of China*, 20: 832-836, (2010).
11. Curle, U.A., "Semi-solid near-net shape rheocasting of heat treatable wrought aluminum alloys", *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 20: 1719-1724, (2010).
  12. Curle, U.A. "Rheocasting an engine mounting bracket in commercial 7075", *Materials Science Forum*, 690: 133-136, (2011).
  13. Bin, Y., Weimin, M., and Xiaojun, S, "Microstructure characteristics and mechanical properties of rheocasting 7075 aluminum alloy", *China Foundry*, 10: 277-281, (2013).
  14. Guo, H.M., Yang, X.J., Wang, J.X., Bin, H.U. and Zhu, G.L., "Effects of rheoforming on microstructures and mechanical properties of 7075 wrought aluminum alloy". *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 20: 355-360, (2010).
  15. Kılıçlı V., "Yarı-Katı Döküm Tekniği ile Üretilen Al-Zn Alaşımlarında Yapı-Özellik İlişkisinin İncelenmesi", *Doktora Tezi*, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, (2010).
  16. Vaneetveld G., Rassili A., Lecomte-Beckers J. and Atkinson H.V. "Thixoforging of 7075 aluminium alloys at high solid fraction", *Solid State Phenomena*, 116: 762-765, (2006).
  17. Eskin D.G., Suyitno Kool, W.H. and Katgerman L., "Mechanical properties in the semi-solid state and hot tearing of aluminium alloys", *Progress in Materials Science*, 49: 629-711, (2004).
  18. Kang C.G. and Lee S.M., "Effect of solid fraction and pressure on microstructure and mechanical properties and reduction in liquid segregation in the thixo-die-casting process with Al-7 pct Si alloy", *Metallurgical and Materials Transactions A*, 39:1213-1224, (2008).
  19. Chayong S, Atkinson H.V. and Kapranos P., "Thixoforming 7075 aluminium alloys", *Materials Science and Engineering A*, 390: 3-12, (2005).
  20. Atkinson H.V., Kapranos P., Liu D., Chayong S.A. and Kirkwood D.H. Thixoforming of normally wrought aluminium alloys. *Materials Science Forum*, 396: 131-136, (2002).



# POLİTEKNİK DERGİSİ

## JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://www.politeknik.gazi.edu.tr/index.php/PLT/index>

# Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ceramics with graded porosity produced from natural and artificial pore formers

Yazar(lar) (Author(s)): Gülsüm TOPATEŞ

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz:** Topateş G., “Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ceramics with graded porosity produced from natural and artificial pore formers”, *Politeknik Dergisi*, 20(3): 595-598, (2017).

**To cite this article:** Topateş G., “Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ceramics with graded porosity produced from natural and artificial pore formers”, *Journal of Polytechnic*, 20(3): 595-598, (2017).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://www.politeknik.gazi.edu.tr/index.php/PLT/issue/archive>

**DOI:** [10.2339/politeknik.339373](https://doi.org/10.2339/politeknik.339373)

# Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Ceramics with Graded Porosity Produced from Natural and Artificial Pore Formers

Gülsüm TOPATEŞ\*

Ankara Yıldırım Beyazıt University, Material Engineering Department, Ankara, TURKEY

(Received : 13.07.2016 ; Accepted : 15.11.2016)

## ABSTRACT

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ceramics with graded porosity were produced by using corn starch and PMMA sphere as pore former additives (PFA). Graded porosity was obtained by uniaxially pressing the stacks of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> mixtures with and without PFA together. Pressed samples were heat-treated to remove PFAs at 600°C and sintered at 1540°C. Final porosity of graded ceramics produced from starch and PMMA were measured as 12 and 16%, obtained median pore size were 3 and 11 µm, respectively. The elastic moduli of the samples were measured by pulse-echo method and results showed that moduli values of the samples varied significantly depending on the PFA type. PMMA added samples had lower elastic moduli values than starch added ceramics as a result of higher pore size and interconnected pore structure. By using the pulse-echo method, the elastic properties of the graded samples couldn't be measured effectively.

**Keywords:** Graded porosity, alumina, pore former.

## ÖZ

Aşamalı gözeneğe sahip Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> seramikleri, gözenek oluşturuca ilave (GOİ) olarak nişasta ve PMMA kürelerin kullanılmasıyla üretilmiştir. Aşamalı gözenek, GOİ içeren ve içermeyen Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> karışımlardan hazırlanan yığınların, tek eksenli preste birlikte preslenmesiyle elde edilmiştir. Preslenen numuneler, ilk olarak 600°C'de ısıtılma tabi tutularak GOİ'lerin uzaklaştırılması sağlanmış ardından 1540°C'de sinterlenmiştir. Aşamalı gözeneğe sahip seramiklerin gözenek miktarı nişasta ve PMMA kullanılan seramikler için sırasıyla %12 ve 16 olarak ölçülmüştür. Gözenek boyutu yine sırasıyla 3 ve 11 µm olarak elde edilmiştir. Numunelerin elastik modülleri darbe-yankı yöntemi kullanılarak ölçülmüş ve sonuçlar GOİ türüne bağlı olarak modül değerlerinde önemli bir değişimin olduğunu göstermiştir. PMMA ilaveli numuneler, nişasta eklenen numunelere kıyasla, daha büyük gözenek boyutu ve bağlantılı gözenek yapısı nedeniyle daha düşük elastik modül değerlerine sahip olmuşlardır. Darbe-yankı yöntemi kullanılarak aşamalı gözeneğe sahip numunelerin elastik özellikleri verimli bir şekilde ölçülememiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Aşamalı gözenek, alümina, gözenek oluşturuca.

## 1. INTRODUCTION

Porosity in the ceramic materials had been accepted as one of the main sources for the failure until it was discovered that they presented unique properties for some specific applications such as filters, membranes, substrates, insulators, biomaterials and drug delivery systems. Several techniques have been preferred to produce porous ceramics. Among these techniques pore former addition enables to control both pore size and pore volume of the final ceramic. Natural-artificial, organic-inorganic additives with low burning or pyrolysis temperature have been used for pore formation. PVC-PS-PMMA beads, starch, seed, naphthalene, salts and ceramic-metallic particles are the well-known examples. Thermal treatment, dissolution or leaching process can be used to remove PFAs from the ceramic body [1].

Graded porosity can be obtained by either changing the pore size or pore volume through the cross section of the ceramic sample. This pore structure provides a porous surface (higher porosity and/or larger pore size) and higher surface area for filter, membrane and substrate applications while dense base gives sufficient strength to the porous ceramics. The graded structure is also beneficial for bio-ceramics that have been used for osteoimplant application, as well. The porous upper part

contributes the bone regeneration and dense lower part increases the mechanical properties of the bioceramic [2-3].

Several processes have been used to fabricate graded porosity; pressing, tape casting and slip casting. Li et al. used pressing process; they filled the die with powders with different stearic acid ratios layer by layer and compacted them [4]. Werner et al. produced multi-layer hydroxyapatite by multiple tape casting process instead of individual tape casting of the slurries and further stacking-laminating steps. In multiple tape casting, slurries with different pore former type and amount were cast one layer on top of the other after 24 hour drying step of the cast layer [5].

Wave motion measurement is one of the effective methods to obtain the elastic properties of ceramics besides stress-strain measurements. Transmission and reflection of the pulses are measured in pulse-echo method and this is a very convenient method the fact that small samples are used [6]. Pulse-echo method has been preferred to measure the elastic moduli of porous Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> in several studies [7-8].

The study aims to achieve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ceramics with graded porosity by dry pressing which is very common and simple method used for shaping ceramics and to characterize the produced ceramics for further potential applications.

\*Corresponding Author

e-mail: gtopates@ybu.edu.tr

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/politeknik.339373

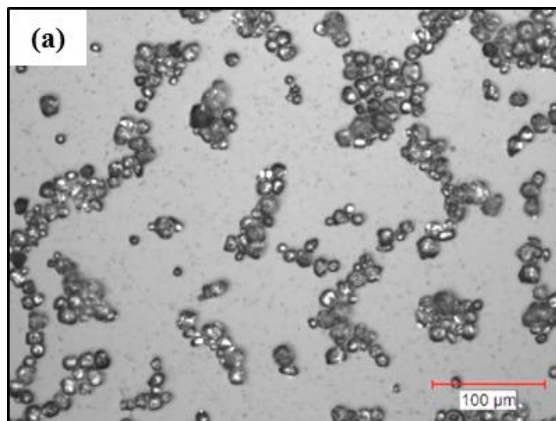


## 2. EXPERIMENTAL PROCEDURE

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> powder (Almatis, CT 3000 SG, d<sub>50</sub>=0.5 µm), corn starch (d<sub>50</sub>=21.9 µm) and PMMA spheres (d<sub>50</sub>=44.9 µm) were used in this study. The particle size of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> powder and PFAs was measured by laser diffraction technique (Malvern, MasterSizer 2000). The amount of PFAs used was either 5 or 15 wt.% and the powder mixtures prepared via dry method by using mixer (Speed Mixer, DAC 150.1 FVZ) at 500 rpm for 1 minute. Prepared mixtures were firstly pressed solely, then graded samples were produced by filling the die with the stacks of pure Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> powder, 5 wt.% of starch or PMMA and 15 wt.% of starch or PMMA. Pressing all layers was carried out at 50 MPa. The prepared compositions for the study are given in Table 1.

**Table 1.** Prepared compositions

Composition	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> content (wt%)	PFA type and content (wt%)
A	100	-
A-S5	95	Corn starch, 5
A-S15	85	Corn starch, 15
A-SG	93	Corn starch
A-P5	95	PMMA sphere, 5
A-P15	85	PMMA sphere, 15
A-PG	93	PMMA sphere



Controlled Pulsar/Receiver) based on transmission and reflection of pulses throughout the samples. The details of the measurement are described in a previous study [9]. The velocity of the waves through the thickness of the samples was determined by Equation (1) [10].

$$v=(2d)/t \quad (1)$$

where  $d$  is the sample thickness (mm),  $t$  the ultrasonic wave's propagation time (ns) and  $v$  the velocity of the wave (m/s). Standard velocity-elasticity relationships can be used to calculate the elastic and bulk moduli according to Equations (2) and (3).

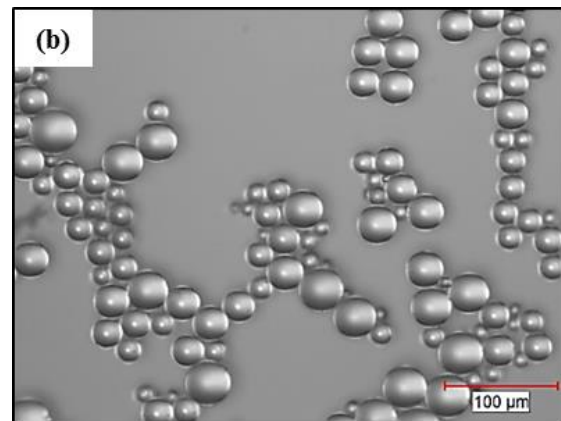
$$E= [v_l^2 \rho (1 + \sigma)(1 - 2\sigma)] / (1 - \sigma) \quad (2)$$

$$K=E/[3(1-2\sigma)] \quad (3)$$

where  $v_l$  is the longitudinal wave velocity (m/s),  $v_s$  the shear wave velocity (m/s),  $E$  the Elastic modulus (pascals),  $K$  the bulk modulus (pascals),  $\rho$  the density (kg/m<sup>3</sup>),  $\sigma$  the Poisson's ratio. Poisson's ratio was calculated from the relationship  $\sigma=(1-2b^2)/(2-2b^2)$  where  $b$  equals to  $v_s/v_l$  [11].

## 3. RESULTS AND DISCUSSIONS

The optical microscopy images of PMMA sphere and corn starch are given in Fig. 1(a) and (b), respectively. According to images, PMMA sphere consists of ellipsoid grains and their size changes between 25-50 µm while starch has angular-like particles with a particle size around 15-25 µm.



**Figure 1.** Optical microscopy images of (a) corn starch and (b) PMMA sphere

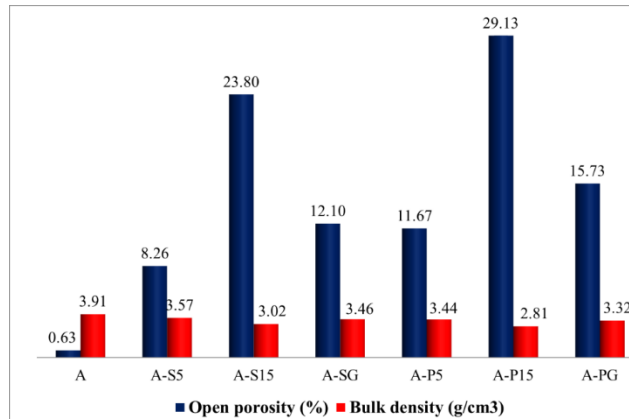
PFAs were removed by a heat treatment process at 600°C for 1h and sintering was carried out at 1540°C for 1h. Density of all samples was measured via Archimedes displacement method.

Mercury intrusion porosimetry (MIP) (Micromeritics, AutoPore IV 9500) was performed to characterize pore size and distribution of the graded samples. Starting powders and fracture surface of the samples were investigated by optical microscopy (Nikon, Eclipse) and scanning electron microscopy (SEM) (Zeiss Evo 50 EP).

Elastic properties were characterized via pulse-echo method (Olympus Panametrics, Model 5800 Computer

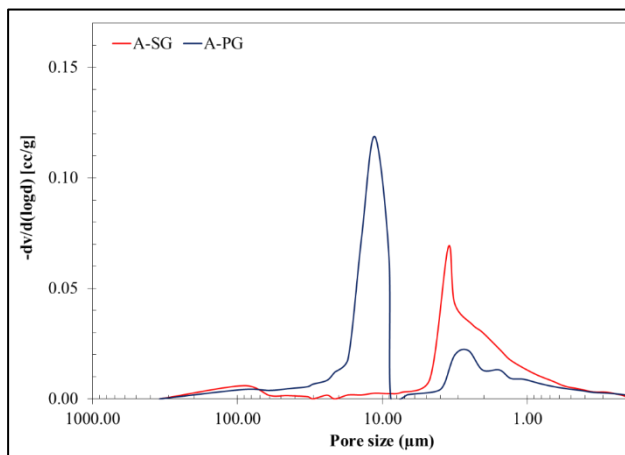
As seen from Fig. 2, nearly full densification was obtained for composition A, while porosity increased gradually with increasing PFA content for the other compositions. The porosity values of compositions with PMMA were higher than the compositions with starch since the PMMA spheres occupy larger volume compared to starch particles of equal weight. This is due to the lower density of PMMA compared to corn starch. The relative density of A-P15 was measured as 70.96% while it was 76.37% for A-S15. The obtained densities of graded samples were very close to the estimated values (the estimated density of A-SG was 3.46 and that of A-PG was 3.35 g/cm<sup>3</sup> as calculated from rules of mixtures).

The firing shrinkage values of the graded samples of A-SG and A-PG were measured as 16.8 % and 16.4%, respectively.



**Figure 2.** Open porosity and bulk density values of the Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ceramics

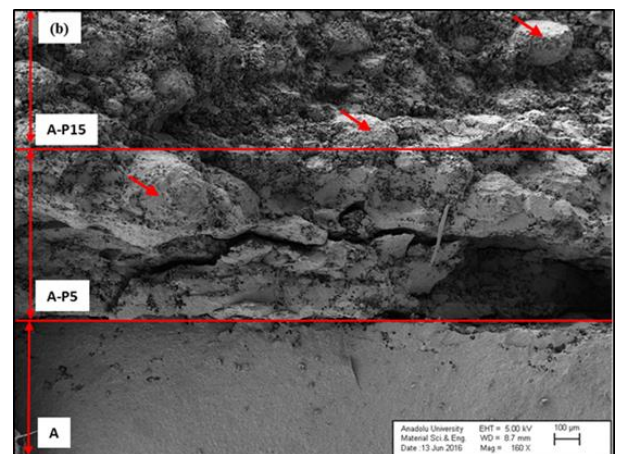
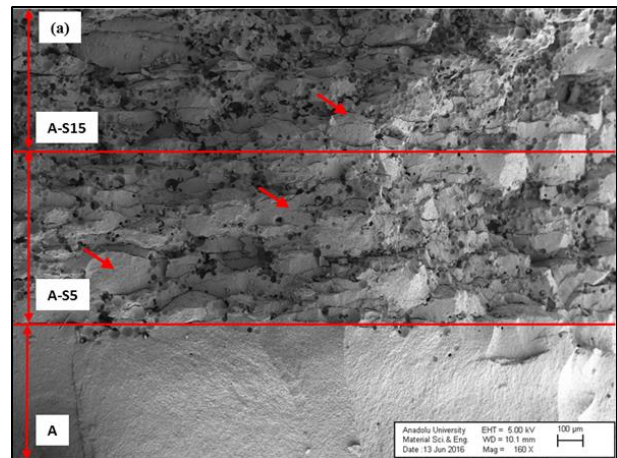
Pore size and its distribution for graded samples are given in Figure 3. Both of the samples had a bimodal pore size distribution and showing that two types of pores formed in the ceramics. Large pores (from 10 to 200 μm) were generated by the removal of PFAs and small pores (from 0.2 to 10 μm) were produced between the primary Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> particles. Median pore size was measured for A-SG as 3 μm and for A-SP as 11 μm. Despite the coarser particle size of PFAs, measured pore size was smaller due to the measurement principle of mercury intrusion porosimetry (MIP). During the measurement, the actual pore size cannot be measured. The technique determines the size of throat or pore channels where the mercury intrusion begins. Therefore, smaller size is obtained by MIP than optical microscopy or SEM images.



**Figure 3.** Pore size and distribution of graded samples

The microstructures of A-SG and A-PG are given in Fig. 4 (a)-(b) and the graded structures of both samples can be seen clearly. The porosity increases gradually from the lowest to the upmost layer. Porous part of the samples still contains dense regions (marked by arrows), non-

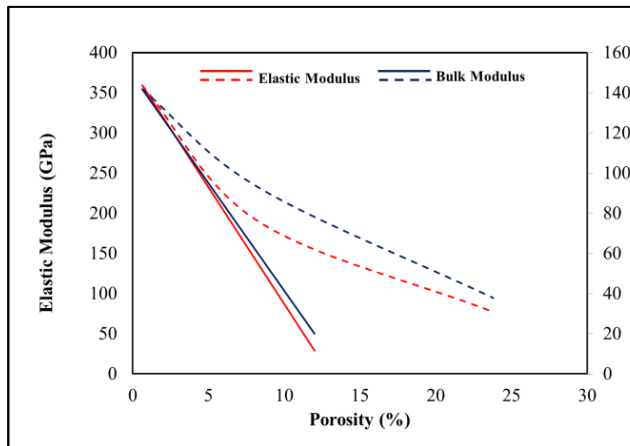
uniform distributions of PFAs were obtained in spite of high mixing rate applied during the mixing process. The microstructure of A-PG has more porous regions than that of A-SG, since the volume of PMMA added was higher than that of starch, as mentioned before.



**Figure 4.** Microstructures of graded samples (a) A-SG and (b) A-PG

The elastic and bulk moduli of the samples as a function of porosity are given in Figure 5. The dashed lines represent starch added samples while solid lines represent PMMA added samples. The elastic and bulk moduli values of sample A were 350 GPa and 140 GPa, respectively. The values are comparable with those in previous studies. Deng et al. used pulse-echo method to measure the elastic modulus of dense and porous Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ceramics and elastic modulus value of dense sample was 390 GPa [8]. Elastic moduli of PMMA added samples showed a very abrupt decrease compare to the starch added samples. For A-S5 the elastic modulus was measured as 190 MPa, for A-P5 the value reduced to 30 MPa. Even though the porosity values of these two samples were almost same, the elastic modulus of A-P5 was lower as a consequence of the larger pore size and interconnected pore structure of the latter. Also, the pore shape had an important contribution to the properties. Starch produced isolated pores, while PMMA produced pores that tended to be connected and this might be the

reason for the reduction in moduli values. Deng et al. measured the elastic modulus of the  $\text{Al}_2\text{O}_3$  with 20% porosity as 200 GPa, Asmani et al. achieved elastic modulus values of about 220 GPa for  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ceramics having 18% porosity. The elastic values of starch added samples were close to those obtained in previous studies. For graded samples, the echo signal could not be detected during measurements. Hence, elastic and bulk moduli of graded samples could not be measured.



**Figure 5.** Elastic and bulk moduli of  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ceramics as a function of porosity (dashed lines represent starch added and solid lines represent PMMA added samples)

#### 4. CONCLUSIONS

Porous alumina ceramics with graded porosity were produced by using starch and PMMA as PFAs. Gradient porosity was successfully obtained for both PFA type. The porosity values of the graded samples were 12 and 16% for A-SG and A-PG samples, respectively. Pulse-echo method was used to measure the elastic and bulk moduli of the porous samples. Depending on the PFA type, these properties showed significant differences. By using starch, an isolated pore structure of smaller pore size was obtained. The properties of starch containing samples showed relatively good agreement with those published in the literature. Pulse-echo method presented consistent results for the non-graded samples but it's not a feasible method for the graded samples.

#### REFERENCES

1. Studart, A.R., Gonzenbach, U.T., Tervoort, E., Gauckler, L.J., "Processing routes to macroporous ceramics: A review", *Journal of the American Ceramic Society*, 89 (6): 1771–1789 (2006).
2. Miao, X., Sun, D., "Graded/gradient porous biomaterials", *Materials*, 3: 26-47, (2010).
3. Tampieri, A., Celotti, G., Sprio, S., Delcogliano, A., Franzese, S., "Porosity-graded hydroxyapatite ceramics to replace natural bone", *Biomaterials*, 22: 1365-1370, (2001).
4. Li, J-F, Takagi, K., Ono, M., Pan, W., Watanabe, R., Almajid, A., Taya, M., "Fabrication and evaluation of porous piezoelectric ceramics and porosity-graded piezoelectric actuators", *Journal of the American Ceramic Society*, 86(7): 1094–1098 (2003).
5. Werner, J., Linner-Kremar, B., Friess, W., Greila, P., "Mechanical properties and in vitro cell compatibility of hydroxyapatite ceramics with graded pore structure", *Biomaterials*, 23: 4285-4294, (2002).
6. Roy, W.R., "Porosity of ceramics", *Marcel Dekker Inc*, New York, (1996).
7. Asmani, M., Kermel, C., Leriche, A., Ourak, M., "Influence of porosity on Young's modulus and poisson's ratio in alumina ceramics", *Journal of the European Ceramic Society*, 21: 1081-1086, (2001).
8. Deng, Z-Y, Fukasawa, T., Ando, M., "Microstructure and mechanical properties of porous alumina ceramics fabricated by the decomposition of aluminum hydroxide", *Journal of the American Ceramic Society*, 84(11): 2638–2644, (2001).
9. Topates, G., Eren Gültekin, E., "Sonic characterization of porous  $\text{Si}_3\text{N}_4$  produced by various pore formers", *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 63: 13-18, (2014).
10. Medding, J.A., "Nondestructive evaluation of zirconium phosphate bonded silicon radomes", *Master Thesis*, Virginia Polytechnic Institute and State University, (1996).
11. Kulkarni, N., Moudgil, B., Bhardwaj, M., "Ultrasonic characterization of green and sintered ceramics: I, time domain", *American Ceramic Society Bulletin*, 73: 146-153, (1994).



# POLİTEKNİK DERGİSİ

## JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://www.politeknik.gazi.edu.tr/index.php/PLT/index>

**Sıvıların ve gazların ısı iletkenlik katsayısını belirleyebilmek için laboratuvar tipi bir deney cihazının tasarımı, imalatı ve test edilmesi**

*Design, manufacture and experimental investigation of a thermal conductivity measurement apparatus for liquids and gases*

*Yazar(lar) (Author(s)): Halil İbrahim VARIYENLİ, Cihangir ARSLAN*

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz:** Variyenli H. İ. ve Arslan C., “Sıvıların ve gazların ısı iletkenlik katsayısını belirleyebilmek için laboratuvar tipi bir deney cihazının tasarımı, imalatı ve test edilmesi”, *Politeknik Dergisi*, 20(3): 599-605, (2017).

**To cite this article:** Variyenli H. İ. and Arslan C., “Sıvıların ve gazların ısı iletkenlik katsayısını belirleyebilmek için laboratuvar tipi bir deney cihazının tasarımı, imalatı ve test edilmesi”, *Journal of Polytechnic*, 20(3): 599-605, (2017).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://www.politeknik.gazi.edu.tr/index.php/PLT/issue/archive>

**DOI:** [10.2339/politeknik.339375](https://doi.org/10.2339/politeknik.339375)

# Sıvıların ve Gazların Isıl İletkenlik Katsayısını Belirleyebilmek için Laboratuvar Tipi Bir Deneysel Cihazının Tasarımı, İmalatı ve Test Edilmesi

Halil İbrahim VARIYENLİ<sup>1,\*</sup>, Cihangir ARSLAN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, 06500, Teknikokullar, Ankara, TURKEY

<sup>2</sup>DSİ Genel Müdürlüğü

(Geliş/Received : 29.06.2016 ; Kabul/Accepted : 26.08.2016)

## ÖZ

Bu çalışmada sıvı ve gazların ısıyı iletme kabiliyetini belirlemek amacıyla kullanılan "Isı İletim Katsayısının Belirlenmesi İçin Silindirik Metoda Göre Ölçüm Yapan Laboratuvar Tipi Cihaz Tasarımı Yapılmış, İmalatı Gerçekleştirilmiş ve Deneysel Olarak Test Edilmiştir. Cihazın doğru çalışıp çalışmadığının kontrolü için deney malzemesi olarak kullanılan saf su ile deneyler yapılmış ve sonuçları saf suyun literatür değerleri ile karşılaştırılmıştır. Saf su ile yapılan deneyler sonucunda literatür değerine en yakın sonuçların 30 g/s debide 50 – 60 – 70 ve 80 volt değerlerinde olduğu saptanmıştır. Buna göre saf suyla yapılan deneyler sonucunda ölçülen deney sonuçları ile fiziksel özellik tablosundan alınan değerler arasındaki ortalama bağıl hata % 2,16 olarak bulunmuştur. Saf su ile yapılan deney şartlarında ısı iletkenlik katsayısı hakkında bilgi edinmek istediğimiz Alümina nano akışkanının ısı iletimi hakkında bilgi elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Isı iletim katsayısı, nano akışkan, tasarım, imalat.

## Design, Manufacture And Experimental Investigation Of A Thermal Conductivity Measurement Apparatus For Liquids And Gases

### ABSTRACT

In this study, in order to find out the thermal conductivity coefficients which is used for determining the thermal conductivity capabilities of the liquids and gases, a laboratory type device, making measurements based on cylindrical methods was designed, produced and experimentally tested. Verifying the proper operation of the device, experiments were conducted with the values available in the literature. The closest results obtained from the experiments conducted with pure water, were found to be 50-60-70 and 80 voltage at 30 g/s flow rate. As a result of the experiments 2,16 % relative error was observed between three results obtained from the experiments conducted with pure water and tables related to physical properties. With the help of the experiment conducted with pure water, information about the heat conduction of the materials, whose thermal conductivity coefficient is sought for, such as Alümina nanofluids was gathered.

**Keywords:** Heat transmission coefficient, nano-fluid, design, manufacturing.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Termodinamikte bir sistemin konumunu belirlemek için kullanılan enerji, yoktan var edilemez var iken yok edilemez fakat bir formdan diğer bir forma geçiş yapabilir. Termodinamik bilimi ısı ve enerjinin formları ile ilgilenirken, ısı transferi bilimi ise sistem içinde yer alan ısı geçişi ile ilgilenir. Isı akışı ile olan enerji transferi doğrudan ölçülmez fakat ölçülebilen bir büyüklük olan sıcaklık ile ilişkilendirildiğinde anlam kazanır. Bir sistemde sıcaklık farkı olduğunda, ısı yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa doğru akar. Sistem içinde bir sıcaklık farkı olduğunda bir ısı akışı söz konusu olduğundan, sistemin sıcaklık dağılımının bilinmesi önem kazanır.

Sıcaklık dağılımı bilindiğinde, birim zamanda birim alana düşen ısı akışı hesaplanabilir. Isı geçişinin üç ana formu vardır; iletim, taşınım ve ışıdır. Isı iletimi; bir katı malzeme veya durgun akışkan içerisindeki sıcak bir bölgeden daha soğuk bir bölgeye doğru ısının geçmesidir. Bir katı cisim içinde sıcaklık farkları varsa yüksek sıcaklık bölgesinden düşük sıcaklık bölgesine ısı, iletim yolu ile geçer. İletimle ısı geçişi deneysel gözlemlere dayanan Fourier kanunu ile belirlenir.

Isı iletim katsayısı büyük olan maddeler ısıyı çabuk iletir, küçük olanlar daha geç iletir. Gümüş, bakır, altın ve alüminyum gibi elektrik akımını iyi ileten maddeler aynı zamanda ısıyı da iyi ilettilerinden bu metallerin ısı iletim katsayıları büyüktür. Lastik, tahta, cam ve yün gibi maddeler ısıyı iyi iletmedikleri için ısı iletim katsayıları küçüktür. Ayrıca maddenin fiziksel bir özelliği olan ısı iletim katsayısı genel olarak maddenin cinsine,

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: halily@gazi.edu.tr

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/politeknik.339375



sıcaklığına, kalınlığına ve basınca bağlıdır. Gazların ısı iletim katsayıları; sıcaklık arttıkça artar, çok yüksek ve düşük basınçlar dışında pratik olarak basınca bağlı değildir. Sıvıların ısı iletim katsayıları; su ve gliserin dışında artan sıcaklıkla azalır ve değeri 0,07-0,7 W/mK arasında değişir. Katıların (inşaat ve ısı yalıtım malzemelerinin) ısı iletim katsayıları artan sıcaklıkla artar. Genellikle yoğunluğu fazla olan malzemelerin ısı iletim katsayıları büyüktür. Isı iletim katsayısı malzemenin yapısına, gözenekliliğine ve nemliliğine de bağlıdır. Nemli bir malzemenin ısı iletim katsayısı, kuru malzemenin ve suyun ısı iletim katsayılarından daha büyük olabilir.

Isı iletim katsayısı, bir maddenin ölçülmesi zor olan özelliklerinden birisidir. Özellikle, ölçüm esnasında taşınım hareketinin oluşturduğu ısı transferinin hesaplanması veya ihmal edilmesinin gerekliliğinden dolayı sıvıların ısı iletim katsayısının ölçülmesi daha da zordur. Sıvıların ısı iletim katsayısının belirlenmesinde kullanılan metotlar, kararlı ve kararsız rejim veya geçici rejim metotları olarak iki ana grupta sınıflandırılabilir.

1. Paralel plaka, eş eksenli silindir, eş eksenli küre metotları ve diferansiyel kalorimetre kullanımı kararlı rejim metotları olarak,
2. Isıtma veya soğutma eğrileri, ısıl iletkenlik prob'u, sıcak tel, sıcaklık karşılaştırma metodu, dondurarak kurutma, grafiksel ve nümerik metotlar ise kararsız rejim metotları olarak gruplandırılmaktadır.

Kararlı rejimde, numune içerisinde herhangi bir noktanın ölçülen sıcaklığı zamandan bağımsız, kararsız rejimde ise belirlenmiş zaman aralıklarında ölçülen sıcaklıklara bağlı olarak ısı iletim katsayısı hesaplanmaktadır.

Literatürde, genellikle gıda endüstrisinde ham maddelerin işlenmesi ve ürünlerin depolanması sırasında gıda maddelerinin özelliklerinin sıcaklıkla değişiminin bilinmesi zorunluluğu nedeniyle ham maddelerin ve ürünlerin sıcaklıkla fiziksel özelliklerindeki değişim üzerine çalışmalar yapılmıştır [1].

Romero ve ark. portakal suyunun termofiziksel özelliklerine, sıcaklığın ve su miktarının etkisini incelemişlerdir. Isı iletim katsayısının ölçümü için silindirik metoda göre ölçüm yapan deney cihazı tasarlamışlardır. Cihaz, 180 mm uzunluğunda, 20 mm ve 24 mm çapında eş eksenli iç içe geçmiş bakır iki tüpten oluşmaktadır. Numune iki tüp arasında kalan 2 mm'lik radyal boşluğa doldurulmuştur. İçteki tüpün eksenine 15 W gücünde bir ısıtıcı yerleştirilerek, radyal yönde bir ısı akışı sağlanarak ısı iletim katsayısı belirlenmiştir. Portakal suyu içerisindeki su oranının artmasıyla ısı iletim katsayısının ve özgül ısı kapasitesinin doğrusal olarak arttığını, yoğunluğun ise azaldığını gözlemişlerdir [2].

Özkal ve Tülek, silindirik metoda göre ölçüm yapan P.A Hilton Limited H470 deney setinde yapmış oldukları deneysel çalışmada, tam yağlı ve yağsız süt, işlenmemiş taze süt, ayçiçeği, mısırözü ve zeytinyağı gibi gıda maddelerinin ısı iletim katsayısını belirlemişlerdir.

Ölçülen ısı iletim katsayısı değerleri, literatürde verilen değerler ile karşılaştırıldığında, ölçülen değerlerin literatür değerlerinden % 16 dolayında daha düşük olduğu görülmüştür [3].

Azoubel ve ark. [4] elma suyunun, Shamsudin ve ark. [5] guava suyunun, Tansakul ve Chaisawang [6] hindistan cevizi sütünün termofiziksel özelliklerine sıcaklığın ve konsantrasyonun etkisi konulu bir çalışma yapmışlardır. Meyve sularının fiziksel özelliklerinin sıcaklık ve konsantrasyonla bağlı olduğu gözlenmiştir.

Bu çalışmanın amacı, silindirik metoda göre sıvıların ve gazların ısı iletim katsayısını belirleyebilmek amacıyla bir cihaz tasarlamak ve imal etmektir. Ayrıca imal edilen cihazın doğruluğunu belirleyebilmek için literatürde ısı iletim katsayısı bilinen saf su ile deneyler yaparak elde edilen verileri literatür değerleri ile karşılaştırmaktır. Daha sonra sıvıların ısı iletim katsayısını yükseltmek için kullanılan alümina nano akışkanının ısı iletim katsayısını belirlemektir.

## 2. TEORİK ANALİZ (THEORETICAL ANALYSIS)

Hesaplarda kullanılacak deney düzeneğine ait veriler; ısıtıcı eleman direnç değeri (R) : 55,5  $\Omega$ , ölçüm haznesi radyal boşluk mesafesi ( $\Delta r$ ) :0,345 mm ve ölçüm haznesi silindirik yüzey alanı (A) :0,0133 m<sup>2</sup>'dir.

Deneylerde, sistemin sürekli rejime ulaştığı anda kaydedilen sıcaklıklar yardımıyla aşağıda verilmiş olan hesaplama yöntemine göre ısı iletim katsayısı hesaplanmıştır. Hesaplamalarda numunenin doldurulduğu radyal boşluk 0,345 mm gibi çok ince bir tabaka olduğundan dolayı taşınım ile ısı transferi ihmal edilebilecek sınırlar arasında olduğu kabul edilmiştir. Buna göre, cihaz içerisinde sadece iletimle ısı transferi gerçekleştiği dikkate alınarak Fourier ısı iletim kanunu yardımıyla ısı iletim katsayısı her bir deney için ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Isıtıcının elektriksel ısı gücü, ısıtıcı devresinde ölçülen akım (I) ve gerilim (V) değerinden aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\dot{Q}_e = IV \quad (1)$$

Sisteme ısı girdisi, ısıtıcının gücüne ( $\dot{Q}_e$ ) eşit olup, sistemden meydana gelen ısı transferine ( $\dot{Q}_i$ ) eşit olarak alınmıştır. Fourier ısı iletim kanunundan ise sistemde meydana gelen ısı transferi aşağıdaki eşitliklerden hesaplanmıştır.

$$\dot{Q}_i = UA\Delta T = UA(T_{iç} - T_{dış}) \quad (2)$$

$$UA = \frac{\dot{Q}_i}{\Delta T} = \frac{1}{R_{top}} \quad (3)$$

$$R_{top} = \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi Lk_s} + \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{2\pi Lk_b} \quad (4)$$

$$\frac{\dot{Q}_i}{\Delta T} = \frac{1}{R_{top}} \quad (5)$$

Yukarıdaki Eşitlik 5'ten radyal boşluğa doldurulan sıvının ısı iletim katsayısı,



$$k_s = \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi L \left[ \frac{\Delta T}{\dot{Q}_i} - \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{2\pi L k_b} \right]} \quad (6)$$

şeklinde bulunur. Eşitlik 6'ya göre her bir deneyde ölçülen sıcaklık farkına ve iletimle meydana gelen ısı transferine bağlı olarak ısı iletim katsayısı hesaplanmıştır.

### 2.1. İstatistik Analizler (Statistical Analysis)

Deney sonuçlarına göre hesaplanan ısı iletim katsayısının istatistik analizleri Microsoft Excel 2010 programı kullanılarak yapılmıştır. Bağlı hata ve ortalama bağlı hata,

$$RE (\%) = 100x \left( \frac{k_{literatür} - k_{deney}}{k_{deney}} \right) \quad (7)$$

$$MRE (\%) = \frac{RE (\%)}{n} \quad (8)$$

eşitliklerinden hesaplanmıştır. Tek değişkenli regresyon analizi Excel programı yardımıyla yapılırken, iki değişkenli regresyon analizi ise aşağıda verilen eşitlikler yardımıyla yapılmıştır [7,8].

$$n\beta_0 + \beta_1 \sum_{i=1}^n x_{i,1} + \sum_{i=1}^n x_{i,2} = \sum_{i=1}^n y_i \quad (9)$$

$$\begin{aligned} & \beta_0 \sum_{i=1}^n x_{i,1} \\ & + \beta_1 \sum_{i=1}^n x_{i,1}^2 \\ & + \beta_2 \sum_{i=1}^n x_{i,1}x_{i,2} \\ & = \sum_{i=1}^n x_{i,1}y_i \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} & \beta_0 \sum_{i=1}^n x_{i,2} \\ & + \beta_1 \sum_{i=1}^n x_{i,1}x_{i,2} + \beta_2 \sum_{i=1}^n x_{i,2}^2 \\ & = \sum_{i=1}^n x_{i,2}y_i \end{aligned} \quad (11)$$

Yukarıdaki eşitliklerden  $\beta_0$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  katsayıları,  $X_1$  ve  $X_2$  değişkenine bağlı olarak hesaplanarak aşağıdaki denklem elde edilir.

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + e \quad (12)$$

Eşitlik 12'deki  $e$  parametresi, deneylerden elde edilen değer ( $y_{deney}$ ) ile regresyon analizi sonucunda elde edilen değer ( $y_{regresyon}$ ) arasındaki farkı, hata değerini göstermektedir.

$$e = y_{deney} - y_{regresyon} \quad (13)$$

Korelasyon katsayısı ( $R^2$ ) ise,

$$R^2 = 1 - \frac{SSE}{SST}$$

eşitliğinden hesaplanabilir. Eşitlikteki hata karelerinin toplamı (SSE) ve kareler toplamı (SST) aşağıda verilen Eşitlik 15 ve 16'ya göre hesaplanmıştır [7].

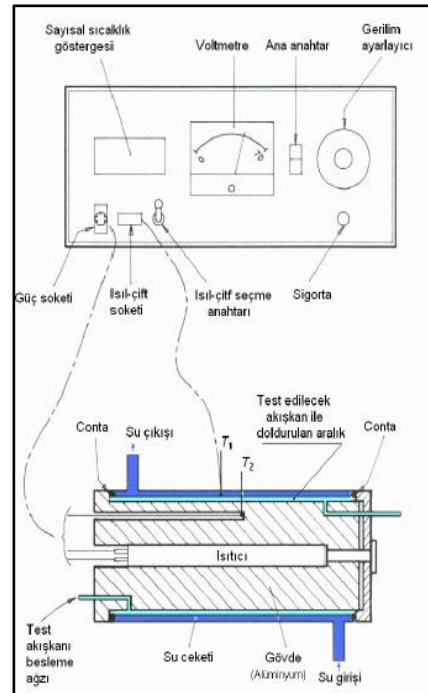
$$SSE = \sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_{deney} - y_{regresyon})_i^2 \quad (15)$$

$$SST = \sum_{i=1}^n (y_{deney})^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n (y_{deney}))^2}{n} \quad (16)$$

## 3. MATERYAL VE METOD (MATERIAL AND METHOD)

### 3.1. Deney Seti (Test Set)

Şekil 1'de şematik olarak görülen deney seti, sıvıların ısı iletim katsayısının ölçümü için tasarlanmış olup, sıcaklık ve verilen ısının ölçüm ve kontrol edilmesini sağlayan iç içe geçmiş eksensel iki silindirik tüpten oluşmaktadır.



Şekil 1. Tasarımı ve imalatı yapılan deney seti (Experiment set which is designed and manufactured)

İçteki tüpte, istenilen çalışma sıcaklıklarını sağlamak için, direnci ölçülebilen ısıtıcı bir eleman ve bu tüpün dış yüzeyine yakın olacak şekilde yerleştirilmiş K tipi ısı-çift bulunmaktadır. Bu tüp ısı gerilmeleri ve sıcaklık değişimlerini azaltabilmek amacıyla pirinç ve alüminyumdan imal edilmiştir. Isı iletim katsayısı ölçülecek sıvının doldurulacağı iki tüp arasındaki radyal boşluk 0,345 mm olacak şekilde imal edilmiştir. İçteki silindirik tüp radyal boşluğu kapatan flanşlar vasıtasıyla su ceketini adı verilen, ikinci silindirik tüpün ortasına yerleştirilmiştir. Silindir çapı 49 mm ve 110 mm uzunluğunda pirinçten imal edilmiş ve yanlardan sıcaklık ve basınca dayanıklı oring contalarla sızdırmazlık sağlanacak şekilde kapatılmıştır. Su ceketinin içerisinde iç yüzey sıcaklığının ölçülebilmesi için ikinci bir K tipi ısı-çift yerleştirilmiştir. Isıtıcı eleman 55,5  $\Omega$  dirence sahip olup, maksimum gücü 100 W ve uygulanabilecek maksimum voltaj 80 V'dur. Cihazda, istenilen ısı enerjisini elde edebilmek amacıyla elektrik akımını istenilen değere ayarlayabilen dimmer devresi kullanılmıştır. Devreden geçen akım ve gerilim değerleri bir multimedre yardımıyla ölçülerek ısıtıcının gücü istenilen değerlerde tutulabilmektedir.

#### 4. DENEYLER (EXPERIMENTS)

Deney cihazını tasarlamadan ve deneylere başlamadan önce bilgi ve tecrübe kazanabilmek amacıyla ZKÜ Mühendislik Fakültesi ısı laboratuvarında PH Hilton firmasının eğitim amaçlı tasarlamış olduğu sıvıların ve gazların ısı iletim katsayısı ölçüm deney cihazı incelenmiştir. Daha sonra bu deney düzeneği örnek alınarak Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümünde Bilimsel Araştırmalar Projeler Birimi imkânları ile bir deney cihazı tasarlanmış ve imal edilerek deneylere başlanmıştır.

Deney cihazında, ısı iletim katsayısı ölçülecek sıvı enjektör yardımıyla soğutma suyu ceketini ile ısıtıcı arasındaki küçük radyal boşluğa enjekte edilmiştir. Radyal boşluğun tamamen sıvı ile dolduğunun anlaşılabilmesi için akışkan çıkış ağzından sıvının çıkması gözlemlenmiştir. Radyal boşluk içerisinde oluşan hava boşlukları deney sonucunu etkileyeceğinden dolayı boşluğun tamamen sıvı ile dolduğundan emin olunmuştur. Daha sonra soğutma suyu bağlantıları yapılarak, soğutma suyu açılmıştır.

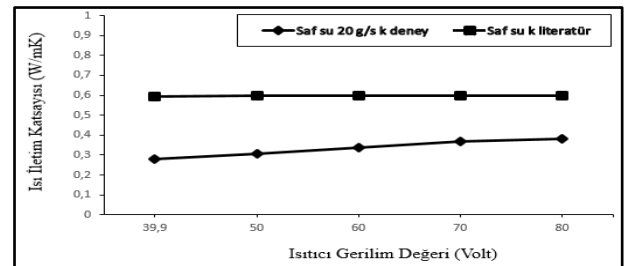
Deneylere başlayabilmek için deney cihazındaki ısıtıcı eleman devreye sokulmuş ve ısıtıcıda istenilen ısı gücünü ayarlayabilmek için ısıtıcıya seri olarak bağlanan dimmer devresi kullanılmıştır. Dimmer cihazı devrenin akımını değiştirerek ısıtıcı gücünün istenilen değerlere ayarlanabilmesini sağlamaktadır. Dimmerin bağlı olduğu devreden geçen akım ve gerilim değerleri multimedre yardımıyla ölçülerek, ısıtıcı gücü ayarlanmıştır. Sıvıların ve gazların ısı iletim katsayısı ölçüm cihazında genellikle gazların ısı iletim katsayısının ölçümünde ısıtıcının gücünü 40 W civarında, sıvılarda ise 65 W civarında ayarlamak gerekir. Ancak burada sıcaklığın ısı iletim

katsayısına etkisini belirlemek amacıyla deneylerde ısıtıcı gerilim değeri 40 V, 50 V, 60 V, 70 V ve 80 V değerlerine ayarlanarak deneyler yapılmıştır. Cihaz içerisinde iki farklı noktadan sıcaklık ölçülmektedir. Birinci termokupl ( $T_1$ ) ısıtıcı elemanın hemen dışında, ikinci termokupl ( $T_2$ ) soğutucu cebinin iç kısmına sabitlenmiştir. Deneylerde sıcaklık ölçümü için demir-konstantan (K tipi) termokupl ile ölçüm yapan, hassasiyeti 0,1  $^{\circ}\text{C}$  olan sıcaklık ölçüm cihazı kullanılmıştır. Deneylere başlamadan önce buzlu suda sıcaklık ölçüm cihazının kalibrasyonu yapılmıştır.

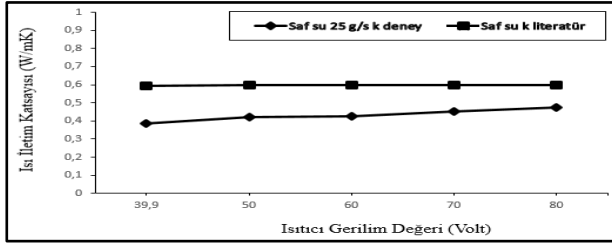
Soğutma suyu açılıp, ısıtıcı devreye sokulduktan sonra sistemin rejime gelmesi beklenmiştir. Sistem, cihaz içerisinde sabitlenmiş olan termokupllarda ölçülen sıcaklıkların zamanla değişmediği, sabit kalmaya başladığı anda rejime gelmiş demektir. Sistem rejime geldiği andaki sıcaklıklar kaydedilerek deney bitirilmiştir. Isı iletim katsayısı ölçüm cihazında sıcaklık genellikle 15–20 dakikada rejime gelmektedir. Ancak burada deney süresinin ısı iletim katsayısına etkisinin olmaması için 60 dakikada bir deneyler tekrarlanmıştır. Saf su ile yapılan deney sonuçları Çizelge 1'de ve Alümina nano akışkanı ile yapılan deney sonuçları ise Çizelge 3'te verilmiştir.

#### 5. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

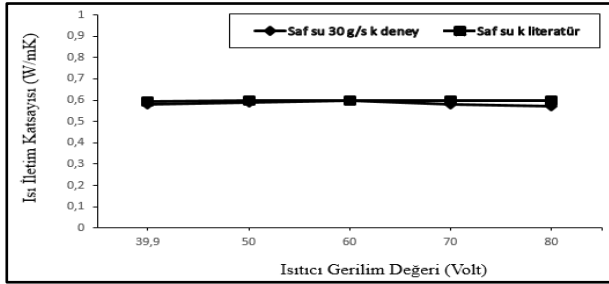
Saf su ile 40 V, 50 V, 60 V, 70 V ve 80 V ısıtıcı gerilim değerinde ve akışkan debisi ise 20 – 25 – 30 g/s olarak deneyler yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre hesaplanan ısı iletim katsayısı ile literatür tablo değerlerinin karşılaştırılması sonucunda, hesaplanan ısı iletim katsayısının literatür tablo değerlerinden daha düşük olduğu bulunmuştur. İki değer arasında bağlı hata hesaplanmış, saf su ile yapılan deneylerin bağlı hatası % 4,27 ile % 0,08 arasında değişmektedir. Bulunan bağlı hata değerleri bilimsel olarak kabul edilebilir sınırlar içinde olmaktadır. Buna göre tasarlanan ısı iletim katsayısı Ölçüm cihazının bu amaç için kullanılabilmesi mümkün gözükmektedir.



Şekil 2. Saf su ile 20g/s'de elde edilen ısıtıcı gerilim değeri – ısı iletim katsayısı grafiği (The heating voltage value obtained with pure water at 20 g/sec - heat transfer coefficient graph)



Şekil 3. Saf su ile 25g/s'de elde edilen ısıtıcı gerilim değeri – ısı iletim katsayısı grafiği (The heating voltage value obtained with pure water at 25 g/sec - heat transfer coefficient graph)



Şekil 4. Saf su ile 30g/s'de elde edilen ısıtıcı gerilim değeri – ısı iletim katsayısı grafiği (The heating voltage value obtained with pure water at 30 g/sec - heat transfer coefficient graph)

Şekil 2, Şekil 3 ve Şekil 4'ten de anlaşıldığı üzere debi 20 – 25 – 30 g/s alınmış ve voltaj değerleri artırılarak sıcaklık ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Cihazda meydana gelen kaçak ısı da hesaba katılarak bir  $q$  değeri hesaplanmış ve buna göre 39,9, 50, 60, 70 ve 80 Volt için saf suyun ısı iletim katsayıları belirlenmiştir. Çizelge 1'de saf suyun literatürde yer alan ısı iletim katsayılarına göre hata oranlarına bakarsak;

Çizelge 1. 30 g/s debideki saf su deney sonuçları ve bağıl hata değerleri (30 g/sec pure water test results and relative error values)

Deney No	$\Delta T$ (°C)	k Hesaplanan (W/mK)	k Kaynak [7] (W/mK)	RE (%)
1	0,9	0,5810	0,5957	2,53
2	1,4	0,5906	0,5966	1,02
3	2	0,5977	0,5972	-0,08
4	2,8	0,5805	0,5982	3,04
5	3,7	0,5738	0,5983	4,27
<b><math>\Sigma RE</math></b>				10,78
<b><math>MRE = \Sigma RE / 7</math></b>				2,156

Yapılan hesaplamalar çerçevesinde bağıl hata % 10,78 ve ortalama bağıl hata % 2,156 olarak tespit edilmiştir.

Cihazın doğru çalışıp çalışmadığının kontrolü için deney malzemesi olarak öncelikle saf su kullanılmış olup, saf su ile deneyler yapılmış ve sonuçları literatür değerleri ile karşılaştırılmıştır. Saf su ile yapılan deneyler sonucunda literatür değerine en yakın sonuçların 30 g/s debide 60 – 70 volt değerlerinde olduğu saptanmıştır. Buna göre saf suyla yapılan deneyler sonucunda ölçülen deney sonuçları ile fiziksel özellik tablosundan alınan değerler arasındaki ortalama bağıl hata % 2 olarak bulunmuştur. Saf su ile yapılan deney şartlarında ısı iletim katsayısı ( $k$ ) hakkında bilgi edinmek istediğimiz Alümina nano akışkanının ısı iletimi hakkında bilgiler elde edilmiş ve ısı iletkenlik katsayıları belirlenmiştir.

Yapılan inceleme sonucunda 30 g/s debideki soğutucu akışkan için literatürdeki  $k$  değerine en yakın sonuçların elde edildiği gözlemlenmiştir. Farklı debilerde yapılan deneylerden debinin en az 30 g/s olması gerektiği bulunmuştur. Saf su ile üç farklı debide yapılan deney sonuçları Çizelge 1'de gösterilmiştir. Yapılan hesaplamalarda 30 g/s' den daha düşük debilerde ısı iletim katsayısının gerçek değerinden daha küçük çıktığı görülmüştür.

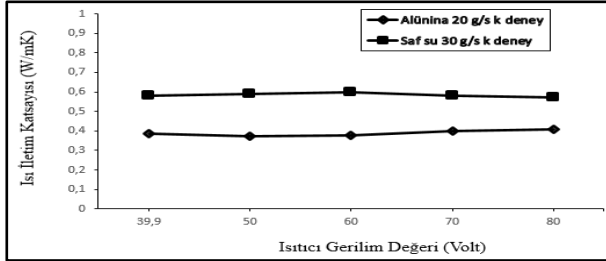
Nano teknolojideki son gelişmeler ile nanometre boyutlarda parçacıkların üretimi geçmişe nispeten kolaylıkla elde edilebilir duruma gelmiştir. Milimetre veya mikrometre boyuttaki katı partiküllerin süspansiyon şeklinde iş akışkanına eklenmesiyle uygulanan pasif ısı transferi iyileştirme yönteminin sahip olduğu çökme, tortulaşma, aşınma gibi dezavantajlar sonucunda yapılan çalışmalarda, partiküllerin daha homojen yapıda ve daha küçük boyutlarda üretilmeleri mümkün hale gelmiştir. Bunun bir sonucu olarak, ısı iletkenliğini artırmak için bir taban sıvısı içinde ısı iletkenlikleri yüksek olan bakır, alüminyum, altın, gümüş vb. nano taneciklerin süspansiyonu fikri önerilmiştir.

### 5.1. Alüminyum Oksit ( $Al_2O_3$ ) (Alümina)

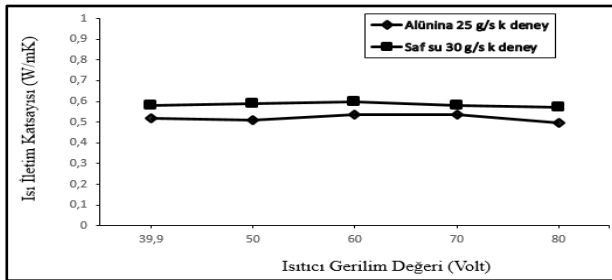
Mikron boyutunda ve nano boyutunda alümina parçacıkları karşılaştırıldığında nano alüminanın birçok avantajı söz konusudur. Daha küçük boyutlu parçacıklar moleküler çarpışmalar için daha büyük bir yüzey alanı sağlar bu nedenle de reaksiyon oranı artar, daha iyi bir katalizör ve reaktant yapılıdır. İnce aşındırıcı taneleri ince parlatmaya olanak sağlayacak ve bu da nano işleme ve nanoprobler gibi yeni uygulama alanlarının ortaya çıkmasını sağlayacaktır. Kaplamalar açısından nano ölçekli alümina parçacıklarının kullanılması önemli ölçüde bu kaplamaların kalitesini ve tekrarlanabilirliğini arttıracaktır.

Nano alümina sentezlemek için çeşitli yöntemler söz konusudur; bu yöntemler fiziksel ve kimyasal yöntemler olarak kategorize edilmektedir. Fiziksel yöntemler mekanik freze, lazer ablasyonu, alev spreyleme ve plazma termal ayrışma olarak sınıflandırılabilir. Kimyasal yöntemler arasında solgel işlem, çözelti, yanma ayrışması ve buhar birikimi bulunmaktadır. Kimyasal yöntemlerin çoğu son derece düşük verim oranları ile sonuçlanmıştır ve bu nedenle kitle üretime adapte edilememektedir. Mekanik öğütme gibi fiziksel

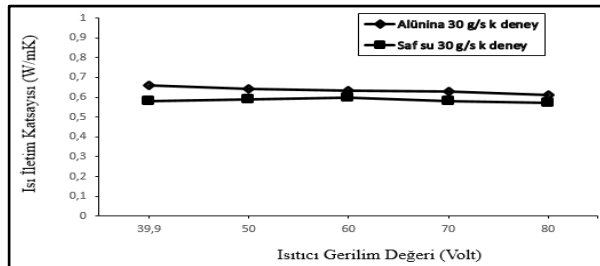
yöntemler, nanopartiküllerin büyüklüğünü kolaylıkla kontrol edemediği için etkili değildir ve bu metotlar belirli malzemeler ile sınırlıdır. Lazer ablasyonu, bunar biriktirme ve solgel gibi diğer yöntemler vakum sistemleri, yüksek güçlü lazerler, pahalı öncü kimyasallar gibi özel donanım gerektirdiğinden dolayı çok pahalıdır. Sonuç olarak birçok sistem belirli malzeme aralıkları için uygundur.



Şekil 5. Alümina ile 20g/s'de elde edilen ısıtıcı gerilim değeri - ısı iletim katsayısı grafiği (The heating voltage value obtained at 20 g/sec with alumina - heat transfer coefficient graph)



Şekil 6. Alümina ile 25g/s'de elde edilen ısıtıcı gerilim değeri - ısı iletim katsayısı grafiği (The heating voltage value obtained at 25 g/sec with alumina - heat transfer coefficient graph)



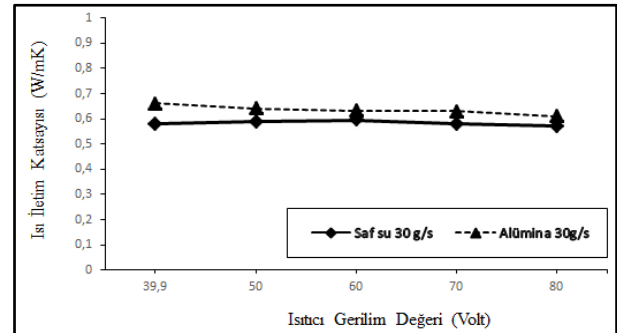
Şekil 7. Alümina ile 30g/s'de elde edilen ısıtıcı gerilim değeri - ısı iletim katsayısı grafiği (The heating voltage value obtained at 30 g/sec with alumina - heat transfer coefficient graph)

Alümina nano akışkanı ile yapılan deneyler sonucunda elde edilen verilerden oluşturulan grafikler Şekil 5, Şekil 6 ve Şekil 7'de görülmektedir. Söz konusu grafikler incelendiğinde 20 ve 25 g/s'de 39,9, 50, 60, 70 ve 80 Volt değerleri için saf suyun ısı iletim katsayısının alümina akışkanından daha iyi olduğu fakat 30 g/s debide ise 39,9, 50, 60, 70 ve 80 Volt değerleri için ısı iletim katsayısının saf suya oranla daha yüksek ısı iletim katsayısına sahip olduğu görülmektedir.

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION)

Bu çalışmada; sıvıların ısı iletim katsayısını ölçmek amacıyla PH Hilton firmasının eğitim amaçlı ürettiği sıvıların ve gazların ısı iletim katsayısı ölçüm deney setinden faydalanılarak silindirik metoda dayanan bir cihaz tasarlanmış, Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü imkânları ve Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Projeler Birimi desteği ile imal edilmiş ve deneysel olarak incelenmiştir. Deneylerde, saf su ve alümina akışkanları kullanılarak cihazın sürekli rejime ulaştığı anda ölçülen sıcaklıklara göre ısı iletim katsayısı Fourier ısı iletim denklemi kullanılarak hesaplanmıştır. Ayrıca saf suyun deney sonuçlarına göre hesaplanan ısı iletim katsayısı değerlerinin hata analizi yapılarak deney düzeneğinin hatası oranında bir tahmin yapılmıştır.

Saf su ile yapılan deney sonucuna göre hesaplanan ısı iletim katsayısı ile fiziksel özellik tablo değeri arasındaki ortalama bağıl hata % 2,156 olarak bulunmuştur. Bu değerlerin literatürde yapılan çalışmalarla kıyaslandığında kabul edilebilir değerler olduğu gösterilmiştir. Tasarlanan cihazda ısı iletim katsayısı ölçülecek sıvının doldurulduğu radyal boşluktaki sıvı tabakasının et kalınlığı taşınımıyla ısı transferini ihmal edilebilecek seviyeye indirecek kalınlıkta ve soğutma suyu debisi uygun bir şekilde ayarlanabildiği takdirde, tasarlanmış olan cihazdan fiziksel özellik tablo değerleri ile daha uyumlu sonuçlar alınabilmektedir. Ayrıca cihazda kullanılan soğutma suyunun debisi de doğru sonuçlar elde edebilmemiz için önemli bir etkidir.



Şekil 8. Çalışılan akışkanlara ait ısıtıcı gerilim değeri-ısı iletim katsayısı grafiği (Graph of heater voltage-heat transfer coefficient for working fluids)

Saf su ve Alümina ile yapılan deneyler sonucunda elde edilen en iyi sonuç iki akışkanda da 30 g/s soğutucu akışkan debisinde elde edilmiştir. Deneyleri yapılan akışkanlara ait ısıtıcı gerilim değeri ile ısı iletim katsayısı grafiği Şekil 8'de görülmektedir. Söz konusu grafik incelendiğinde Yapılan iki akışkan için ısı iletkenlik katsayısını karşılaştırdığımızda alümina nano akışkanının yüksek çıktığı tespit edilmiştir. Bu deney cihazı için ölçüm yapılmadan önce kalibrasyonun yapılması, ısı kaçak miktarının belirlenmesi ve soğutucu akışkanın debisinin istenilen miktara getirilmesi şiddetle önerilmektedir. Aksi halde bahsedilen bu parametreler deney sonuçlarını önemli ölçüde etkilemektedir.

Ayrıca bu çalışmada tasarlanan cihazın maliyeti, bazı fakültelerin ve meslek yüksekokullarının laboratuvarlarına eğitim amaçlı ithal etmiş oldukları cihazların maliyeti ile karşılaştırıldığında önemsenmeyecek kadar küçüktür. Dolayısıyla yapılan bu çalışma, çok yüksek maliyetle alınan deney setlerini kendi imkânlarımızla çok daha düşük maliyetle imal edebileceğimiz gerçeğini ortaya koymuştur.

#### SEMBOLLER (NOMENCLATURE)

A :	Isı geçiş yüzey alanı (m)
e :	Hata miktarı
I :	Akım (A)
k :	Isı iletim katsayısı (W/mK)
kb :	Bakırın ısı iletim katsayısı (W/mK)
ks :	Sıvının ısı iletim katsayısı (W/mK)
$k_{literatür}$ :	Isı iletim katsayısının fiziksel özellik tablo değeri (W/mK)
$k_{deney}$ :	Deney sonuçlarına göre hesaplanmış ısı iletim katsayısı (W/mK)
L :	Bakır boru uzunluğu (m)
n :	Deney sayısı
$\dot{Q}_e$ :	Isıtıcının elektriksel gücü (W)
$\dot{Q}_i$ :	İletim ile meydana gelen ısı transferi (W)
r :	Yarıçap (m)
$R_{top}$ :	Toplam ısı direnci (K/W)
s :	Sıvı
T :	Sıcaklık (°C)
U :	Toplam ısı transfer katsayısı (W/m <sup>2</sup> K)
V :	Gerilim (V)

#### TEŞEKKÜR (THANKS)

Bu çalışma 07/2013-07 kodlu Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Projesi Birimi tarafından desteklenmiştir.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Kayfeci, M., Kurt, H., “Sıvılar İçin Isı İletim Katsayısı Ölçüm Cihazı Tasarımı ve Deneysel Olarak İncelenmesi”, Yüksek Lisans tezi, Z. Karaelmas Üniversitesi. *Fen Bilimleri Enstitüsü*, 22: 907-915, (2007).
2. Romero, J.T., Telis, V.R.N., Gabas, A.L. ve Yamashita, F., “Thermophysical Properties of Brazilian Orange uice as Affected by Temperature and Water Content”, *Journal of Food Engineering*, 38: 27-40, (1998).
3. Özkal, S.G. ve Tülek, Y., “Değişik Süt ve Bitkisel Yağ Örneklerinin Isıl İletkenlik Değerlerinin Deneysel Olarak Belirlenmesi”, *Turkish J. Engineering Environmental Science*, 25: 51-60, (2001).
4. Azoubel, P.M., Cipriani, D.C., El-Aouar, A.A., Antonio, G.C. and Murr, F.E.X., “Effect of Concentration on the Physical Properties of Cashew Juice”, *Journal of Food Engineering*, 66: 413-417, (2005).
5. Shamsudin, R., Mohamed, I.O. ve Yaman N.K.M., “Thermophysical Properties of Thai Seedless Guava Juice as Affected by Temperature and Concentration”, *Journal of Food Engineering*, 66: 395-399, (2005).
6. Tansakul, A. ve Chaisawang, P., “Thermophysical Properties of Coconut Milk”, *Journal of Food Engineering*, 73: 276-280, (2006).
7. Montgomery, D.C., Runger, G.C., “*Applied Statistics and Probability for Engineers*”, John Wiley & Sons, U.S.A., (2002).
8. Dizdar, E.N., “*Uygulamalı Olasılık ve İstatistik*”, ABP Yayınevi, (2004).
9. Özışık, M.N., “*Heat Transfer*”, McGraw-Hill, Singapore, (1985).



# POLİTEKNİK DERGİSİ

## JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://www.politeknik.gazi.edu.tr/index.php/PLT/index>

## Impacts of impregnation with fire retardant chemicals on the moe in bending of some woods

*Yazar(lar) (Author(s)): Hakan KESKİN, Erhan MUTLU*

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz:** Keskin H. ve Mutlu E., “Impacts of impregnation with fire retardant chemicals on the moe in bending of some woods”, *Politeknik Dergisi*, 20(3): 607-612, (2017).

**To cite this article:** Keskin H. and Mutlu E., “Impacts of impregnation with fire retardant chemicals on the moe in bending of some woods”, *Journal of Polytechnic*, 20(3): 607-612, (2017).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://www.politeknik.gazi.edu.tr/index.php/PLT/issue/archive>

**DOI:** [10.2339/politeknik.339384](https://doi.org/10.2339/politeknik.339384)



# Impacts of Impregnation with Fire Retardant Chemicals on the MOE in Bending of Some Woods

Hakan KESKİN<sup>1\*</sup>, Erhan MUTLU<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Gazi University, Technology Faculty, Department of Wood Products Industrial Engineering, 06500 Teknikokullar, Ankara – TURKEY

<sup>2</sup>Alanya Alaaddin Keykubat University, Akseki Vocational High School, Department of Material Science, 07630 Alanya – TURKEY

(Received : 14.07.2016 ; Accepted : 12.08.2016)

## ABSTRACT

This study has been performed to determine the effects of impregnation with fire retardant chemical materials on the modulus of elasticity (MOE) in bending of Oriental beech, European oak and Scotch pine wood materials. To achieve this goal, test samples prepared from woods of Oriental beech, European oak and Scotch pine according to TS EN 345 regulations were impregnated with ammonium-sulfate [(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>], sodium acetate (NaC<sub>2</sub>H<sub>3</sub>O<sub>2</sub>·3H<sub>2</sub>O), aluminum chloride (Al<sub>2</sub>C<sub>6</sub>I<sub>2</sub>H<sub>2</sub>O), borax [Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>·5H<sub>2</sub>O], boric acid [H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>] and, borax + boric acid (w:w=%50:50). The modulus of elasticity in bending of impregnated wood samples were determined according to TS EN 408. Consequently, according to wood species; modulus of elasticity in bending was found the highest value at beech (10350 N/mm<sup>2</sup>) and the lowest value at pine wood (9501 N/mm<sup>2</sup>). According to variety of impregnation; modulus of elasticity in bending values were found no statistical difference between control samples and impregnated test samples. Considering the interaction of wood type and process; modulus of elasticity in bending was found the highest value at beech + borax (11450 N/mm<sup>2</sup>) and the lowest value at pine + control samples (8223 N/mm<sup>2</sup>). As a result, in the massive construction and furniture elements that the modulus of elasticity in bending after the impregnation with borax is of great concern, Oriental beech wood materials could be recommended.

**Keywords:** Fire retardant chemicals, modulus of elasticity in bending, impregnation, wood.

## ÖZ

Bu çalışma, Yangın geciktirici kimyasallar ile empenye etmenin ağaç malzemelerin eğilmede elastiklik modülüne etkilerini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Bu maksatla, ülkemiz orman ürünleri endüstrisinde yaygın olarak kullanılan Doğu kayını, sapsız meşe ve sarıçam odunlarından TS EN 345 esaslarına göre hazırlanan deney örnekleri; amonyum sülfat [(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>.SO<sub>4</sub>], sodyum asetat (NaC<sub>2</sub>H<sub>3</sub>O<sub>2</sub>·3H<sub>2</sub>O), alüminyum klorit (Al<sub>2</sub>C<sub>6</sub>I<sub>2</sub>H<sub>2</sub>O), boraks [Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>·5H<sub>2</sub>O], borikasit [H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>] ve boraks + borikasit (w:w=%50:50) ile ASTM D 1413 esaslarına uyularak vakum yöntemi ile empenye edilmiştir. Empenye edilen deney örneklerinin eğilmede elastiklik modülü değerleri TS EN 408 standardı esaslarına belirlenmiştir. Sonuç olarak; ağaç türüne göre, eğilmede elastiklik modülü değerleri en yüksek kayında (10350 /mm<sup>2</sup>), en düşük sarıçam odununda (9501 N/mm<sup>2</sup>) elde edilmiştir. İşlem çeşidine göre; kontrol örnekleri ile işlem çeşidi sonuçları arasındaki fark istatistiksel olarak önemsiz çıkmıştır. Ağaç türü + işlem çeşidi etkileşimine göre eğilmede elastiklik modülü değeri en yüksek kayın + boraksda (11450 N/mm<sup>2</sup>), en az sarıçam + kontrolde (8223 N/mm<sup>2</sup>) bulunmuştur. Buna göre eğilmede elastiklik modülü değerinin önemli olduğu yapı ve mobilya elemanları üretiminde boraks ile empenye edilmiş kayın odunu tercih edilebilir.

**Anahtar Kelimeler :** Yangın geciktirici kimyasallar, eğilmede elastiklik modülü, empenye, ağaç malzeme.

## 1. INTRODUCTION

Wood is an environmentally desirable material for fiber and structural use. It is efficient in both economic and environmental costs to users. To extend its utility into new markets, wood is sometimes treated with chemicals [1]. One of the major objections to the use of wood for many purposes is of course the question of its long-term resistance to the natural processes of degradation, particularly at sites and in situations where there is high biological hazard and where no form of chemical or physical protection is afforded to the material. With an increased demand for timber worldwide and moves towards fast-grown plantation species, the need to impart additional protection, usually in the form of chemical treatment, has become necessary to confer long-term

performance in these wood products [2]. In case wood is not impregnated but only painted and varnished instead, the prevention on the surfaces is limited to a maximum of two years [3].

It is reported that, in mines, as a result of the impregnation of the beech and spruce wood with water-soluble salts, the bending, tensile and impact strength decreased a little whereas compression strength increased [4]. In another research concerning the impregnation of pine, spruce, fir, beech and poplar woods with antrasen, it was found that, the compression strength increased by 6-40 % and bending strength increased by 10-22 % [5]. In the impregnation of pine and beech wood with UA salts and tar oil, the tar oil increased compression strength by 10 % and UA salts increased with a small rate. On the other hand, the tar oil increased the bending strength whereas the UA salts diminished the bending strength. [6].

\*Corresponding Author)

e-mail: khakan@gazi.edu.tr

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/politeknik.339384

Vologdin declared that, among the materials used for the impregnation of pine; Sodium pentachlorofenol, Cuppersulphate and Sodium fluoride increased the compression strength respectively by 95 %, 25 % and 3 % whereas Zinc chloride decreased the compression strength by 9%. Sodium pentachlorofenol also increased the bending strength [7]. In another study, pressure treatment caused to a decrease of 8-10 % in the bending strength of different wood types [8].

It was assessed that, salty impregnation materials increased the compression strength by 4.6-9.6 %, whereas decreased the bending strength by 2.9-16 % [9]. After the impregnation of pine wood samples by hot-cold open tank method with eleven preventives, no significant difference was observed in the bending strength except the decreasing effects of fluotox containing acid florid [10]. In another study, chromate copper arsenate (CCA) and arsenate copper arsenate (ACA) salts did not caused any significant impact on modulus of elasticity in bending [11].

Fire retardant chemicals can also reduce the strength of lumber or plywood, an effect related to the nature of the chemicals and to the re-drying temperatures used in the treating process [12].

In this study, Oriental beech, European oak, Scotch pinewoods commonly being used in furniture manufacturing and massive constructions were examined with respect to the effects of impregnation with fire retardant chemical materials on the modulus of elasticity in bending of Oriental beech, European oak and Scotch pine wood materials.

## 2. MATERIAL AND METHOD

### 2.1. Materials

#### 2.1.1. Solid Woods

The solid woods to be used as test samples were randomly selected from the timber merchants of Ankara. Specific pains were taken for the selection of wood materials. Accordingly, non-deficient, proper, knotless, normally grown (without zone line, without reaction wood and without decay, insect mushroom damages) wood materials were selected.

#### 2.1.2. Protective Chemicals

In this study, preservative chemicals; borax, boric acid, boric acid + borax (w:w=%50:50) ammonium sulfate, sodium acetate, aluminum chloride, are used to impregnate the test samples.

Borax and boric acid were obtained from Etibank - Bandırma (Turkey) borax and acid Factory. Boric acid [ $H_3BO_3$ ] contains %56.30  $\frac{1}{2} B_2O_3$  %43.7  $H_2O$  with a molecular weight 61.84, density 1.4  $g.cm^{-3}$ , melting point 171 °C. Borax [ $Na_2B_4O_7 \cdot 5H_2O$ ] contains %21.28  $Na_2O$  %47  $B_2O_3$ , %30.9  $H_2O$  with a molecular weight 291.3, density 1.8  $g/cm^3$ , melting point 741 °C [13].

Ammonium sulfate ( $(NH_4)_2SO_4$ ) is the molecular weight of 132.14, decompose above °C 280. Aqueous solution

shows weak acid functionality. Aluminum chloride ( $AlCl_3 + 3KCl + Al$ ) is density of 2.698  $g/cm^3$  at 25 °C, a melting point of 659.7 °C boiling point is 2057 °C. Sodium acetate ( $C_2H_3NaO_2$ ) is obtained from the reaction of acetic acid, sodium carbonate or sodium hydroxide. There are 58 °C water lost trihydrate and anhydrous forms. Water-soluble and ethoxyethyl Zealand; slightly soluble in ethanol [14].

### 2.2. Method

#### 2.2.1. Determination of density

The densities of wood materials, used for the preparation of test samples were determined according to TS 2472 [15]. For determining the air-dry density, the test samples with a dimension of 20x30x30 mm were kept under the conditions of 20±2 °C temperature and 65±3 % relative humidity until they reached to a stable weight. The weights were measured with an analytic scale of ±0.01g sensitivity. Afterwards, the dimensions were measured with a digital compass of ±0.01mm sensitivity. The air-dried densities ( $\delta_{12}$ ) of the samples were calculated by the formula;

$$\delta_{12} = \frac{W_{12}}{V_{12}} \text{ g.cm}^{-3} \quad [1]$$

Where  $W_{12}$  is the air-dry weight (g) and  $V_{12}$  is the air-dry volume ( $cm^3$ ).

The samples were kept at a temperature of 103±2 °C in the drying oven until they reached to a stable weight for the assessment of oven-dry density. Afterwards, oven-dry samples were cooled in the desiccator containing phosphorus pentoxide ( $P_2O_5$ ). Then, they were weighted on a scale of ±0.01g sensitivity and their dimensions were measured with a digital compass of ± 0.01mm sensitivity. The volumes of the samples were determined by stereo metric method and the densities ( $\delta_o$ ) were calculated by the formula;

$$\delta_o = \frac{W_o}{V_o} \text{ g.cm}^{-3} \quad [2]$$

Where  $W_o$  is the oven-dry weight (g) and  $V_o$  is the oven-dry volume ( $cm^3$ ).

#### 2.2.2. Determination of humidity

The humidity of test samples before and after the impregnation process was determined according to TS 2471 [16]. Thus, the samples with a dimension of 20x20x20 mm were weighed and then oven-dried at 103±2 °C till they reach to a constant weight. Then, the samples were cooled in desiccator containing phosphorus pentoxide ( $P_2O_5$ ) and weighed with an analytic scale of 0.01 g sensitivity. The humidity of the samples ( $r$ ) was calculated by the formula;

$$r = \frac{Mr - Mo}{Mo} \times 100 \quad [3]$$

Where  $Mr$  is the initial weight (g) and  $Mo$  is the oven-dry weight (g).

**2.2.3. Preparation of the test samples**

The rough drafts for the preparation test and control samples were cut from the sapwood parts of massive woods and conditioned at a temperature of 20±2 °C and 65±3 % relative humidity for three months until reaching an equilibrium in humidity distribution. The samples for compression strength test, with a dimension of 20x20x400 mm were cut from the drafts having an average humidity of 12 % according to TS EN 408 [17]. The densities and humidity values of all test samples were measured before the impregnation process.

The test samples were impregnated according to ASTM D 1413 [18], TS 344 [19] and TS 345 [20]. The samples were dipped in the impregnation pool immersing 1 cm below the upper surface for 2 hours for medium-term dipping. The specifications of the impregnation solution were determined before and after the process. The processes were carried out at 20±2 °C temperature. Retention of impregnation material (*R*) was calculated by the formula;

$$R = \frac{G.C}{V} 10^3 \text{kg.m}^{-3} \quad G = T_2 - T_1 \quad [4]$$

Where *G* is the amount of impregnation solution absorbed by the sample (g), *T*<sub>2</sub> is the sample weight after the impregnation (g), *T*<sub>1</sub> is the sample weight before the impregnation (g), *C* is the concentration (%) of the impregnation solution and *V* is the volume of the samples (cm<sup>3</sup>).

Impregnated test samples were kept under a temperature of 20±2 °C and 65±3% relative humidity until they reach to a stable weight.

**2.2.4. The modulus of elasticity (MOE) in bending**

The tests for modulus of elasticity in bending were carried out with the Universal Testing Equipment, according to TS EN 408. The capacity of the Universal Testing Equipment was 400 N. Deformations on the test samples were measured in the middle of the specimen within a zone of five times the width of the sample by comparator. The deformations by incrementally increasing the forces were assessed with a sensitivity of 0.01 mm. In the elastic deformation zone, modulus of elasticity (MOE) was calculated with the following formula [21, 22];

$$MOE = \frac{\Delta F.L^3}{4.b.h^3.\Delta f} \text{ N mm}^{-2} \quad [5]$$

**Table 2.** The results of analysis of variance for retention amounts

SOURCE	Degrees of freedom	Sum of square	Means of square	F value	Sig. α ≤ 0.05
Wood types (A)	2	4224.239	2112.120	71.0438	0.0000
Impregnation chemicals (B)	5	4167.535	833.507	28.0360	0.0000
Interaction AB	10	2238.093	223.809	7.5281	0.0000
Error	162	4816.234	29.730		
Total	179	15446.101			

where Δ*F* is the difference between the arithmetic average of the upper and lower limits of applied force in the elastic deformation zone (*N*), Δ*f* is the net elastic deflection - difference between the measured elastic deflection in the upper and lower loading limits- (mm), *L* is the span (mm), *b* is the cross-sectional width of test sample (mm), *h* is the cross-sectional thickness of the test sample (mm)

**2.3. Data Analysis**

A total of 99 samples (3 x 3 x 11) were prepared. The effects of wood material and impregnation method on the modulus of Elasticity in Bending were analyzed by Analysis of Variance. Duncan’s Multiple Range Test was also applied where appropriate.

**3. RESULT AND DISCUSSION**

**3.1. Density**

Statistical values of average air-dried densities that are used in the experiments samples have been shown in Table 1.

**Table 1.** Statistical values of air-dried density averages

Statistical values	Wood Materials		
	Beech	Oak	Pine
<i>X</i> (g.cm <sup>-3</sup> )	0.692	0.665	0.573
<i>Ss</i> (g.cm <sup>-3</sup> )	0.01961	0.02368	0.01305
<i>v</i> (s <sup>2</sup> )	0.00042	0.00062	0.00019
min (g.cm <sup>-3</sup> )	0.648	0.624	0.552
max (g.cm <sup>-3</sup> )	0.715	0.695	0.595
<i>N</i>	10	10	10

*X*: Arithmetic mean, *v*: Variance, *Ss*: Standard deviation, *N*: Number of samples

According to the Tab.1 the highest air-dried density value was found in beech and the lowest in pine wood. The air-dried density values of massive wood materials in literature; Ash (0.690 g.cm<sup>-3</sup>), beech (0.660 g.cm<sup>-3</sup>), oak (0.650 g.cm<sup>-3</sup>), walnut (0.680 g/cm<sup>3</sup>), pine (0.520 g.cm<sup>-3</sup>), poplar (0.502 g.cm<sup>-3</sup>) [23]. These values have shown parallelism with air-dried density values of experimented wood materials.

**3.2. Retention Amount**

The results of multiple variance analyses with regard to the effects of wood type and impregnation chemicals are given in Table 2.

The results of the analysis of variance indicated that the effects of the wood types, impregnation chemicals and their interaction were found to be statistically significant ( $\alpha \leq 0.05$ ). Average values the retention amounts of different wood and process types are given in Tab. 3.

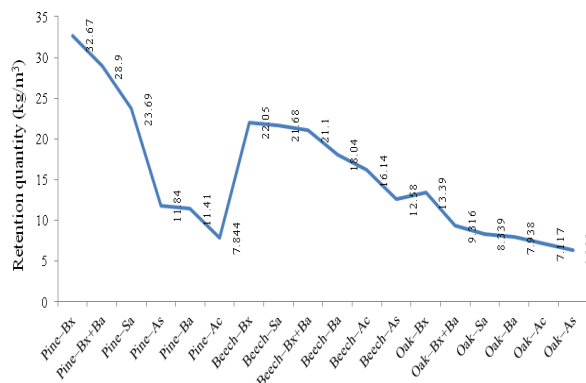
**Table 3.** Average the retention amounts of different types of wood and types of process

WOOD TYPES	X	HG
Pine (I)	19.39	A
Beech (II)	18.60	A
Oak (III)	8.74	B
IMPREGNATION CHEMICALS	X	HG
Borax (Bx)	22.70	A
Borax + Boric acid (Bx+Ba)	19.77	B
Sodium acetate (Sa)	17.90	B
Boric acid (Ba)	12.46	C
Aluminum chloride (Ac)	10.37	C
Ammonium sulfate (As)	10.26	C

LSD :  $\pm 1,964$ , X: Average value, HG: Homogeneous group  
As shown in Table 3, according to types of wood highest retention amount was obtained in pine (19.39 kg/m<sup>3</sup>) and

chemicals are shown Tab.4 and the graphic is shown in Figure 1.

According to interaction of wood type and impregnation chemicals highest retention amount was obtained in pine impregnated with Bx (32.67 kg/m<sup>3</sup>) and the lowest in oak impregnated with As (6.355 kg/m<sup>3</sup>) samples.



**Figure 1.** The retention amount of the interaction of wood type and impregnation chemicals

**Table 4.** The Duncan test results of the interaction of wood type and impregnation chemicals

Type of wood and impregnation chemical	X	HG	Type of wood and impregnation chemical	X	HG
Pine (I)-Bx	32.67	A*	Beech (II)-Ba	18.04	CDE
Pine (I)-Bx+Ba	28.90	A	Beech (II)-Ac	16.14	DEF
Pine (I)-Sa	23.69	B	Beech (II)-As	12.58	FGH
Pine (I)-As	11.84	FGHI	Oak (III)-Bx	13.39	EFG
Pine (I)-Ba	11.41	FGHI	Oak (III)-Bx+Ba	9.316	GHI
Pine (I)-Ac	7.844	GHI	Oak (III)-Sa	8.339	GHI
Beech (II)-Bx	22.05	BC	Oak (III)-Ba	7.938	GHI
Beech (II)-Sa	21.68	BC	Oak (III)-Ac	7.117	HI
Beech (II)-Bx+Ba	21.10	BCD	Oak (III)-As	6.355	I**

LSD :  $\pm 4.812$ , \* : the highest, \*\* : the lowest

**Table 5.** The results of analysis of variance for modulus of elasticity in bending

SOURCE	Degrees of Freedom	Sum of Square	Means of Square	F Value	Sig. $\alpha \leq 0,05$
Types of wood (A)	2	26226815.29	13113407.64	2.9744	0.0535
Imp. chemicals (B)	6	16691460.67	2781910.11	0.6310	0.0512
AB	12	86576799.79	7214733.31	1.6364	0.0845
Error	189	833265099.32	4408810.04		
Total	209	962760175.08			

the lowest in oak (8.74 kg/m<sup>3</sup>) wood samples. This situation could be attributable to the impact of permeability of pine wood and due to tyloses in oak wood samples. According to impregnation chemicals, highest retention quantity was obtained in Bx (22.70 kg/m<sup>3</sup>) and the lowest in As (10.26 kg/m<sup>3</sup>). This may be due to chemical properties of Bx and As. The Duncan test results of the interaction of wood type and impregnation

**3.3. MOE in Bending**

The results of multiple variance analyses with regard to the effects of wood type and impregnation chemicals for modulus of elasticity in bending are given in Table 5.

The results of the analysis of variance indicated that the effects of the wood types, impregnation chemicals and their interaction were not found to be statistically

significant ( $\alpha \leq 0.05$ ). The average modulus of elasticity in bending values of different types of wood and types of process are given in Table 6.

**Table 6.** Average the MOE in bending values of different types of wood and types of process (N/mm<sup>2</sup>)

WOOD TYPES	X	HG*
Beech (II)	10350	A
Oak (III)	10090	B
Pine (I)	9501	B
IMPREGNATION CHEMICALS	X	HG**
Bx	10520	A
Bx+Ba	10140	A
Control	10030	A
Sa	9971	A
Ba	9894	A
Ac	9747	A
As	9554	A

\*LSD :  $\pm 699.7$ , \*\*LSD:  $\pm 1069$ , X: Average value, HG: Homogeneous group

As clearly shown in Table 6, according to types of wood the highest modulus of elasticity in bending value was obtained in beech (10350 N/mm<sup>2</sup>) and the lowest in pine (9501 N/mm<sup>2</sup>) wood. According to impregnation chemicals, the highest modulus of elasticity in bending value was obtained in Bx (10520 N/mm<sup>2</sup>) and the lowest in As (9554 N/mm<sup>2</sup>). Also results of control samples and impregnation chemicals were not found to be statistically significant.

The Duncan test results of modulus of elasticity in bending of the interaction of wood type and impregnation chemicals are shown Tab.7 and the graphic is shown in Figure 2.

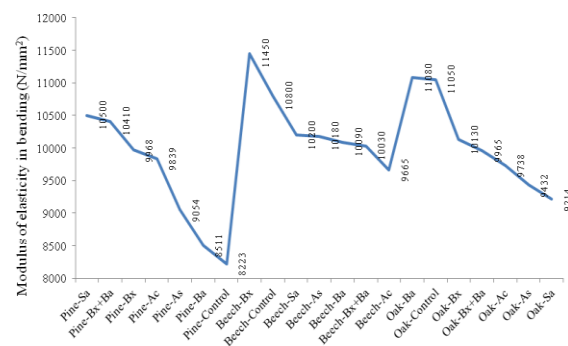
**Table 7.** The Duncan test results of the interaction of wood type and impregnation chemicals

Type of wood and impregnation chemical	X	HG
Pine (I)-Sa	10500	ABC
Pine (I)-Bx+Ba	10410	ABCD
Pine (I)-Bx	9968	ABCD
Pine (I)-Ac	9839	ABCD
Pine (I)-As	9054	BCD
Pine (I)-Ba	8511	CD
Pine (I)-Control	8223	D**
Beech (II)-Bx	11450	A*
Beech (II)-Control	10800	AB
Beech (II)-Sa	10200	ABCD
Beech (II)-As	10180	ABCD
Beech (II)-Ba	10090	ABCD

Beech (II)-Bx+Ba	10030	ABCD
Beech (II)-Ac	9665	ABCD
Oak (III)-Ba	11080	AB
Oak (III)-Control	11050	AB
Oak (III)-Bx	10130	ABCD
Oak (III)-Bx+Ba	9965	ABCD
Oak (III)-Ac	9738	ABCD
Oak (III)-As	9432	ABCD
Oak (III)-Sa	9214	ABCD

LSD:  $\pm 1851$ , \*: the highest, \*\*: the lowest

According to interaction of wood type and impregnation chemicals the highest modulus of elasticity in bending value was obtained in impregnated beech with Bx (11450 N/mm<sup>2</sup>) and the lowest in control pine (8223 N/mm<sup>2</sup>) samples.



**Figure 2.** MOE of the wood type and impregnation chemicals interaction

#### 4. CONCLUSION

The retention amounts were found different depending on wood type and impregnation materials. According to types of wood highest retention amount was obtained in pine wood (19.39 kg/m<sup>3</sup> -21.81%) and the lowest in oak wood samples (8.742 kg/m<sup>3</sup>-9.15%); according to impregnation chemicals highest retention amount was obtained in Bx (22.70 kg/m<sup>3</sup>) and the lowest in As (10.26 kg/m<sup>3</sup>). According to interaction of wood type and impregnation chemicals highest retention amount was obtained in pine impregnated with Bx (32.67 kg/m<sup>3</sup>) and the lowest in oak impregnated with As (6.355 kg/m<sup>3</sup>) samples. Accordingly, the highest values were obtained in pine samples. This case may be due to structural properties of pine wood. In the literature, Özçiftci and Batan [24] reported that retention amount of Scotch pine higher than Uludag fir and Oriental beech.

Modulus of Elasticity in Bending; according to types of wood the highest modulus of elasticity in bending value was obtained in beech (10350 N/mm<sup>2</sup>) and the lowest in pine (9501 N/mm<sup>2</sup>) wood. Depending on the species of impregnation chemicals, the highest modulus of elasticity in bending (10520 N/mm<sup>2</sup>) was that of Bx, followed by Bx+Ba, control samples, Sa, Ba, Ac and As (10140 N/mm<sup>2</sup>, 10030 N/mm<sup>2</sup>, 9971 N/mm<sup>2</sup>, 9894

N/mm<sup>2</sup>, 9747 N/mm<sup>2</sup>, and 9554 N/mm<sup>2</sup>, respectively). According to this, it can be said that, Bx and Bx+Ba showed an increasing effect on the modulus of elasticity in bending compared to the control samples, however other impregnation chemicals showed reducing effect on the modulus of elasticity in bending.

According to interaction of wood type and impregnation chemicals the highest modulus of elasticity in bending value was obtained in impregnated beech with Bx (11450 N/mm<sup>2</sup>) and the lowest in control pine (8223 N/mm<sup>2</sup>) samples. In general, impregnation chemicals showed an increasing effect on pine wood, however decreasing effect showed on beech and oak wood, excluding Bx for beech and Ba for oak. Colakoglu et al. [25] reported that modulus of elasticity in bending values of laminated veneer lumber treated with 1 % boric acid were decreased for 5.1 % compared to untreated control sample. Gerhards [26] found that fire retardant chemical treatment and kiln-drying reduce the MOE of wood for 5 % in average. Consequence, in the massive construction and furniture elements that the bending strength after the impregnation with borax is of great concern, Oriental beech wood materials could be recommended.

#### ACKNOWLEDGMENT

This study is a portion of the M.Sc. thesis prepared by Erhan MUTLU, Institute of Science and Technology, Gazi University, Ankara, Turkey.

#### REFERENCES

- Winandy J.E. and Richards M.J., "Evaluation of boron-nitrogen phosphate free fire retardant Part I. evaluation of douglas-fir plywood according to ASTM D5516-96", *ASTM Journal of Testing and Evaluation*, 31(2): 133-139, USA, (2003).
- Eaton R.A. and Hale M.D.C., "Wood decay, pests and protection", *Chapman & Hall*, London, England, (1993).
- Evans P.D., Michell A.J. and Schmalzl K., "Studies of the degradation and protection of wood surfaces", *Wood Science Technology*, 26: 151-163, (1992).
- Kollman F., "Die eigenschaftänderung von grubenholz nach schutzsalzimpregnierung, forschungsber", *Des LandesNordrhein*, Westfalen, Germany, (1959).
- Stabnikov V.M., "Puti Uviliczenia Sroka Sluschby Dreviesinyw Konstrukcjach "Leningrad, (1957).
- Gillwald W., "Der einfluss verschiedener impragniermittel auf die physikalischen und festigkeitseigenschaften desholzes", *Holtechnologie*, 2: 4-16, (1961).
- Vologdin A.J., "Vlijanije rozlicznych antiseptičnykh na fizyko mehaničhiestkije svosjstva dreviesiny sosny svotsva dreviesin, jejo zaschita", *Novyje Dreviesinyje Materialy*, (1966).
- Isaacs C.P., "The Effect of two accelerated treating methods on wood strength", *AWPA*, 68: 175-182, (1972).
- Wazny J., "Investigations of the influence of wood preservatives on strength", *Sreda*, 3: 181-185, (1973).
- Lutomsky K., "Effect of treatment conditions using the hot-cold method of impregnation pine wood with water solution of static bending of treated wood", *Zest. Probl. Nauk.*, Rolniczych, 178, (1976).
- Bendtsen B.A., "Mechanical properties of longleaf pine treated water-born salt preservatives", *USDA Forest Service*, 434, (1984).
- Winandy J.E., Le Van S.L., Schaffer E.L., Lee P.W., "Effect of fire-retardant treatment and re-drying on the mechanical properties of douglas-fir and aspen plywood", Res. Pap. FPL-485. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, *Forest Products Laboratory*, (1988).
- Karayazıcı F., Nal N., Celayir F., "Bor ve bor bileşikleri", *Türkiye Sınai Kalkınma Bankası A.Ş.*, Kimya Sektörü Araştırması, İstanbul, (1990).
- Mutlu E., "Yanmayı geciktirici kimyasal maddelerle emprenye edilen bazı ağaç malzemelerin teknolojik özellikleri", G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, *Yüksek Lisans Tezi*, Ankara, (2013).
- TS 2472, "Odunda fiziksel ve mekanik deneyler için hacim yoğunluk değerinin tayini", TSE, Ankara, (1976).
- TS 2471, "Odunda fiziksel ve mekanik deneyler için rutubet miktarı tayini", TSE, Ankara, (1976).
- TS EN 408, "Timber structures, test methods - solid timber and glued laminated timber - determination of some physical and mechanical properties", TSE, Ankara, (1997).
- ASTM D 1413, "Standard test method of testing wood preservatives by laboratory soil blocks cultures", ASTM Standards, USA, (1976).
- TS 344, "Ahsap koruma genel kuralları", TSE, Ankara, (1981).
- TS 345, "Ahsap emprenye maddeleri etkilerinin muayene metotları", TSE, Ankara, (1974).
- Ors Y., Keskin H., "Ağaç malzeme teknolojisi", Gazi Üniversitesi Yayın No: 2001-352, *Gazi Kitabevi*, Ankara (2008).
- Atar M., "Effects of impregnation with imersol-aqua on the bending strength of some wood materials", *Materials & Design*, 29(9): 1707-1712 (2008).
- Ors Y., Atar M., Keskin H., Yavuzcan H.G., "Impacts of impregnation with imersol-aqua on the modulus of elasticity in bending", *Journal of Applied Polymer Science*, 99(6): 3210, (2006).
- Ozçiğçi A., Batan F., "Bor yağının ağaç malzemenin bazı mekanik özelliklerine etkisi", *Journal of Polytechnic*, 12(4): 287-292, (2009).
- Çolakoglu G., Çolak S., Aydın I., Yıldız U.C., Yıldız S., "Effect of boric acid treatment on mechanical properties of laminated beech veneer lumber", *Silva Fennica*; 37(4): 505-510, (2003).
- Gerhards C.C., "Effect of fire-retardant treatment on bending strength of wood", *Forest Products Laboratory*, 8, USA, (1970).





# POLİTEKNİK DERGİSİ

## JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://www.politeknik.gazi.edu.tr/index.php/PLT/index>

## Çok kriterli stok alanı atama problemi ve bir uygulama

### *Multi-criteria warehouse space allocation problem and an application*

Yazar(lar) (Author(s)): Banu SOYLU

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz:** Soylu B., “Çok kriterli stok alanı atama problemi ve bir uygulama”, *Politeknik Dergisi*, 20(3): 613-621, (2017).

**To cite this article:** Soylu B., “Çok kriterli stok alanı atama problemi ve bir uygulama”, *Journal of Polytechnic*, 20(3): 613-621, (2017).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://www.politeknik.gazi.edu.tr/index.php/PLT/issue/archive>

**DOI:** [10.2339/politeknik.339386](https://doi.org/10.2339/politeknik.339386)

# Çok Kriterli Stok Alanı Atama Problemi ve Bir Uygulama

Banu SOYLU\*

Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 38039, Kayseri

(Geliş/Received : 25.07. 2016 ; Kabul/Accepted : 21.09.2016)

## ÖZ

Bu çalışmada bir halı dokuma fabrikasının yarı mamulü olan iplik bobinlerinin, önemli bir kısıt olan depo alanında yer ataması problemi ele alınmış ve problem çok kriterli karar verme problemi olarak değerlendirilmiştir. Fabrika, halı üretiminde kullanılan yün ve akrilik iplikleri yarı mamul olarak üretmektedir. Ancak iplik bobinlerinin depolanabileceği alan sınırlıdır ve her tip iplik için ne kadar stok alanı ayrılacağı belirlenmek istenmektedir. Ayrılan stok alanı üretim parti büyüklüklerinde bir üst sınır olarak da kullanılacaktır. Bu çalışmada, iplik tiplerinin yıllık kullanım değeri ve renk tonu uyumsuzluk kriterleri dikkate alınarak bir stok alanı atama politikası geliştirilmiştir. Yöntemin birinci aşamasında iplik tiplerini A, B ve C olmak üzere sıralı üç kategoriye ayırmak için çok kriterli ABC analizi uygulanmıştır. İkinci aşamada ise veri zarflama analizi temelli bir yaklaşım ile iplik tipleri için stok alanı ataması yapılmıştır. Çeşitli senaryolar analiz edilmiş ve sonuçlar mevcut durum ile karşılaştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Stok alanı atama, çok kriterli ABC analizi, veri zarflama analizi.

## Multi-criteria Warehouse Space Allocation Problem and an Application

### ABSTRACT

In this study, a space allocation problem for different yarn bobbins in a carpet factory is addressed and the problem is considered in the multi criteria decision making context. The factory produces yarn, of which raw material are wool or acrylic, for carpet production. However, the warehouse space assigned for the storage of yarn bobbins is limited and the size of the space required for the storage of each type of yarn should be determined. These allocated spaces will also be used as an upper bound over the production lot sizes. In this study, a warehouse space allocation policy is developed with respect to the yearly demand of yarn types and color tone inconsistency criteria. In the first phase of the procedure, a multiple criteria ABC analysis is applied to classify the yarn types into three ordered groups such as A, B and C. In the second phase, a data envelopment based approach is applied to partition the space among the types of yarn. Various scenarios are discussed and the results are compared with the current situation.

**Keywords:** Warehouse space allocation, multiple criteria ABC analysis, data envelopment analysis.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Birçok üretim tesisinde, depo alanı üretim parti büyüklüklerinin belirlenmesinde bir kısıt olmaktadır. Stok alanı belirleme problemi, “Her bir stok kalemi için ne kadar stok alanı rezerve edilmelidir?” sorusundan kaynaklanmaktadır. Bu stok yönetimini ilgilendiren taktiksel seviyede bir karardır. Depoda, bazı stok kalemlerinden çok miktarda bulundurmaya gerekirken bazılarından az miktarda bulundurmaya yeterlidir. Stoklar söz konusu varlıkların miktarı veya parasal değeri ile ölçülür [1]. Klasik stok modellerine, üretim parti büyüklüklerini belirlemek için depo alanı kısıtı da eklenmektedir. Literatürdeki çalışmalar genellikle stok taşıma zamanı/maliyeti en küçüklemek için depoda uygun yer seçimi problemi rini ele almaktadır. Örneğin, Hausman vd. [2] sınıf tabanlı ve tahsis tabanlı olmak üzere iki stoklama politikası önermektedir. Sınıf tabanlı stoklama politikasına göre, önce stok kalemleri talep miktarına göre sınıflandırılmakta sonra her bir sınıf için

stok alanında yer atanmaktadır. Tahsis tabanlı stok politikasında ise her bir stok kalemi için yer ataması yapılmaktadır. Her iki politikada yüksek talebi olan stok kalemlerini deponun kolay erişilebilir bölümlerine yerleştirerek taşıma zamanlarını en küçüklemeyi amaçlamaktadır. Petersen vd. [3] sınıf-tabanlı ve hacim-tabanlı stoklama politikalarını manuel sipariş çekme yapılan bir depo için karşılaştırmışlardır. Hackman vd. [4] stok doldurma/çekme maliyetlerini en küçükleyecek atamayı yapmak için sırt çantası temelli bir sezgisel geliştirmişlerdir. Van den Berg ve Zijm [5] stoklama politikaları ve stok alanı atama problemleri literatürünü gözden geçirmişlerdir.

Stok kalemleri çeşitli gözden geçirme teknikleri (örn. sürekli, periyodik) kullanılarak takip edilmektedir. En etkin yöntem sürekli gözden geçirme yöntemi olmasına rağmen bütün stok kalemlerinin sürekli olarak takip edilmesi oldukça maliyetlidir. Bu sebeple stok kalemlerinin sınıflandırılarak takip edilmesi tercih edilmektedir. Bilinen en klasik sınıflandırma yöntemi ABC analizidir. Bu metod stok kalemlerini yıllık kullanım değerlerine göre şu sınıflara atar [6,7]: A (çok

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: bsoylu@erciyes.edu.tr

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/politeknik.339386

önemli, hacim olarak az (örn. %15-20) ama yatırım değeri yüksek (örn. %75-80) stok kalemleri sınıfı), **B** (orta derecede önemli, hacim olarak orta (örn. %35-40) ve yatırım değeri düşük (örn. %15-20) stok kalemleri sınıfı) veya **C** (az önemli, hacim olarak yüksek (örn. %40-50) ama yatırım değeri çok düşük (örn. %5-10) stok kalemleri sınıfı). Böyle bir sınıflandırma yaparken farklı değerlendirme kriterleri de dikkate alınmalıdır. Dolayısıyla problem çok kriterli karar verme problemi olarak değerlendirilmelidir. Çok kriterli ABC stok sınıflandırma problemi ile ilgili çalışmalar 1987 yıllarından beri literatürde yer almaktadır. Sadece yıllık kullanım değeri değil stok kaleminin başka özellikleri de bu kalemin sınıfını etkileyebilir ve değiştirebilir. Örneğin, yıllık kullanım değerine göre B veya C sınıfında yer alan bir stok kalemi aslında zor temin edilebilen veya kritik bir parça olabilir. Dolayısıyla yokluğu işletmeyi çok olumsuz etkileyebilir. Bu sebeple stok kalemleri sınıflandırılırken sadece yıllık kullanım değerini dikkate almak yanıltıcı olabilir. Flores ve Whybark [8] çalışmasında diğer kriterler şu şekilde örneklendirilmiştir; az bulunurluk, dayanıklılık, onarılabilirlik, ikame edilebilirlik, temin süresi. Aslında bu problem bir sıralı sınıflandırma (sorting) problemi olarak değerlendirilebilir. Sıralı sınıflandırma probleminde de sınıflar arasında öncelik ilişkileri örneğin; en çok tercih edilen sınıf, orta tercih edilen sınıf, az tercih edilen sınıf vb. mevcuttur ve sınıflar önceden tanımlanmıştır.

Literatürde bu problem için geliştirilmiş doğrusal programlama (DP) ve veri zarflama analizi (VZA) temelli çalışmalar mevcuttur. Ramanathan [9] çalışmasında VZA temelli bir doğrusal programlama modeli ile stok kalemlerine her bir değerlendirme kriteri için favori ağırlıklar atanmakta ve ağırlıklandırılmış amaç fonksiyonu değeri o stok kaleminin skoru olmaktadır. Zhou ve Fan [10] hemen bu çalışmanın ardından Ramanathan'ın modeline istenmeyen ağırlıklar da atayarak genişletmiş ve böylece bir stok kaleminin önemsiz bir kriterde yüksek skorlar aldığı için A sınıfına yerleşmesini önlemeye çalışmışlardır. Bir diğer doğrusal programlama modeli ise Ng [11] tarafından sunulmuştur. Bu modelde başlangıçta bütün kriterlerin azalan önem sırasının belli olduğu kabul edilmiştir. Model bu önem sırasına göre atamaları gerçekleştirmektedir. Kıyak vd. [12] bu modelin uygulamasını literatürden bir örnek üzerinde göstermişlerdir. Chen vd. [13] ise durum-temelli uzaklık modelini sunmuştur. Sınıfların önceden belirlenmiş bir noktaya olan uzaklıkları baz alınarak sınıf aralıkları tanımlanmış ve stok kalemleri hangi aralıkta yer aldığına göre sınıflandırılmıştır. Soylu ve Akyol [14] fayda fonksiyonu temelli matematiksel model ve referans stok kalemleri kullanarak stok kalemlerini sınıflandırmışlardır.

Literatürde çok kriterli ABC stok sınıflandırma problem için analitik hiyerarşi süreci (AHP) [16-18, 22], genetik algoritmalar [19], fuzzy sınıflandırma [20, 21], yapay sinir ağları [15, 23] ve TOPSIS yöntemi [24, 25] temelli algoritmalarda sunulmuştur.

Bu çalışmada çok kriterli stok alanı atama problemi ele alınmıştır. Amaç iplik bobinlerine iki kriter bazında alan ataması gerçekleştirmektir. Birinci değerlendirme kriteri iplik bobinlerinin yıllık kullanım değeridir. Ancak iplik üretimindeki en önemli konulardan bir tanesi de aynı iplik kodlarının aynı renk tonuna sahip olmasıdır. Eğer boyama işleminde bir iplik çeşidi farklı partilerde boyanırsa ve renk tonları tutmazsa o partinin kullanılması mümkün değildir. Bu sebeple renk uyumsuzluğu ikinci kriter olarak ele alınmıştır. Bu problemi çözmek için iki aşamalı bir sezgisel geliştirilmiştir. Birinci aşamada iplik tipleri çok kriterli ABC analizi kullanılarak 3 gruba ayrılmış ikinci aşamada ise hacim temelli bir yaklaşım ile iplik skorlarına göre alan ataması yapılmıştır.

## 2. PROBLEMİN TANIMLANMASI (PROBLEM DEFINITION)

Ele alınan tesiste iplik üretimi için yün ve akrilik olmak üzere iki çeşit iplik üretilmektedir. Yün koyunlardan kırılan doğal bir malzeme iken akrilik kimyasallardan elde edilen sentetik bir hammaddedir. Bu hammaddeler tesise balyalar halinde getirilmekte ve boyama ve iplik üretimi olmak üzere iki önemli aşamadan geçmektedir. Yün ya da akrilik balyalar ilk önce boyama bölümünde işlem görmektedir. Boyama işlemi iplik üretiminin en önemli aşamasıdır. Özellikle açık tonlu renklerde farklı boyama partilerinde aynı renk tonunu elde etmek çok zordur. Bu probleme sebep olan pek çok faktör vardır. Bunlardan birincisi önceki partide aynı kazanda farklı bir rengin boyanmış olmasıdır. Mesela kazanda koyu bir renk tonu boyanmışsa bir sonraki parti de beyaz, sarı, pembe renk tonlarını tutturmak çok zor olabilmektedir. Diğer faktörler ise çevresel koşullar ile ilgilidir. Örneğin, ortam sıcaklığında, neminde vb. olan küçük değişimler ton farklılığına sebep olabilmektedir. Bu problemi çözenin bir yolu bu renkler için boyama işlemini büyük partiler halinde gerçekleştirmektir. Sonrasında ise iplik üretilen ve stok alanında iplik bobinleri depolanacaktır. Halı üretiminde ihtiyaç oldukça da stoklardan kullanılacaktır. Fabrika da bu stratejiyi uygulamayı makul bulmaktadır ancak stok alanında ne kadar depolama yeri olduğu üretim parti büyüklükleri üzerinde bir kısıttır.

İplik üretimi aşamasına da kısaca değinecek olursak boyanmış balyalar ilk olarak tarama işlemine tabi tutulur. Açma makinesi (çırçır) fiberleri ayırır ve paralel bir forma sokar. Sonrasında tarak makinesi fiberleri daha da düzgünleştirir. Çekme işleminde ise fiberler dönen rulolar arasından geçirilerek uzatılır ve küçük bir bükme işlemi uygulanır. Sonrasında bükme makinesi fiberlerin daha da uzamasını ve iyice bükülerek dayanıklı bir hal almasını sağlar. Son aşamada iplik eğirme işlemi ile iplik oluşur ve bobinlere sarılır.

Fabrikada dört tip akrilik iplik (AKR, ISL, MRT ve NPL kodlu) ve tek tip yün iplik (YUN kodlu) üretilmektedir. Yün iplikler 6 farklı renkte boyanabilmektedir. Akrilik ipler ise 23 (AKR), 5 (ISL), 22 (MRT) ve 8 (NPL) olmak üzere toplam 58 farklı renkte boyanabilmektedir. Bu

renkler basitçe *açık* ve *koyu* olmak üzere sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırmaya göre boyama partisi değiştiğinde renk tonu uyumsuzluğu yüzdeleri Çizelge 1’de verilmiştir. Bu istatistiği hesaplamak için son bir yılda kaç partinin renk tonu uyummadığı verisi toplam yıllık parti boyama sayısına oranlanmıştır. Bu çizelgeye göre renk uyumsuzlukları çok yüksek seviyelerde olup genellikle açık renklerde çok daha sık gözlemlenmiştir. Bu çizelgeden elde edilen ilginç bir husus da MRT tipi ipliklerin hemen hemen her partisinde renk uyumsuzluğu yaşandığıdır. Bu durumda işletmenin farklı renk tonundaki iplikleri aynı halının dokunmasında kullanması mümkün değildir. Başka bir halının dokunmasında kullanılabilir ancak bu da halı tezgâhının ipliklerinin yeniden değiştirilmesini (setup) gerektirir. Bir halı tezgâhında her renk için 2000 bobin ve en fazla 6 renk bulunmaktadır. Eğer bir rengin renk tonu uyumsuzluğu varsa yeni halı dokuma işleminde 2000 bobinin tamamının değişmesi gerekmektedir. Bu değişim için gerekli süre 80dk ile 220dk. arasındadır. Bu kadar önemli bir hazırlık zamanı üretim kayıplarına ve boş beklemlere sebep olmaktadır. Toplanan bobinler bir halının küçük desenlerinde kullanılmaya çalışılmaktadır ama çoğunlukla da fire olarak değerlendirilmektedir. Hazırlık zamanını ve fireyi düşürmenin bir yolu boyama işlemini büyük partiler halinde gerçekleştirmek ve ipliği ürettikten sonra stokta tutmaktır. Çizelge 1’deki yüksek uyumsuzluk yüzdeleri de bu stratejiyi desteklemektedir. Ancak aynı zamanda talebi yüksek olan ipleri de stoklamak fabrika için bir avantajdır. Depo alanı kısıtlı olduğu için yukarıda bahsedilen iki kritere göre bir alan atama stratejisi belirlenmelidir. Gelecek bölümde bu yöntemin detayları açıklanmıştır.

**Çizelge 1.** Renk tonu uyumsuzluk yüzdeleri (Color tone inconsistency percentages)

Hammadde	Renk tonu grubu	Renk tonu uyumsuzluğu % ortalama
	Açık	88.9
	Koyu	55.6
	Açık	78.8
	Koyu	9.8
<b>ISL</b>	Koyu	52.0
	Açık	94.3
	Koyu	95.0
	Açık	50.0
	Koyu	53.5

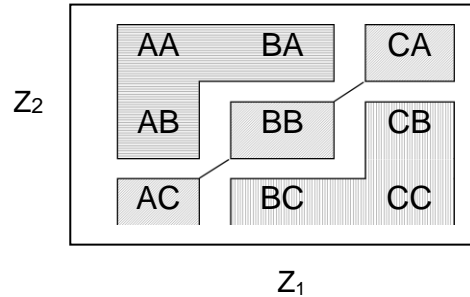
### 3. ÖNERİLEN YAKLAŞIM (PROPOSED APPROACH)

Bu çalışmada, yukarıda tanımlanan depo alanı atama problem için iki aşamalı bir yaklaşım geliştirilmiştir. Birinci aşamada iplikler *yıllık kullanım yüzdesi* ve *renk uyumsuzluğu yüzdesi* kriterlerine göre A, B ve C sınıflarına atanmıştır. Temel olarak şu notasyon kullanılacaktır;

$Z_1^j$ : Stok kalemi  $j$ 'nin yıllık kullanım yüzdesi

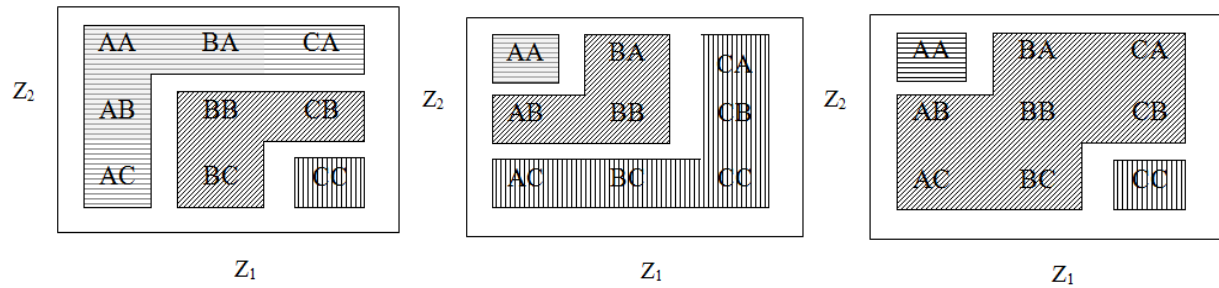
$Z_2^j$ : Stok kalemi  $j$ 'nin renk uyumsuzluğu yüzdesi

Bu aşamada DP temelli, veri zarflama analizi temelli ya da AHP temelli yaklaşımlar kullanılabilir. Ancak bir çok yaklaşımda “sınıfların alt-üst skor limitlerinin ne olacağı” soru işareti olarak devam etmektedir. Örneğin, Ramanathan [9] modelinde “bir stok kaleminin aldığı skor 0.86 üzerindeyse A sınıfına atanır” denilmektedir ancak bu sınır değerinin nasıl tespit edildiği/edileceği açıklanmadığı ya da karar verici tarafından belirlenmesi gerektiği için eleştirilmektedir. Problemimiz iki kriterli ABC sınıflandırma problemi olduğu için Flores ve Whybark [8] çalışmasında önerilen *ortak-matris* yaklaşımının birinci aşamada kullanılması uygun görülmüştür. Bu yaklaşıma göre ABC analizi her kriterde ayrı olarak yapılmakta sonra sonuçlar birleştirilerek tek bir sınıfa dönüştürülmektedir. Yaklaşımın temel mantığı Şekil 1’de verilmiştir. Birinci harf bir stok kaleminin  $Z_1$  kriterindeki sınıfını ikinci harf ise  $Z_2$  kriterindeki sınıfını temsil etmektedir. Harfler farklı olduğunda stok kaleminin hangi sınıfa atanacağı belirsizdir. Önerilen yöntemde eğer bir stok kalemi AA, AB yada BA olarak kategorize edilmiş ise onun sınıfının A olması gerektiği ifade edilmektedir. Burada stok kaleminin A ya da B sınıfında olma ihtimali vardır. Stok yokluğu çekmemek adına kötümser bir yaklaşım ile A sınıfına yerleştirilmiştir. Aksine risk alan iyimser bir sınıflandırma ile BC, CB ve CC sınıflarında yer alan stok kalemleri C sınıfına yerleştirilmiştir. Ortalamayı dikkate alan bir tercih yapılarak da AC, BB ve CA olarak kategorize edilen stok kalemleri B sınıfına atanmıştır.



**Şekil 1.** İki kriterli ABC analizi için ortak-matris yaklaşımı [8] (Joint-matrix approach for bicriteria ABC analysis)

Bu aşamada alternatif olarak başka sınıflandırma şekillerinin kullanılması da mümkündür. Şekil 2’de bu farklı sınıflandırma şekilleri verilmiştir. Şekil 2 (a)’daki tam kötümser yaklaşıma göre bir stok kalemi herhangi bir kriterde kategorize edildiği en yüksek sınıfa atanacaktır. Bu yaklaşımı gürbüz (robust) kararlar veren, stok yokluğuna tahammülü olmayan karar vericiler kullanabilir. Şekil 2 (b)’deki tam iyimser yaklaşımına göre ise stok kalemi herhangi bir kriterde kategorize edildiği en düşük sınıfa atanacaktır. Bu yaklaşımı da risk alabilen, iyimser bakış açısına sahip karar vericiler kullanabilir. Şekil 2 (c)’deki kesinlik yaklaşımına göre ise grubu kesin olanlar kendi grubuna belirsiz olanlar B grubuna atanacaktır. Bu seçeneklerin sınıflandırmaya



Şekil 2. İki kriterli ABC analizi için farklı ortak-matris senaryoları (Several joint-matrix scenarios for the bicriteria ABC analysis)

olan etkileri deneysel sonuçlar bölümünde analiz edilmiştir.

İkinci aşamada ise hangi iplik türüne ne kadar stok alanı ayrılacağı sorusuna cevap aranmıştır. Bu amaçla VZA temelli bir yaklaşım olan Ramanathan [9] modeli kullanılmıştır. Bu yaklaşım her stok kalemi için bir VZA modelinin çözülmesini gerektirir ve bu model ile stok kalemlerine her kriterde favori ağırlıklar atanır. Sonuçta stok kaleminin elde ettiği amaç fonksiyonu değeri o kalemin önem derecesini gösteren skoru olur. Skoru yüksek olan stok kalemine stokta daha çok alan ayırmak da makul bir stratejidir. Buna göre bir stok kalemi  $j$  için  $P(j)$  modeli şu şekilde tanımlanabilir;

**Parametreler**

$m$  kriter sayısı

$n$  stok kalemi sayısı

$z_i^j$ :  $j$ . stok kaleminin  $i$ . kriter değeri  $i = 1, 2, \dots, m$   
 $j = 1, 2, \dots, n$

**Karar değişkenleri**

$w_i^j$ :  $j$ . stok kaleminin  $i$ . kriterde aldığı favori ağırlık

$$w_i^j \geq 0 \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (3)$$

Tanımlanan  $P(j)$  modeli bütün stok kalemleri  $j = 1, 2, \dots, n$  için çözülecek ve her stok kalemi  $j$ 'ye bir skor atanacaktır. Modelin amaç fonksiyonu stok kalemi  $j$ 'nin alacağı skoru en büyükmektir. (2) nolu kısıt seti ise stok kalemi  $j$ 'ye atanan favori ağırlıklar kullanıldığında bütün stok kalemleri ( $k$ )'nin alacağı skurun en fazla 1.0 olmasını gerektirir. (3) nolu kısıt ise favori ağırlıkların pozitiflik şartıdır. Çizelge 2'de 3 stok kalemi ve 2 kriter olan küçük bir örnek için model ve skorlar verilmiştir.

Çizelge 2. Örnek problem (Example problem)

Stok kalemi $j$	$z_1$	$z_2$
1	0.3	0.5
2	0.2	0.4
3	0.5	0.1

Çizelge 3. Örnek stok kalemlerinin elde ettiği skorlar ve R-modelleri (R-models and scores of example stock keeping units)

$P(1) = \text{Max. } 0.3w_1^1 + 0.5w_2^1$	$P(2) = \text{Max. } 0.2w_1^2 + 0.4w_2^2$	$P(3) = \text{Max. } 0.5w_1^3 + 0.1w_2^3$
<b>Kısıtlar</b>	<b>Kısıtlar</b>	<b>Kısıtlar</b>
$0.3w_1^1 + 0.5w_2^1 \leq 1$	$0.3w_1^2 + 0.5w_2^2 \leq 1$	$0.3w_1^3 + 0.5w_2^3 \leq 1$
$0.2w_1^1 + 0.4w_2^1 \leq 1$	$0.2w_1^2 + 0.4w_2^2 \leq 1$	$0.2w_1^3 + 0.4w_2^3 \leq 1$
$0.5w_1^1 + 0.1w_2^1 \leq 1$	$0.5w_1^2 + 0.1w_2^2 \leq 1$	$0.5w_1^3 + 0.1w_2^3 \leq 1$
$w_1^1, w_2^1 \geq 0$	$w_1^2, w_2^2 \geq 0$	$w_1^3, w_2^3 \geq 0$
<b>Sonuç</b>	<b>Sonuç</b>	<b>Sonuç</b>
$w_1^1 = 0, w_2^1 = 2, P(1) = 1.0$	$w_1^2 = 0, w_2^2 = 2, P(2) = 0.8$	$w_1^3 = 1.818, w_2^3 = 0.909, P(3) = 1.0$

değeri

**R-model**

$P(j)$

$$= \text{Max. } \sum_{i=1}^m z_i^j \cdot w_i^j \quad (1)$$

**Kısıtlar**

$$\sum_{i=1}^m z_i^k \cdot w_i^j \leq 1 \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

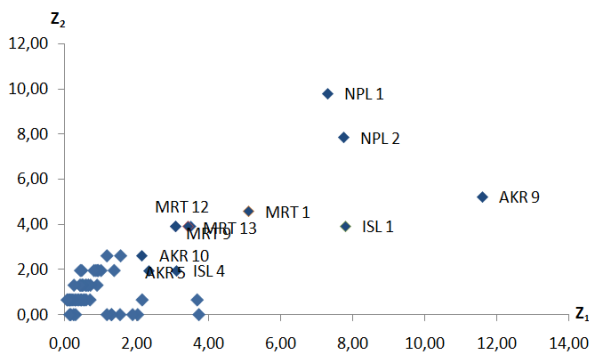
Çizelge 3'te verilen sonuçlara göre eğer stok alanında en fazla 280 bobin stoklama yeri mevcutsa bunun  $\frac{280 \cdot 1.0}{(1.0+0.8+1.0)} = 100$  bobinlik bölümü stok kalemi 1'e, 80 bobinlik yeri stok kalemi 2'ye ve 100 bobinlik yeri stok kalemi 3'e ayrılmalıdır.

Not edilmelidir ki eğer bu örnek stok kalemleri Ramanathan [9] çalışmasına göre ABC olarak sınıflandırılmak istenseydi, skoru 0.86 üzerinde olan stok kalemi 1 ve 3 A sınıfında, stok kalemi 2 ise B sınıfında yer alacaktı.

#### 4. UYGULAMA (APPLICATION)

Uygulamanın yapıldığı işletmede üretilen iplikler ile ilgili veriler Çizelge 4’de sunulmuştur. Bu verilere göre 64 adet iplik mevcuttur. Birinci sütunda iplik bilgisi, ikinci sütunda yıllık talep (kg) miktarı, üçüncü sütunda her iplik türünün toplam talep içindeki yüzdesi, dördüncü sütunda  $Z_1$  kriterinde klasik ABC sınıflandırması, beşinci sütunda her iplik için yıllık olarak kaç partinin renk uyumsuz olarak etiketlendiği ve altıncı sütunda da renk tonu uyumsuz parti miktarının toplam renk tonu uyumsuz parti büyüklüğü içindeki yüzdesi, yedinci sütunda ise  $Z_2$  kriterinde klasik ABC sınıflandırması verilmiştir. Son dört sütunda ise Şekil 1 ve 2’de ki ortak matris yaklaşımına göre gerçekleşen sınıflandırmalar mevcuttur. Bu ortak-sınıflandırmalar yapılırken dördüncü ve yedinci sütunda verilen klasik ABC sınıfları (yaklaşık %70 A, %20 B ve %10 C) dikkate alınmıştır. Bu verilere göre eğer bir iplik tipi hem yıllık talebi yüksek hem de renk tonu uyumsuzluğu yüksekse bu iplik tipi A sınıfında yer almalı ve büyük partiler halinde üretilerek boyanmalıdır. Görüleceği üzere ortak matris sınıflandırmaları farklı yaklaşımlar için farklılık göstermektedir. Gerçek hayatta da karar vericilerin bakış açıları sınıfları belirlemektedir. Örneğin, gürbüz (robust) kararlar almayı tercih eden bir karar verici en kötü (yokluk) senaryosunu düşünerek stok kalemlerini daha çok gözlem altında tutan *tam kötümser* sınıflandırmayı tercih edebilir. Bunun aksine risk almayı tercih eden bir karar verici ise fırsatları değerlendirmek için stok takip yatırımlarını en küçükleyen *tam iyimser* sınıflandırmayı tercih edebilir.

Şekil 3’de ise kriter uzayında stok kalemlerinin dağılımı gösterilmiştir. Buna göre NPL1, NPL2 ve AKR9 domine olmayan stok kalemleridir. Diğerleri ise bunlar tarafından domine edilmektedir. Şekil de isim etiketleri olan stok kalemleri bütün yaklaşımlarda A sınıfına atanmıştır.



Şekil 3. Stok kalemlerinin kriter uzayında gösterimi (Illustration of stock keeping units in the criterion space)

Yöntemin ikinci aşaması stok kalemleri için R-model çözerek aldıkları skorları bulmaktır. İşletmenin iplik depolamak için 250,000 kg (yaklaşık 250,000 adet bobin) stoklayacak yeri bulunmaktadır. Bu stok alanının iplik türlerine göre paylaşılması stok kalemlerinin elde

ettikleri skorlara göre yapılacaktır. Her bir stok kalemi için R-model çözülmüş ve elde edilen amaç fonksiyonu değeri (skor) Çizelge 5’in ikinci sütununda verilmiştir. Burada 5 senaryo ( $S_1, S_2, \dots, S_5$ ) dikkate alınmıştır. Birinci senaryo, stok kalemlerinin tamamına skorlarına göre alan ataması yapmaktır. Üçüncü sütunda ayrılan alan  $\frac{250,000 * skor_j}{toplam skor}$  basit oranı ile hesaplanmıştır. Elde edilen bu değerler üretim parti büyüklükleri üzerinde bir üst sınır oluşturacaktır. Diğer senaryolarda ise sadece A sınıfı kalemlerin stoklanması durumu hesaplanmıştır. Bütün senaryolarda verilen skorlarda gözlenen bir durum ise hiçbir kalemin skorunun değişmemiş olmasıdır. Bunun sebebi stok kalemlerinin üzerinden geçen zarfın yapısından kaynaklanmaktadır. Şekil 3 incelendiğinde bu zarfın bir köşesinin NPL1 diğer köşesinin ise AKR9’dan geçtiği açıktır. Bunu doğrulamanın bir diğer yolu da Çizelge 5’de sadece bu kalemlerin 1.0 skorunu almasıdır. Diğer stok kalemleri ise bu zarfa göre alabilecekleri en iyi skorları almışlardır. Dolayısıyla bu iki kalemin kriter değerleri değişmediği sürece veya bu iki kalem değerlendirilen kümede yer aldıkları sürece skorlar değişmeyecektir. Ancak farklı senaryoların A grubu içerikleri farklı olduğu için ayrılan alanlar değişmiştir.

#### 4.1. Mevcut Sistem ile Karşılaştırma (Comparison with the Current System)

Bu bölümde mevcut sistem ile önerilen sistemin performans karşılaştırmaları yapılmıştır. Temel olarak “eğer önerilen sistemde her kaleme ayrılan stok alanı, parti büyüklüğü olarak kullanılsaydı sonuç ne olurdu?” sorusuna cevap aranmıştır. Önerilen sistemde stok alanında her kalem için ne kadar yer ayrılmışsa o kadarlık partiler halinde üretim gerçekleştirilmesi ve tükendikçe (yada bir güvenlik stoğu limitinin altına düştükçe) yeniden üretim emri verilmesi düşünülmüştür. Fabrikanın kapasitesinin (9600 kg akrilik boyama/gün ve 4800 kg yün boyama/gün) bu büyüklükte partileri üretmeye müsait olduğu kabul edilmiştir.

Çizelge 6’nın ikinci ve üçüncü sütununda mevcut sistemdeki yıllık üretilen parti sayısı ve renk uyumsuz parti sayısı verilmiştir. Şu anda işletmenin uyguladığı politika siparişe-göre (make-to-order) üretim politikasına çok yakındır. Örneğin, AKR9 stok kaleminden yılda 48 kere partiler halinde üretim gerçekleştirilmiş bunun 24 tanesinde (yarısı) renk tonu uyumsuzluğu tespit edilmiştir. Bu şu anlama gelmektedir; ikinci partide üretilen iplik bir önceki (birinci) parti ile renk tonu uyumludur ancak üçüncü parti de üretilen iplik ikinci partiden uyumsuzdur. Dördüncü parti de üretilen de üçüncü ile uyumludur. Yani her iki parti de bir renk tonu değişmektedir. NPL2 ipliğinde ise daha vahim bir durum söz konusudur. Üretilen 36 partinin hepsi uyumsuzdur yani sonraki parti daima öncekinden farklı tona sahip olmuştur. Daha öncede belirtildiği gibi bu problemin çözümü iplikleri büyük partiler halinde boyayıp stoklamaktır. Eğer önerilen sistemde hesaplanan stok alanı parti büyüklüğü olarak kullanılsaydı Senaryo 1’de AKR9 ipinden yıllık olarak 10 parti üretilecekti. Mevcut



sistemdeki renk uyumsuzluğu oranı  $\left(\frac{24}{48}\right)$  dikkate alınarak renk uyumsuz parti sayısı da 5 olarak tahmin edilmektedir. Dolayısıyla renk uyumsuz parti sayısında önemli bir düşme gerçekleşecektir. Diğer senaryolarda ise sadece A sınıfı kalemlerinin stokta tutulması söz konusu olduğu için parti sayıları daha da azalmakta ve renk uyumsuz parti sayılarında önemli düşmeler görülmektedir. Bu senaryolarda diğer sınıflardaki (B ve C) ipliklerin boyaması ise mevcut sistemdeki gibi kabul edilmiştir. Son satırda verilen toplam renk uyumsuz parti

sayıları incelediğinde mevcut durumda yıllık 459 partinin renk uyumsuz olduğu ancak Senaryo 1 uygulanırsa bu rakamın 192'ye düşeceği, Senaryo 2 uygulanırsa 211'e, Senaryo 3 uygulanırsa 206 ve Senaryo 4/5 uygulanırsa 261'e düşeceği öngörülmüştür. Dolayısıyla renk uyumsuzluğunu düşürmek için en iyi senaryo S1 olarak görülmektedir.

**Çizelge 4.** İplik tipleri ve yöntemin birinci aşaması için sınıflandırmalar (Yarn types and classification at the first stage of the approach)

Renk kodu	Yıllık talep (kg)	Z1: Talep %	Z1 kriterinde ABC	Renk tonu uyumsuz parti sayısı	Z2: Renk uyumsuzluğu %	Z2 kriterinde ABC	Ortak-matris sınıflandırması			
							F&W	Tam kötümser	Tam iyimser	Keskinlik
AKR 9	190500	11.60	A	24	5.23	A	A	A	A	A
ISL 1	128200	7.80	A	18	3.92	A	A	A	A	A
NPL 2	127500	7.76	A	36	7.84	A	A	A	A	A
NPL 1	120200	7.32	A	45	9.80	A	A	A	A	A
MRT 1	84000	5.11	A	21	4.58	A	A	A	A	A
MRT 9	57700	3.51	A	18	3.92	A	A	A	A	A
MRT 13	56500	3.44	A	18	3.92	A	A	A	A	A
ISL 4	51100	3.11	A	9	1.96	A	A	A	A	A
MRT 12	50800	3.09	A	18	3.92	A	A	A	A	A
AKR 5	38800	2.36	A	9	1.96	A	A	A	A	A
AKR 10	35500	2.16	A	12	2.61	A	A	A	A	A
NPL 8	60740	3.70	A	3	0.65	B	A	A	B	B
AKR 2	35600	2.17	A	3	0.65	B	A	A	B	B
AKR 6	61500	3.74	A	0	0.00	C	B	A	C	B
AKR 13	35550	2.04	A	0	0.00	C	B	A	C	B
NPL 5	31250	1.90	A	0	0.00	C	B	A	C	B
MRT 15	25750	1.57	B	12	2.61	A	A	A	B	B
AKR 15	22800	1.39	B	9	1.96	A	A	A	B	B
MRT 22	19500	1.19	B	12	2.61	A	A	A	B	B
MRT 6	16800	1.02	B	9	1.96	A	A	A	B	B
MRT 18	15500	0.94	B	9	1.96	A	A	A	B	B
MRT 10	15300	0.93	B	9	1.96	A	A	A	B	B
AKR 11	14500	0.88	B	9	1.96	A	A	A	B	B
NPL 3	13584	0.83	B	9	1.96	A	A	A	B	B
MRT 11	15000	0.91	B	6	1.31	B	B	B	B	B
MRT 16	12000	0.73	B	6	1.31	B	B	B	B	B
MRT 14	11800	0.72	B	3	0.65	B	B	B	B	B
MRT 17	11000	0.67	B	6	1.31	B	B	B	B	B
MRT 19	11000	0.67	B	6	1.31	B	B	B	B	B
NPL 4	25500	1.55	B	0	0.00	C	C	B	C	B
AKR 7	21600	1.31	B	0	0.00	C	C	B	C	B
AKR 8	21600	1.31	B	0	0.00	C	C	B	C	B
AKR 4	19500	1.19	B	0	0.00	C	C	B	C	B
AKR 14	8000	0.49	C	9	1.96	A	B	A	C	B
AKR 16	7400	0.45	C	9	1.96	A	B	A	C	B
MRT 7	10100	0.61	C	6	1.31	B	C	B	C	B
MRT 4	10000	0.61	C	3	0.65	B	C	B	C	B
YUN 1	9700	0.59	C	6	1.31	B	C	B	C	B
YUN 4	9200	0.56	C	3	0.65	B	C	B	C	B
YUN 2	8900	0.54	C	3	0.65	B	C	B	C	B
MRT 5	8500	0.52	C	6	1.31	B	C	B	C	B
ISL 5	8500	0.52	C	6	1.31	B	C	B	C	B
MRT 8	8200	0.50	C	6	1.31	B	C	B	C	B
ISL 2	8000	0.49	C	6	1.31	B	C	B	C	B
AKR 1	7900	0.48	C	3	0.65	B	C	B	C	B
AKR 12	7590	0.46	C	3	0.65	B	C	B	C	B
MRT 21	7300	0.44	C	6	1.31	B	C	B	C	B
AKR 18	7200	0.44	C	6	1.31	B	C	B	C	B
AKR 21	6700	0.41	C	3	0.65	B	C	B	C	B
MRT 2	6000	0.37	C	3	0.65	B	C	B	C	B
MRT 3	5000	0.30	C	3	0.65	B	C	B	C	B
NPL 7	5000	0.30	C	3	0.65	B	C	B	C	B
YUN 6	4450	0.27	C	6	1.31	B	C	B	C	B
AKR 19	5200	0.32	C	0	0.00	C	C	C	C	C
ISL 3	4300	0.26	C	0	0.00	C	C	C	C	C
AKR 17	4000	0.24	C	3	0.65	C	C	C	C	C
MRT 20	3500	0.21	C	3	0.65	C	C	C	C	C
AKR 3	3000	0.18	C	0	0.00	C	C	C	C	C
AKR 22	2800	0.17	C	3	0.65	C	C	C	C	C
YUN 5	2600	0.16	C	3	0.65	C	C	C	C	C
NPL 6	2500	0.15	C	0	0.00	C	C	C	C	C
YUN 3	2250	0.14	C	3	0.65	C	C	C	C	C
AKR 23	1515	0.09	C	3	0.65	C	C	C	C	C
AKR 20	1350	0.08	C	3	0.65	C	C	C	C	C

**Çizelge 5.** Beş farklı senaryoda stok kalemlerinin elde ettiği R-model skorları ve atanan stok alanları (R-model scores of stock keeping units and assigned storage areas in terms of five different scenarios)

Renk kodu	S1: Her stok kalemine alan ayır		S2: F&W' ye göre sadece A sınıfına alan ayır			S3: Tam kötümsen'e göre sadece A sınıfına alan ayır			S4: Tam iyimsen'e göre sadece A sınıfına alan ayır			S5: Kesinlik'e göre sadece A sınıfına alan ayır		
	Skor	Stok alanı (kg)	Sınıf	Skor	Stok alanı (kg)	Sınıf	Skor	Stok alanı (kg)	Sınıf	Skor	Stok alanı (kg)	Sınıf	Skor	Stok alanı (kg)
AKR 9	1.000	19191	A	1.000	29319	A	1.000	26072	A	1.000	39752	A	1.000	39752
ISL 1	0.695	13338	A	0.695	20376	A	0.695	18120	A	0.695	27628	A	0.695	27628
NPL 2	0.915	17560	A	0.915	26827	A	0.915	23855	A	0.915	36373	A	0.915	36373
NPL 1	1.000	19191	A	1.000	29319	A	1.000	26072	A	1.000	39752	A	1.000	39752
MRT 1	0.570	10939	A	0.570	16712	A	0.570	14861	A	0.570	22659	A	0.570	22659
MRT 9	0.435	8348	A	0.435	12754	A	0.435	11341	A	0.435	17292	A	0.435	17292
MRT 13	0.431	8271	A	0.431	12636	A	0.431	11237	A	0.431	17133	A	0.431	17133
ISL 4	0.300	5757	A	0.300	8796	A	0.300	7821	A	0.300	11926	A	0.300	11926
MRT 12	0.410	7868	A	0.410	12021	A	0.410	10689	A	0.410	16298	A	0.410	16298
AKR 5	0.254	4874	A	0.254	7447	A	0.254	6622	A	0.254	10097	A	0.254	10097
AKR 10	0.279	5354	A	0.279	8180	A	0.279	7274	A	0.279	11091	A	0.279	11091
NPL 8	0.319	6122	A	0.319	9353	A	0.319	8317	B			B		
AKR 2	0.187	3589	A	0.187	5483	A	0.187	4875	B			B		
AKR 6	0.322	6179	B			A	0.322	8395	C			B		
AKR 13	0.176	3378	B			A	0.176	4589	C			B		
NPL 5	0.164	3147	B			A	0.164	4276	C			B		
MRT 15	0.266	5105	A	0.266	7799	A	0.266	6935	B			B		
AKR 15	0.200	3838	A	0.200	5864	A	0.200	5214	B			B		
MRT 22	0.266	5105	A	0.266	7799	A	0.266	6935	B			B		
MRT 6	0.200	3838	A	0.200	5864	A	0.200	5214	B			B		
MRT 18	0.200	3838	A	0.200	5864	A	0.200	5214	B			B		
MRT 10	0.200	3838	A	0.200	5864	A	0.200	5214	B			B		
AKR 11	0.200	3838	A	0.200	5864	A	0.200	5214	B			B		
NPL 3	0.200	3838	A	0.200	5864	A	0.200	5214	B			B		
MRT 11	0.134	2572	B			B			B			B		
MRT 16	0.134	2572	B			B			B			B		
MRT 14	0.081	1554	B			B			B			B		
MRT 17	0.134	2572	B			B			B			B		
MRT 19	0.134	2572	B			B			B			B		
NPL 4	0.134	2572	C			B			C			B		
AKR 7	0.113	2169	C			B			C			B		
AKR 8	0.113	2169	C			B			C			B		
AKR 4	0.103	1977	C			B			C			B		
AKR 14	0.200	3838	B			A	0.200	5214	C			B		
AKR 16	0.200	3838	B			A	0.200	5214	C			B		
MRT 7	0.134	2572	C			B			C			B		
MRT 4	0.074	1420	C			B			C			B		
YUN 1	0.134	2572	C			B			C			B		
YUN 4	0.071	1363	C			B			C			B		
YUN 2	0.070	1343	C			B			C			B		
MRT 5	0.134	2572	C			B			C			B		
ISL 5	0.134	2572	C			B			C			B		
MRT 8	0.134	2572	C			B			C			B		
ISL 2	0.134	2572	C			B			C			B		
AKR 1	0.066	1267	C			B			C			B		
AKR 12	0.066	1267	C			B			C			B		
MRT 21	0.134	2572	C			B			C			B		
AKR 18	0.134	2572	C			B			C			B		
AKR 21	0.066	1267	C			B			C			B		
MRT 2	0.066	1267	C			B			C			B		
MRT 3	0.066	1267	C			B			C			B		
NPL 7	0.066	1267	C			B			C			B		
YUN 6	0.134	2572	C			B			C			B		
AKR 19	0.028	537	C			C			C			C		
ISL 3	0.022	422	C			C			C			C		
AKR 17	0.066	1267	C			C			C			C		
MRT 20	0.066	1267	C			C			C			C		
AKR 3	0.016	307	C			C			C			C		
AKR 22	0.066	1267	C			C			C			C		
YUN 5	0.066	1267	C			C			C			C		
NPL 6	0.013	249	C			C			C			C		
YUN 3	0.066	1267	C			C			C			C		
AKR 23	0.066	1267	C			C			C			C		
AKR 20	0.066	1267	C			C			C			C		

**Çizelge 6.** Mevcut sistem ile önerilen sistemdeki beş farklı senaryonun karşılaştırılması (Comparison of five scenarios in the proposed system and the current system)

Renk kodu	Mevcut sistem		S1		S2		S3		S4		S5	
	Parti sayısı	Renk uyumsuz parti sayısı	Parti sayısı	Renk uyumsuz parti sayısı	Parti sayısı	Renk uyumsuz parti sayısı	Parti sayısı	Renk uyumsuz parti sayısı	Parti sayısı	Renk uyumsuz parti sayısı	Parti sayısı	Renk uyumsuz parti sayısı
AKR 9	48	24	10	5 (A)	6	3 (A)	7	4 (A)	5	2 (A)	5	2 (A)
ISL 1	33	18	10	5 (A)	6	3 (A)	7	4 (A)	5	3 (A)	5	3 (A)
NPL 2	36	36	7	7 (A)	5	5 (A)	5	5 (A)	4	4 (A)	4	4 (A)
NPL 1	45	45	6	6 (A)	4	4 (A)	5	5 (A)	3	3 (A)	3	3 (A)
MRT 1	24	21	8	7 (A)	5	4 (A)	6	5 (A)	4	3 (A)	4	3 (A)
MRT 9	18	18	7	7 (A)	5	5 (A)	5	5 (A)	3	3 (A)	3	3 (A)
MRT 13	18	18	7	7 (A)	4	4 (A)	5	5 (A)	3	3 (A)	3	3 (A)
ISL 4	24	9	9	3 (A)	6	2 (A)	7	2 (A)	4	2 (A)	4	2 (A)
MRT 12	18	18	6	6 (A)	4	4 (A)	5	5 (A)	3	3 (A)	3	3 (A)
AKR 5	18	9	8	4 (A)	5	3 (A)	6	3 (A)	4	2 (A)	4	2 (A)
AKR 10	21	12	7	4 (A)	4	2 (A)	5	3 (A)	3	2 (A)	3	2 (A)
NPL 8	21	3	10	1 (A)	6	1 (A)	7	1 (A)	21	3	21	3
AKR 2	21	3	10	1 (A)	6	1 (A)	7	1 (A)	21	3	21	3
AKR 6	21	0	10	0 (A)	21	0	7	0 (A)	21	0	21	0
AKR 13	18	0	10	0 (A)	18	0	7	0 (A)	18	0	18	0
NPL 5	36	0	10	0 (A)	36	0	7	0 (A)	36	0	36	0
MRT 15	12	12	5	5 (B)	3	3 (A)	4	4 (A)	12	12	12	12
AKR 15	9	9	6	6 (B)	4	4 (A)	4	4 (A)	9	9	9	9
MRT 22	12	12	4	4 (B)	3	3 (A)	3	3 (A)	12	12	12	12
MRT 6	9	9	4	4 (B)	3	3 (A)	3	3 (A)	9	9	9	9
MRT 18	9	9	4	4 (B)	3	3 (A)	3	3 (A)	9	9	9	9
MRT 10	9	9	4	4 (B)	3	3 (A)	3	3 (A)	9	9	9	9
AKR 11	9	9	4	4 (B)	2	2 (A)	3	3 (A)	9	9	9	9
NPL 3	9	9	4	4 (B)	2	2 (A)	3	3 (A)	9	9	9	9
MRT 11	6	6	6	6 (B)	6	6	6	6	6	6	6	6
MRT 16	6	6	5	5 (B)	6	6	6	6	6	6	6	6
MRT 14	6	3	8	4 (B)	6	3	6	3	6	3	6	3
MRT 17	6	6	4	4 (B)	6	6	6	6	6	6	6	6
MRT 19	6	6	4	4 (B)	6	6	6	6	6	6	6	6
NPL 4	30	0	10	0 (B)	30	0	30	0	30	0	30	0
AKR 7	12	0	10	0 (B)	12	0	12	0	12	0	12	0
AKR 8	15	0	10	0 (B)	15	0	15	0	15	0	15	0
AKR 4	12	0	10	0 (B)	12	0	12	0	12	0	12	0
AKR 14	9	9	2	2 (C)	9	9	2	2 (A)	9	9	9	9
AKR 16	9	9	2	2 (C)	9	9	1	1 (A)	9	9	9	9
MRT 7	6	6	4	4 (C)	6	6	6	6	6	6	6	6
MRT 4	6	3	7	4 (C)	6	3	6	3	6	3	6	3
YUN 1	9	6	4	3 (C)	9	6	9	6	9	6	9	6
YUN 4	9	3	7	2 (C)	9	3	9	3	9	3	9	3
YUN 2	9	3	7	2 (C)	9	3	9	3	9	3	9	3
MRT 5	6	6	3	3 (C)	6	6	6	6	6	6	6	6
ISL 5	9	6	3	2 (C)	9	6	9	6	9	6	9	6
MRT 8	6	6	3	3 (C)	6	6	6	6	6	6	6	6
ISL 2	6	6	3	3 (C)	6	6	6	6	6	6	6	6
AKR 1	9	3	6	2 (C)	9	3	9	3	9	3	9	3
AKR 12	6	3	6	3 (C)	6	3	6	3	6	3	6	3
MRT 21	6	6	3	3 (C)	6	6	6	6	6	6	6	6
AKR 18	9	6	3	2 (C)	9	6	9	6	9	6	9	6
AKR 21	6	3	5	3 (C)	6	3	6	3	6	3	6	3
MRT 2	3	3	5	5 (C)	3	3	3	3	3	3	3	3
MRT 3	3	3	4	4 (C)	3	3	3	3	3	3	3	3
NPL 7	3	3	4	4 (C)	3	3	3	3	3	3	3	3
YUN 6	6	6	2	2 (C)	6	6	6	6	6	6	6	6
AKR 19	6	0	10	0 (C)	6	0	6	0	6	0	6	0
ISL 3	6	0	10	0 (C)	6	0	6	0	6	0	6	0
AKR 17	6	3	3	2 (C)	6	3	6	3	6	3	6	3
MRT 20	3	3	3	3 (C)	3	3	3	3	3	3	3	3
AKR 3	3	0	10	0 (C)	3	0	3	0	3	0	3	0
AKR 22	3	3	2	2 (C)	3	3	3	3	3	3	3	3
YUN 5	3	3	2	2 (C)	3	3	3	3	3	3	3	3
NPL 6	3	0	10	0 (C)	3	0	3	0	3	0	3	0
YUN 3	3	3	2	2 (C)	3	3	3	3	3	3	3	3
AKR 23	3	3	1	1 (C)	3	3	3	3	3	3	3	3
AKR 20	3	3	1	1 (C)	3	3	3	3	3	3	3	3
<b>Toplam</b>	<b>774</b>	<b>459</b>	<b>374</b>	<b>192</b>	<b>440</b>	<b>211</b>	<b>385</b>	<b>206</b>	<b>512</b>	<b>261</b>	<b>512</b>	<b>261</b>

## 5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada stok alanı atama problemi ve bununla yakın ilişkili olan parti büyüklüğü üst sınır belirleme problemi ele alınmıştır. Ele alınan problem bir halı dokuma fabrikasının boyama bölümündeki renk tonu uyumsuzluğu sorunundan kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla iplik hammaddelerinin büyük partiler halinde boyanıp stoklanması bir çözümdür. Ancak 250,000 (kg) kapasiteli stok alanından her iplik türüne ne kadar yer ayrılacağı belirlenmesi için iki aşamalı bir yaklaşım önerilmiştir. Problem iki kriterli ABC analizi olarak ele alınmıştır. Farklı senaryolar değerlendirilmiş ve renk tonu uyumsuzluğunu en çok düşürecek senaryonun birinci senaryo olduğu görülmüştür. İlginç olan bir konu

ise birinci senaryonun sınıflandırmadan bağımsız olarak her stok kaleminin ikinci aşamada elde ettiği skora göre alan paylaşılması yapılmasıdır. Diğer senaryolarda ise A sınıfının değiştirilmesiyle daha iyi sonuçlar elde etmek mümkün olabilir. Eğer ki A sınıfının hacmi özellikle renk tonu uyumsuzluğu yüksek olan iplikler yönünde genişletirse belki Senaryo 1'den daha iyi sonuçlar elde edilebilir. Bu aşamada "hangi ipliklere ne kadar yer ayrıldığında renk uyumsuz parti sayısı en küçüklenir?" sorusu da gündeme gelmektedir. Bu sorunun cevabı için bir doğrusal/doğrusal olmayan bir matematiksel programlama modeli geliştirilmesi ileri araştırma konusu olarak değerlendirilebilir.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Kobu B. "Üretim Yönetimi", Beta Basım Dağıtım,13.Baskı, 2006.
2. Hausman W. H., Schwarz L. B., and Graves S. C., "Optimal storage assignment in automatic warehousing systems", *Management Science*, 22(6): 629-638, (1976).
3. Petersen C. G., Aase G. R., and Heiser D. R., "Improving order-picking performance through the implementation of class-based storage", *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 34(7): 534-544, (2004).
4. Hackman S. T., Rosenblatt M. J., and Olin J. M., "Allocating items to an automated storage and retrieval system", *IIE transactions*, 22(1): 7-14, (1990).
5. Van den Berg J. P., and Zijm W. H. M., "Models for warehouse management: Classification and examples", *International Journal of Production Economics*, 59(1): 519-528, (1999).
6. Silver E. A., Pyke D. F., and Peterson R., "Inventory management and production planning and scheduling", *Wiley*, New York, (1998).
7. Viale J. D., "Inventory Management: From Warehouse to Distribution Center", Course Technology Crisp. Menlo Park, CA, US, (1996).
8. Flores B. E., and Whybark, D. C., "Implementing multiple criteria ABC analysis", *Journal of Operations Management*, 7(1-2): 79-85, (1987).
9. Ramanathan, R., "ABC inventory classification with multiple-criteria using weighted linear optimization", *Computers & Operations Research*, 33(3): 695-700, (2006).
10. Zhou P., and Fan L., "A note on multi-criteria ABC inventory classification using weighted linear optimization", *European Journal of Operational Research*, 182(3): 1488-1491, (2007).
11. Ng W. L., "A simple classifier for multiple criteria ABC analysis", *European Journal of Operational Research*, 177(1): 344-353, (2007).
12. Kıyak E., Timuş O. H., ve Karayel M., "Inventory classification with ABC analysis", *Deniz Bilimleri ve Mühendisliği Dergisi*, 11(2): 11-24, (2015).
13. Chen Y., Li K. W., Kilgour D. M., and Hipel K. W., "A case-based distance model for multiple criteria ABC analysis", *Computers & Operations Research*, 35(3): 776-796, (2008).
14. Soylu B., and Akyol B., "Multi-criteria inventory classification with reference items", *Computers & Industrial Engineering*, 69: 12-20, (2014).
15. Partovi F. Y., and Anandarajan M., "Classifying inventory using an artificial neural network approach", *Computers & Industrial Engineering*, 41(4): 389-404, (2002).
16. Özdemir A. ve Özveri O., "Çok kriterli envanter sınıflandırılmasında analitik hiyerarşi süreci analizinin uygulanması", *D.E.Ü.İ.İ.B.F. dergisi*, 19(2): 137-154, (2004).
17. Çakir O. and Canbolat M. S., "A web-based decision support system for multi-criteria inventory classification using fuzzy AHP methodology", *Expert Systems with Applications*, 35(3): 1367-1378, (2008).
18. Ertuğrul İ., ve Tanrıverdi Y., "Stok Kontrolde ABC Yöntemi ve AHP Analizlerinin İplik İşletmesine Uygulanması", *Uluslararası Alanya İşletme Fakültesi Dergisi*, 5(1), (2013).
19. Güvenir H.A., and Erel E., "Multicriteria inventory classification using a genetic algorithm", *European Journal of Operational Research*, 105: 29-37, 1998.
20. Chu C. W., Liang G. S., and Liao C. T., "Controlling inventory by combining ABC analysis and fuzzy classification", *Computers & Industrial Engineering*, 55(4): 841-851, (2008).
21. Keskin G.A., and Özkan C., "Multiple criteria ABC analysis with FCM clustering", *Journal of Industrial Engineering*, 2013: 1-7, (2013).
22. Partovi F. Y., and Hopton W. E., "The analytic hierarchy process as applied to two types of inventory problems", *Production and Inventory Management Journal*, 35(1): 13-19. (1994).
23. Jumabaeva J., "Hafif Raylı Sistemlerde Yedek Parça Stoklarının Sınıflandırılması İçin Çok Ölçütlü ABC Analizi İle Yapay Sinir Ağı Yaklaşımı", *Yüksek Lisans tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, (2011).
24. Bhattacharya A., Sarkar B., and Mukherjee S. K., "Distance-based consensus method for ABC analysis", *International Journal of Production Research*, 45(15): 3405-3420, (2007).
25. Kılıç A., Aygün S., Keskin G. A., ve Baynal K., "Çok kriterli ABC analizi problemine farklı bir bakış açısı: bulanık analitik hiyerarşi prosesi-ideal çözüme yakınlığa göre tercih sıralama tekniği", *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(5): 179-188, (2014).



# POLİTEKNİK DERGİSİ

## JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://www.politeknik.gazi.edu.tr/index.php/PLT/index>

## Nikel-titanyum şekil bellekli alaşımların süperelastik davranışına ısı işlemin etkisi

### *The effect of heat treatment on the superelastic behaviour of nickel-titanium shape memory alloys*

Yazar(lar) (Author(s)): Savaş DİLİBAL

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz:** Dilibal S., “Nikel-titanyum şekil bellekli alaşımların süperelastik davranışına ısı işlemin etkisi”, *Politeknik Dergisi*, 20(3): 623-627, (2017).

**To cite this article:** Dilibal S., “Nikel-titanyum şekil bellekli alaşımların süperelastik davranışına ısı işlemin etkisi”, *Journal of Polytechnic*, 20(3): 623-627, (2017).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://www.politeknik.gazi.edu.tr/index.php/PLT/issue/archive>

**DOI:** [10.2339/politeknik.339387](https://doi.org/10.2339/politeknik.339387)



# Nikel-Titanyum Şekil Bellekli Alaşımların Süperelastik Davranışına Isıl İşlemin Etkisi

Savaş DİLİBAL\*

İstanbul Gedik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, 34876, Kartal, İstanbul

(Geliş/Received : 18.10.2016 ; Kabul/Accepted : 27.03.2017)

## ÖZ

Şekil bellekli alaşımlar (ŞBA), mikroyapıda östenit ve martenzit fazlar arasında tersinir termoelastik faz dönüşümü ile makroyapıda şekil belleği ve süperelastik davranış gösterebilen intermetalik malzemelerdir. Nikel-titanyum (NiTi) ŞBA'lar süperelastik özelliği sebebiyle başta biyomedikal uygulamalar olmak üzere birçok alanda hızla yaygınlaşmaktadır. Bu çalışmada, atomik olarak % 50.8 nikel içeren NiTi numunelere uygulanan ısıl işlemin, alaşımın faz dönüşüm sıcaklığı ve süperelastik davranışına etkisi incelenmiştir. Yapılan diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) analizleri ve çekme testlerinde elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Çözeltiyeye alma ve yaşlandırma ısıl işlemlerinin, NiTi numunelerin süperelastik davranış gösterme karakteristiğini artırdığı deneysel sonuçlarla gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Şekil bellekli alaşımlar, nikel-titanyum, süperelastik davranış.

## The Effect of Heat Treatment on the Superelastic Behaviour of Nickel-Titanium Shape Memory Alloys

### ABSTRACT

Shape memory alloys (SMAs) which are the intermetallic materials, exhibit shape memory effect and superelastic behaviour in the macro-structure through the reversible thermoelastic phase transformation between austenite and martensite phases in the microstructure. Nickel-titanium (NiTi) SMAs became widespread in several applications, especially in the biomedical field due to their superelastic behavior. In this study, the effect of heat treatment on the SMA's phase transformation temperature is experimentally investigated using the Ti-50.8 at.% Ni samples. The experimental results which are received from the differential scanning calorimetry (DSC) analyses and tensile test are compared. The effect of solutionizing and aging treatments on the superelastic behaviour is investigated.

**Keywords:** Shape memory alloys, nickel-titanium, superelastic behaviour.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Çevreden gelen sıcaklık, gerilme, ışık veya elektrik akımı gibi etkilere yüksek tepkisel davranış gösteren malzemeler akıllı malzemeler olarak adlandırılmaktadır [1]. Piezoelektrik malzemeler, şekil bellekli polimerler ve şekil bellekli alaşımlar (ŞBA) akıllı malzemeler içerisinde yaygın kullanım alanı bulan malzemelerdir. Akıllı malzemeler fonksiyonel özellikleri sayesinde bugüne kadar mekatronik sistemlerden elektromekanik sistemlere kadar birçok mühendislik alanında potansiyel kullanım uygulaması bulmuştur [2-5].

Akıllı malzemeler içerisinde yer alan ŞBAlar, şekil bellek etkisi ve süperelastik davranış gösteren intermetalik alaşımlardır. ŞBA'ları diğer alaşımlardan farklı kılan bu iki temel özellik, alaşımların mikroyapılarında düşük sıcaklık fazı (martenzit) ile yüksek sıcaklık fazı (östenit, ana faz) arasında tersinir termoelastik faz dönüşümü ile elde edilir [6].

Martenzitik faz dönüşümü birçok Fe-C alaşımında kritik soğutma hızı parametresine bağlı zaman-sıcaklık-

dönüşüm diyagramları ile kararsız veya yarı kararlı denge dışı reaksiyon ürünü olarak oluşur. Bunun aksine, NiTi, CoNiAl ve ZnCuAl gibi ŞBA'ların belirli kimyasal kompozisyonlarında oluşan martenzitik dönüşüm tersinir bir denge fazı olarak oluşur. Çok düşük soğuma hızlarında bile martenzitik faz dönüşümü sonucu doğal olarak martenzitik mikroyapı oluşur. Oluşan bu martenzit yapıya, termoelastik martenzit yapı denir. Martenzitik faz dönüşümleri difüzyon prosesine gerek kalmaksızın kristalografik yapıda ikizlenme mekanizması ile gerçekleşmektedir. Kristalografik yapıda, östenit faz atomik olarak simetri içeren bir yapıda bulunurken martenzit faz düşük simetri içerir. Bu sayede martenzit varyantlar elde edilerek ikizlenme mekanizmasının oluşumu sağlanır. İkizlenme mekanizması şekil bellekli alaşımlar için şekil bellek etkisi ve süperelastik davranış karakteristiklerinde önemli rol oynar.

ŞBA'larda şekil bellek etkisi, mikro yapı olarak martenzit fazda çekme veya basma gerilmesi ile deformasyona maruz bırakılan alaşımın östenit faz sıcaklığına ısıtılarak başlangıçtaki makro yapısına termoelastik geri dönüşümü ile sağlanır. Şekil 1'de gerilme-birim şekil değiştirme eğrisinde (mavi renk) deformasyona maruz bırakılan alaşımın östenit faz

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

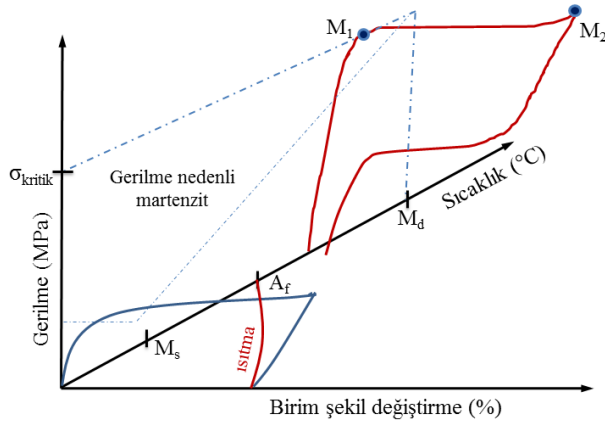
e-posta: savaş.dilibal@gedik.edu.tr

Dijital Object Identifier (DOI) : 10.2339/politeknik.339387



sıcaklığına ısıtılması ile birlikte, çok düşük artık gerilmelerle tekrar başlangıç şekline geri dönmesi görülmektedir. Şekil bellekli alaşımların bu özelliğe sahip olması birçok mekatronik sistemde geleneksel eyleyici mekanizmaları olarak bilinen hidrolik, pnömatik veya elektrik motor eyleyici sistemlerine kıyasla tercih sebebi olmasını sağlamıştır. ŞBA'larda şekil bellek etkisi ve termomekanik davranışı ile ilgili birçok deneysel çalışma ve uygulama bulunmaktadır [6-7].

ŞBA'larda süperelastik davranış, uygulanan yük altında alaşımın mikroyapıda ikizlenme mekanizması ile elastik şekil değiştirmesi ve yük kaldırıldığında tekrar elastik olarak ilk şekline geri dönmelerini içerir. Süperelastik davranışta faz dönüşümü, gerilmenin neden olduğu martenzitik mikroyapının elde edilmesi ile sağlanır. Şekil 1'de gerilme-birim şekil değiştirme eğrisinde (kırmızı renk) gösterildiği gibi, eğri üzerinde uygulanan gerilmeyle birlikte  $M_1$  noktasından itibaren ilk martenzitik plakalar oluşmaya başlar.  $M_2$  noktasına kadar mikroyapı içerisinde martenzit faz dönüşüm oranı artarak devam eder.  $M_2$  noktasına varıldığında mikroyapı tamamen martenzite dönüşür. Bu noktadan itibaren gerilme artırıldığında, düşük oranda bir elastik deformasyondan sonra martenzit yapıdaki alaşım plastik akma sınırına ulaşır ve numune kopma noktasına kadar plastik deformasyona uğrar. Alaşım üzerindeki yük,  $M_2$  noktası üzerinde daha fazla plastik deformasyona uğramadan kaldırılırsa çok düşük artık gerilmelerle östenit faza geri dönüşüm sağlanır.  $M_2$  noktası ile gerilimin sifira yaklaştığı nokta arasındaki bölgede elastik geri dönüşüm gerçekleşir. Bu ara bölgede gerilme nedeniyle martenzitik mikroyapı azalarak ana faz olarak bilinen östenitik mikroyapıya geri dönüşür [8].



**Şekil 1.** Östenitik ve martenzitik fazlarda yapılan çekme testlerinde tipik gerilme-birim şekil değiştirme diyagramları (Typical stress-strain response in austenite and martensite phases for tensile test) [6]

ŞBA'lara östenit fazda iken, Şekil 1'de  $M_d$  olarak gösterilen sıcaklık sınırına kadar uygulanan yüklerde, kayma yerine ikizlenme mekanizması ile deformasyon meydana gelir.  $M_d$  sıcaklığı üzerinde ŞBA'ya uygulanan gerilmelerde mikroyapıda kayma mekanizması ikizlenmeden daha aktif olduğundan dolayı, östenit fazdaki alaşım martenzit faza dönüşmeden plastik

deformasyona uğrar. Alaşımın tamamen östenit fazda bulunduğu  $A_f$  sıcaklığı ile  $M_d$  sıcaklığı arasındaki sıcaklık farkının ( $M_d - A_f$ ) büyük olması alaşımın yüksek sıcaklıklarda bile süperelastik davranış göstermesini sağlamaktadır.

ŞBA'ların yük altında mekanik davranışına etki eden malzeme tabanlı temel parametreler, malzemenin kimyasal kompozisyondaki nikel oranı, uygulanan sıcak-soğuk şekil verme işlemi (haddeleme, tel çekme, dövme vb.) [9], ısıtma işlemleri [10-11] ve matris yapıdaki çökelti oranıdır [12]. Süperelastik özelliğe sahip östenitik NiTi ŞBA teller kullanılarak üretilen biyomedikal uygulamalarda, alaşımın yaklaşık % 8 oranına kadar plastik deformasyona uğramadan birim şekil değiştirebilmesi en önemli etkidir. Bunun yanında alaşımın yüksek korozyon direnci ve biyouyumluluğu alaşımın biyomedikal uygulamalarda kullanımının daha da genişleyeceğini göstermektedir [13]. Literatürde, ŞBA'ların süperelastik özelliğinin biyomedikal uygulamalar yanında pasif ve yarı aktif enerji sönümleyici sistemlerinde [14], uzay/anten sistemlerinde [15], antagonistik robotik eyleyici sistemlerinde [16] kullanılması ile ilgili birçok deneysel çalışma bulunmaktadır.

Başta savunma sanayi ve biyomedikal uygulamalar olmak üzere birçok alanda kullanılan NiTi ŞBA'ların, statik ve dinamik döngüsel yorulma testleri gibi uygulamaya yönelik deneysel çalışmalar öncesinde, mekanik davranışına etki eden parametrelerin ortaya çıkarılması elde edilen sonuçların detaylı olarak karşılaştırılmasını sağlar. Bu nedenle bugüne kadar NiTi alaşımların mekanik davranışına ısıtma işlemi, kompozisyondaki Ni oranı gibi parametrelerin etkisi ile ilgili birçok deneysel çalışma yapılmıştır. Gall ve arkadaşları [17] tarafından yapılan deneysel çalışmalar, uygulanan ısıtma işlemi birlikte matriste nikel yoğunluğunun azaldığı,  $Ni_4Ti_3$  çökeltilerinin geometrik boyutlarının büyüdüğü ile deneysel çalışmalarda tespit edilmiştir. Ayrıca, yapılan araştırmada, yaşlandırma ısıtma işlemi uygulanan NiTi alaşımlarda mikroyapıda  $Ni_4Ti_3$  çökelti büyüklüklerinin artarken, matriste nikelce zengin bölgelerin hacimsel oranlarının azaldığının gözlemlendiği belirtilmiştir. DSC ve SEM sonuçlarında elde edilen çoklu martenzitik dönüşümün, çökeltilerin çevresinde meydana gelen gerilme dağılımından dolayı olduğu değerlendirilmiştir [17].

Bu çalışmada, NiTi ŞBA numunelerin çözeltiye alma ve yaşlandırma ısıtma işlemleri sonucu elde edilen DSC analizleri ve çekme test sonuçları incelenerek, elde edilen süperelastik davranış karakteristiği karşılaştırılmıştır.

## 2. MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

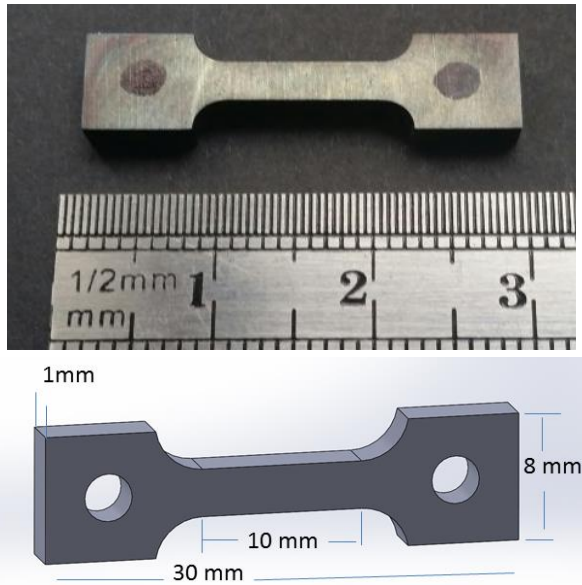
Yapılan deneysel çalışmalarda vakum indüksiyonla döküm sonucu sıcak haddeden geçirilen polikristal  $Ni_{50.8}Ti_{49.2}$  (% atomik) numuneler kullanılmıştır.  $Ni_{50.8}Ti_{49.2}$  numunelerden biri (A1) haddeleme sonucunda ısıtma işlemine maruz bırakılmadan çekme testine tabi

tutulmuştur. Diğer numune (A2) argon gazı atmosferinde vakum ortamında 1000 °C'de 2 saat çözeltiye alma ısıl işlemi sonrasında 550 °C'de 1 saat tutma ve suda soğutma yaşlandırma ısıl işlemi sonrasında çekme testine maruz bırakılmıştır.

Çekme testi için kemik (dogbone) şeklindeki numunelerin kesimi tel erozyon yöntemiyle yapılmıştır. Çekme testinde kullanılan numunelerin geometrik boyutları Şekil 2'de gösterilmiştir. Numuneler ASTM STP 1329 standartlarına uygun olarak hazırlanmıştır [18].

Süperelastik NiTi numunelerin mikro yapısında termoelastik martenzitik faz dönüşüm başlangıç ve bitiş sıcaklıkları, diferansiyel taramalı kalorimetre cihazı (DSC) ile tespit edilen ekzotermik ve endotermik ısı akışı pikleriyle belirlenmektedir. DSC analizi, malzemelerin ısıl analizi için kullanılan termoanalitik bir yöntemdir. DSC analizi ısı akışı-sıcaklık diyagramları NiTi numuneler ısıtılıp soğutulurken, soğurulan/salınan enerji miktarı belirli bir sıcaklık aralığında gerçekleştirilen ısıtma/soğutma hızına bağlı olarak bulunur.

Yapılan deneysel analizlerde Perkin Elmer Pyris 1 DSC cihazı kullanılmıştır. Numunelere ait martenzitik ve östenitik dönüşüm sıcaklıkları Perkin Elmer Pyris 1 DSC cihazı, -100 °C ile +180 °C aralığında 10 °C/dk. ısıtma/soğutma hızında kullanılarak tespit edilmiştir. DSC analizi sonucunda numunenin tamamen martenzit fazda olduğu sıcaklık olan martenzit bitiş sıcaklığı ( $M_f$ ), numunenin östenit fazdan martenzit faza geçiş sıcaklığı olan martenzit başlangıç sıcaklığı ( $M_s$ ), numunenin östenit faza geçiş sıcaklığı olan östenit başlangıç sıcaklığı ( $A_s$ ) ve numunenin tamamen östenit fazda olduğu sıcaklık olan östenit bitiş sıcaklığı ( $A_f$ ) elde edilen ısı akışı pikleri vasıtasıyla tespit edilmiştir.

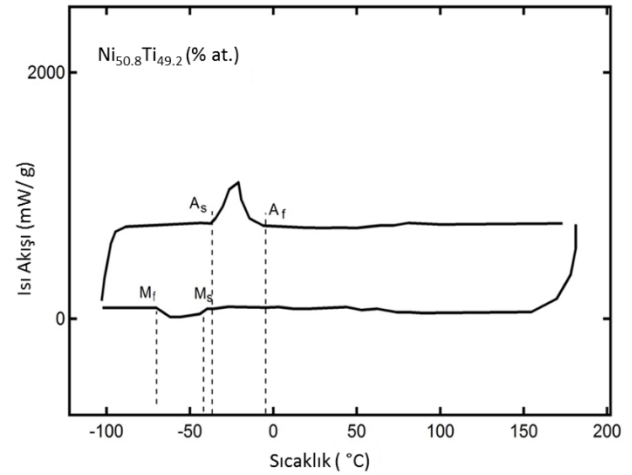


Şekil 2. Çekme testlerinde kullanılan numune ve numune boyutları (Sample and its dimension for the tension tests)

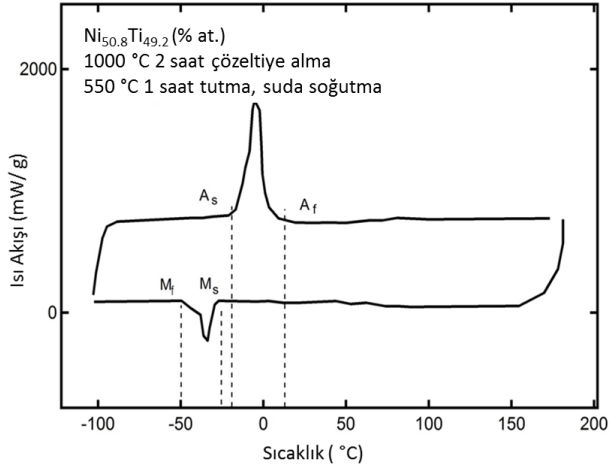
### 3. DENEYSEL SONUÇLAR (EXPERIMENTAL RESULTS)

Martenzitik ve östenitik faz dönüşüm sıcaklıklarının tespit edildiği DSC analizi sonucunda ısı akışı-sıcaklık diyagramları A1 numunesi için Şekil 3'de, A2 numunesi için Şekil 4'de gösterilmiştir. Haddelene sonunda ısıl işleme maruz bırakılmayan A1 numunesinde martenzitik ve östenitik faz dönüşüm sıcaklıkları 0 °C altında ve düşük piklerde görülmektedir. Elde edilen DSC analiz sonuçları;  $M_f = -68$  °C,  $M_s = -39$  °C,  $A_s = -32$  °C,  $A_f = -8$  °C'dir. 550 °C'de 1 saat tutma ve suda soğutma ısıl işleminden geçirilen A2 numunesine ait DSC analizinde östenitik ve martenzitik faz dönüşümlerin yüksek pikler ile oda sıcaklığına yaklaştığı tespit edilmiştir. Elde edilen analiz sonuçları;  $M_f = -50$  °C,  $M_s = -24$  °C,  $A_s = -19$  °C,  $A_f = +13$  °C'dir.

Uygulanan çekme testleri sonucunda, A1 ve A2 numunelerine ait gerilme-birim şekil değiştirme diyagramları Şekil 5'de gösterilmiştir. Elde edilen gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri çözeltiye alma ve yaşlandırma ısıl işlemlerinin mekanik davranışa etkisini göstermektedir. Numunelere ait östenit-martenzit faz dönüşümünün meydana geldiği üst plato gerilme eğrileri ile martenzit-östenit faz dönüşümünün olduğu alt plato gerilme eğrileri incelendiğinde, yaşlandırma ısıl işlemi sonunda üst plato gerilme eğrisinin daha düşük gerilme değerlerinde elde edildiği görülmektedir. Şekil 5'de görüldüğü gibi A1 numunesine ait üst gerilme platosu 510 MPa, A2 numunesine ait üst gerilme platosu 320 MPa'dır. A1 numunesine ait herhangi bir alt gerilme platosu elde edilmemesine rağmen, A2 numunesine ait alt gerilme platosunun 160 MPa olduğu görülmüştür.

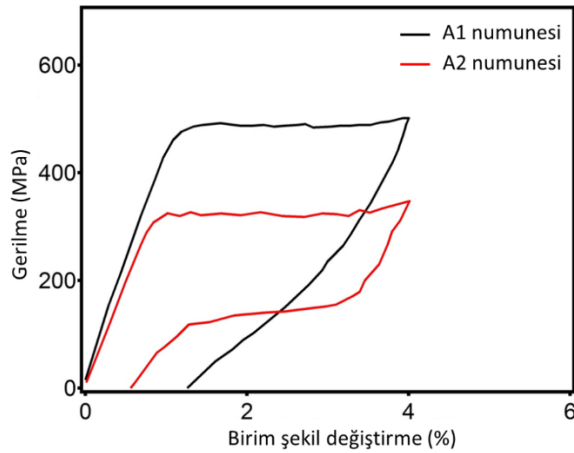


Şekil 3. A1 numunesine ait DSC analiz sonucu (DSC analysis result of A1 sample)



Şekil 4. A2 numunesine ait DSC analiz sonucu (DSC analysis result of A2 sample)

A1 ve A2 numuneleri çekme testlerinde % 4 oranında birim şekil değiştirme uygulanarak  $10^{-3}/s$  deformasyon hızında gerilmeye tabi tutulmuştur. Çekme testinin ikinci safhasında numuneler üzerindeki yük, kuvvet kontrollü olarak kaldırıldığında farklı geri dönüşüm histerisizleri ve plastik deformasyon oranları ile geri dönüşüm sağladıkları tespit edilmiştir. Çekme testleri sonucunda A1 numunesinde kalıcı birim şekil değiştirme oranı % 1.35 iken A2 numunesinde % 0.67 olduğu görülmüştür. A2 numunesine ait çekme testinde süperelastik geri dönüşümün daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 5. A1 ve A2 numunelerine ait gerilme-birim şekil değiştirme diyagramı (Stress-strain diagram for the A1 and A2 samples)

#### 4. SONUÇ (RESULT)

Bu çalışmada, endüstriyel ve biyomedikal alanda yaygın kullanım alanı bulan süperelastik NiTi ŞBA'lara uygulanan ısı işleminin, alaşımın faz dönüşüm sıcaklığı ve süperelastik davranışına etkisi incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalarda uygulanan DSC analizlerinde, çözeltiye alma ve yaşlandırma ısı işlemine maruz bırakılan NiTi ŞBA numunenin östenitik ve martenzitik faz dönüşüm sıcaklıklarının  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'den fazla yükselme gösterdiği tespit edilmiştir. Çekme testleri sonucunda

elde edilen gerilme-birim şekil değiştirme diyagramlarında, yaşlandırma ısı işleminin % 4 oranında uygulanan deformasyon sonrası kalıcı şekil değiştirme oranını % 0.67'ye indirdiği gözlemlenmiştir. Gelecekte yapılacak çalışmalarda, ŞBA'ların ısı işlemleriyle değiştirilebilen termomekanik özelliklerinin farklı endüstriyel veya biyomedikal kullanım alanlarındaki dinamik davranışına etkisinin incelenmesi, alaşıma uygulanan ısı işleminin ortaya çıkardığı sonuçların tespit edilmesi açısından faydalı olacaktır. Ayrıca, günümüzün ileri teknoloji üretim yöntemlerinden biri olan katmanlı imalat yöntemi ile üretimi yapılacak NiTi ürünler için uygun ısı işlem prosedürlerinin belirlenmesini sağlayacaktır.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Janocha H., *Adaptronics and Smart Structures*, Springer, (2007).
2. Khoo Z. X., Teoh J. E. M., Liu Y., Chua C. K., Yang S., An J., Leong K. F., Yeong W.Y. "3D printing of smart materials: A review on recent progresses in 4D printing", *Virtual and Physical Prototyping*, (2015).
3. Calkins F.T. and Mabe, J.H. "Shape Memory Alloy Based Morphing Aerostructures", *Journal of Mech. Design*, 132, 111012 (2010).
4. Ades C., Dilibal S. and Engeberg ED. "Exoskeleton for tubular shape memory alloy finger with internal cooling and a superelastic SMA spring return", *ASME Florida Conference on Recent Advances in Robotics*, Miami, Florida, (2016).
5. Puduk G.S.A., Dilibal S., Harrysson O. and Özbek S. "Comparison of the production processes of nickel-titanium shape memory alloy through additive manufacturing", *Int. Symposium on 3D Printing (Additive Manufacturing)*, Istanbul, (2017).
6. Ojha A. and Sehitoglu H., "Critical stresses for twinning, slip, and transformation in Ti-based shape memory alloys, Shape Memory and Superelasticity", *Shape Memory and Superelasticity*, (2016).
7. Rao A., Srinivasa A.R., Reddy J. N. "Design of Shape Memory Alloy (SMA) Actuators" *Springer Briefs in Applied Sciences and Technology* (2015).
8. Dilibal S., "Investigation of nucleation and growth of detwinning mechanism in martensitic single crystal NiTi using digital image correlation", *Metallography, Microstructure, and Analysis*, 2(4): 242-248, (2013).
9. Miller, D.A. and Lagoudas, D.C. "Influence of cold work and heat treatment on the shape memory effect and plastic strain development of NiTi", *Materials Science and Engineering A*, 308: 161-175, (2001).
10. Saedi, S., Turabi, A.S., Andani S.M.T., Haberland, C., Karaca, H., Elahinia M. "The influence of heat treatment on the thermomechanical response of Ni-rich NiTi alloys manufactured by selective laser melting", *Journal of Alloys and Compounds*, (2016).
11. Dilibal S., "The effect of long-term heat treatment on the thermomechanical behavior of NiTi shape memory alloys in defense and aerospace

- applications” *The Journal of Defense Sciences*, 15:2, 1-23, (2016).
12. Gall K. and Maier H.J. “Cyclic deformation mechanisms in precipitated NiTi shape memory alloys”, *Acta Materialia*, 50: 4643–4657, (2002).
  13. Shabalovskaya S.A. “On the nature of the biocompatibility and on medical applications of NiTi shape memory and superelastic alloys” *Bio-Medical Materials and Engineering*, 6(4): 267–289, (1996).
  14. Gur S. and Mishra S. K., Frantziskonis G.N. “Thermo-mechanical strain rate-dependent behavior of shape memory alloys as vibration dampers and comparison to conventional dampers”, *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, (2015).
  15. Lana, X., Leng, J. and Du, S. “Design of a Deployable Antenna Actuated by Shape Memory Alloy Hinge”, *Materials Science Forum*, 546-549: 1567-1570, (2007).
  16. Engeberg E.D, Dilibal S., Vatani M., Choi JW and Lavery J. “Anthropomorphic finger antagonistically actuated by SMA plates”, *Bioinspiration & Biomimetics*, 10(5): (2015).
  17. Gall, K., Sehitoglu H., Chumlyakov Y., and Kireeva I. “Pseudoelastic cyclic stress strain response of overaged single crystal Ti 50.8 % Ni”, *Scripta Materialia*, 40:1, 7-12, (1999).
  18. Corwin, W.R., Rosinski, S.T., Van Walle, E. (Eds.). ASTM STP 1329 - *Small specimen test techniques*, 576, (1998).



# POLİTEKNİK DERGİSİ

## JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://www.politeknik.gazi.edu.tr/index.php/PLT/index>

## Sezgisel bulanık TOPSIS yöntemi kullanarak Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirilmesi

### *Evaluation of Turkey's renewable energy using intuitionistic fuzzy TOPSIS method*

Yazar(lar) (Author(s)): Elif DAMGACI, Kurtuluş BORAN, Fatih Emre BORAN

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz:** Damgacı E., Boran K. ve Boran F. E., “Sezgisel bulanık TOPSIS yöntemi kullanarak Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirilmesi”, *Politeknik Dergisi*, 20(3): 629-637, (2017).

**To cite this article:** Damgacı E., Boran K. and Boran F. E., “Sezgisel bulanık TOPSIS yöntemi kullanarak Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirilmesi”, *Journal of Polytechnic*, 20(3): 629-637, (2017).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://www.politeknik.gazi.edu.tr/index.php/PLT/issue/archive>

**DOI:** [10.2339/politeknik.339389](https://doi.org/10.2339/politeknik.339389)

# Sezgisel Bulanık TOPSIS Yöntemi Kullanarak Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Değerlendirilmesi

Elif DAMGACI<sup>1</sup>, Kurtuluş BORAN<sup>2,\*</sup>, Fatih Emre BORAN<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Nevşehir

<sup>2</sup>Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Teknikokullar, Ankara

<sup>3</sup>Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Maltepe, Ankara

(Geliş/Received : 26.07.2016 ; Kabul/Accepted : 21.09.2016)

## ÖZ

Günümüzde hızla artan dünya nüfusu ve endüstrileşme ile enerji gereksinimi de giderek artmaktadır. Bu gereksinim ağırlıklı olarak fosil kaynaklı enerji kaynaklarından karşılanmaktadır. Son yıllarda ise fosil kaynakların azalması ile yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı Türkiye’de ve diğer dünya ülkelerinde enerji ihtiyacının karşılanması bakımından büyük önem arz etmektedir. Enerji kaynaklarının seçimi, alternatiflerin (enerji kaynağının) kriterlere göre birden çok karar verici tarafından değerlendirilmesinden ötürü bir çok kriterli grup karar verme problemi olarak görülmektedir. Bu çalışmada Sezgisel Bulanık TOPSIS yöntemi kullanılarak Türkiye için uygun yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirilmesi teknik, ekonomik, çevresel ve sosyal faktörler dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** TOPSIS, enerji, sezgisel bulanık karar verme, yenilenebilir enerji kaynakları.

## Evaluation of Turkey’s Renewable Energy Using Intuitionistic Fuzzy TOPSIS Method

### ABSTRACT

Today, energy needs is increasing with the rapid rise in world population and industrialization. The energy needs are mainly met by fossil energy sources. In recent years with the diminishing of fossil energy sources, the use of renewable energy sources has become very important for Turkey and other countries in terms of meeting energy needs. The selection of the energy sources is a multi criteria group decision making problem since alternatives are evaluated by more than one decision makers based on the criteria. In this study, the evaluation of appropriate renewable energy sources for Turkey considering technical, economic, environmental and social factors was performed by using Intuitionistic Fuzzy TOPSIS Method.

**Keywords:** TOPSIS, energy, intuitive fuzzy decision making, renewable energy.

### 1.GİRİŞ (INTRODUCTION)

21.yüzyılda dünyanın en büyük sorunlarından biri; aydınlatma, ısıtma, soğutma, ulaşım ve sanayi çalışmaları gibi günlük yaşamda her aşamada kullanılmaya ihtiyaç duyulan olmazsa olmaz enerji kaynaklarının tükenme tehlikesi ile karşı karşıya kalmasıdır. Bu yüzden enerji kaynaklarını planlı bir şekilde değerlendirmek ve buna alternatif olarak doğada bulunan yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını düzenleyebilmek amacıyla dünyada ve ülkemizde çalışmalar yapılmaktadır.

Fosil yakıtlı enerji kaynaklarının kullanımı sonucu sera gazı salınımları, bölgesel yağışlarda farklılık, yıllık ortalama sıcaklıklarının ve deniz seviyesinin yükselmesi, buzulların erimeye başlaması, küresel iklim değişikliği yaşamımızı olumsuz etkilemekte ve bunun önüne geçilmesi için yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik

araştırmalar yapılmaktadır. Dünyada fosil kaynaklı enerji kaynaklarının sınırlı ve eşit olmaması ülkelere enerji kullanımında kısıtlama getirirken, küresel iklim değişikliğine yol açmayacak şekilde Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi içerisinde ülkemizde 2009’da katıldığı Kyoto Protokolü uluslararası sözleşme ve anlaşmalar ile ülkeleri yenilenebilir enerji kaynaklarına ve enerji yatırımlarına yönlendirmiştir.

Enerji yatırım kararları doğası gereği, çok kriterli karar verme problemidir. Günümüzde, çok amaçlı karar verme yöntemleri ile ilgili birçok çalışma, enerji problemleri üzerine yoğunlaşmıştır [1]. Afgan ve Carvalho [2] sürdürülebilirlik koşulunu karşılayan enerji sistemini değerlendirmede kullanılan enerji seviyelerinin tanımlamak üzere, parametrelerin sentez ve analizi temelinde yeni ve yenilenebilir enerji teknolojilerini değerlendirmek için seçenekler ve kriterlerin seçimini sunmuştur. Son yıllarda, enerji problemleri ile ilgili karar verme yöntemlerinin bulanık kümlelerle ile çeşitlilik

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: kboran@gazi.edu.tr

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/politeknik.339389



göstermektedir. Wang vd., [3] sürdürülebilir enerji ile ilgili çok amaçlı kararları kriterler bazında objektif, sübjektif ve karma olarak değerlendirmiştir. Enerji tedarik sistem kriterlerini, teknik, ekonomik, çevre ve sosyal açıdan özetlemiştir. Beccali vd., [4] enerji planlamada, çok amaçlı karar verme yaklaşımında karar vericilere karmaşık problemleri anlama ve seçim yapma konusunda yardımcı olmak üzere, bulanık kümeler metodolojisi ile karşılaştırarak tanıtım amaçlamıştır. Haralambopoulos ve Polatidis [5], yenilenebilir enerji projelerini yenilenebilir enerji planlama sürecini, çok amaçlı karar verme yöntemlerinden PROMETHEE II metodu ile değerlendirmiştir.

Pohekar ve Ramachandran [6], enerji planlama kararları için 90'dan fazla yayını gözden geçirerek ve kullanılan en popüler karar verme yöntemlerini AHP, PROMETHEE ve ELECTRE olarak belirlemiştir. Ulutaş [7] Türkiye'nin enerji kaynakları için alternatif enerjileri değerlendirmek üzere ANP yöntemini kullanarak enerji politikası problemini analiz etmiştir.

Türkiye için alternatif enerji kaynaklarının etkin seçimi pek çok değerlendirme kriterleri dikkate alınmasının yanında alternatif kaynaklar birden çok karar verici tarafından değerlendirilmektedir. Dolayısıyla alternatif enerji kaynakları seçim problemi bir çok kriterli grup karar verme problemi olarak nitelenmektedir. Bir karar kümesi içinden karar vericilerin ve karar verme durumlarına bağlı olarak en uygun enerji kaynağını seçmek amaçlanmaktadır. Fakat bazı durumlarda alternatiflerden hiç birisinin, belirlenen tüm kriterleri en iyi düzeyde sağlaması mümkün değildir. Bu seçim problemine uygun ve belirlenen gereksinimler ve kriterler temelinde ideale en yakın çözümü üretebilmek gerekmektedir. TOPSIS metodu bu ve benzeri seçim ve sıralama problemlerine kriter temelinde en uygun alternatifin belirlenebilmesi için hem pozitif çözümü hem de negatif çözümü dikkate alan bir karar verme metodudur.

Bu çalışma ile TOPSIS metodu sezgisel bulanık ortama genişletilerek yenilenebilir enerji kaynaklarının seçim problemine uygulanması ve en elverişli enerji kaynağının belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bölüm 2'de Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli ile ilgili temel bilgilere yer verilmiştir. Bölüm 3'de sezgisel bulanık TOPSIS metodu açıklanmıştır. Bölüm 4'de sezgisel bulanık TOPSIS metodu kullanılarak yenilenebilir enerji kaynakları değerlendirilmiştir. Bölüm 5'de sonuçlar tartışılmıştır.

## 2. TÜRKİYE'NİN YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI GÖRÜNÜMÜ (VIEW OF TURKEY'S RENEWABLE ENERGY SOURCES)

Bu bölümde Türkiye'nin mevcut yenilenebilir enerji kaynakları (güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, jeotermal enerji, dalga enerjisi, biokütle enerjisi, hidrojen enerjisi ve hidroelektrik enerjisi) potansiyeli hakkında kısa ve özet bilgi verilmiştir.

### 2.1.Güneş Enerjisi(Solar Energy)

Güneş bütün evrenin temel enerji kaynağıdır, bilinen enerji kaynakları arasında en temiz ve en tükenmez kaynaklardan biridir. Dünyanın güneşten aldığı enerji toplamı bir yılda 1.5 katrilyon ( $1.5 \times 10^{15}$ ) MW/h'tir. Bu enerji miktarı, dünyada insanların 1 yılda tükettiği enerjinin tam 28000 katına eşdeğerdir Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli yıllık  $380 \times 10^9$  kilowatt-saattir. Ülkemiz coğrafi konumu nedeni ile her bölgesinde güneş enerjisinden verimli olarak yararlanılabilir. Buna bağlı olarak Türkiye'de yaklaşık 50 MW lisanssız güneş enerjisi santrali bulunmaktadır [8].

Güneş enerjisinden güneş kolektörleri, güneş santralleri ve güneş pilleri (fotovoltaik piller) olmak üzere üç şekilde yararlanılmaktadır. Türkiye'de en yaygın olarak konutlarda kullanım suyunun ısıtılması bunun yanında ihtiyaç olursa konut ısınması ve son yıllarda etkisini daha çok gösteren elektrik üretimi ile güneş enerjisi kullanılmaktadır.

### 2.2.Rüzgar Enerjisi (Wind Energy)

Rüzgar, güneş enerjisinin dünyanın sürekli değişen yüzeyinin eşit ısıtılmamasından ötürü sıcaklık, yoğunluk ve basınç farklılığından oluşan yatay hava hareketleri olarak tanımlanır[9]. Rüzgâr enerjisi; çevre üzerine olumsuz etkisi yok denecek kadar az olan yenilenebilir ve çevre dostu bir enerji kaynağıdır.

Ülkemizin 7.0 m/s'nin üzerindeki rüzgâr hızı değerlendirildiğinde kara rüzgâr potansiyeli 48000 MW iken; 6.5 m/s'nin üzerindeki rüzgâr hızı değerlendirildiğinde ise deniz rüzgâr potansiyeli 17393.20 MW'dır. Ülkemiz rüzgâr enerji santrallerinin toplam kurulu gücü 2014 yılı Temmuz ayı itibarıyla 3424.48 MW olup, kurulu gücü yüksek olan iller sırasıyla; Balıkesir (767.3 MW), İzmir (613.6 MW), Manisa (393.9 MW), Hatay (277 MW) ve Osmaniye (185 MW) olarak gerçekleşmiştir. Rüzgâr potansiyeli yüksek olan illerin kurulu gücünün de yüksek olduğu tespit edilmiştir [10].

### 2.3.Jeotermal Enerji (Geothermal Energy)

Jeotermal enerji, modern jeotermal elektrik enerjisi santrallerinde  $CO_2$ ,  $NO_x$ ,  $SO_x$  gazlarının salınımı çok düşük olduğundan temiz bir enerji kaynağı olarak değerlendirilmektedir. Jeotermal enerjiden doğal veya doğrudan yararlanılabilir. Düşük sıcaklıklı (20-70 °C) sahalar başta ısıtmacılık olmak üzere, endüstride, çoğunlukla kimyasal madde üretiminde kullanılmaktadır. Orta sıcaklıklı (70-150 °C) ve yüksek sıcaklıklı (150 °C'den yüksek) sahalar ise elektrik üretiminin yanı sıra reenjeksiyon koşullarına bağlı olarak entegre şekilde ısıtma uygulamalarında da kullanılabilir [11].

Ülkemiz, jeolojik yapı olarak Alp-Himalaya kuşağı üzerinde olup, zengin bir jeotermal potansiyele sahiptir. Bu potansiyel yaklaşık 31.500 MW civarındadır [12]. Jeotermal enerji kaynakları akışkan sıcaklığına bağlı olarak birçok alanda değerlendirilmekle birlikte ülkemizde en yaygın değerlendirme alanı bölgesel ısıtma

olmuştur. Bunun yanı sıra jeotermal kaynakların termal turizm amaçlı kullanılması ile turizme büyük katkıda bulunmaktadır.

#### 2.4. Dalga Enerjisi (Wave Energy)

Dünya yüzeyinin farklı ısınması sonucu oluşan rüzgarların deniz yüzeyinde esmesi ile meydana gelen deniz dalgalarındaki gücün diğer yenilenebilir enerji kaynaklarındakinden daha keşif olduğu hesaplanmıştır. Kullanabildiği takdirde bol ve çoğu ülkenin elde edebileceği kadar yaygındır.

En iyi dalga gücü kaynaklarından olan Kalkan açıkları için yapılan tahminler ve istatistiksel analizlerle toplanan bilgiler dalga gücü yoğunluğunun 6,6 kW/m-7,6 kW/m arasında olduğunu göstermektedir. Dalga yükseklikleri 1,21 metreye varabilmekte ve dalga periyotları 6,09 saniyeye ulaşmaktadır [13].

#### 2.5. Biokütle Enerjisi (Biomass Energy)

Biyokütle, 100 yıllık periyottan daha kısa sürede yenilenebilir, biyolojik kökenli, fosil olmayan organik madde kitlesidir. Ana bileşenleri karbohidrat bileşikleri olan bitkisel ve hayvansal kökenli tüm organik maddeler biyokütle enerji kaynağı, bu kaynaklardan elde edilen enerji ise biyokütle enerjisi olarak tanımlanır. Biyokütle enerji sistemlerinden elde edilecek ürünlerin (örn: biyogaz, biyodizel, biyoetanol, biyohidrojen, fermente gübre, gliserin vb.) elektrik, akaryakıt, tarım ve kimya sanayi gibi farklı sektörlerle de katkı sağlayacağı bilinirken, tarımsal üretimin yoğun olduğu yerlerde hem sanayi hem de kırsal kesimde başlatılacak farkındalık çalışmalarıyla bu sektörün hızla gelişeceği görülmektedir [14]. Türkiye'nin biyogaz potansiyeli 1400-2000 Btep/yıl olarak öngörülmektedir. Ocak 2012 itibarıyla EPDK'ndan lisans alıp yapımı süren biyogaza dayalı elektrik üretim tesislerinin kurulu gücü 93 MW, biyokütleye dayalı olan tesislerin kapasitesi ise 12,80 MW'dır [15].

#### 2.6. Hidrojen Enerjisi (Hydrogen Energy)

Hidrojen dünyada en basit ve en çok bulunan bir elementtir. Aynı zamanda renksiz, kokusuz, havadan 14,4 kez daha hafif ve zehirsiz bir gazdır. Yerel olarak da üretimi mümkün olan hidrojen enerjisi ayrıca kolay ve güvenli bir şekilde taşınması ile enerji kaybı az olan, her alanda kullanılabilen bir enerji türüdür. Hidrojen doğada bileşikler halinde bulunmaktadır ve en çok bilinen bileşiği sudur [16].

Ülkemiz diğer ülkelerle karşılaştırıldığında hidrojen enerjisi üretim teknolojilerinde yetersiz kalmaktadır. Teknolojik verilere ve Türkiye'nin enerji-ekonomi verilerine göre 1995-2095 yılları arasında güneş-hidrojen sistemi ile yapılabilecek yakıt üretimi ve bunun fosil yakıtlarla rekabet imkanı, özel simülasyon modeli kapsamında bilgisayar çözümleri ile araştırılmıştır. Bu ulusal modelde, hidrojen üretiminin artışı için yavaş ve hızlı olmak üzere iki ayrı seçenek ele alınmıştır. Her iki seçenekte de 2010-2015 döneminde hidrojen enerjisi maliyetinin fosil enerji maliyetinin altına düşebileceği, ancak yapılacak yerli hidrojen üretiminin 2,3 Mtep'in

altında kalacağı görülmüştür. 2020-2025 döneminde ise, yerli hidrojen üretiminin 10 Mtep'in üzerine çıkabileceği, 2015 yılından sonra ise fosil yakıt ithalatını düşürücü etki yapacağı sonucuna ulaşılmıştır [17].

#### 2.7. Hidroelektrik Enerjisi (Hydroelectric Energy)

Hidroelektrik enerji kısaca suyun hareket enerjisinin elektrik enerjisine dönüşümü olarak tanımlanmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan hidrolik enerjinin en yaygın kullanım şekli nehirler üzerinde barajlar inşa ederek suyu büyük rezervuarlarda biriktirmek ve suyun potansiyel enerjisinden yararlanarak elektrik enerjisi üretmektir. Bunun için hidroelektrik santrallerinden faydalanılır.

2016 Mart ayı enerji raporuna göre hidrolik kurulu güç dağılımı hidrolik akarsu %9 ve hidrolik barajı %26 olmak üzere toplam %35 hidrolik enerjinin payıdır.

Teknik ve ekonomik olarak değerlendirilebilecek tüm hidroelektrik potansiyelin 2023 yılına kadar elektrik enerjisi üretiminde kullanılması hedeflenmekte olup 2023 yılına kadar; 36.000 MW olan hidroelektrik potansiyelimizin tamamını kullanmayı hedeflemektedir [18].

### 3. SEZGİSEL BULANIK TOPSIS METODU (INTUITIONISTIC FUZZY TOPSIS METHOD)

Bu çalışmada TOPSIS metodu sezgisel bulanık ortama genişletilmiştir.  $A = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}$  alternatiflerin kümesi ve  $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$  kriterler kümesidir.

Karar verme grubu özdeş olmayıp  $l$  tane farklı karar vericiden oluşmaktadır. Özdeş olmayan karar verme gruplarında karar vericilerin göreceli önem dereceleri birbirinden farklıdır. Bazı karar vericiler farklı tecrübe ve bilgi birikimleri nedeniyle önem dereceleri diğer karar vericilerden ya daha az ya da daha fazla olabilmektedir.

$\lambda = \{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_l\}$  karar vericilerin ağırlık vektörü

olup  $\lambda_k \geq 0$ ,  $k = 1, 2, \dots, l$ , ve  $\sum_{k=1}^l \lambda_k = 1$  şeklindedir.

$R^{(k)} = (r_{ij}^{(k)})_{m \times n}$   $k$ . karar vericinin karar matrisi olup,  $r_{ij}^{(k)} = (\mu_{ij}^{(k)}, \nu_{ij}^{(k)}, \pi_{ij}^{(k)})$   $k$ . karar verici tarafından verilen  $i$ .alternatifin  $j$ . kriterden aldığı sezgisel bulanık değerdir.  $\mu_{ij}^{(k)}$   $k$ . karar vericiye göre  $i$ .alternatifin  $j$ . kriteri sağlama derecesi,  $\nu_{ij}^{(k)}$   $k$ . karar vericiye göre  $i$ .alternatifin  $j$ . kriteri sağlamama derecesi ve  $\pi_{ij}^{(k)}$   $k$ . karar vericiye göre belirsizlik düzeyini göstermektedir.

Verilen tanımlara bağlı olarak, Boran ve ark. [19] tarafından önerilen sezgisel bulanık TOPSIS metodu, aşağıda verilen adımlardan oluşmaktadır :

*Adım 1. Karar vericilerin ağırlıklarının belirlenmesi. (Determine the weights of decision makers.)*

Karar vericilerin önem dereceleri dilsel değişkenler olarak düşünülmüştür. Karar vericilerin ağırlıklarını belirlemek için dilsel terimler sezgisel bulanık sayılarla ifade edilmiştir.

$D_k = (\mu_k, \nu_k, \pi_k)$  k. karar vericinin önem derecesini gösteren bir sezgisel bulanık sayı olsun. k. karar vericinin ağırlığı Eş.1’de hesaplanmıştır.

$$\lambda_k = \frac{\left( \mu_k + \pi_k \left( \frac{\mu_k}{\mu_k + \nu_k} \right) \right)}{\sum_{k=1}^l \left( \mu_k + \pi_k \left( \frac{\mu_k}{\mu_k + \nu_k} \right) \right)}$$

$$\lambda_k \geq 0, \quad k = 1, 2, \dots, l \quad \text{ve} \quad \sum_{k=1}^l \lambda_k = 1 \quad (1)$$

*Adım 2. Karar vericilerin alternatiflere yönelik yapmış oldukları değerlendirmelerin birleştirilerek birleştirilmiş karar matrisinin elde edilmesi. (Construct aggregated intuitionistic fuzzy decision matrix based on the opinions of decision makers)*

Grup karar verme sürecinde, birleştirilmiş karar matrisinin elde edilmesi için tüm karar vericilerin düşüncelerinin bir bilgi kaybı olmadan grup düşüncesi olarak birleştirilmesi gerekmektedir. Bu nedenle Xu [20] tarafından önerilen IFWA Eş.2’de verilmiştir.

$$r_{ij} = IFWA_{\lambda} (r_{ij}^{(1)}, r_{ij}^{(2)}, \dots, r_{ij}^{(l)}) = r_{ij}^{(1)} \lambda_1 \oplus r_{ij}^{(2)} \lambda_2 \oplus \dots \oplus r_{ij}^{(l)} \lambda_l$$

$$= \left[ 1 - \prod_{k=1}^l (1 - \mu_{ij}^{(k)})^{\lambda_k}, \prod_{k=1}^l (\nu_{ij}^{(k)})^{\lambda_k}, \prod_{k=1}^l (1 - \mu_{ij}^{(k)})^{\lambda_k} - \prod_{k=1}^l (\nu_{ij}^{(k)})^{\lambda_k} \right] \quad (2)$$

$r_{ij} = (\mu_{ij}, \nu_{ij}, \pi_{ij}) \quad (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n)$ , R birleştirilmiş karar matrisinin elemanıdır.

$$R = \begin{bmatrix} (\mu_{11}, \nu_{11}, \pi_{11}) & (\mu_{12}, \nu_{12}, \pi_{12}) & \dots & (\mu_{1n}, \nu_{1n}, \pi_{1n}) \\ (\mu_{21}, \nu_{21}, \pi_{21}) & (\mu_{22}, \nu_{22}, \pi_{22}) & \dots & (\mu_{2n}, \nu_{2n}, \pi_{2n}) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ (\mu_{m1}, \nu_{m1}, \pi_{m1}) & (\mu_{m2}, \nu_{m2}, \pi_{m2}) & \dots & (\mu_{mn}, \nu_{mn}, \pi_{mn}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix}$$

*Adım 3. Kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesi. (Determine the weights of criteria)*

Karar probleminde her bir kriterin ağırlığı birbirine eşit değildir. Kriterlerin önem dereceleri her bir karar verici için farklı düzeylerde olmaktadır. Bu nedenle her bir karar verici tarafından kriterlere verilen sezgisel bulanık değerlerin birleştirilmesi gerekmektedir.

$w_j^{(k)} = (\mu_j^{(k)}, \nu_j^{(k)}, \pi_j^{(k)})$  k. karar vericinin j. kriter için verdiği sezgisel bulanık sayı olup, kriterlerin ağırlıkları IFWA kullanılarak Eş.3’de hesaplanmıştır.

$$w_j = IFWA_{\lambda} (w_j^{(1)}, w_j^{(2)}, \dots, w_j^{(l)}) = \lambda_1 w_j^{(1)} \oplus \lambda_2 w_j^{(2)} \oplus \lambda_3 w_j^{(3)} \oplus \dots \oplus \lambda_l w_j^{(l)}$$

$$= \left[ 1 - \prod_{k=1}^l (1 - \mu_j^{(k)})^{\lambda_k}, \prod_{k=1}^l (\nu_j^{(k)})^{\lambda_k}, \prod_{k=1}^l (1 - \mu_j^{(k)})^{\lambda_k} - \prod_{k=1}^l (\nu_j^{(k)})^{\lambda_k} \right] \quad (3)$$

$W = \{w_1, w_2, w_3, \dots, w_j\}$  kriterlerin ağırlıkları olup  $w_j = (\mu_j, \nu_j, \pi_j) \quad (j = 1, 2, \dots, n)$  dir.

Adım 4. Ağırlıklı birleştirilmiş karar matrisinin oluşturulması. (Construct aggregated weighted intuitionistic fuzzy decision matrix)

Kriterlerin ağırlıkları ve birleştirilmiş karar matrisi oluşturulduktan sonra ağırlıklı birleştirilmiş karar matrisi elde edilmiş ve Eş.4, Eş.5,’de verilmiştir.

$$R' = R \otimes W = (\mu'_{ij}, \nu'_{ij}) = \{ \langle x, \mu_{ij} \cdot \mu_j, \nu_{ij} + \nu_j - \nu_{ij} \cdot \nu_j \rangle \mid x \in X \} \quad (4)$$

ve

$$\pi'_{ij} = 1 - \nu_{ij} - \nu_j - \mu_{ij} \cdot \mu_j + \nu_{ij} \cdot \nu_j \quad (5)$$

Ağırlıklı birleştirilmiş karar matrisi

$$R' = \begin{bmatrix} (\mu'_{11}, \nu'_{11}, \pi'_{11}) & (\mu'_{12}, \nu'_{12}, \pi'_{12}) & \dots & (\mu'_{1n}, \nu'_{1n}, \pi'_{1n}) \\ (\mu'_{21}, \nu'_{21}, \pi'_{21}) & (\mu'_{22}, \nu'_{22}, \pi'_{22}) & \dots & (\mu'_{2n}, \nu'_{2n}, \pi'_{2n}) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ (\mu'_{m1}, \nu'_{m1}, \pi'_{m1}) & (\mu'_{m2}, \nu'_{m2}, \pi'_{m2}) & \dots & (\mu'_{mn}, \nu'_{mn}, \pi'_{mn}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r'_{11} & r'_{12} & \dots & r'_{1n} \\ r'_{21} & r'_{22} & \dots & r'_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r'_{m1} & r'_{m2} & \dots & r'_{mn} \end{bmatrix}$$

olup  $r'_{ij} = (\mu'_{ij}, \nu'_{ij}, \pi'_{ij}) \quad (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n)$  ağırlıklı birleştirilmiş karar matrisinin elemanıdır.

Adım 5. Pozitif sezgisel bulanık ideal çözümün ve negatif sezgisel bulanık ideal çözümün belirlenmesi. (Obtain intuitionistic fuzzy positive-ideal solution and intuitionistic fuzzy negative-ideal solution)

$J_1$  fayda kriterlerinin seti,  $J_2$  maliyet kriterlerinin seti olmak üzere,  $A^*$  pozitif sezgisel bulanık ideal çözüm ve  $A^-$  negatif sezgisel bulanık ideal çözüm olup,  $A^*$  ve  $A^-$  aşağıdaki gibi elde edilir (Eş.6 - Eş.13).

$$A^* = (r_1^*, r_2^*, \dots, r_n^*), \quad r_j^* = (\mu_j^*, \nu_j^*, \pi_j^*), \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

$$A^- = (r_1^-, r_2^-, \dots, r_n^-), \quad r_j^- = (\mu_j^-, \nu_j^-, \pi_j^-), \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

$$\mu_j^* = \left\{ \left( \max_i \{ \mu_{ij}^* \} \mid j \in J_1 \right), \left( \min_i \{ \mu_{ij}^* \} \mid j \in J_2 \right) \right\} \quad (8)$$

$$\nu_j^* = \left\{ \left( \min_i \{ \nu_{ij}^* \} \mid j \in J_1 \right), \left( \max_i \{ \nu_{ij}^* \} \mid j \in J_2 \right) \right\} \quad (9)$$

$$\pi_j^* = \left\{ \left( 1 - \max_i \{ \mu_{ij}^* \} - \min_i \{ \nu_{ij}^* \} \mid j \in J_1 \right), \left( 1 - \min_i \{ \mu_{ij}^* \} - \max_i \{ \nu_{ij}^* \} \mid j \in J_2 \right) \right\} \quad (10)$$

$$\mu_j^- = \left\{ \left( \min_i \{ \mu_{ij}^- \} \mid j \in J_1 \right), \left( \max_i \{ \mu_{ij}^- \} \mid j \in J_2 \right) \right\} \quad (11)$$

$$\nu_j^- = \left\{ \left( \max_i \{ \nu_{ij}^- \} \mid j \in J_1 \right), \left( \min_i \{ \nu_{ij}^- \} \mid j \in J_2 \right) \right\} \quad (12)$$

$$\pi_j^- = \left\{ \left( 1 - \min_i \{ \mu'_{ij} \} - \max_i \{ \nu'_{ij} \} \mid j \in J_1 \right), \left( 1 - \max_i \{ \mu'_{ij} \} - \min_i \{ \nu'_{ij} \} \mid j \in J_2 \right) \right\} \quad (13)$$

Adım 6. Pozitif ve negatif ayırım ölçümlerinin hesaplanması (Calculate of positive and negative separation measures)

Alternatifler ve pozitif sezgisel bulanık ideal çözümün ve negatif sezgisel bulanık ideal çözüm arasındaki ayırımın ölçülmesi için, Hamming uzaklık ölçümü, Euclidean uzaklık ölçümü ve bu uzaklık ölçümlerinin normalize edilmiş uzaklık ölçümleri kullanılabilir. Bu çalışmada, Hamming uzaklık ölçümü kullanılmıştır. Alternatifler ve pozitif sezgisel bulanık ideal çözüm ve negatif sezgisel bulanık ideal çözüm arasındaki ayırım ölçümleri ( $S_i^*$  ve  $S_i^-$ ) Eş.14 ve Eş.15’de hesaplanmıştır.

$$S_i^* = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n \left[ \left| \mu'_{ij} - \mu_j^* \right| + \left| \nu'_{ij} - \nu_j^* \right| + \left| \pi'_{ij} - \pi_j^* \right| \right], \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (14)$$

$$S_i^- = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n \left[ \left| \mu'_{ij} - \mu_j^- \right| + \left| \nu'_{ij} - \nu_j^- \right| + \left| \pi'_{ij} - \pi_j^- \right| \right], \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (15)$$

Adım 7. Her bir alternatif için yakınlık katsayısının hesaplanması( Calculate the relative closeness coefficient to the intuitionistic ideal solution)

Pozitif sezgisel bulanık ideal çözüm ve negatif sezgisel bulanık ideal çözüme göre  $A_i$  için yakınlık katsayısı Eş.16’deki gibi hesaplanır.

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^* + S_i^-}, \quad 0 \leq C_i^* \leq 1, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (16)$$

Adım 8. Alternatiflerin sıralanması.( Rank the alternatives)

Alternatifler, yakınlık katsayılarının büyüklüklerine göre sıralanırlar.

#### 4. SEZGİSEL BULANIK TOPSİS YÖNTEMİ KULLANILARAK TÜRKİYE'NİN YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ(EVALUATION OF TURKEY'S RENEWABLE ENERGY USING INTUTIVE FUZZY TOPSIS METHOD)

Bu bölümde Türkiye’deki yenilenebilir enerji kaynaklarını sezgisel bulanık TOPSIS metodunu kullanarak değerlendirilmiştir. Değerlendirme işleminde alternatif enerji kaynakları; güneş ( $A_1$ ), rüzgar ( $A_2$ ), jeotermal ( $A_3$ ), dalga ( $A_4$ ), biokütle ( $A_5$ ), hidrojen ( $A_6$ ) ve hidrolik ( $A_7$ ) olarak belirlenmiştir. Değerlendirme kriterleri ise literatürde sıklıkla

kullanılan: Verim ( $C_1$ ), ekserji verimi ( $C_2$ ), yatırım maliyeti ( $C_3$ ), işletme bakım maliyeti ( $C_4$ ), arazi kullanımı ( $C_5$ ), gürültü ( $C_6$ ) ve iş imkanı ( $C_7$ ) olmak üzere belirlenmiştir.

Alternatif enerji kaynakların seçimi için önerilen Sezgisel Bulanık TOPSIS metodu aşağıda verilen adımları kapsamaktadır:

Adım 1. Karar vericilerin ağırlıklarının belirlenmesi.. (Determine the weights of decision makers.)

Karar vericilerin önem dereceleri dilsel değişkenler olarak düşünülmüştür. Karar vericilerin ağırlıklarını belirlemek için dilsel terimler sezgisel bulanık sayılarla ifade edilmiştir. Bu sayılar Çizelge 1’de verilmiştir.

**Çizelge 1.** Karar vericilerin önem derecelerini belirlemede kullanılan dilsel terimler (Linguistic terms for rating the importance of criteria and the decision makers)

Dilsel Terimler	SBS
Oldukça Önemli	(0,80 ; 0,10)
Önemli	(0,50 ; 0,20)
Orta	(0,50 ; 0,50)
Önemsiz	(0,30 ; 0,50)
Oldukça Önemsiz	(0,20 ; 0,70)

Karar vericilerin önem düzeyleri ve ağırlıkları Çizelge 2’de verilmiştir.

**Çizelge 2.** Karar vericilerin değerlendirilmesi (Evaluation of decision makers)

	KV-1	KV-2	KV-3	KV-4
<b>Dilsel Terimler</b>	Oldukça önemli	Önemli	Orta	Orta
<b>Ağırlık</b>	0,345	0,267	0,194	0,194

$$\lambda_{kv_1} = \frac{\left( 0,80 + 0,10 \frac{0,80}{0,90} \right)}{\left( 0,80 + 0,10 \frac{0,80}{0,90} \right) + \left( 0,50 + 0,30 \frac{0,50}{0,80} \right) + 0,5 + 0,5} = 0,345 \quad (17)$$

$$\lambda_{kv_2} = \frac{\left( 0,50 + 0,30 \frac{0,50}{0,80} \right)}{\left( 0,80 + 0,10 \frac{0,80}{0,90} \right) + \left( 0,50 + 0,30 \frac{0,50}{0,80} \right) + 0,5 + 0,5} = 0,267 \quad (18)$$

$$\lambda_{kv_3} = \frac{0,5}{\left( 0,80 + 0,10 \frac{0,80}{0,90} \right) + \left( 0,50 + 0,30 \frac{0,50}{0,80} \right) + 0,5 + 0,5} = 0,194 \quad (19)$$

$$\lambda_{kv_i} = \frac{0,5}{\left(0,80 + 0,10 \frac{0,80}{0,90}\right) + \left(0,50 + 0,30 \frac{0,50}{0,80}\right) + 0,5 + 0,5} = 0,194 \quad (20)$$

Adım 2. Karar vericilerin alternatiflere yönelik yapmış oldukları değerlendirmelerin birleştirilerek birleştirilmiş karar matrisinin elde edilmesi. (Construct aggregated intuitionistic fuzzy decision matrix based on the opinions of decision makers)

**Çizelge 3.** Alternatiflerin değerlendirilmesinde kullanılan dilsel terimler (Linguistic terms for rating the alternatives)

Dilsel Terimler	SBS
Çok Yüksek (ÇY)	[0,90 ; 0,05; 0,05]
Yüksek(Y)	[0,80 ; 0,10 ;0,10]
Biraz Yüksek (BY)	[0,70 ; 0,20 ; 0,10]
Epey (E)	[0,50 ; 0,50 ; 0,00]
Biraz Düşük (BD)	[0,40 ; 0,50 ; 0,10]
Düşük (D)	[0,30 ; 0,60 ; 0,10]
Çok Düşük(ÇD)	[0,10 ; 0,85 ; 0,05]

Dört karar verici tarafından alternatiflerin kriterler bazında değerlendirilmesi için dilsel terimler Çizelge 3’de tanımlanmıştır. Alternatiflerin dört karar verici tarafından kriterler bazında aldıkları skorlar Çizelge 4’de verilmiştir.

**Çizelge 4.** Adayların kriterlere göre karar vericiler tarafından değerlendirilmesi (The evaluation by decision makers according to the criteria of the candidates)

ALTERNATİFLER	KRİTERLER	KV-1	KV-2	KV-3	KV-4
	C <sub>1</sub>	BD	B D	E	E
	C <sub>2</sub>	D	Ç D	D	D
	C <sub>3</sub>	E	B Y	E	E
	C <sub>4</sub>	D	D	E	Ç D
	C <sub>5</sub>	BD	D	E	D
	C <sub>6</sub>	ÇY	Y	ÇY	Y
	C <sub>7</sub>	Y	Y	BY	Y
	C <sub>1</sub>	D	Ç D	D	D
	C <sub>2</sub>	D	B D	D	D
	C <sub>3</sub>	Y	Y	Y	Ç Y

	C <sub>4</sub>	ÇD	D	ÇY	Ç D	
	C <sub>5</sub>	Y	B Y	Y	Y	
	C <sub>6</sub>	E	B Y	E	E	
	C <sub>7</sub>	BD	E	D	E	
		C <sub>1</sub>	ÇY	Y	ÇY	Ç Y
		C <sub>2</sub>	Y	B Y	Y	Y
		C <sub>3</sub>	BD	B D	D	B Y
C <sub>4</sub>		BY	Y	E	B Y	
C <sub>5</sub>		BD	E	E	B Y	
C <sub>6</sub>		ÇY	Ç Y	ÇY	Ç Y	
C <sub>7</sub>		E	E	Y	E	
	C <sub>1</sub>	D	Ç D	ÇY	Ç Y	
	C <sub>2</sub>	D	D	E	B D	
	C <sub>3</sub>	BD	D	E	E	
	C <sub>4</sub>	BD	D	D	E	
	C <sub>5</sub>	BD	E	D	D	
	C <sub>6</sub>	E	E	Y	B Y	
	C <sub>7</sub>	D	B D	D	D	
	C <sub>1</sub>	D	B Y	Y	Y	
	C <sub>2</sub>	D	B Y	Y	B Y	
	C <sub>3</sub>	BD	D	E	D	
	C <sub>4</sub>	BD	D	ÇY	D	
	C <sub>5</sub>	BD	E	E	D	
	C <sub>6</sub>	E	D	D	D	
	C <sub>7</sub>	D	D	E	E	
	C <sub>1</sub>	ÇD	Ç D	D	Ç D	
	C <sub>2</sub>	Y	B Y	ÇY	B Y	
	C <sub>3</sub>	BD	E	BY	B D	
	C <sub>4</sub>	D	D	ÇD	D	
	C <sub>5</sub>	D	D	D	D	
	C <sub>6</sub>	BD	E	D	E	
	C <sub>7</sub>	BY	Y	BY	Y	
	C <sub>1</sub>	ÇD	Ç D	D	Ç D	
	C <sub>2</sub>	D	D	ÇD	Ç D	
	C <sub>3</sub>	BD	E	ÇD	D	
	C <sub>4</sub>	D	D	E	D	
	C <sub>5</sub>	BD	E	BY	B Y	
	C <sub>6</sub>	BD	B Y	BY	E	
	C <sub>7</sub>	E	B Y	BY	E	

Grup karar verme sürecinde, birleştirilmiş karar matrisinin elde edilmesi için tüm karar vericilerin düşüncelerinin bir bilgi kaybı olmadan grup düşüncesi olarak birleştirilmesi gerekmektedir. IFWA kullanılarak dört karar verici tarafından verilen skorlar birleştirilerek birleştirilmiş karar matrisi Çizelge 5'de elde edilmiştir.

Adım 3. Kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesi.  
(Determine the weights of criteria)

Karar probleminde her bir kriterin ağırlığı birbirine eşit değildir. Kriterlerin önem dereceleri her bir karar verici için farklı düzeylerde olmaktadır. Bu nedenle her bir karar verici tarafından kriterlere verilen sezgisel bulanık değerlerin birleştirilmesi gerekmektedir.

Dört karar verici tarafından kriterlerin önem derecelerinin değerlendirilmesi için dilsel terimler Çizelge 6'de tanımlanmıştır. Kriterlerin dört karar verici tarafından verilen skorlar Çizelge 7'de verilmiştir.

$$W = \left\{ \begin{array}{l} [0,843,0,0830],[0,760,0,152],[0,715,0,174],[0,649,0,240] \\ [0,649,0,240],[0,518,0,419],[0,289,0,562] \end{array} \right\} \quad (21)$$

Çizelge 7. Kriterlerin karar vericiler tarafından değerlendirilmesi (Evaluation of the criteria by decision makers)

	KV <sub>1</sub>	KV <sub>2</sub>	KV <sub>3</sub>	KV <sub>4</sub>
C <sub>1</sub>	İyi	Çok İyi	Epeyce	Biraz İyi
C <sub>2</sub>	Epeyce	İyi	Biraz İyi	Çok İyi
C <sub>3</sub>	Biraz İyi	İyi	Epeyce	Biraz Kötü
C <sub>4</sub>	Biraz İyi	Epeyce	Kötü	İyi
C <sub>5</sub>	Epeyce	Biraz İyi	İyi	İyi
C <sub>6</sub>	Biraz Kötü	Epeyce	Çok Kötü	Biraz İyi
C <sub>7</sub>	Çok Kötü	Kötü	Epeyce	Biraz Kötü

Çizelge 5. Birleştirilmiş karar matrisi(The aggregated decision matrix)

	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>7</sub>
A <sub>1</sub>	[0.468 ;0.500]	[0.300;0.600]	[0.900;0.500]	[0.300;0.600]	[0.800;0.100]	[0.198;0.724]	[0.198; 0.724]
A <sub>2</sub>	[0.336; 0.563]	[0.300;0.600]	[0.800;0.100]	[0.418;0.532]	[0.751;0.145]	[0.843;0.083]	[0.175; 0.754]
A <sub>3</sub>	[0.500;0.500]	[0.825;0.087]	[0.437;0.455]	[0.468;0.500]	[0.432;0.518]	[0.564;0.328]	[0.255; 0.622]
A <sub>4</sub>	[0.371;0.590]	[0.673;0.230]	[0.620;0.305]	[0.378;0.544]	[0.715;0.191]	[0.214;0.705]	[0.401;0.552]
A <sub>5</sub>	[0.432; 0.518]	[0.800;0.100]	[0.518;0.419]	[0.336;0.563]	[0.432;0.518]	[0.300;0.600]	[0.619 ;0.724]
A <sub>6</sub>	[0.886; 0.057]	[0.500;0.500]	[0.900;0.050]	[0.703;0.199]	[0.300;0.600]	[0.378;0.544]	[0.579; 0.328]
A <sub>7</sub>	[0.759;0.138]	[0,378;0,544]	[0.672;0.238]	[0.300;0.600]	[0.468;0.500]	[0.723;0.175]	[0.605; 0.328]

Çizelge 6. Kriterlerin önem derecelerini belirlemede kullanılan dilsel terimler(Lingustic terms for used to determine significance importance of the criteria)

Dilsel Terimler	SBS
Çok İyi(Çİ)	(0,90 ;0,05)
İyi(İ)	(0,80 ; 0,10)
Biraz İyi(Bİ)	(0,70 ; 0,20)
Epeyce(E)	(0,50 ; 0,50)
Biraz Kötü(BK)	(0,40 ; 0,50)
Kötü(K)	(0,30 ; 0,50)
Çok Kötü(ÇK)	(0,20 ; 0,70)

Kriterlerin ağırlıkları IFWA kullanılarak hesaplanmıştır. Kriterler ağırlıkları Eş.21'de elde edilmiştir.

Adım 4. Ağırlıklı birleştirilmiş karar matrisinin oluşturulması. (Construct aggregated weighted intuitionistic fuzzy decision matrix)

Kriterlerin ağırlıkları ve birleştirilmiş karar matrisi oluşturulduktan sonra sezgisel bulanık kümelerde tanımlanan çarpım operatörü kullanılarak ağırlıklı birleştirilmiş karar matrisi Çizelge 8'de elde edilmiştir.

Adım 5. Pozitif sezgisel bulanık ideal çözümün ve negatif sezgisel bulanık ideal çözümün belirlenmesi. (Obtain intuitionistic fuzzy positive-ideal solution and intuitionistic fuzzy negative-ideal solution)

Problemde ele alınan tüm kriterler fayda kriteridir.  $A^*$  pozitif sezgisel bulanık ideal çözüm ve  $A^-$  negatif sezgisel bulanık ideal çözüm Eş.22-23'de elde edilmiştir.



**Çizelge 8.** Ağırlıklı birleştirilmiş karar matrisi(Aggregated weighted decision matrix)

	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>7</sub>
A <sub>1</sub>	[0.394; 0.542]	[0.228;0.661]	[0.644;0.215]	[0.195;0.707]	[0.535;0.316]	[0.103; 0.839]	[0.0570;0.879]
A <sub>2</sub>	[0.283; 0.600]	[0.228;0.661]	[0.572;0.256]	[0.271;0.657]	[0.503;0.350]	[0.436;0.467]	[0.0500;0.892]
A <sub>3</sub>	[0.421; 0.542]	[0.627;0.226]	[0.313; 0.550]	[0.303;0.633]	[0.289;0.634]	[0.292;0.609]	[0.0740;0.852]
A <sub>4</sub>	[0.312; 0.624]	[0.512;0.347]	[0.444; 0.426]	[0.245;0.666]	[0.478;0.385]	[0.111;0.828]	[0.116;0.803]
A <sub>5</sub>	[0.364;0.558]	[0.608;0.237]	[0.370; 0.519]	[0.218;0.680]	[0.289;0.634]	[0.155;0.767]	[0.179;0.682]
A <sub>6</sub>	[0.746; 0.136]	[0.380;0.576]	[0.644; 0.215]	[0.456;0.413]	[0.201;0.696]	[0.196; 0.735]	[0.167; 0.705]
A <sub>7</sub>	[0.640; 0.209]	[0.287;0.613]	[0.481; 0.370]	[0.195;0.707]	[0.313;0.620]	[0.374; 0.520]	[0.175; 0.705]

$$A^* = (r_1^{*}, r_2^{*}, \dots, r_7^{*}), r_j^{*} = (\mu_j^{*}, \nu_j^{*}, \pi_j^{*}),$$

$$j = 1, 2, \dots, 7 \quad (22)$$

$$A^- = (r_1^{-}, r_2^{-}, \dots, r_7^{-}), r_j^{-} = (\mu_j^{-}, \nu_j^{-}, \pi_j^{-}),$$

$$j = 1, 2, \dots, 7 \quad (23)$$

$$r_1^{*} = (0.746; 0.136) \quad r_2^{*} = (0.627; 0.226)$$

$$r_3^{*} = (0.313; 0.550) \quad r_4^{*} = (0.195; 0.707)$$

$$r_5^{*} = (0.201; 0.696) \quad r_6^{*} = (0.103; 0.839)$$

$$r_7^{*} = (0.179; 0.682)$$

$$r_1^{-} = (0.283; 0.624) \quad r_2^{-} = (0.228; 0.661)$$

$$r_3^{-} = (0.644; 0.215) \quad r_4^{-} = (0.456; 0.413)$$

$$r_5^{-} = (0.535; 0.316) \quad r_6^{-} = (0.436; 0.467)$$

$$r_7^{-} = (0.0500; 0.892)$$

Adım 6. Pozitif ve negatif ayırım ölçümlerinin hesaplanması (Calculate of positive and negative separation measures)

Alternatifler ve pozitif sezgisel bulanık ideal çözümün ve negatif sezgisel bulanık ideal çözüm arasındaki ayırım ölçümleri Çizelge 9'da verilmiştir.

Adım 7. Her bir alternatif için yakınlık katsayısının hesaplanması (Calculate the relative closeness coefficient to the intuitionistic ideal solution)

Pozitif sezgisel bulanık ideal çözüm ve negatif sezgisel bulanık ideal çözüme göre alternatiflerin yakınlık katsayıları hesaplanmış ve Çizelge 9'da verilmiştir.

**Çizelge 9.** Adayların ayırım ölçümleri ve yakınlık katsayıları(Separation measures and the relative closeness coefficient of each alternative.)

Alternatifler	$S_i^*$	$S_i^-$	$C_i^*$
A <sub>1</sub>	0,2504	0,1129	0,3107
A <sub>2</sub>	0,3139	0,0535	0,1457
A <sub>3</sub>	0,1433	0,2329	0,6191
A <sub>4</sub>	0,1765	0,1893	0,5174
A <sub>5</sub>	0,0981	0,2720	0,7350
A <sub>6</sub>	0,1581	0,2108	0,5714
A <sub>7</sub>	0,1611	0,2120	0,5682

Adım 8. Alternatiflerin sıralanması (Rank the alternatives)

Enerji kaynaklarının skorları anlamına da gelen yakınlık katsayıları Eş.4.16 kullanılarak hesaplanmıştır. En yüksek yakınlık katsayısına sahip olan alternatif en yüksek değeri olarak Türkiye'de yatırım için en verimli enerji kaynağı olup, en düşük yakınlık katsayısına sahip olan alternatif ise en düşük değeri olarak Türkiye'de yatırım yapmak için en verimsiz enerji kaynağı olduğu anlamına gelir. Alternatifler, yakınlık katsayılarının büyüklüğüne göre;  $A_5 > A_3 > A_6 > A_7 > A_4 > A_1 > A_2$  şeklinde sıralanmıştır. A<sub>5</sub> alternatifi, en uygun yenilenebilir enerji kaynağı olarak alternatifler arasından seçilmiştir.

## 5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME (RESULT AND EVALUATION)

Nüfus ve endüstrileşmedeki hızlı artış enerji için dışa bağımlı olan ülkemizde bir sorun oluşturmaktadır. Bu sorun enerji ve enerjiyi elde etmek için kullanılan kaynakları disiplinlerarası bir niteliğe taşımaktadır. Bu nitelik; enerji yöneticileri ve uzmanları için enerji teknolojilerindeki güncel gelişmeler ve yeni enerji kaynakları iken, siyaset bilimleri ve iktisat alanları için ulusal ve uluslararası enerji politikalarını, maliyet analizlerini veya temel bilimciler ve çevreciler için çevreye zarar verebilecek zararlı gazları, küresel ısınmayı, iklim değişikliği, enerjinin sürdürülebilirliği gibi konuları ön planda tutmaktadır. Mühendislik alanı ise; enerjinin teknik, ekonomik, çevre ve sosyal yapıya etkisini inceler. Yani enerji kaynağı seçimi geniş kapsamda ele alınacak bir karardır ve etkin karar verme yaklaşımını belirlemek önem arz etmektedir.

Bu çalışmada enerjinin en verimli şekilde hangi enerji kaynağından elde edilip yatırım yapılacağı teknik, ekonomik, çevresel ve sosyal açıdan verim, ekserji verimi, yatırım, maliyeti, işletme bakım maliyeti, arazi kullanımı, gürültü ve iş imkanı kriterleri göz önüne alınarak değerlendirilmiştir. Karar vericiler ile karar kriterlerinin önem ağırlıkları ve çalışmada kullanılan enerji kaynaklarının önem kriterleri dilsel değişkenlerle ifade edilmiştir. Türkiye için yedi enerji kaynağı dört karar verici tarafından Sezgisel Bulanık TOPSIS yöntemi

kullanılarak yenilenebilir enerji kaynaklarından yakınlık katsayısına göre sıralaması yüksekten düşüğe  $A_5 \succ A_3 \succ A_6 \succ A_7 \succ A_4 \succ A_1 \succ A_2$  olarak sıralanmıştır. Buna göre en yüksek  $A_5$  (0,7350) ile bioenerji olurken, en düşük  $A_2$  (0,1457) ile rüzgar enerjisi olarak belirlenmiştir. Böylece Türkiye'deki yenilenebilir enerji kaynaklarının Sezgisel Bulanık Topsis yöntemi ilk kez belirlenmiş ve yatırım yapılabilecek en verimli enerji kaynağının  $A_5$  (Bioenerji) olduğu tespit edilmiştir.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Kahraman C., Kaya I. and Cebi S., "A comparative analysis for multiattribute selection among renewable energy alternatives using fuzzy axiomatic design and fuzzy analytic hierarchy process", *Energy*, 34: 1603-1616, (2009).
2. Afgan N.H. and Carvalho M.G., "Multi-criteria assessment of new and renewable energy power plants", *Energy*, 27: 739-755, (2002).
3. Wang J.-J., Jing Y.-Y., Zhang C.-F. and Zhao J.-H., "Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13: 2263-2278, (2009).
4. Beccali M., Cellura M. and Ardente D., "Decision making in energy planning: the ELECTRE multicriteria analysis approach compared to a fuzzy-sets methodology", *Energy Conversion and Management*, 39: 1869-1881, (1998).
5. Haralambopoulos D. and Polatidis H., "Renewable energy projects: structuring a multi-criteria group decision-making framework", *Renewable Energy*, 28: 961-973, (2003).
6. Pohekar S. and Ramachandran M., "Application of multi-criteria decision making to sustainable energy planning a review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 8: 365-381, (2004).
7. Ulutaş B.H., "Determination of the appropriate energy policy for Turkey", *Energy*, 30: 1146-1161, (2005).
8. Kılıç F.Ç., "Güneş enerjisi, Türkiye'deki son durumu ve üretim teknolojileri", *Engineer & The Machinery Magazine*, 56: 28-40, (2015).
9. Sen Z., "Temiz Enerji ve Kaynakları", *Su Vakfı Yayınları*, İstanbul Teknik Üniversitesi, (2002).
10. Şenel M.C. and Koç E., "Dünyada ve Türkiye'de rüzgar enerjisi durumu-genel değerlendirme", *Engineer & The Machinery Magazine*, 56: 46-56, (2015).
11. Edwards L.M., Chilingar G., Rieke III H. and Fertl, W., "Handbook of geothermal energy", *Gulf Publishing Company*, 74, Houston (1982).
12. Arslan S., Darıcı M. and Karahan Ç., "Türkiye'nin jeotermal enerji potansiyeli". *V. Ulusal Tesilat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi*, İzmir, 21-27, (2001).
13. Sağlam M., Uyar T.S. and Göztepe İ., "Dalga enerjisi ve Türkiye'nin dalga enerjisi teknik potansiyeli", *Elektrik Mühendisleri Odası*, (2005).
14. Eryaşar G.K.A., Arıcı Ö.E.Ş. and Bayrakçı A.G., "Biyokütle enerjisine sektörel yaklaşım: İzmir örneği", *Engineer & The Machinery Magazine*, 56: 78-85, (2013).
15. Bektaş Yasin. and Gülmez Mehmet., "Biyogaz destekli yenilenebilir hibrid Sistemleri ile Enerji Üretimi", *Electronic Journal of Occupational Improvement and Research*, 2: 124-133, (2015).
16. "Yenilenebilir Enerji Kaynakları", Konya Ticaret Odası Araştırma Raporu, Konya, (2006).
17. Külekçi Ö.C., "Yenilenebilir enerji kaynakları arasında jeotermal enerjinin yeri ve Türkiye açısından önemi", *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 1: 83-91, (2009).
18. Bayrak M. and Esen Ö., "Türkiye'nin enerji açığı sorunu ve çözümüne yönelik arayışlar", *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 28, (2014).
19. Boran F.E., Genç S., Kurt M. and Akay D., "A multi-criteria intuitionistic fuzzy group decision making for supplier selection with TOPSIS method", *Expert Systems with Applications*, 36: 11363-11368, (2009).
20. Xu Z., "Intuitionistic fuzzy aggregation operators", *Fuzzy Systems, IEEE Transactions on*, 15: 1179-1187, (2007).



# POLİTEKNİK DERGİSİ

## JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://www.politeknik.gazi.edu.tr/index.php/PLT/index>

## Ankara-Kalecik kilinin genleşebilme özelliğinin araştırılması

### *Investigation of the expanded ability of Kalecik Ankara clay feature*

Yazar(lar) (Author(s)): Osman ŞİMŞEK, Murat GÖKÇE

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz:** Şimşek O. ve Gökçe M., “Ankara-Kalecik kilinin genleşebilme özelliğinin araştırılması”, *Politeknik Dergisi*, 20(3): 639-645, (2017).

**To cite this article:** Şimşek O. and Gökçe M., “Ankara-Kalecik kilinin genleşebilme özelliğinin araştırılması”, *Journal of Polytechnic*, 20(3): 639-645, (2017).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://www.politeknik.gazi.edu.tr/index.php/PLT/issue/archive>

**DOI:** [10.2339/politeknik.339390](https://doi.org/10.2339/politeknik.339390)

# Ankara- Kalecik Kilinin Genleşebilme Özelliğinin Araştırılması

Osman ŞİMŞEK\*, Murat GÖKÇE

Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 06500, Teknikokullar, Ankara

(Geliş/Received : 29.07.2016 ; Kabul/Accepted : 19.10.2016)

## ÖZ

Bazı kil çeşitleri genleşme özelliğine sahiptirler. Bunlar 1100-1300 °C arasında ısıtıldıklarında (şok yöntemi) gaz kabarcıklarıyla dolu bir kütleye dönüşürler. Genleşme esnasında gaz çıkışı ile agrega hacminde 5-6 kat artış meydana gelir. Genleşen kil agregaları hem hafif, hem de dış yüzeylerinin sinterleşme sonucu sertleşmesi nedeniyle hafif beton üretiminde tercih edilmektedir. Böylesi bir tercih nedeni, ölü yüklerinin azalması, aynı zamanda basınç dayanımlarının istenilen seviyede olması avantajıdır.

Bu çalışmada Ankara- Kalecik Tekebeli mevkiinden alınan kil örneklerini genleşmeye özelliğinin belirlenmeye çalışılmıştır. Yaklaşık 3000 m<sup>2</sup> lik kil sahasının 3 farklı noktadan 350-400 kg numune alınmış ve 1 mm' lik elekten geçirilmiştir. Elekten geçen kil su ile macun kıvamında hamur haline getirilmiştir. Hamurdan üretilen ham agregalar, 900 °C'den başlayarak 50 °C artırarak 1250 °C' ye kadar 5, 10 ve 15 dakika sürelerle ısıtılarak genleşmiş kil agregası üretilmiştir. Bu agrega ile 100x100x100 mm' lik beton örnekleri üretilerek basınç dayanımları ve birim hacim ağırlıkları incelenmiştir.

İstenilen özelliğe sahip genleşmiş kil agregası 10 dakika süre ile 1150 °C' de ısıtılarak sonuca elde edilmiştir. Üretilen agreganın, genleşme oranının % 3,2 yoğunluğunun 0,970 g/cm<sup>3</sup> olduğu ve bir birinden bağımsız boşluklardan dolayı suda yüzme özelliğine sahip olduğu görülmüştür. Genleştirilmiş kil agregalarıyla üretilen betonun 28 günlük basınç dayanımı 44,9 MPa ve birim hacim ağırlığı 1,492 g/cm<sup>3</sup> olarak bulunmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Kil, genleşmiş kil, genleşmiş agrega, hafif beton.

## Investigation of the Expanded Ability of Kalecik Ankara Clay Feature

### ABSTRACT

Some types of clay are capable of being expanded. These 1100-1300 °C when heated in (shock method), they turn into a mass full of bubbles. The volume of gas output and aggregate increases about 5- 6 times during expansion process. Expanded clay aggregates are preferred for lightweight construction materials because of both light and hard outer surface sintered. Such a choice because the reduction of dead load, but also has the advantage that the desired level of compressive strength.

This study has studied to determine the expansion behavior of the clay samples taken from the Ankara-Kalecik Tekebel locality. About 3000 m<sup>2</sup> clay pitch of 350 to 400 kg samples were taken from three different points of 1 mm were sieved off. Taken clay samples were passed through a 1mm sieve. Sieve the pastry dough was made into the clay with water.

Dough made from raw aggregates, at temperatures increasing from 900 °C 50°C to 1250°C 5 is heat treated for periods of 10 and 15 minutes expanded clays were produced this heat treatment. Concrete samples (100\*100\*100 mm) were produced with this aggregate, and their compressive strength and specific bulk density were investigated. The aggregate subjected to heat treatment in 10 minutes at 1150 °C provided the desired properties. Because of a 3.2% of the expansion rate and density of 0.970 g / cm<sup>3</sup> and the independent spaces in the aggregate, it was observed that the produced aggregates are capable of floating on water. Furthermore, 28 day compressive strength and specific bulk density of concrete produced with expanded clay aggregates were 44, 9 MPa and 1,492 g/cm<sup>3</sup>, respectively.

**Keywords:** Clay, expended clay, expended aggregate, light concrete.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Isıtıldıklarında gaz kabarcıklarıyla dolu bir kütle oluşturan killere genleşen kil adı verilmektedir. Genleşme özelliği gösteren (aktüel deniz dibi killeri, acı-su killeri, eolik çökeller, Keuper killeri, Jura ve Devoniyen yaşlı şiferton ve şistler) killer yüksek sıcaklıkta şoklama yöntemiyle genleştirilmektedir. Kil agregası şoklama esnasında gaz kabarcıklarıyla dolu bir kütleye dönüşerek hacminde 5-6

kat artış meydana gelebilmektedir. Uygulanan yüksek sıcaklık, agreganın dış kabuğunda erken sinterleşme yol açarak sert bir yüzey oluşturur. MTA Genel Müdürlüğü Genleşen Kil Etütlerine ilk defa 20-13A1 proje numarasıyla 2000 yılında başlamış olup, çalışmalar 2001 yılında da devam etmiştir. Fakat bunun dışında herhangi bir çalışmaya rastlanmamaktadır. Ülkemizde genleşen kil üretimi olmadığı gibi tüketimi de yoktur [1-3].

MTA Genel Müdürlüğü bünyesinde bir proje kapsamında GK-4 (Ankara-Kalecik), Tekebeli mevkiinde yüzeylenen siyah şistler önce grafit sonra refrakter kil ve

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: osimsek0106@gmail.com

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/politeknik.339390

şiferton açısından incelenmiş, bunların genleşen kil olduğu refrakterlik ölçümü sırasında görülmüştür. Genleşme katsayısı yüksek olan sözkonusu killerin, tektonik zonlarda fay kili şeklinde bulunduğu, geniş şist rezerv alanında yer yer gre ve kumtaşı tabakaları ihtiva ettiği gözlenmiştir. Mineralojik bileşimlerine göre genleşen kil yatakları 3 gruba ayrılır; a) Klorit, illit, kuvars ve feldspat içerenler, b) Montmorillonit, illit, kuvars içerenler, c) Kaolinit, montmorillonit, kuvars içerenler [1, 4].

Genel olarak killerin kimyasal bileşimleri; % 12-25  $Al_2O_3$ , % 50-78  $SiO_2$ , % 8-25 ise Fe, Na, K ve Mg eşdeğeri ve % 0,6-2,5 organik karbondur. Genleşme esnasında çeşitli minerallerin birbiriyle tepkimesi sonucu  $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $CO$ ,  $OH$ ,  $SO_2$  vb. gazlar ortaya çıkarlar. Genleşme özelliğine sahip killerin hepsi aynı süre içinde genleşmeyebilir. Killerin genleşme özelliğini hızlandırmak için, dizel yağı, bitüm, kireç, pencere camı, demir oksitleri, pirit vb. katkı maddeleri ilave edilir. Genleştirilmiş kil üretiminde döner ve düşey fırınlar kullanılmaktadır [4].

ABD’de genleşen kil veya şeyl üretimi yılda yaklaşık 8-9 milyon  $m^3$  arasındadır. Genleşmiş kil üreten ülkeler “Expanded, Shale Clay ve Slate Institute (ESCSI) adlı bir örgüt kurmuştur [5].

Killerin geliştirilmesinde etkin üç parametre olduğu vurgulanmaktadır; kil tane büyüklüğü, agrega tane büyüklüğü ve agreganın fırında karşılaştığı ilk sıcaklık. Genleştirilmiş kil agregalarının teknik ve fiziksel özelliklerinde önemli farklılık olabilmektedir. Ayrıca, fırın sıcaklığı ve kilin fırında kaldığı süre agrega kalitesi için önemli sonuçlara yol açmaktadır [6].

Killer geliştirilip birim hacim ağırlığı  $0,900 g/cm^3$ ’den küçük olduğu görüldükten sonra, geliştirilmiş kilden hafif agrega üretim araştırmaları hızla kazanmıştır. Geliştirilmiş kil agregası ile taşıyıcı ve ısı yalıtımı sağlayan hafif beton üretimi amaçlanmaktadır [7-9]. Japonya’da genleşen kil sektöründe X-RD, DTA analizi ile veya doğrudan kimyasal analiz yapılarak kilin genleşmeye uygunluğuna karar verilmektedir [10].

Ponza ve geliştirilmiş kil agregası ile üretilen yapı elemanlarının birim hacim ağırlıkları bir birine yakın iken basınç dayanımları oldukça farklıdır. Ponza ile üretilenin basınç dayanımı  $5 \pm 2,5 MPa$  arasında değişirken, geliştirilmiş kil agregası ile üretilen yapı elemanın dayanımı  $40 \pm 15 MPa$  arasında değişmekte. Devlet Planlama Teşkilatının (DPT) raporunda genleşmiş kil granüllerinin prefabrik konut inşaatları için çok uygun özelliklere sahiptir olduğu vurgulanmaktadır [4, 11].

Genleştirilmiş kil agregası ile normal ve kendiliğinden yerleşen hafif betonla prefabrik yapı elemanı üretilip aşındırıcı gaz ve su etkisine bırakılarak hafif betonun durabilitesi incelenmiştir [12].

Genleştirilmiş kil hamuruna alüminyum A355.0 katılarak kil hamuru içinde bir birinden bağımsız boşluk oluşumu sağlanmıştır. Bu boşluk geliştirilmiş kil agregası içinde bir birinden bağımsız hava habbeciklerinin meydana gelmesiyle yoğunluk düşüşüne yol açmıştır. Bu şekilde üretilen geliştirilmiş hafif kil agregasının

yoğunluğunun  $0,330-0,430 g/cm^3$  ve boşluk oranının % 73 ile 88 olduğu belirlenmiştir [13-15].

Vermikülit, geliştirilmiş kil ve şist gibi agregalarla üretilen betonlar, taşıyıcı hafif beton olarak kullanılırlar. Bunlar önemli ölçüde ısı yalıtım özelliği de sergilerler. Yapılarda ki taşıyıcı hafif beton ölü yükü azalmasının yanı sıra taşıyıcı elemanların, kesitlerde küçülmeden dolayı donatıda ve kullanılan malzemede de bir azalma sağlar. Hafif betonların basınç dayanımı ve elastisite modüllerinin, normal agrega ile üretilen betona göre biraz düşük olduğu bilinmektedir [16].

Arıöz ve ark [17] yaptıkları bir çalışmada; tuğla ve kiremit kiline, ağırlıkça %10 ve 20 oranında albit (sodyum feldspat) flotasyon atığı ilave etmişlerdir. Bu kil karışımını 1000, 1100, 1125, 1200 ve  $1250^\circ C$ ’ de ısl işleme tabi tutarak genleşmiş kil agregaları üretmişlerdir. Fakat üretilen agreganın su emme değerleri % 9-17, yoğunlukları  $2,25-2,55 g/cm^3$  olması sebebiyle genleşen kil agregası olabilirliği tartışılmıştır. Çalışmanın özünde aynı zamanda bir atık ürün olan flotasyon atığının değerlendirilmesi hedefi vardır [17, 18].

Genleşmiş kil agregasının yoğunluğunun diğer beton bileşenlerinden düşük olması göz önünde bulundurularak, taze betonda tane ayrışması olabileceği düşüncesiyle hiperakışkanlaştırıcı kimyasal katkı kullanılarak kendinden yerleşen beton şeklinde değerlendirilmesi tercih edilmiştir. Dolayısıyla, geliştirilmiş kil agregalarıyla kendiliğinden yerleşen beton üretimi konusunda son yıllarda birçok araştırmacı çalışma yapmıştır. Hafif beton üretiminde kullanılan katkı maddelerinin cinsleri ve oranlarının yanı sıra geliştirilmiş kil agregalarının yoğunluklarının da önemli olduğu vurgulanmaktadır. Hafif beton karışımlarına giren malzemelerle hafif betonun fiziksel ve mekanik özellikleri arasında çok farklılık görülmektedir. Farklı tasarımlarla üretilen betonların basınç dayanımının en az  $37,4 MPa$  en yüksek  $60,8 MPa$  olduğu görülmektedir. İşte bu en düşükle en yüksek arasında 2 kat fark var iken, birim hacim ağırlıkları arasında en düşükle  $0,490 g/cm^3$  ile en yüksek  $1,800 g/cm^3$  arasında 3 katı fark olduğu görülmektedir [19-21].

DPT’nin sekizinci beş yıllık planının geliştirilmiş kil raporunda; “Ülkemizin enerji kaynakları bakımından dışa bağımlı oluşu ve depreme dayanıklı binalar için hafif yapı malzemelerinin önemi göz önünde tutularak, plan dönemi içerisinde, genleşen kil yataklarımızın aranıp bulunması ve işletmeye hazır hale getirilmesi amacıyla mutlaka ulaşılmalıdır” [4] ifadesi yer almaktadır. Bu raporda belirtildiği gibi; Türkiye deprem bölgesinde olduğu için depreme dayanıklı binalar da hafif yapı malzemelerinin önemi bilinmektedir. Ölü yükü az, basınç dayanımı yüksek taşıyıcı hafif beton geliştirilmiş kil agregası ile sağlanmaktadır. Bunlar göz önünde tutularak, genleşen kil yataklarımızın bulunması aynı zamanda en ekonomik şekilde genleşmiş kil agregası üretimi amacıyla, Ankara-Kalecik Tekebeli mevki killerin genleşebilme yeteneğini sağlayan ısl işlem sıcaklığı ve süresi araştırılmıştır. Ayrıca üretilen genleşmiş kil agregası ile beton dökerek normal agrega ile kıyaslaması yapılacaktır.

## 2. MALZEME VE YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)

### 2.1. Malzemeler (Materials)

Araştırmada kullanılan kil Ankara-Çankırı D 140 karayolu 48 km' sinde (Ankara –Kalecik) Tekebeli mevkiinden temin edilmiştir. Kil numunesi alınan yerin koordinatları JPS cihazıyla  $x= 4442111$ ;  $y= 0515560$  şeklinde tespit edilmiştir. Kil rezervi yüzeylenen siyah şistlerin, yer yer gre ve kumtaşı tabakaları ihtiva ettiği gözlenmiştir.



Şekil 1. Kil sahasının ulaşım haritası (clay field of transportation map)

Örneklemede 3000 m<sup>2</sup> lik alanın 3 farklı noktasından yaklaşık 50 cm derinlikten kil numuneleri alınarak laboratuvarda harmanlanmıştır. Ham kil numuneleri elenerek, elek altına geçen malzeme hamur haline getirilerek şekillendirilmiştir. Şekillendirilen farklı boyuttaki ham kil toprakları genişletilerek elde edilen hafif agrega, kırma agrega, çimento, su, filler ve kimyasal katkı maddesi beton bileşenleri olarak belirlenmiş ve bu karışımlarla 10 cm' lik hafif ve kontrol betonları küp numuneler üretilmiştir.

### 2.2.Yöntem (Method)

Ankara, Kalecik-Tekebeli mevkiinden alınan kil, öğütülerek 1 mm elekten geçirilip, elek altı malzeme araştırmada kullanılmıştır. Elek altına geçen kil, macun kıvamına gelinceye kadar su ile karıştırılmış, kil hamuru et kıyma makinesinden 1, 2, 4, 8 ve 16 mm çapında silindir prizmalar haline getirilmiştir. Sonrasında hamur bıçakla boyu ve çapı eşit olacak şekilde kesilmiş ve hafifçe elle küreselleştirilmiştir. Küreselleştirilen taneler 105 ° C (± 5) de etüvde 24 saat kurutulmuştur.

Ortam sıcaklığında soğuyan taneler daha sonra sırasıyla 900-950-1000-1050-1100 ve 1150 °C'de ısıtılma (fırına aniden sokularak) tabi tutulmuştur.

## 3. AGREGA ÜRETİMİ VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR (AGGREGATE PRODUCTION AND EXPERIMENTAL STUDIES)

### 3.1. Kil Üzerinde Yapılan Çalışmalar (Studies Conducted On The Clay)

Sahadan alınan ham kilin kimyasal (Çizelge 1) ve XRD analizi (Şekil 1) MTA laboratuvarında yapılmıştır.

Şekil 2'de görüldüğü gibi kilde yüksek oranda kuvars minerali bulunmaktadır. Talk mineralinin varlığı, kil hammaddesinin kimyasal analiz raporunda ki Mg O = %

3,23 bulunmasıyla da doğrulanmaktadır. Kildeki grafit, malzemeye siyah rengini vermektedir.

Kil sahasından alınan ham kil numunesi Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İnşaat Mühendisliği Beton- Malzeme Laboratuvarına getirilmiştir. Ham kil ve kilden üretilen agrega ve beton üzerinde yapılacak fiziksel ve mekanik testlerin yapılmasında söz konusu laboratuvarın yararlanılmıştır. Laboratuvara getirilip harmanlanan yaklaşık 350-400 kg ham kil numuneleri öğütülerek 1 mm elekten geçirilmiştir. Elekten geçen ham kil, su ile macun kıvamına getirilmiştir. Macun kıvamına gelen kil hamuru özel modifiye edilmiş et kıyma makinesinden 1, 2, 4, 8 ve 16 mm çapında silindir prizmalar haline getirilmiştir. Prizma haline getirilen kil hamuru bıçakla boyu ve çapı eşit olacak şekilde kesilmiştir. Bu kesilen silindirik parçalar hafifçe elle küreselleştirilmiştir. Küreselleştirilen taneler 105° C (± 5)' de etüvde 24 saat kurutulmuştur (Şekil 3). Etüv kuru taneler daha sonra sırasıyla 900°C, 950°C, 1000°C, 1050°C, 1100°C, 1150°C, 1200°C ve 1250°C' de şok yöntemiyle 5, 10 ve 15 dakika süre ile ısıtılma tabi tutulmuştur.

Çizelge 1. Kil hammaddesinin kimyasal analizi (The chemical analysis of raw clay)

Kimyasal Bileşim	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	Diğerleri
(%)	1,15	3,23	21,60	51,40	4,41	0,7	0,8	7,01	0,4	9,30

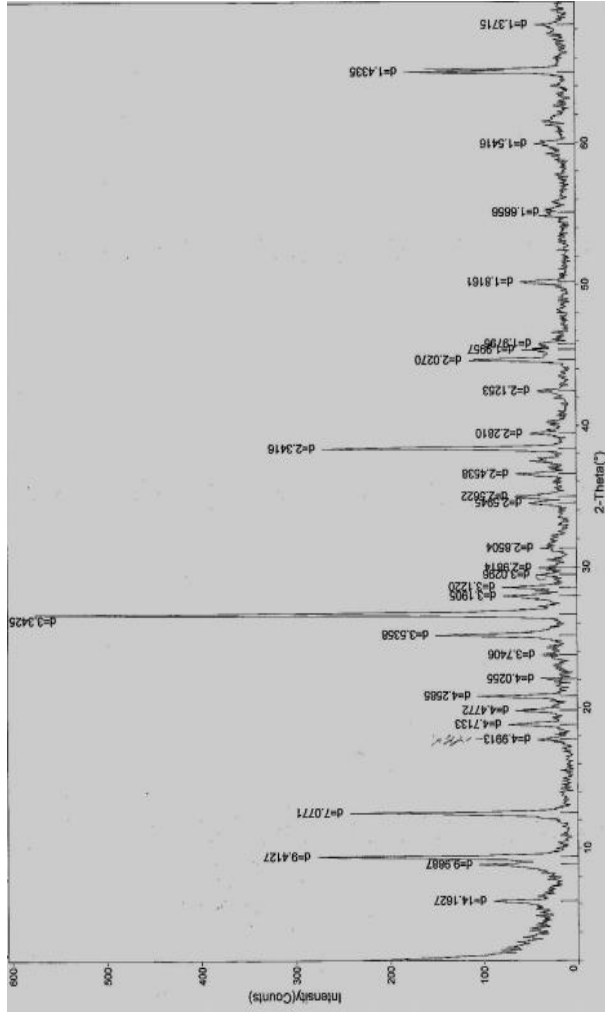
d= 14,1627 Smektit,  
d= 3,1905 feldspat,

d= 9,9887 illit,  
d= 3,1220 Talk,

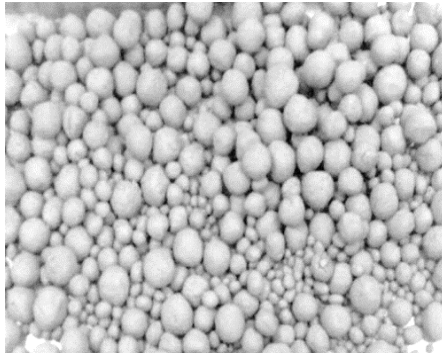
d= 9,4127 Talk,  
d= 3,0296 Kalsit,

d= 3,3425 Kuvars  
d= 1,6656 Grafit





Şekil 2. Ham kilin mineralojik analizi ( mineralogical analysis of the raw clay )



Şekil 3. Etüv kurusu kil agregaları ( Oven-dry clay aggregates)

Bu farklı sıcaklıklarda farklı sürelerde ısıl işleme tabi tutulan agrega numuneleri ile deneme üretimi

Çizelge 2. Kil genişirme süreci (Clay expansion process)

Fırın ısısı (° C)	900	950	1000	1050	1100	1150	1200	1250
	5	5	5	5	5	5	5*	5**
	10	10	10	10	10	10*	10**	10**
	15	15	15	15	15	15*	15**	15**

\*Suda batma testinde suda yüzmüştür. Diğerleri batmıştır.

\*\* Kısmi olarak kömürleşme görülmüştür.

yapılmıştır. Deneme üretiminde agreganın suda yüzmesine göre değerlendirme yapılmıştır. Bu değerlendirmeye göre yoğunluğu  $1 \text{ g/cm}^3$  den küçük olan dolayısı ile hacim genişmesi olan agregalar beton üretiminde tercih edilmiştir. Suda yüzme özelliği genişmiş kil agregası taşıyıcıta esas alınmıştır. Çizelge 2' de deneme üretimi için uygulanan sıcaklıklar ve fırında kalma süreleri görülmektedir.

Suda yüzen genişmiş kil agregalarının birim hacim ağırlıkları ve genişleme oranları (hacim artışları) saptanmıştır. Numunelerde  $1150 \text{ }^\circ\text{C}$ 'ye kadar çok az genişleme görülmüştür. 5 dakika süre ile  $1150 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de işleme tabi tutulan kil agrega numunesinin bu süreç sonunda hacmi yaklaşık olarak 0,85 katı kadar artmıştır. 10 ve 15 dakika ile  $1150 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de işleme tabi tutulan kil agrega numunesinin ise ısıl işlem sonrası genişleme oranının sırasıyla 3,2 ve 3,5 kat arttığı belirlenmiştir. Genleşen kil agregalarının ısıl işlem sonrası oluşan sinterleşme ve genişmesi iri tanelerde gözle fark edilirken, ince tanelerde bu söz konusu değildir. Numunelerde  $1150 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de ki ısıl işlem sonrası agrega örneklerinin su emme kapasiteleri ve kompozite değerleri, ASTM C 127-12 [22 ] ve C 128-15[23] standartların da belirtilen esaslara göre belirlenmiş olup, elde edilen sonuçlar Çizelge 3'te sunulmuştur.

Ayrıca, agrega tanelerinin dış yüzeyindeki sinterleşme gözle görülür haldedir. Bu dış kabuktaki sinterleşme ve dış yüzey sertliği iri tanelerde daha nettir.  $1200 \text{ }^\circ\text{C}$ ' de ki kil numunesinde 5 dakika sonrasında ki ısıl işlem ile genişleme oranı 3,8'dir. Aynı sıcaklıkta 10 ve 15 dakika süreç ve  $1250 \text{ }^\circ\text{C}$  sıcaklıktaki ısıl işleme tabi tutulan agrega numunelerinde kısmi kömürleşme meydana gelmiştir.



Şekil 4. Genleşmiş kil agregalar ve suda batma testi (Expanded clay aggregates and water penetration test)

Genleşmiş kil agregalarının soğutulma işlemi sonrasında ki dış kabuktaki genişleme ve sinterleşme durumu açık olarak göz ile görülebilmektedir. Dış yüzeyde sert bir kabuk oluşurken, iç merkeze doğru gidildikçe 1–200

mikron çapında birbirinden bağımsız gözenekler oluşmaktadır. Genleşmiş kil agregalarının genleşerek suda yüzdüğü görülmüştür (Şekil 4).

Genleşmiş kil ve kırma agregaların tane boyutu analizi TS EN 933-1,2012 (EN) [ 24] 'e göre yapılmış ve Çizelge 3' de verilmiştir.

**Çizelge 3.** Agregaların tane dağılımı ve teknik özellikleri (Particle size distribution and technical properties of aggregates )

	Kırma agregası		Hafif agregası	
	İnce agregası (%) geçen	İri agregası (%) geçen	İnce agregası (%) geçen	İri agregası (%) geçen
16	100	99	100	98
8	100	36	100	48
4	95	6	100	2
2	37	0	46	0
1	3	0	5	0
Su emme (%)	1,53	2,61	10,27	17,63
Komposite (%)	76,12	83,54	20,16	18,08
Porozite (%)	23,88	16,46	79,84	81,92
Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	2,68	2,75	0,91	0,97

Yapılan araştırmalarda yaklaşık olarak hafif agregaların su emme değerlerince agregada % 18±2 iken, iri agregada % 28±2 civarlarında olması beklenmektedir [11]. Söz konusu değerler ortalama değerlerdir. Su emme agreganın yüzey şekli, gözenek yapısı, granülometrisi, tane şekline ve yüzey yapısına bağlı olarak değişmektedir. Agregası tanelerinin porozite değeri ya hacimce su emme oranından ya da hacim kütle ve kütlece su emme oranı değerinden hesaplanabilmektedir.

### 3.2. Beton Tasarımı ve Beton Üretimi (Concrete Design and Production)

Beton tasarımında iki agregası grubu, çimento, filler malzeme ve hiperakışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Beton üretiminde geliştirilmiş kil ve kırma agregası tane grupları 1-4 mm ve 4-16 mm olarak seçilmiştir. Bağlayıcı bileşen CEM I 42,5 R çimentosudur. Filler(dolgu) malzeme olarak, yoğunluğu 2,83 g/cm<sup>3</sup> ve tane boyutu 0-1 mm olan mermer tozu kullanılmıştır. Filler malzemesinin % 98'i 1mm'lik elekten geçmiştir. Filler malzemesinin kimyasala analizi Ankara LİMAK çimento fabrikasında yaptırılmış ve Çizelge 4'te verilmiştir.

**Çizelge 4.** Çimento ve fillerin kimyasal analizi (The chemical analysis of cement and marble powder )

Kimyasal Bileşim	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	SO <sub>3</sub>	D.leri	K.K
CEM I 42,5 N (%)	21,08	5,36	3,64	62,38	2	0,82	0,5	2	1,32	0,90
Filler(%)	5,72	-	0,03	53,23	0,25	-	-	-	0,19	40,58

Yoğunluğu 1,149 g/cm<sup>3</sup>, pH'ı 7,39 olan akışkanlandırıcı kimyasal katkı maddesi çimento dozajının % 1,5'i oranında kullanılmıştır.

Kendiliğinden yerleşen betonun yayılma kıvamı 550 mm olarak seçilmiştir [25]. C30/37 kontrol beton sınıfı için karışım TS 802 'ye göre hesaplanmıştır [26]. Hafif ve kontrol betonunun 1 m<sup>3</sup> için karışıma girecek malzeme

miktarları Çizelge 5' te verilmiştir. Görüldüğü gibi karışımda sadece agregası miktarı değiştirilmiştir. Hafif ve kontrol betonunun arasındaki değişken sadece agregalardır. Bu değişkene bağlı olarak agreganın beton üzerindeki etkisi incelenmiştir.

**Çizelge 5.** Malzeme karışım oranları (Material mixing ratios)

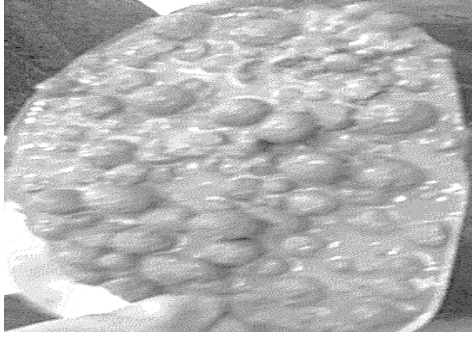
Malzemeler	Kontrol Beton	Hafif Beton
Çimento (kg)	400	400
Su (dm <sup>3</sup> )	220	220
İnce agregası (1-4) (kg)	920	591
İri agregası (4-16) (kg)	613	413
Filler (0-1 mm) (kg)	175	175
Kimyasal katkı (% 1,5) (kg)	6	6

Betonun basınç dayanımları için üç adet 100mm'lik küp örnek hazırlanıp TS EN 12390-3 [ 27]'e göre test edilmişlerdir.

Kontrol ve hafif betonda, hiperakışkanlaştırıcı katkının kohezyonunu arttırmak ve segregasyonunu (ayırışma) önlemek için filler kullanılmıştır. Ayrıca, çok ince taneler beton iç yapısındaki mikro gözenekleri doldurarak kompositeyi artırılabilceği düşünülmüştür.

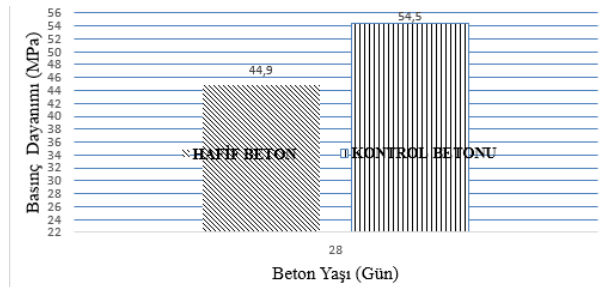
İri ve ince agregası geliştirilmiş kil agregasıyla 400 dozajlı ve %1,5 oranında hiperakışkanlaştırıcı katkı

kullanılarak yapılan taze betonun görünümü Şekil 4'te dir. Taze betonun yayılma kıvamı ortalama olarak 520 mm olurken hafif betonunun birim hacim ağırlığı 1,900 g/cm<sup>3</sup> kontrol betonunun birim hacim ağırlığı 2,500 g/cm<sup>3</sup> olarak bulunmuştur.



Şekil 5. Kil agregası ile üretilmiş taze betonun görünümü (Fresh concrete produced with clay aggregate)

Sertleşmiş betonun 28 gün basınç dayanımının aritmetik ortalamalarının basınç dayanımı- yaş ilişkisi Şekil 6’te görülmektedir. Buradan, kontrol betonunda olduğu gibi beton yaşı arttıkça basınç dayanımının arttığı görülmektedir.



Şekil 6. Basınç Dayanımı (Compressive Strength)

Kontrol betonu ile geliştirilmiş kil agregası ile üretilen hafif betonun basınç dayanımı karşılaştırıldığında 28 günlük basınç dayanımının sırasıyla % 17 daha düşük olduğu görülmüştür. Sertleşmiş betonun 28 günlük birim hacim ağırlıklarının kontrol betonunda 2,400 g/cm<sup>3</sup> iken hafif betonda 1,492 g/cm<sup>3</sup> oldukları bulunmuştur. Her iki betonun birim hacim ağırlıkları karşılaştırıldığında hafif betondaki değer yaklaşık % 36 daha düşük olduğu görülmektedir. Genleştirilmiş kil agregalarıyla üretilen betonun basınç dayanım testi sonrası kopan parçalarda kırılmaların agregalardan olduğu ve çimento pastasıyla dış yüzeyinin yapışmasının iyi olduğu görülmektedir (Şekil 7).



Şekil 7. Sertleşmiş hafif betonun iç görünümü (Interior view of the hardened light weight concrete)

Genleşmiş kil agregasının dış yüzey sinterleşmesi sayesinde sertliğin artırılarak agreganın daha yüksek mukavemete erişiminin mümkün olacağı düşünülmektedir. Çünkü daha sert dış kabuğun agrega ve beton basıncına dayanmasına olumlu etkisi literatürde belirtilmektedir.

Genleşmiş kil agregalarının yoğunlukları düşük olduğundan, çok katlı yapılarda ve asma köprü tabliyelerinde kullanılmaları ölü yük açısından büyük avantaj sağlayacaktır. Genleştirilmiş kil agregalarının yüzey şeklinin küresel olmasının yüksek kompasite ve hazır beton için de pompalardan kolay akış imkânı getirecektir.

Deprem ve yangına karşı dayanıklı yapılar söz konusu olduğunda istenilen binalarda genleşmiş kil agregası kullanımı göz önüne alınmalıdır. Genleşen kil agregalarda birim hacim ağırlığı düşük basınç dayanımı yüksek hafif yapı malzemesi üretilmesi yapı ve yapı elamanlarının ölü yüklerini azalttığı gibi gözenekli agrega yapısı sayesinde ısı yalıtımı açısından büyük avantaj sağlayacaktır.

#### 4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

- ✓ Ankara-Kalecik-Tekebeli mevkiinden elde edilen killerin laboratuvar çalışmaları sonucunda 1150 °C’de 10 ve 15 dakika süre ile pişirilmesi sonucunda genleşebilen kil agregası üretilebileceği görülmüştür.
- ✓ Genleşen killerin 1100 °C de 10 dakika ısıtılma işlemi sonrası iri agreganın yoğunluğu 1.630 g/cm<sup>3</sup> olarak saptanmış ancak suya battığı görülmüştür.
- ✓ 1150 °C de 10 dakika ısıtılma işlemi tabii tutulan agregalarda genleşme oranı % 3, 2 kat artmıştır. Aynı zamanda yoğunluk 0.970 g/cm<sup>3</sup> olarak bulunmuş ve suda yüzmeye sağlanmıştır.
- ✓ 1150 °C de 15 dakika ısıtılma işlemi tabii tutulan agregalarda genleşme oranı % 3, 5 kat artmıştır. Bu hacim artışını sağlayan agregaların yoğunlukları 0,950 g/cm<sup>3</sup> olarak bulunmuş ve suda yüzmesi söz konusudur.
- ✓ Genleştirilmiş kil agregası kullanımıyla yapılan betonun taze ve sertleşmiş birim hacim ağırlıkları yaklaşık 1, 900 g/cm<sup>3</sup> ve 1, 492 g/cm<sup>3</sup> civarındadır.
- ✓ Genleştirilmiş kil agregalarıyla üretilen betonun 28 günlük basınç dayanımı 44,9 MPa olarak bulunmuştur.
- ✓ Kontrol betonun taze ve sertleşmiş birim hacim ağırlıkları yaklaşık 2,500 g/cm<sup>3</sup> ve 2,400 g/cm<sup>3</sup> civarındadır. Ayrıca kontrol betonun 28 günlük basınç dayanımı 54,5 MPa olarak bulunmuştur.

**KAYNAKLAR (REFERENCES)**

1. Kıral N. “Genleşen kil aramaları”, *MTA Raporu*, 1-25, (2002).
2. Akyürek B. “Ankara-Elmadağ-Kalecik dolayının jeolojisi”, *MTA Ens. Derleme*, 7298: 5-30, (1982).
3. Özgüven A. “Genleşen kil agregası üretimi ve endüstriyel olarak değerlendirilmesi”, *Doktora Tezi*, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, (2009).
4. Seyhan İ., “Genleşen killer”, DPT. Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı Madencilik ÖİK Raporu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Yapı Malzemeleri III (Ponza-Perlit-Vermikülit-Flogopit-Genleşen Killer) Çalışma Grubu Raporu *DPT: 2617 - ÖİK: 628*, 69-72, Ankara, (2001).
5. <http://www.soci.org/>. “The Manufacture and Uses of Expanded Clay Aggregate”, Xavier Kestemont, *Argex*. Thursday 15 November SCI HQ, London, (2012).
6. Özgüven A. and Gündüz L., “Examination of effective parameters for the production of expanded clay aggregate”, *Cement & Concrete Composites*, 34, 781–787, (2012).
7. <http://www.laterlite.com/products/afterlite-plus-expanded-clay/> tarih (2.09.2015)
8. Schmidt H., “Blähton-stoffliche voraussetzung, ignungsuntersuchungen und keramische bindung” , *Handbuchder Keramik*, Freiburg, (1984).
9. Kromer H. and Potshigmann, W., *Blähton, Handbuchder Keramik*, Gruppe II M, VerlagSchmid. GmbH. Freiburg, (1977).
10. Fujii, N. Sudo, S. and Kuriyama, M., “An outline of expanded shale resources in japan”, *Bull. Geol. Survey of Japan*, 29: 217–232, (1978).
11. Gündüz L., Bekar M. and Şapcı N., “Genleşen killerin doğal yapı malzemesi olarak değerlendirilmesi”, *Mühendislik Jeolojisinde Çağdaş Uygulamalar Sempozyumu*, Denizli, 465-476, (2006).
12. Hubertová M. and Hela R., “durability of lightweight expanded clay aggregate concrete”, *Procedia Engineering*, 6(5): 2 – 6, (2013).
13. Bazzaz Bonabi S., et al. “Fabrication of metallic composite foam using ceramic porous spheres-light expanded clay aggregate via casting process”, *Materials and Design*, 64: 310–315, (2014).
14. Boudaghpour S. and Hashemi S.,H., “A study on light expanded clay aggregate (leca) in a geotechnical view and its application on greenhouse and green roof cultivation”, *International Journal of Geology*, 4(2): 59-63, (2008).
15. Arioz O., et al. “a preliminary research on the properties of lightweight expanded clay aggregate”, *J Aust Ceram Soc*, 44: 23–30, (2008).
16. Şimşek O., “Beton ve beton teknolojisi, (çeşitleri- özellikleri- deneyleri). gözden geçirilmiş 5. baskı”, *Seçkin Yayıncılık A.Ş.*, Ankara, (2016).
17. Arıöz Ö., et al., “Kömür kullanarak geliştirilmiş kil agregası üretimi”, *IV. Uluslar Arası Katılımlı, Seramik, Cam, Emaye Sır Ve Boya Semineri*, 1054-1062, (2007).
18. Bogas J. A., et al. “Self-compacting light weight concrete produced with expanded clay aggregate”, *Construction and Building Materials*, 35, 1013–1022, (2012).
19. Hubertová M., and Hela R., “Durability of light weight expanded clay aggregate concrete”, Concrete and Concrete Structures 2013 Conference, *Procedia Engineering*, 65: 2 – 6, (2013).
20. Gündüz L., Şapcı N., Bekar M., ve Yorgun S., “Genleşmiş kilin hafif agregası olarak kullanılabilirliği”, *Kibited* 1(2): 43 – 49, (2006).
21. Wu, Z.,Zhang, Y., Zheng, J. And Ding, Y., “An experimental study on the workability of self-compacting light weight concrete”, *Construction and Building Materials*, 23(5): 2087–2092, (2009).
22. ASTM C 127-12. “Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate”, *ASTM Current Edition Approved April 1*, (2012).
23. ASTM C 128-15. “Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate”, *ASTM Current Edition Approved Jan. 1*, (2015).
24. TS EN 933-1, 2012 (EN) “Agregaların geometrik özellikleri için deneyler bölüm 1: tane büyüklüğü dağılımı tayini- eleme metodu”, *TSE*, Ankara, 1-10, (2012).
25. “The European Guidelines for Self-Compacting Concrete Specificatio Production and Use”, *Self Compacting Concrete European Project Group*, Germany, 10-25, (2005).
26. TS 802, “Beton Karışım Hesapları”, *TSE*, 4-19, (2016).
27. TS EN 12390-3, “Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini”, *TSE*, 1–12, (2010).



# POLİTEKNİK DERGİSİ

## JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://www.politeknik.gazi.edu.tr/index.php/PLT/index>

## Modification of hardening parameter for computational plasticity

### *Hesaplamaalı plastizite için sertleştirme parametresinin modifikasyonu*

Yazar(lar) (Author(s)): Mehmet Hanifi DOĞRU

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz:** Doğru M. H., “Modification of hardening parameter for computational plasticity”, *Politeknik Dergisi*, 20(3): 647-650, (2017).

**To cite this article:** Doğru M. H., “Modification of hardening parameter for computational plasticity”, *Journal of Polytechnic*, 20(3): 647-650, (2017).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://www.politeknik.gazi.edu.tr/index.php/PLT/issue/archive>

**DOI:** [10.2339/politeknik.339392](https://doi.org/10.2339/politeknik.339392)

# Modification of Hardening Parameter for Computational Plasticity

Mehmet Hanifi DOĞRU\*

Gaziantep University, Aeronautics and Aerospace Faculty, Pilotage Department,  
Gaziantep / TURKEY

(Received : 29.07.2016 ; Accepted : 22.12.2016)

## ABSTRACT

Hardening can be defined as increase in the strength of a material due to plastic deformation. A type of hardening, which is work hardening, is performed under the cold working conditions. In metallic solids permanent change of shape is generally carried out on a microscopic scale by defects called dislocations which are created by stress. In addition, Hardening parameter is so critic for the computational plasticity. In this study, the hardening parameter, which has emerged from the variation of yield surface equation, has been considered. It has been isolated from hardening rule and investigated that the parameter must have a unique value for any hardening rule.

**Keywords:** Hardening parameter, hardening rule, elasto-plasticity.

## Hesaplamaalı Plastizite İçin Sertleştirme Parametresinin Modifikasyonu

### ÖZ

Sertleştirme plastik deformasyondan dolayı malzemenin mukavemetindeki artış olarak tanımlanmaktadır. Sertleştirme türlerinden biri olan pekleşme soğuk şekil değiştirme sonucunda oluşmaktadır. Metallerdeki kalıcı şekil değişimi, genellikle malzemenin içyapısındaki gerilmelerin dislokasyon adı verilen mikroskobik ölçüdeki kusurlara neden olmasından kaynaklanmaktadır. Buna ek olarak sertleştirme parametresi hesaplamaalı plastizite için oldukça önemlidir. Bu çalışmada akma yüzey denkleminde ortaya çıkan sertleştirme parametresi dikkate alınmıştır. Bu parametrenin her sertleştirme kuralı için özgün bir değere sahip olduğu sertleştirme kuralından izole edilmiş ve incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Sertleştirme parametresi, sertleştirme kuralı, elasto-plastizite.

### 1. INTRODUCTION

Computational plasticity requires to describe plastic strain and stress increments. This can be proceeded by means of the following conditions in the associated plasticity; the instantaneous yield surface must be convex, the plastic strain increment vector must be on the outward normal to the instantaneous yield surface and the rate of change of plastic strain must be a linear function of the rate of change of the stress [1]. These conditions can be satisfied under the assumption of the elasto-plastic behaviour of a given material under multiaxial stresses obtained in terms of its uniaxial behaviour.

Due to the classical theory of plasticity, elasto-plastic equations are derived based upon the yield criteria, flow rules and hardening rules. Yield Criteria can be defined by the yield surfaces. Yield surface can be generally expressed as follows:

$$F(\underline{\sigma}, \underline{k}) = 0 \quad (1)$$

Where  $\underline{k}$  is the hardening vector, which is generally a function of the plastic strain  $\underline{\varepsilon}_p$  and a scalar hardening

parameter  $\kappa$ , i.e.

$$F(\underline{\sigma}, \underline{\varepsilon}_p, \kappa) = 0 \quad (2)$$

There are several yield criteria in the literature; the most popular ones for metals and alloys are Von Mises and Tresca's criteria. The yield surfaces of Von Mises and Tresca can be defined by referring to Von Mises's and Tresca's equivalent stresses  $\bar{\sigma}$  and uniaxial yield stresses  $Y$  in the following equation:

$$F = \bar{\sigma} - Y = 0 \quad (3)$$

Flow Rule, which defines the plastic strain increment  $d\underline{\varepsilon}_p$ , may be expressed by Nayak and Zienkiewicz [2] for associative plasticity as follows:

$$d\underline{\varepsilon}_p = d\lambda \frac{\partial F}{\partial \underline{\sigma}} = d\lambda \underline{a} \quad (4)$$

Where  $d\lambda$  is proportionality constant,  $F$  is the yield surface function and  $\underline{a}$  is the variation of  $F$  with respect to stresses.

The total strain increment during plastic flow is expressed as follows:

\*Corresponding Author

e-mail: mhdogru@gantep.edu.tr

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/politeknik.339392



$$d\underline{\varepsilon} = d\underline{\varepsilon}_e + d\underline{\varepsilon}_p \quad (5)$$

Where  $d\underline{\varepsilon}_e = D^{-1}d\underline{\sigma}$  and  $D$  is the elastic stress-strain matrix. So, it can be deduced from Equations (4) and (5) as follows:

$$d\underline{\sigma} = D d\underline{\varepsilon} - d\lambda D \underline{a} \quad (6)$$

Considering the Equation (2) and by differentiation it can be deduced that

$$dF = \left(\frac{\partial F}{\partial \underline{\sigma}}\right)^t d\underline{\sigma} + \left(\frac{\partial F}{\partial \underline{\varepsilon}_p}\right)^t d\underline{\varepsilon}_p + \frac{\partial F}{\partial \kappa} d\kappa = 0 \quad (7)$$

where the last two terms are called as hardening term and it has been re-defined and expressed as follows:

$$A = -\left[\left(\frac{\partial F}{\partial \underline{\varepsilon}_p}\right)^t d\underline{\varepsilon}_p + \left(\frac{\partial F}{\partial \kappa}\right) d\kappa\right] / d\lambda \quad (8)$$

where

$$d\lambda = \frac{\underline{a}^t D}{A + \underline{a}^t D \underline{a}} d\underline{\varepsilon} \quad (9)$$

So, the Equation (7) is simplified to the following equation

$$dF = \underline{a}^t d\underline{\sigma} - A d\lambda = 0 \quad (10)$$

where the  $A$  is the slope in the equivalent stress-equivalent plastic strain curve and it may be called as hardening parameter.

## 2. MODIFIED HARDENING PARAMETER

The definition and the derivation of hardening parameter is quite standard procedure in classical plasticity theory. But hardening parameter of each case should result with a different formulation and value due to different definitions of yield surfaces in different hardening rules. So, it is required a new interpretation and derivation to handle this problem. For this purpose, the well-known derivations of hardening rules may be given to see the difficulty mentioned above.

### 2.1 Hardening Rules

#### 2.1.1 Isotropic hardening

This rule states that the instantaneous yield surface will deform uniformly during plastic deformation. So, the yield surface can be formulated as follows:

$$F(\underline{\sigma}, Y(k)) = 0 \quad (11)$$

where,  $k$  is a function of the plastic strain history. If the history of the process is taken into account throughout the effective plastic strain  $\varepsilon_p$ , then this type of hardening is called as strain hardening. If the hardening parameter depends on the total plastic work, this is known as work hardening. In this study, work hardening material will be used in the analysis so  $k$  may be defined as the amount of plastic work done during plastic deformation as follows:

$$dk = dW_p = \underline{\sigma}^t d\underline{\varepsilon}_p \quad (12)$$

If the uniaxial loading case is considered, then the plastic work may be found. Thus

$$dk = dW_p = Y d\bar{\varepsilon}_p \quad (13)$$

where  $d\bar{\varepsilon}_p$  is uniaxial plastic strain increment.

Last two equations are accepted as equivalent to each other with an acceptable correlation between the uniaxial and multiaxial cases, i.e.

$$dk = Y d\bar{\varepsilon}_p = d\underline{\varepsilon}_p^t \underline{\sigma} = d\lambda \underline{a}^t \underline{\sigma} \quad (14)$$

From yield surface function, applying the Euler's theorem [2] and using Equation (14), the hardening and flow parameters are defined as follows:

$$dk = -Y \frac{\partial F}{\partial Y} d\lambda \quad (15)$$

and

$$d\lambda = -\frac{\partial \bar{\varepsilon}_p}{\left(\frac{\partial F}{\partial Y}\right)} \quad (16)$$

The Equation (11) is the implicit form of the yield surface but it may be expressed in the following explicit form for the uniaxial case:

$$F(\underline{\sigma}, Y) = f(\underline{\sigma}) - Y = 0 \quad (17)$$

Apply Euler's theorem to Equation (17) then the following form is obtained:

$$\left(\frac{\partial F}{\partial \underline{\sigma}}\right)^t \underline{\sigma} - Y = 0 \quad (18)$$

so

$$d\kappa = f(\underline{\sigma}) d\lambda \quad (19)$$

and

$$d\lambda = d\bar{\varepsilon}_p \quad (20)$$

The parameter  $A$  given by Equation (8) can be represented in the following form for isotropic hardening

considering  $\frac{\partial F}{\partial \underline{\varepsilon}_p} = \underline{0}$  :

$$A = \left(\frac{\partial F}{\partial Y}\right)^2 H' \quad (21)$$

where  $H' = \frac{dY}{d\varepsilon_p}$  and  $\frac{\partial F}{\partial Y} = 1$

So, the parameter  $A$  is given for isotropic hardening as follow:

$$A = H' \quad (22)$$

$$F(\underline{\sigma} - \underline{\alpha}, Y_r) = 0 \tag{29}$$

**2.1.2 Kinematic hardening**

The Bauschinger effect can be represented by the

Where  $\underline{\alpha}$  is the translation of the centre of the yield

$$\bar{\sigma} = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{2\bar{\sigma}}{3d\lambda} \left[ (d\varepsilon_x^p - d\varepsilon_y^p)^2 + (d\varepsilon_y^p - d\varepsilon_z^p)^2 + (d\varepsilon_z^p - d\varepsilon_x^p)^2 + \frac{3}{2} (d\gamma_{xy}^p)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \tag{37}$$

i.e.

$$d\lambda = \frac{\sqrt{2}}{3} \left[ (d\varepsilon_x^p - d\varepsilon_y^p)^2 + (d\varepsilon_y^p - d\varepsilon_z^p)^2 + (d\varepsilon_z^p - d\varepsilon_x^p)^2 + \frac{3}{2} (d\gamma_{xy}^p)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \tag{38}$$

Kinematic Hardening model and for this case, it is assumed that the yield surface translates in the stress space as a rigid body.

surface.  $\sigma - \alpha = \sigma_r$  is the reduced stress vector which is measured from the centre of the translated yield surface.  $Y_r$  is the current reduced yield stress in simple tension. The plastic strain increment is expressed as follows:

The yield surface for kinematic hardening is expressed as follows:

$$F(\underline{\sigma} - \underline{\alpha}, Y_o) = 0 \tag{23}$$

$$d\underline{\varepsilon}_p = d\underline{\varepsilon}_p^{(i)} + d\underline{\varepsilon}_p^{(k)} \tag{30}$$

where  $\underline{\alpha}$  is a shift vector for the translation of the initial yield surface,  $Y_o$  is the initial yield stress. The shift vector increment has been defined by Prager [3] as follows:

Where the superscripts show the isotropic and kinematic models' contribution, and

$$d\underline{\alpha} = C d\underline{\varepsilon}_p \tag{24}$$

$$d\underline{\varepsilon}_p^{(i)} = M d\underline{\varepsilon}_p \tag{31}$$

where C is a parameter which characterises the hardening behaviour of material.

$$d\underline{\varepsilon}_p^{(k)} = (1 - M) d\underline{\varepsilon}_p \tag{32}$$

The Ziegler's modification [4] of the Prager hardening rule has been given as follows:

where  $M$  is a material parameter in the range  $-1 \leq M \leq 1$  which defines the share of isotropic hardening in the total amount of hardening. The yield surface for mixed hardening can be written in following form:

$$d\underline{\alpha} = d\mu(\underline{\sigma} - \underline{\alpha}) \tag{25}$$

Parameters  $d\lambda$ ,  $A$ ,  $d\mu$  and  $C$  can be defined as follows for kinematic hardening:

$$F = F(\underline{\sigma} - \underline{\alpha}, (\underline{\varepsilon})_p^{(k)}, Y_r) \tag{33}$$

$$d\lambda = \frac{1}{C} \frac{\underline{a}' d\underline{\sigma}}{\underline{a}' \underline{a}} \tag{26}$$

and the hardening parameters are given by:

$$d\lambda = \frac{d\underline{\varepsilon}_p^{(i)}}{M \left( \frac{\partial F}{\partial Y_r} \right)} \tag{34}$$

$$d\mu = \frac{C \underline{a}' d\underline{\varepsilon}_p}{Y_o} \tag{27}$$

$$A = C \underline{a}' \underline{a} \tag{28}$$

where  $C = \frac{2}{3} H'$

It is valid for a uniaxial case and it may be extendable for multiaxial cases [5].

**2.1.3 Mixed hardening**

Allen, D. H [6] gives a combination of isotropic and kinematic work hardening rules, which has been used by Guzelbey [1] as mixed hardening for the correctness of isotropic hardening with kinematic hardening to predict the Bauschinger effect during cyclic loadings.

and  $d\mu$  of Ziegler's model

$$d\mu = \frac{C(1 - M) \underline{a}' d\underline{\varepsilon}_p}{-Y_r \frac{\partial F}{\partial Y_r}} \tag{35}$$

$$A = (1 - M) C \underline{a}' \underline{a} + M \left( \frac{\partial F}{\partial Y_r} \right)^2 \frac{dY_r}{d\underline{\varepsilon}_p^{(i)}} \tag{36}$$

Mixed hardening model simulates the yield surface deforms (isotropic hardening) and translates (kinematic hardening) in the space, and the yield surface equation is given by:

where  $\frac{dY_r}{d\underline{\varepsilon}_p^{(i)}} = H'(\sigma, \varepsilon)$  and

$$C = \frac{2}{3} \frac{dY_r}{d\underline{\varepsilon}_p^{(i)}} = \frac{2}{3} H' \text{ for the special case of a}$$

material with an idealized stress-strain diagram.

**2.2 Suggested Modification**

The effect of hardening on yield surface is represented in

Equation (9) by means of the term  $-Ad\lambda$ , for all hardening models reviewed in this study. The parameter  $d\lambda$ , can be obtained by means of Equation (10). For the special case of Von Mises yield criterion, substituting from Equation (4) into (3), it can be deduced that

which represents a measure of equivalent plastic strain increment, valid for different hardening models. However, the parameter  $A$  has different definitions depending upon the hardening model used, i.e.

$$\begin{aligned}
 A &= H' && \text{(isotropic)} \\
 A &= \frac{2}{3} H' \underline{a}^t \underline{a} && \text{(kinematic)} \\
 A &= MA^{(i)} + (1 - M)A^{(k)} && \text{(mixed)}
 \end{aligned}
 \tag{39}$$

For the case of monotonic increasing load, where different models are supposed to give similar answers, some fluctuation in results has been observed because of the variation in  $A$  definitions. This suggests that for a more consistent elasto-plastic analysis with different hardening conditions, the parameter  $A$  should be same definition and independent from hardening rules employed for the analysis. Hence, by considering a uniaxial case,

$$\underline{a}^t = \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \end{bmatrix} \tag{40}$$

i.e.

$$\underline{a}^t \underline{a} = \frac{3}{2} \tag{41}$$

So the Equation (41) shows that the kinematic and mixed hardening parameter equals to  $H'$  which is plastic modulus [7], then the hardening parameter  $A$  will be the plastic modulus as follows:

$$A = H'$$

for all models of hardening rules.

### 3. RESULT AND DISCUSSION

In this study, the hardening parameter  $A$  emerged from the variation of the yield surface equation of elasto-plasticity. The hardening parameter has been improved and expressed as a unique value for different hardening rules. Thus, it may improve the results of elasto-plastic analyses based upon different hardening rules.

#### NOMENCLAUTURE

k	hardening vector
$\varepsilon_p$	function of the plastic strain
$\kappa$	scalar hardening parameter

$\sigma$	Von Mises` s and Tresca's equivalent stresses
Y	uniaxial yield stresses
d $\lambda$	proportionality constant
F	yield surface
$\underline{a}$	variation of F
d $\varepsilon_p$	plastic strain increment
d $\underline{\varepsilon}_e$	elastic strain increment
d $\underline{\varepsilon}$	total strain increment
$\underline{D}$	elastic stress-strain matrix
A	hardening parameter
$\varepsilon_p$	plastic strain
d $W_p$	plastic work done during plastic deformation
$H'$	isotropic hardening
Y <sub>0</sub>	initial yield stress
$\alpha$	shift vector for the translation of the initial yield surface
C	characterises the hardening behaviour of material.
d $\mu$	kinematic hardening
Y <sub>r</sub>	current reduced yield stress
M	material parameter

#### REFERENCES

1. Guzelbey I.H., "Finite and boundary element analysis of elasto-plastic finite strain contact problems". *Ph.D. Thesis*, Cranfield University, Cranfield Institute of Technology, (1992).
2. Nayak G.C. and Zienkiewicz O.C., "Elasto-Plastic stress analysis:a generalisation for various constitutive relations including strain softening", *IJNME*, 113-135, (1972).
3. Prager W., "The theory of plasticity: a survey of recent achievements", *Proc. Instn Mech. Engrs*, 169: 41-57, (1955).
4. Ziegler H., "A modification of prager's hardening rule", *Quarterly Applied Mathematics*, 17: 55-65, (1959).
5. Pifko A., Levine H.S., Armen H., Levy A. "Nonlinear Analysis of Structures". NASA CR-2351, NASA, Washington D.C., (1974).
6. Allen, D. H. "A note on the combined isotropic-kinematic work hardening rule". *IJNME*, 15: 1724-1728, (1980).
7. Zienkiewicz O.C., Taylor L.C. "The Finite Element Method", *Mc Graw Hill*., (1991).



# POLİTEKNİK DERGİSİ

## JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://www.politeknik.gazi.edu.tr/index.php/PLT/index>

## Mermer fabrikalarında kullanılan büyük çaplı dairesel testerelerin (S/T) performans analizi

### *The performance analysis of large diameter circular saws (S/T) used in natural stone plants*

Yazar(lar) (Author(s)): Deniz TUMAÇ, Sahand TOLOUEI

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz:** Tumaç D. ve Tolouei S., “Mermer fabrikalarında kullanılan büyük çaplı dairesel testerelerin (S/T) performans analizi”, *Politeknik Dergisi*, 20(3): 651-662, (2017).

**To cite this article:** Tumaç D. and Tolouei S., “Mermer fabrikalarında kullanılan büyük çaplı dairesel testerelerin (S/T) performans analizi”, *Journal of Polytechnic*, 20(3): 651-662, (2017).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://www.politeknik.gazi.edu.tr/index.php/PLT/issue/archive>

**DOI:** [10.2339/politeknik.339393](https://doi.org/10.2339/politeknik.339393)

# Mermer Fabrikalarında Kullanılan Büyük Çaplı Dairesel Testerelerin (S/T) Performans Analizi

Deniz TUMAÇ, Sahand TOLOUEİ\*

İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, Ayazağa Kampüsü, 34469, Maslak, İstanbul

(Geliş/Received : 01.08.2016; Kabul/Accepted : 11.10.2016)

## ÖZ

Büyük çaplı dairesel testerelerin (S/T) bloklardan plaka kesim performansları bugüne kadar birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Yapılan araştırmalarda özellikle doğal taşların fiziksel ve mekanik özellikleri ile S/T makinesinin kesim performansı arasındaki ilişkiler irdelenmiştir.

Bu çalışmada, Muğla Milas beyaz mermeri, Afyon şeker mermeri, Antalya kireçtaşı, Milas açık beyaz mermeri ve Marmara koyu gri mermerinin fabrikalarda S/T performans ölçümleri detaylıca yapılmıştır. S/T kesimi yapılan bloklardan numuneler alınarak tek eksenli basınç dayanımı (UCS), Brazilian çekme dayanımı (BTS), Cerchar aşındırıcılık indeksi (CAI), Shore scleroscope sertliği, Schmidt çekici sertliği ve yoğunluk deneyleri ISRM ve ASTM standartlarına uygun olarak yapılmıştır. S/T makinelerinin plaka üretim performanslarının tahmini için basit ve çoklu regresyon analizleri yapılarak yeni bir performans tahmin modeli önerilmiştir. Basit regresyon analizlerinde kayacın hangi mekanik özelliğinin S/T performansına etkisi olduğu belirlenmiştir. Yapılan çoklu regresyon analizlerinde doğal taşların UCS ve CAI değerleri kullanılarak yeni bir istatistiksel model önerilmiştir. Önerilen modelin güvenilirliği literatürden elde edilen S/T kesim performanslarıyla irdelenmiştir. Karşılaştırmalar ve doğrulamalar önerilen modelin S/T plaka üretim tahmini için güvenilir bir araç olduğunu göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Büyük çaplı dairesel testere (S/T), doğal taş, fiziksel ve mekanik özellikler, regresyon analizi.

## The Performance Analysis of Large Diameter Circular Saws (S/T) used in Natural Stone Plants

### ABSTRACT

Performance prediction of large diameter circular saws (S/T) has been studied by many researchers. Previous studies were generally based on investigating the relationship between physical and mechanical properties of natural stone and sawability performance of S/T.

Sawability performance measurements of S/T for Muğla Milas white marble, Afyon sugar marble, Antalya limestone, Milas light white marble and Marmara dark grey marble are performed in natural stone factories. Uniaxial compressive strength (UCS), Brazilian tensile strength (BTS), Cerchar abrasivity index (CAI), Shore scleroscope hardness, Schmidt hammer hardness and density tests were carried out on block samples according to ISRM and ASTM standards. Simple and multiple regression analysis were conducted

and a new model is suggested in order to predict the performance of S/T. Simple regression analysis is performed to determine the dominant properties on S/T performance. A new statistical model is suggested as a result of multiple regression analysis by using the UCS and CAI values of natural stones. The reliability of suggested model is tested against performance of large diameter circular saws obtained from literature. Verifications and comparisons showed that the model suggested in this study may be a very useful and reliable tool for prediction of areal slab production rates for S/T.

**Keywords:** Large diameter circular saw (S/T), natural stone, physical and mechanical properties, regression analysis.

### 1.GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüzde doğal taşların kullanım alanlarının artması sebebiyle doğal taşlara olan talep hızla artmaktadır. Ocakta başlayan blok üretimi ve akabindeki fabrikada yapılan boyutlandırma ve nihai ürün oluşturma işlemlerinin analizi her geçen gün önem arz etmektedir.

Fabrikalarda bu amaç için kullanılan makinelerden biri olan; büyük çaplı dairesel testereler (S/T) çeşitli boyutlarda plaka üretimi yapabilme özelliğine sahiptir ve doğal

taş üretim sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır. S/T makineler, doğal taş sektöründe kullanılan diğer makinelerle göre tek operatörle daha düşük maliyetlerde mükemmel üretim performansı elde etme özelliğine sahiptir. Söz konusu makinelerden çıkan plakalar genelde muntazam bir şekilde olup yeniden şekillendirmelerine gerek duyulmamaktadır. Ancak bu makinelerinde kullanım sınırlamaları vardır ve genellikle doğal taşların geoteknik özelliklerine bağlıdır.

Uygun bir makine seçimi ve makine performansı genelde doğal taşın fiziksel ve mekanik özellikleri, keski özellikleri, ilerleme (penetrasyon) oranı ve keski tüketim oranına bağlıdır. Makine performansı, doğal taş

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: sahandd.tl@gmail.com

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/politeknik.339393

fabrikalarının üretim planı ve maliyet tahmini faaliyetlerini doğrudan etkilemektedir. S/T makinelerin performans tahminine ilişkin birçok araştırma yapılmıştır. Doğal taş kesme makineleri hakkında yapılan çalışmalardan bazıları şu şekilde özetlenebilir: Burgess [1], regresyon analizleri sonucunda kesilebilirliğin tahmini için bir model geliştirmiş ve bu modelin girdi parametreleri olarak kayaçların mineralojik kompozisyonu, sertliği, tane boyutu ve aşınmaya karşı olan dirençlerini kullanmıştır. Modelin güvenilirliği ise istatistiksel analizler ile test edilmiştir. Hausberger [2], yaptığı çalışmalar sonucunda iyi tanımlanmış klivaj düzlemlerindeki mineral oranlarının artmasının doğal taş kesim işlemlerini kolaylaştırdığı sonucuna varmıştır. Ceylanoglu ve Gorgulu [3], kayaç özellikleri ve plaka üretim oranları ile spesifik kesme enerji değerleri arasında karşılaştırmalar yapmışlardır. Bu karşılaştırmalar sonucunda istatistiksel olarak anlamlı sonuçlar elde etmişlerdir. Brook [4], yaptığı çalışmalar sonucunda Brook sertliği olarak adlandırılan yeni bir indeks test geliştirmiştir. Wie vd [5], bulanık mantık yöntemini kullanarak granitlerin kesilebilirliği ile ilgili yeni bir notlandırma sistemi geliştirmişlerdir. Yeni yapılacak projelerde kullanılacak olan dairesel testerenin seçimi için kayaçların bazı mekanik ve petrografik özelliklerinin bilinmesinin yeterli olduğunu bildirilmiştir. Gunaydin vd [6], regresyon analiz yöntemini kullanarak doğal taşların dairesel testerele ile kesilebilirliklerini literatürde var olan kırılma indeksleri ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak karbonatlı kayaçların kesilebilirliklerinin bazı kırılma indeksleri ile doğrudan tahmin edilebileceğini göstermişlerdir. Kahraman vd [7], eğrisel regresyon analizleri kullanarak büyük çaplı dairesel testerelelerin plaka üretim oranının tahmini için bir model geliştirmişlerdir. Karbonatlı kayaçların kesim performansının tahmininde kullanılacak olan bu modelin girdi parametreleri olarak; Schmidt çekici sertliği, nokta yük dayanımı, darbe dayanımı ve P dalga hızı değerlerini kullanmışlardır. Norling [8], yaptığı çalışmada taşın kesilebilirliği ve petrografik özellikleri arasında anlamlı bir korelasyon katsayısı belirlemiş ve tane boyutunun kuvars içeriğine nazaran, kesilebilirliğini daha çok etkileyebileceği kanısına varmıştır. Clausen vd [9], yaptıkları akustik emisyon testleriyle kayaçların kesilebilirlik sınıflandırmasının mümkün olduğunu göstermişlerdir. Zhang ve Lu [10], elmas kesicilerin optimum dizayn ve dönmesiyle ilgili bir araştırma yapmışlardır. Yapılan çalışmanın sonucunda elde edilen verilerin dairesel testerelelerin dizaynında ve kullanımında en iyi yöntem olduğunu belirtmişlerdir. Kahraman vd [11], yapay sinir ağı modellemesi kullanarak karbonatlı kayaçların kesilebilirliğinin tahmini için bir model geliştirmiş ve bu modelin aslında istatistiksel modellerden daha güvenilir olduğunu öne sürmüşlerdir. Delgado vd [12], pembe İspanyol granitinin sertlik ve kesilme oranını araştırılmış ve bu ikisinin arasında güçlü bir istatistiksel ilişki olduğunu bulmuşlardır. S/T makinelerin performansı Tutmez vd [13], tarafından yapılan bir çalışmada değerlendirilmiştir. Bu çalışmada çok faktörlü bulanık mantık yöntemiyle yapı taşlarının kesilebilirliği

mükemmel, iyi ve zayıf olarak üç farklı grupta sınıflandırılmıştır. Yazarlar ileriki çalışmalarda doğal taşların kesiminde en uygun dairesel testerenin ve performansının değerlendirilebilmesi için bu sınıflandırmanın güvenle kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Bu amaç için geliştirdikleri sınıflama sistemindeki fiziksel ve mekanik deneylerin yapılmasının yeterli olduğu görüşünü beyan etmişlerdir. Ribeiro vd [14], kayaçların kesilebilirliğiyle makine özellikleri, kesme derinliği, kayaç özellikleri arasındaki ilişkileri araştırmışlardır. Mineralojik benzerliği çok yakın olan iki granit kesim hızlarının bir birinden çok farklı olduğunu belirlemişlerdir. Bu sonuçlara ulaşılmasının sebeplerini ise Knoop sertliği, Amsler aşınması ve granitlerin petrografik özellikleri ile açıklamışlardır. Kahraman ve Gunaydin [15], sekiz farklı karbonatlı kayaç üzerinde S/T makinelerin performansını araştırmış, sertlik indeksi ve saatlik üretim ( $m^2/h$ ) miktarı arasında doğrusal bir ilişki olduğunu vurgulamışlardır. Guney [16], Muğla ilçesinde bulunan beş farklı mermer ocağından alınan numuneler üzerinde araştırmalar yapmış ve saatlik plaka üretimi ( $m^2/h$ ), kayacın yüzey sertliği ve mineral tane boyutu arasında birkaç istatistiksel model geliştirmiştir. Tumaç [17], yaptığı araştırmada S/T makinelerinin performans tahminini yapmak üzere 2 farklı model önermiştir. Söz konusu çalışmayla Schmidt çekiciden elde edilen deformasyon katsayısı ve kayacın CAI değeri kullanılarak oluşturulan abaktan S/T makine performansı yapabilmek mümkün olmuştur. Tumaç [18], S/T performans tahmini için çeşitli sahalardan alınan numuneler üzerinde UCS, CAI, porozite ve yoğunluk deneyleri yaparak yapay sinir ağı uygulamasından yararlanmış ve bu uygulamanın yeterliliği üzerinde tartışmıştır.

Araştırmacılar kazı makinelerinin performans tahmini için basit testlerden elde edilen kayaç özelliklerini kullanarak bir metot bulmakla sıkça ilgilenmektedirler. Geçmişte yapılan araştırmalar kayaçların fiziksel ve mekanik özelliklerinin kesilebilirlikle ilişkisi olduğunu göstermiş olsa da bu konuda yapılan çalışmalar daha da geliştirilebilir. Geçmişte yapılan araştırmalardan elde edilen bulguların ışığında, bu çalışmada, UCS, BTS, CAI, Shore scleroscope sertliği, Schmidt çekici sertliği ve yoğunluk gibi kayaçların fiziksel ve mekanik özellikleri kullanılarak S/T makinelerin performansı (alansal net kesim hızı) arasında istatistiksel bir ilişki araştırılmıştır. Yapılan çift kuyruklu istatistiksel analizler sonucunda F-test ve t-test analizlerinden geçen % 90 güven aralığına sahip yeni model literatüre sunulmuştur. Önerilen modelin güvenilirliği literatürde daha önceden yayınlanmış olan S/T performanslarıyla da irdelenmiştir.

## 2. MALZEME VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

Laboratuvar çalışmaları olarak fabrikalardan elde edilen Muğla Milas beyaz mermeri, Afyon şeker mermeri, Antalya kireçtaşı, Milas açık beyaz mermeri ve Marmara koyu gri mermeri numuneleri üzerinde yoğunluk, tek eksenli basınç dayanımı (UCS), Brazilian çekme dayanımı



(BTS), Shore scleroscope sertliği ve Schmidt çekici sertliği deneyleri ISRM [19] standartlarına uygun olarak yapılmıştır. CAI deneyleri ise ASTM [20] standardına uygun olarak yapılmıştır.

Minimum ölçüleri 25x25x30 cm olan doğal taş numuneleri doğal taş fabrikalarından laboratuvarlara getirilmiştir. Karot alma makinesi ve küçük çaplı dairesel testere kullanılarak numuneler ilgili standartların belirttiği ölçülere getirilmiştir (Şekil 1). Şekil 1a'da NX ölçülerinde karot numuneler hazırlamakta kullanılan karot alma makinesi, Şekil 1b'de ise hazırlanan karot numunelerin başlarını düzeltmekte kullanılan küçük çaplı dairesel testere görülmektedir.

N-tip Schmidt çekici kullanılarak yapılmıştır. Her bir numune için deneyler beş set olarak yapılmıştır. Her bir setin deneyinde on farklı noktadan okumalar alınmıştır. Shore Scleroscope sertliği deneyi C-2 tip Shore deney aleti kullanılarak yapılmıştır. Her bir numune için deneyler beş set olarak yapılmıştır. Her bir setin deneyinde on farklı noktadan okumalar alınmıştır. Yoğunluk tayini için tek eksenli basınç dayanımı deneyinde kullanılmak üzere hazırlanan kayaç numuneleri hassas terazide tartılarak numunelerin ağırlıkları bulunmuştur. Numunelerin hacimleri hesaplanmış ve buradan kayaçların yoğunlukları (doğal birim hacim ağırlığı) bulunmuştur. Şekil 2'de laboratuvar

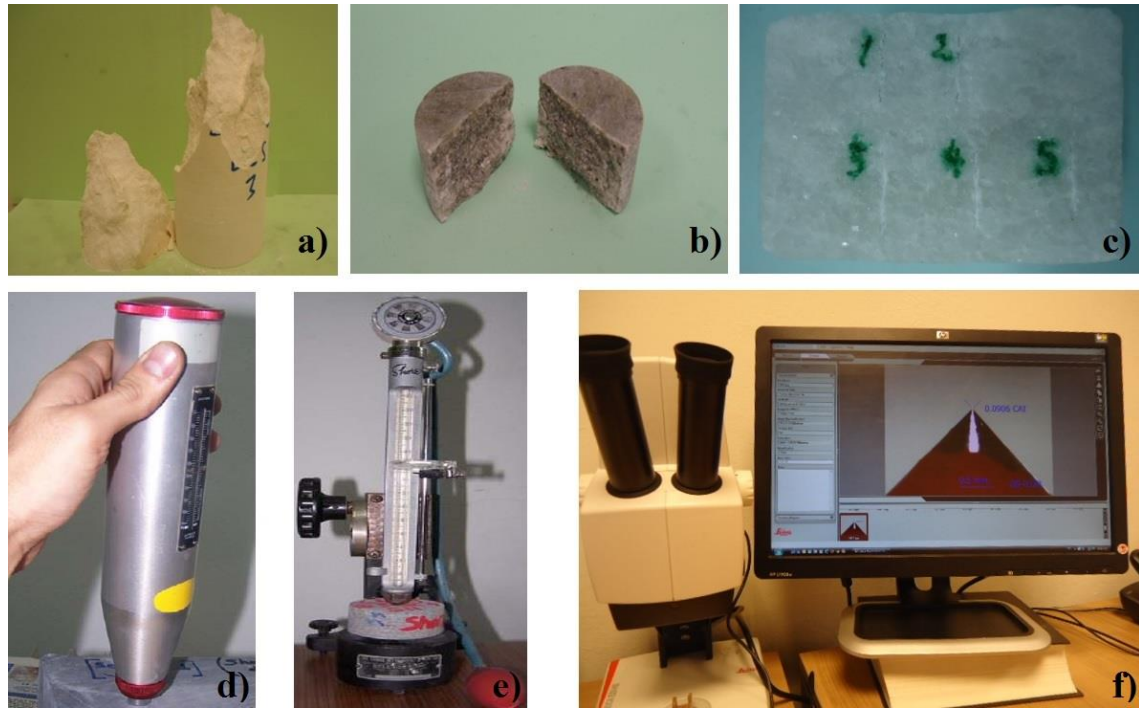


Şekil 1. Numune hazırlama (Sample preparation)

UCS deneylerinde yükseklik/çap oranı yaklaşık 2,5 olup, çapı NX (54 mm) olan karot numuneler kullanılmıştır. Deney esnasında karot üzerine sürekli olarak 0,5 kN/sn sabit bir yükleme hızında kuvvet uygulanmıştır. BTS deneylerinde ise yükseklik/çap oranı yaklaşık 0,5 ve çapı NX (54 mm) olan karot numuneler kullanılmıştır. Deney esnasında karot üzerine sürekli olarak 0,2 kN/sn olarak sabit bir yükleme hızında kuvvet uygulanmıştır. CAI deneyi; 160 kg/mm çekme dayanımı olan 90° tepe açılı konik bir uç (pin) 70 N basma kuvveti ile taze kırılmış örnek üzerinde yaklaşık bir saniye sürede 10 mm çekilmekte ve uçta oluşan aşındırma yüzeyi kayaç örneğinin aşındırıcılığını vermektedir. Konik uç, 55 Rockwell sertliğindedir. Konik uç 30X büyütme kapasitesine sahip dijital mikroskop altında incelenerek ucun yüzey çapındaki aşınması 1/1000 mm hassasiyetinde ölçülmüştür. Her 1/10 mm'ye karşılık gelen aşınma değeri 1 CAI değeri olarak belirlenmiştir. Taze kırılmış yüzey üzerinden 5 pin ile deney yapılmış ve her pinden bir birine dik 2 adet okuma alınmıştır. 10 okumanın sonucunda elde edilen aşınma miktarlarının aritmetik ortalaması doğal taşın Cerchar aşındırıcılığı olarak kabul edilmiştir. Schmidt çekici sertliği deneyleri

ortamında yapılan deneylere ait birkaç örnek verilmiştir. Şekil 2a'da UCS deneyi sonucunda kırılan bir numune, Şekil 2b'de ise BTS deneyi sonucunda kırılan bir numuneye ait örnekler verilmiştir. Şekil 2c'de bir numune üzerinde yapılan CAI deneyi sonrasında elde edilen beş deney hattı verilmiştir. Numunelerin yüzey sertliği tayinlerinde kullanılan Schmidt çekici ve Shore scleroscope deney aletleri Şekil 2d ve Şekil 2e'de verilmiştir. Şekil 2f'de ise CAI analizlerinde kullanılan mikroskop ve ölçüm sistemi görülmektedir.

Çalışılan beş farklı doğal taş numunesinin yoğunluğunun 2,69 ile 2,79 gr/cm<sup>3</sup> arasında, tek eksenli basınç dayanımının 55,3 ile 139,6 MPa arasında, Brazilian çekme dayanımının 3,9 ile 8,1 MPa arasında, Cerchar aşındırıcılık indeksinin 2,1 ile 4,8 arasında, Schmidt çekici sertliğinin 39,3 ile 74,3 arasında, Shore sertliğinin 31,3 ile 68,3 arasında değiştiği belirlenmiştir. Fiziksel ve mekanik özelliklerin toplu sonuçları Çizelge 1'de verilmiştir.



Şekil 2. Deneyle ilgili fotoğraflar (The test photos)

Çizelge 1. Doğal taşların fiziksel ve mekanik özelliklerinin özeti (Summary of the physical and mechanical properties of natural stones)

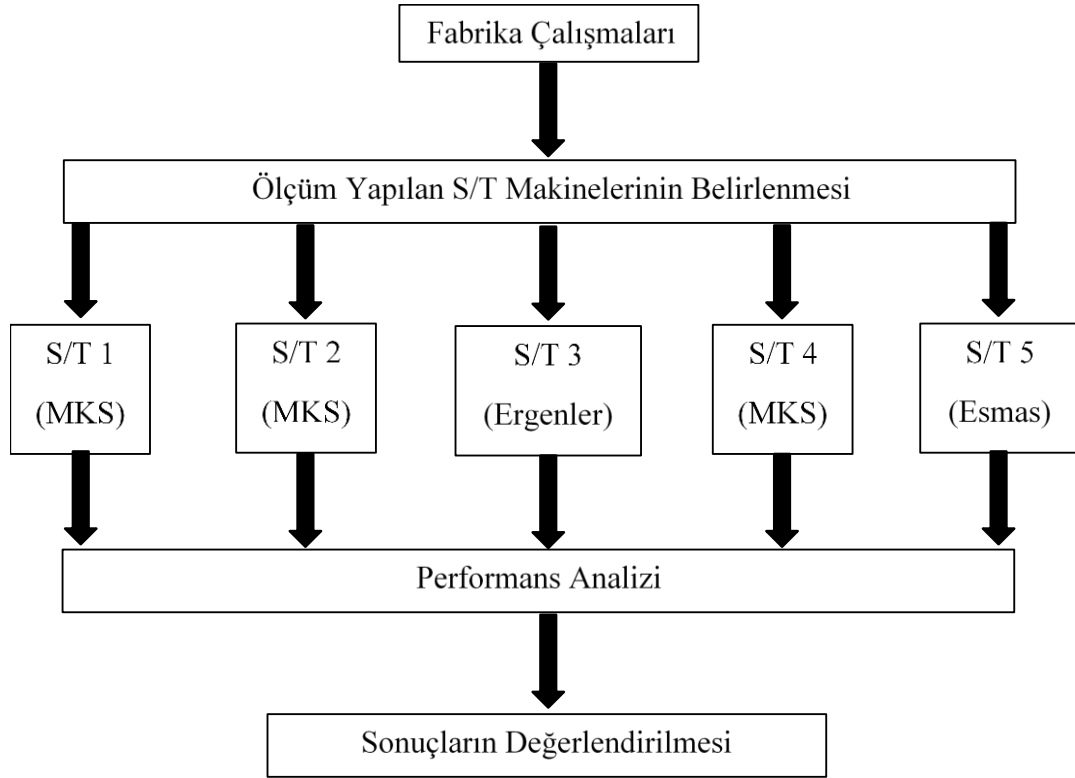
Doğal Taş Adı	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	UCS (MPa)	BTS (MPa)	CAI	Schmidt Sertliği	Shore Sertliği
Muğla Milas Beyaz Mermeri	2,79	81,3	3,9	3,7	40,3	39,3
Afyon Şeker Mermeri	2,69	91,3	5,1	3,1	51,3	41,6
Antalya Kireçtaşı	2,73	55,3	4,9	2,1	39,3	31,3
Milas Açık Beyaz Mermeri	2,74	91,7	5,9	4,8	74,3	68,3
Marmara Gri Mermeri	2,69	139,6	8,1	2,9	71,1	53,6

Ülkemize önemli katma değer getirisini sağlayan doğal taş madenciliğinde plaka üretiminde fabrikalarda kullanılan ve blok kesimi yapan büyük çaplı dairesel testerelerin (S/T) performans ölçümleri bu çalışma kapsamında detaylıca yapılmıştır. Alınan ölçümler değerlendirilerek her bir makineye ait kullanım oranı değerleri hesaplanmıştır. Buradan elde edilen sonuçlara dayanarak makinelerin incelenen fabrika içerisinde verimli bir şekilde kullanılıp kullanılmadıkları incelenmiştir. Bu çalışma sırasında takip edilen tüm işlem adımları Şekil 3'te verilmiş ve plaka üretimi esnasından bir görüntü ise Şekil 4'te verilmiştir.

Bu çalışma kapsamında iki farklı mermer fabrikasında beş farklı doğal taşın kesiminde bulunulmuştur. Çalışılan doğal taş bloklarının isimleri; Muğla Milas beyaz mermeri, Afyon şeker mermeri, Antalya kireçtaşı, Milas açık beyaz mermeri ve Marmara koyu gri mermeridir. Performans ölçümleri dört ayaklı MTS, Ergenler ve Esmas marka S/T makineleri üzerinde yapılmıştır. MKS ve Esmas S/T makinelerinde kullanılan dairesel

testerelerin çapları 1200 mm, Ergenler S/T makinelerinde kullanılan dairesel testerelerin çapı ise 1600 mm'dir.

Kesim işlemi esnasında testerelerin dönüş hızlarının 2220-2630 devir/dk arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Muğla Milas beyaz mermeri için fabrikada üretilen plakaların kalınlıkları 5 cm, eni 30 cm ve boyu 135 cm'dir. Afyon şeker mermeri için fabrikada üretilen plakaların kalınlıkları 5 cm, eni 30 cm ve boyu 160 cm'dir. Antalya kireçtaşı için fabrikada üretilen plakaların kalınlıkları 5 cm, eni 30 cm ve boyu 140 cm'dir. Milas açık beyaz mermeri için fabrikada üretilen plakaların kalınlıkları 5 cm, eni 30 cm ve boyu 220 cm'dir. Marmara koyu gri mermeri için fabrikada üretilen plakaların kalınlıkları 5 cm, eni 30 cm ve boyu 220 cm'dir.



Şekil 3. Performans ölçüm aşamaları (Performance prediction stages)



Şekil 4. Plaka üretimi esnasından bir görüntü (A photo of slab production stage)

Her bir doğal taş için performans ölçümü üç kez tekrarlanmıştır. Çalışılan bölgenin S/T kesim performansının sonucu olarak bu üç kesimin aritmetik ortalaması alınmıştır. Muğla Milas beyaz mermerinin S/T kesim performans sonuçları Çizelge 2’de, Afyon şeker mermerinin S/T kesim performans sonuçları

Çizelge 3’te, Antalya kireçtaşının S/T kesim performans sonuçları Çizelge 4’te, Milas açık beyaz mermerinin S/T kesim performans sonuçları Çizelge 5’te ve Marmara koyu gri mermerinin S/T kesim performans sonuçları ise Çizelge 6’da detaylıca verilmiştir.

**Çizelge 2.** Muğla Milas beyaz mermeri S/T performans analizi (S/T performance analysis of Muğla Milas white marble)

Ölçüm No	1	2	3	Ortalama
Plaka Ebatları (cm x cm)	135 x 30	135 x 30	135 x 30	135 x 30
Üretilen Plaka Sayısı	24,9	21,5	27,7	24,7
Alansal Net Kesim Hızı (m <sup>2</sup> /h)	10,1	8,7	11,2	10,0

**Çizelge 3.** Afyon şeker mermeri S/T performans analizi (S/T performance analysis of Afyon sugar marble)

Ölçüm No	1	2	3	Ortalama
Plaka Ebatları (cm x cm)	160 x 30	160 x 30	160 x 30	160 x 30
Üretilen Plaka Sayısı	27,7	29,8	23,8	27,1
Alansal Net Kesim Hızı (m <sup>2</sup> /h)	13,3	14,3	11,4	13,0

**Çizelge 4.** Antalya kireçtaşı S/T performans analizi (S/T performance analysis of Antalya limestone)

Ölçüm No	1	2	3	Ortalama
Plaka Ebatları (cm x cm)	140 x 30	140 x 30	140 x 30	140 x 30
Üretilen Plaka Sayısı	47,4	46,7	50,2	48,1
Alansal Net Kesim Hızı (m <sup>2</sup> /h)	19,9	19,6	21,1	20,2

**Çizelge 5.** Milas açık beyaz mermeri S/T performans analizi (S/T performance analysis of Milas light white marble)

Ölçüm No	1	2	3	Ortalama
Plaka Ebatları (cm x cm)	220 x 30	220 x 30	220 x 30	220 x 30
Üretilen Plaka Sayısı	12,3	15,2	13,0	13,5
Alansal Net Kesim Hızı (m <sup>2</sup> /h)	8,1	10,0	8,6	8,9

**Çizelge 6.** Marmara koyu gri mermeri S/T performans analizi (S/T performance analysis of Marmara dark gray marble)

Ölçüm No	1	2	3	Ortalama
Plaka Ebatları (cm x cm)	220 x 30	220 x 30	220 x 30	220 x 30
Üretilen Plaka Sayısı	9,5	10,3	11,5	10,5
Alansal Net Kesim Hızı (m <sup>2</sup> /h)	6,3	6,8	7,6	6,9

Performans ölçümlerinin asıl amacı; S/T makinesinin bir saatteki metre kare cinsinden net kesim hızının belirlenmesidir. Bu kesim hızı alansal net kesim hızı (ANKH, m<sup>2</sup>/h) olarak adlandırılabilir. ANKH hesabında makinenin bir boy kesimi için kesme işlemine başlaması, bir boyun kesim süresi ve bu kesimi tamamladıktan sonra geri dönüşe başladığı zamandaki duraklamaları bu ölçüm değerine dahildir. Testere blok sonuna ulaştığında yeni plakanın kesimi için plaka kalınlığı kadar yana alınmaktadır, bu işlem otomatik olarak makine tarafından yapılmaktadır. Operatörün etkisi yok denecek kadar azdır. S/T makinesine yerleştirilen bloğun büyüklüğüne bağlı olarak plaka sayısı elde edilmektedir. Yukarıdaki çizelgelerde verilen plaka sayıları bir saatlik kesim süresi için elde edilen plaka sayılarıdır.

Çizelge 7'de ise S/T makinelerinin kesim performanslarının özetleri verilmiştir. Muğla Milas beyaz mermeri için üç performans analizinin ortalaması 10,0 m<sup>2</sup>/h, Afyon şeker mermeri için üç performans analizinin ortalaması 13,0 m<sup>2</sup>/h, Antalya kireçtaşı için üç performans analizinin ortalaması 20,2 m<sup>2</sup>/h, Milas açık beyaz mermeri için üç performans analizinin ortalaması 8,9 m<sup>2</sup>/h, Marmara koyu gri mermeri için üç performans analizinin ortalaması 6,9 m<sup>2</sup>/h olarak bulunmuştur. Elde edilen sonuçların daha iyi anlaşılabilmesi için ortalama üretilen plaka sayısı ve ortalama alansal net kesim hızları üç boyutlu grafik halinde Şekil 5'te verilmiştir.

Performans ölçümlerinde yapılan gözlemlerde; Antalya kireçtaşında saatlik makine kesim performansının diğer doğal taşlara göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Bunun en önemli sebebi olarak plaka kesim yönünün

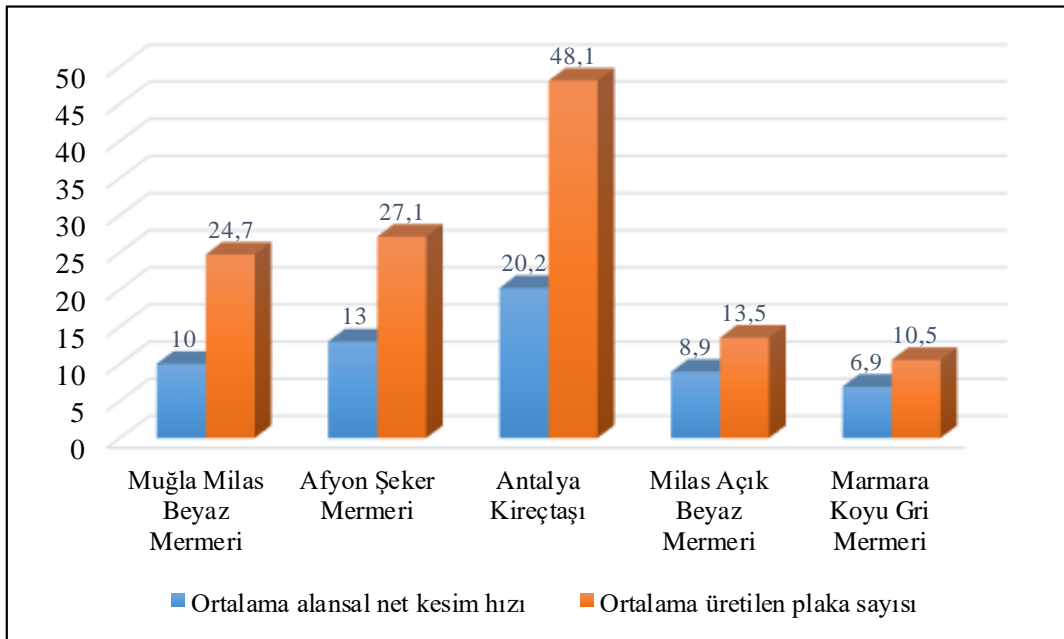


tabakalanmaya paralel olması gösterilebilir. Diğer çalışılan dört doğal taş numunesi masif (tabakalanma bulunmamaktadır) yapıya sahiptir. Bu doğal taşların S/T makineleri ile kesiminde alansal net kazı hızları 6,9 ile 13,0 m<sup>2</sup>/h olarak değişmiştir. Bu değişimi etkileyen asıl sebepler, doğal taşların fiziksel ve mekanik özellikleri olarak gösterilebilir.

dört ayaklıdır ve kesim işleminde kullanılan dairesel testerelerin dönüş hızları arasında da çok fazla fark olmadığı gözlemlenmiştir. S/T makinelerinin plaka kesim performansını etkileyen diğer parametreler göz önüne alındığında akla ilk gelen en baskın parametrenin doğal taşın fiziksel ve mekanik özellikleri olabileceği düşünülmüştür. Bu öngöründen yola çıkarak, doğal

**Çizelge 7.** S/T makinesi performans analizi ortalamaları (The results of the average S/T performance)

Gözlem Sayısı	1	2	3	4	5
Doğal Taş Adı	Muğla Milas Beyaz Mermeri	Afyon Şeker Mermeri	Antalya Kireçtaşı	Milas Açık Beyaz Mermeri	Marmara Koyu Gri Mermeri
S/T Makine Adı	MKS	MKS	Ergenler	MKS	Esmuş
Testere Çapı (mm)	1200	1200	1600	1200	1200
Testere Dönüş Hızı (devir/dk)	2400	2365	2220	2630	2245
Ortalama Plaka Ebatları (cm x cm)	135 x 30	160 x 30	140 x 30	220 x 30	220 x 30
Ortalama Üretilen Plaka Sayısı	24,7	27,1	48,1	13,5	10,5
Ortalama Alansal Net Kesim Hızı (m <sup>2</sup> /h)	10,0	13,0	20,2	8,9	6,9



**Şekil 5.** Ortalama alansal net kesim hızı ve üretilen plaka sayılarının grafiksel gösterimi (Graphical representation of average areal net sawing rate and slab production capacity)

### 3. ALANSAL NET KESİM HIZI TAHMİNİ İÇİN İSTATİSTİKSEL MODELLEME (STATISTICAL MODELS FOR PREDICTING AREAL SLAB PRODUCTION RATE)

Doğal taş fabrikalarında S/T makinelerinin kesim performanslarının detaylıca tutulan analizleri sonucunda her bir doğal taşın saatteki metre kare olarak ifade edilen kesim performanslarında farklı değerlere ulaşılmıştır. Yapılan çalışmalar için seçilen S/T makinelerinin hepsi

taşların laboratuvarında yapılarak elde edilen fiziksel ve mekanik deneylerinin sonuçları, S/T makinelerinin alansal net kesim hızı performansları ile irdelenmiştir. Bu irdelenmelerde basit ve çoklu regresyon analizleri esas alınmıştır.

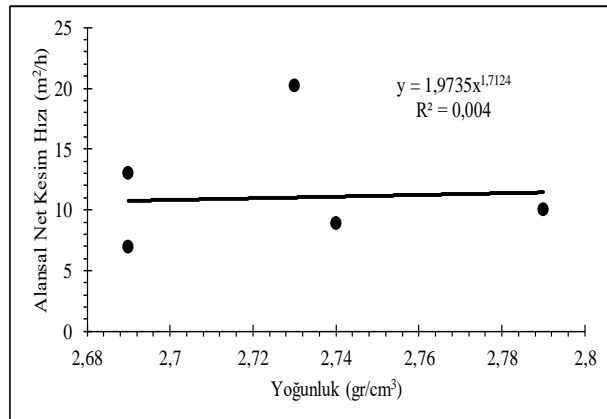
#### 3.1. Basit Regresyon Analizine Dayalı Modeller (Models Based on Simple Regression Analysis)

Basit regresyon analizi bir bağımlı ve bir bağımsız değişken arasındaki ilişkinin belirlenmesinde kullanılan

istatistiksel bir yaklaşımdır. Bu çalışmada, S/T makinelerinin alansal kesim hızı ile doğal taşların fiziksel ve mekanik özellikleri arasındaki ilişkiyi belirlemek için ilk önce basit regresyon analizi kullanılmıştır. Böylelikle, hangi doğal taş özelliğinin S/T performansı üzerinde baskın olduğunu daha kolay bir şekilde anlaşılmıştır. Bu karşılaştırmalarda kısaca şu sonuçlara ulaşılmıştır:

Doğal taşların yoğunluklarının S/T kesme performansı ile olan ilişkisi Şekil 6'da verilmiştir. Bu iki parametre arasında her hangi bir ilişkinin olmadığı görülmektedir. Bunun en önemli nedeni çalışılan doğal taşların yoğunluklarının çok dar bir aralıkta değişiyor olması gösterilebilir. Bundan sonraki çalışmalar için daha geniş bir aralıkta çalışılarak yoğunluğun kesme performansına üzerine olan etkisinin incelenmesi önerilmektedir.

Doğal taşların Cerchar aşındırıcılık indeksi (CAI) değerinin S/T kesme performansı üzerindeki etkisi Şekil 7'de incelenmiştir. İki parametre arasında 0,40'lık belirleme katsayısına ( $R^2$ ) sahip zayıf bir ilişki bulunmuştur. Tuncac [17], ise CAI ile S/T performansı arasında istatistiksel olarak anlamlı ilişkiler bulunmuştur. Bu çalışma kapsamında incelenen doğal taşların CAI değerlerinin 2,4 ile 4,8 arasında değiştiği bilinmektedir. Bu aralığın farklı doğal taş numuneleri ile geliştirilmesi bir sonraki çalışmalar için önerilebilir.

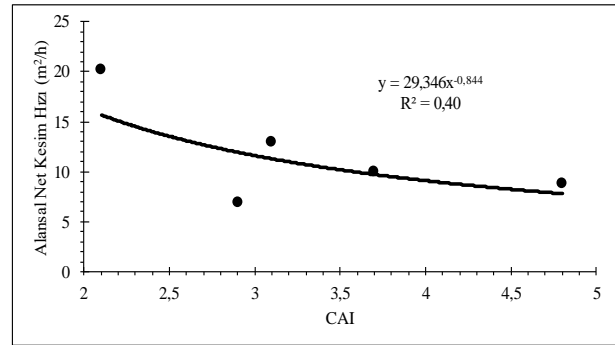


Şekil 6. Yoğunluk ile alansal net kesim hızı arasındaki ilişki (Relationship between density and areal net sawing rate)

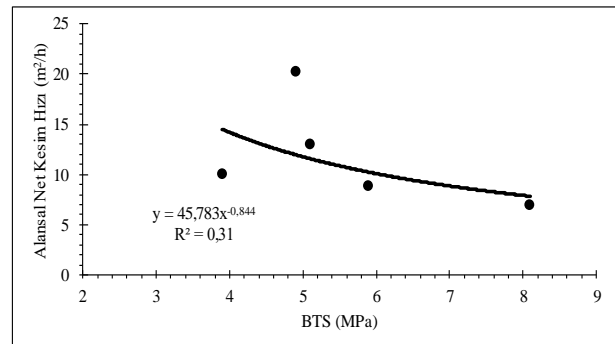
Brazilian çekme dayanımının (BTS) S/T makinelerinin alansal kesim hızı üzerindeki etkileri Şekil 8'de verilmiştir. Bu karşılaştırmalar, BTS'nin S/T makinelerinin kesim performansı üzerinde neredeyse bir etkisi olmadığını ( $R^2=0,31$ ) açıkça göstermektedir. Yine de daha sonraki çalışmalarda daha farklı çekme dayanımı özelliklerine sahip doğal taşların detaylıca incelenmesi önerilmektedir. Çünkü Fener vd [21], sekiz farklı karbonatlı kayacın kesiminde kullanılan S/T makinelerinin performans analizi sonucunda kayaların çekme dayanımı ile S/T üretim performansı arasında 0,77 belirleme katsayısına sahip bir ilişki bulmuşlardır. Tuncac [17] ise yedi farklı karbonatlı kayacın üzerinde yaptığı analizler sonucunda; S/T makine performansı ile

BTS arasında 0,71 belirleme katsayısına sahip bir ilişki bulunmuştur.

Schmidt çekici kullanılarak elde edilen doğal taşların yüzey sertliği değerlerinin S/T kesim performansı üzerindeki etkileri Şekil 9'da verilmiştir. Bu çalışma kapsamında incelenen doğal taşların Schmidt yüzey sertlikleri 39,3 ile 74,3 arasında değişmektedir. Aralık olarak bakıldığında değerlerin geniş bir aralığa tekabül ettiği görülmektedir. Yapılan karşılaştırma sonucunda iki parametre arasında 0,56'lık belirleme katsayısına ( $R^2$ ) sahip orta dereceli bir ilişki bulunmuştur. Diğer yandan, Fener vd [21] ise Schmidt çekici sertliği ile S/T üretim hızı arasında 0,29 belirleme katsayısına sahip zayıf bir ilişki bulmuşlardır. Guney [16], Schmidt sertliği ile S/T üretim hızı arasında 0,24'lük zayıf bir ilişki olduğunu belirtmiştir. Tuncac [17] ise bu iki parametre arasında 0,29'lük belirleme katsayısına sahip zayıf bir ilişki olduğunu belirtmiştir. Bu iki parametre arasındaki ilişkinin belirlenebilmesi için daha fazla doğal taşın S/T ile kesim analizlerinin yapılması önem arz etmektedir.



Şekil 7. Cerchar aşındırıcılık indeksi ile alansal net kesim hızı arasındaki ilişki (Relationship between Cerchar abrasivity index and areal net sawing rate)



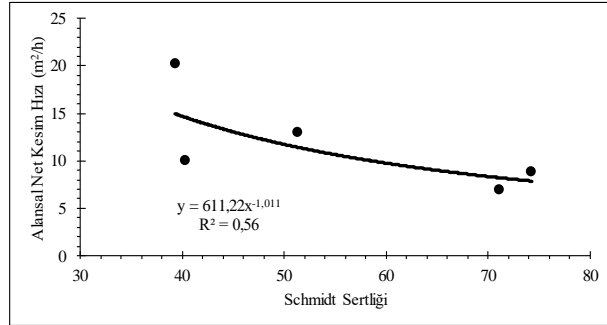
Şekil 8. Brazilian çekme dayanımı ile alansal net kesim hızı arasındaki ilişki (Relationship between Brazilian tensile strength and areal net sawing rate)

Shore scleroscope deney aleti kullanılarak belirlenen yüzey sertliklerinin S/T kesme performansına etkisi Şekil 10'da verilmiştir. Bu çalışma kapsamında incelenen doğal taşların Shore yüzey sertlikleri 31,3 ile 68,3 arasında değişmektedir. Doğal taşların Shore yüzey sertlik değerlerinin geniş bir aralığa tekabül ettiği görülmektedir. Yapılan karşılaştırma sonucunda iki parametre arasında 0,63'lük belirleme katsayısına ( $R^2$ )



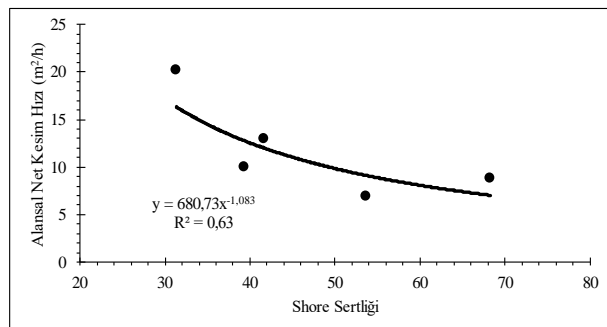
sahip orta dereceli bir ilişki bulunmuştur. Ayrıca, Guney [16], Shore sertliği ile S/T saatlik plaka üretimi arasında 0,53'lük belirleme katsayısına sahip bir ilişki olduğunu belirtmiştir. Bu ilişkinin geliştirilebilmesi için daha fazla doğal taşın S/T ile kesim analizlerinin yapılması önem arz etmektedir.

Hem Schmidt hem de Shore scleroscope deney yöntemi, doğal taşların yüzey sertliği değerlerini vermektedir. Yapılan karşılaştırmalar göstermiştir ki, farklı yöntemlerle de olsa doğal taşların yüzey sertliklerinin S/T kesme performansına etkisi yok denemeyecek kadar çoktur.

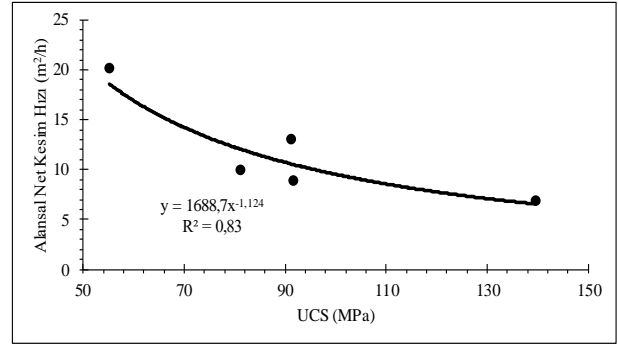


**Şekil 9.** Schmidt çekici sertliği ile alansal net kesim hızı arasındaki ilişki (Relationship between Schmidt hammer hardness and areal net sawing rate)

Kayaçların/doğal taşların en önemli mühendislik özelliklerinden birisi şüphesiz ki tek eksenli basınç dayanımlarıdır. Bu çalışma kapsamında, tek eksenli basınç dayanımının S/T kesme performansı üzerinde etkisi Şekil 11 ile incelenmiştir. Çalışılan doğal taşların basınç dayanımları 55,3 ile 139,6 MPa arasında değişmektedir. Yapılan istatistiksel karşılaştırma sonucunda iki parametre arasında 0,83'lük belirleme katsayısına ( $R^2$ ) sahip kuvvetli bir ilişki bulunmuştur. Bu karşılaştırma doğal taşların basınç dayanımlarının S/T kesim performansı (alansal net kesim hızı) üzerinde önemli bir etkisinin olduğunu göstermektedir. Ayrıca, bu iki parametre arasında güçlü bir ilişki olduğu Fener vd [21] tarafından da belirtilmiştir. Basınç dayanımının S/T kesme performansını üzerine etkisini daha iyi anlayabilmek için daha fazla doğal taş üzerinde analizler yapılmalıdır.



**Şekil 10.** Shore scleroscope sertliği ile alansal net kesim hızı arasındaki ilişki (Relationship between Shore scleroscope hardness and areal net sawing rate)



**Şekil 11.** Tek eksenli basınç dayanımı ile alansal net kesim hızı arasındaki ilişki (Relationship between uniaxial compressive strength and areal net sawing rate)

### 3.2. Çoklu Regresyon Analizine Dayalı Model (Model Based on Multiple Regression Analysis)

Çoklu regresyon yöntemi sayesinde aynı anda bağımlı değişkenleri etkileyen faktörler kontrol edilebilir. Bu sebeple günümüzde çoklu regresyon analizi araştırmacılar tarafından sıkça kullanılmaktadır. Çoklu regresyon modellemesinde açıklayıcı birden fazla değişken kontrol edilebilir ve aralarındaki ilişkiler gözlemlenebilir, dolayısıyla basit regresyon analizinin yanıtıcı olabileceği durumlarda bu yöntem kullanılarak modelleme yapılabilir. Bu çalışmada, alansal net kesim hızı ve kayaçların fiziksel ve mekanik özellikleri arasındaki ilişkileri belirlemek amacıyla çoklu regresyon analizi yapılmıştır.

Bağımlı değişken olarak alansal net kesim hızı ( $m^2/h$ ) ve bağımsız değişken olarak yoğunluk ( $g/cm^3$ ), tek eksenli basınç dayanımı (UCS, MPa), Brazilian çekme dayanımı (BTS, MPa), Cerchar aşındırıcılık indeksi (CAI), Schmidt çekici sertlik değeri ve Shore scleroscope sertlik değeri kullanılmış ve en uygun regresyon modeli geliştirilmiştir. Çoklu regresyon analizleri sonucunda en anlamlı olan istatistiksel modelde bağımsız değişkenler olarak UCS ve CAI kullanılmış olup aralarındaki ilişki Eşitlik 1'de sunulmuştur.

$$ANKH = -0,125UCS - 2,684CAI + 32,229 \quad (1)$$

Burada, ANKH: Alansal net kesim hızı ( $m^2/h$ ), UCS: Tek eksenli basınç dayanımı (MPa), CAI: Cerchar aşındırıcılık indeksi.

Elde edilen eşitliğin istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 8'de özetlenmiştir. %90 güven aralığında yapılan analizde eğer F-test değeri F-tablo değerinden büyük ise elde edilen regresyonun anlamlı olduğu ifade edilebilir. Bu çalışmada F değeri 16,59, F tablo değeri ise 2,91 olarak bulunmuştur. F-test değerinin F-tablo değerinden büyük olması yapılan regresyonu anlamlı kılmaktadır. t-test deneyi bir regresyon modelinde her bir bağımsız değişkenin potansiyel değerini belirlemek için kullanılır. t-testinde sıfır hipotezi kullanılarak t-tablo değeriyle hesaplanan t-oranı karşılaştırılır. t-test değerinin t-tablo değerinden yüksek olması bağımsız değişkenlerin modele katkı sağladığı anlamına gelmektedir. Analizin % 90 güven aralığında yapılması nedeniyle t-tablo değeri

2,91 olarak belirlenmiştir ve Çizelge 9’da görüldüğü gibi bu değer mutlak t-oranından düşüktür. Yapılan çift kuyruk analizlerin değerlendirilmesi sonucunda yüksek güven düzeyinde ve düşük anlamlılık değerinde (0,1 den düşük p değerinde) Eşitlik 1’in istatistiksel olarak anlamlı olduğu kanısına varılmıştır. Ayrıca, regresyon analizleri sonucunda elde edilen eşitliğin bağımsız değişken gücünü ölçmek için  $R^2$  olarak adlandırılan belirleme katsayısının değeri de analiz edilmiş ve  $R^2$  değeri 0,94 olarak bulunmuştur. Yapılan istatistiksel analizler sonucunda, doğal taşların UCS ve CAI özelliklerinin dışında kalan diğer özelliklerinin (Schmidt sertliği, Shore sertliği, BTS ve yoğunluk) alansal net kesim hızı üzerinde önemli bir etkilerinin olmadığı belirlenmiştir. Diğer değişkenler kullanılarak elde edilen çoklu regresyon modelleri, F-test ve t-test analizlerinde istenen güven aralıklarında olumlu sonuçlar vermemiştir. Bu çalışma kapsamında önerilen Eşitlik 1’in S/T makinelerinin alansal net kesim hızı tahmininde güvenilir olduğu düşünülmektedir.

### 3.3. Ölçülen ve Tahmin Edilen Net Kesim Hızlarının Karşılaştırması (Comparison of Actual and Predicted Net Sawing Rates)

S/T makinelerinin alansal net kesim performanslarının önceden belirlenmesi uygulayıcı mühendisler için karar aşamasında önemli bir yol oynar. Sadece bir modele güvenmek yerine farklı modellerle kazı performansının yapılması güvenilir sonuçlara ulaşılabildiğinde muhakkak faydalı olacaktır. Birçok araştırmacı tarafından da beyan edildiği üzere, çok fazla sayıda değişkeni barındıran modeller pratik olarak sonuca ulaşma konusunda verimli olamamaktadır. Bu sebepten ötürü, bu çalışmada yapılan detaylı analizler sonucunda doğal taşların en yaygın mekanik özelliklerinden olan UCS ve CAI parametreleri kullanılarak Eşitlik 1 geliştirilmiştir. Önerilen Eşitlik 1’in doğruluğu ise daha önceden literatüre Tumac [17] tarafından sunulmuş olan gerçek S/T kesim performansı ile test edilmiştir. Tumac [17]’nin S/T alansal net kesim hızı ölçümleri yaptığı doğal taşlar ve bu doğal taşların fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 10’da verilmiştir. Ölçülen ve tahmin

**Çizelge 8.** Seçilen çoklu regresyon modeli için varyans analizi sonucu (Variance analysis results of the selected multiple regression model)

	Karesel Hata	Kareli Ortalama	F değeri	F-tablo	F-anlamlılık
Regresyon	101,54	50,77	16,59	2,91	0,05
Kalan	6,12	3,06			
Toplam	107,66				

**Çizelge 9.** Seçilen çoklu regresyon modelinin istatistiksel sonuçları (Statistical results of the selected multiple regression model)

Değişkenler	Katsayı	Standard Hata	T-oranı	P değeri <0.1	T-tablo	Belirleme Katsayısı
Sabit	32,229	3,702	8,705	0,0129	2,91	0,88
UCS	-0,125	0,029	-4,315	0,049		
CAI	-2,684	0,881	-3,045	0,093		

**Çizelge 10.** Karşılaştırmalar için kullanılan doğal taşların fiziksel ve mekanik özellikleri (Tumac [17]) (Physical and mechanical properties of natural stones used for comparisons (Tumac [17]))

Doğal Taş Adı	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Porozite (%)	UCS (MPa)	BTS (MPa)	CAI	Schmidt Sertliği
Afyon Kaplan Postu Mermeri	2,81	0,27	81,3	5,1	3,05	46,3
Afyon Beyaz Mermeri	2,68	0,16	88,6	6,0	3,50	50,3
Karacabey Siyah Kireçtaşı	2,70	0,50	70,8	5,4	1,86	38,1
Manyas Beyaz Mermeri	2,71	0,40	65,3	3,9	2,00	40,0
Marmara Beyaz Mermeri	2,71	0,20	70,4	4,1	2,15	39,6
Milas Beyaz Mermeri	2,72	0,20	97,3	7,1	2,99	66,5
Eskişehir Süprem Kireçtaşı	2,74	0,30	89,0	5,3	2,44	72,0

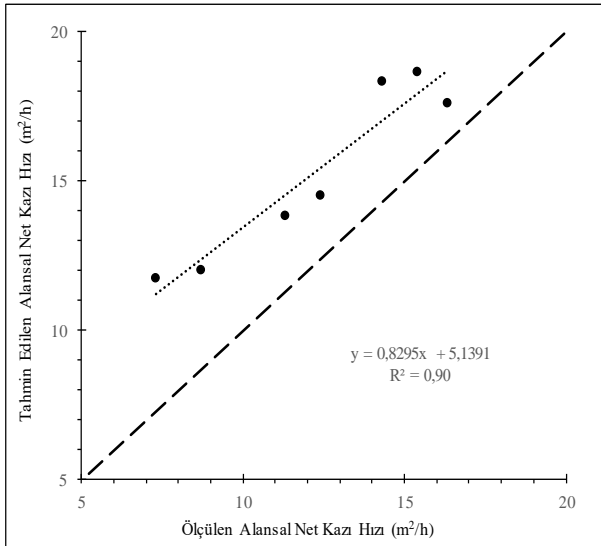
edilen alansal net kesim hızlarının özeti ise Çizelge 11’de verilmiştir.

alansal net kesim hızları üzerindeki etkilerinin araştırılması ve sonuçlarının değerlendirilmesidir. Bu

**Çizelge 11.** Ölçülen (Tumac [17]) ve tahmin edilen S/T alansal net kesim hızları (Actual (Tumac [17]) and predicted areal net sawing rate of S/T)

Doğal Taş Adı	Ölçülen Alansal Net Kesim Hızı (m <sup>2</sup> /h)	Tahmin Edilen Alansal Net Kesim Hızı (m <sup>2</sup> /h)	Yüzdesele Fark
Afyon Kaplan Postu Mermeri	11,3	13,9	23,0
Afyon Beyaz Mermeri	7,3	11,8	61,6
Karacabey Siyah Kireçtaşı	14,3	18,4	28,7
Manyas Beyaz Mermeri	15,4	18,7	21,4
Marmara Beyaz Mermeri	16,3	17,7	8,6
Milas Beyaz Mermeri	8,7	12,1	39,1
Eskişehir Süprem Kireçtaşı	12,4	14,6	17,1

Tumac [17] yayınında kullanılan S/T makinelerinin performansı bu çalışmada önerilen Eşitlik 1 ile tahmin edilmeye çalışılmıştır. Böylelikle önerilen Eşitlik 1’in bundan sonraki çalışmalarda kullanılıp kullanılmayacağı da test edilmiştir. Ölçülen S/T performansları ile tahmin edilen S/T performansları bire bir eksenle karşılaştırılmış ve elde edilen sonuç Şekil 12’de verilmiştir. Şekil 12’de görüldüğü üzere, ölçülen ve tahmin edilen S/T performansları arasında anlamlı bir ilişki bulunmaktadır. Bu iki değer arasında 0,90 belirleme katsayısına (R<sup>2</sup>) sahip bir doğruluk olduğu da anlaşılmaktadır. Ancak, daha kapsamlı değerlendirmelerin yapılabilmesi için veri sayısının artırılması ve farklı tür doğal taşlar üzerinde de çalışmaların yapılması önem arz etmektedir.



**Şekil 12.** Ölçülen (Tumac [17]) ve tahmin edilen S/T performansı (Actual (Tumac [17]) and predicted S/T performance)

#### 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER (RESULTS AND SUGGESTIONS)

Bu çalışmanın amacı; doğal taşların fiziksel ve mekanik özelliklerinin büyük çaplı dairesel testerelerin (S/T)

çalışmada elde edilen sonuçlar kısaca şu şekilde özetlenebilir:

- S/T alansal net kesim hızı ile doğal taşların tek eksenli basınç dayanımı (UCS), Shore scleroscope sertliği ve Schmidt çekici sertliği arasında anlamlı ilişkiler bulunmuştur. Bu üç mekanik özelliğin değeri arttığında S/T performansında düşüş olduğu görülmüştür.
- Çalışılan doğal taşların Brazilian çekme dayanımı (BTS), yoğunluk ve Cerchar aşındırıcılık indeksi (CAI) ile S/T kesim performansı arasında kayda değer anlamlılıkta ilişkiler belirlenmemiştir.
- Yapılan çoklu regresyon analizleri sonucunda; çift kuyruklu %90 güven aralığında çalışan F-test ve t-test analizlerinden geçen yeni bir model önerilmiştir. Model girdisi olarak UCS ve CAI kullanılmıştır.
- Önerilen modelin doğruluğu literatürde daha önceden yayınlanan S/T verileri ile de test edilmiştir.
- Bu çalışma farklı fiziksel ve mekanik özelliklere sahip doğal taşlar için de yapılmalıdır. İstatistiksel güvenilirliğin artırılabilmesi için veri sayısının artırılması önem arz etmektedir.
- Operatörün S/T kesme performansına olan etkisi daha sonraki çalışmalarda muhakkak incelenmelidir.

#### TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışmanın yapılabilmesi için fabrikasında ve anlaşmalı çalıştıkları fabrikalarda bize imkan sağlayan Mermeras Ltd. Şti. sahibi Sayın Emek Kılıç’a teşekkürlerimizi sunarız. Bu fabrikalarda büyük çaplı dairesel testerelerin alansal net kesim hızı ölçümlerini yapan ve bu konuda lisans bitirme ödevini tamamlayan Maden Mühendisi Sayın Gencay Kıymaz’a teşekkürlerimizi sunarız.

**KAYNAKLAR (REFERENCES)**

1. Burgess R. B., "Circular sawing granite with diamond saw blades", *Fifth Industrial Diamond Seminar*, 3-10, (1978).
2. Hausberger P., "Causes of the different behaviour of rocks when machined with diamond tools", *Ind Diamond Rev.*, 3: 1-25, (1989).
3. Ceylanoglu A. And Gorgulu K., "The performance measurement results of stone cutting machines and their relations with some material properties", *Sixth International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection*, Ostrava, Czech Republic, 393-398, (1997).
4. Brook B., "Principles of diamond tool technology for sawing rock", *Int J Rock Mech Min Sci*, 39(1) :41-58, (2002).
5. Wie X., Wang C.Y. and Zhou Z.H., "Study on the fuzzy ranking of granites sawability", *J Mater Process Technol*, 139(1-3): 277-280, (2003).
6. Gunaydin O., Kahraman S. And Fener M., "Sawability prediction of carbonate rocks from brittleness indexes", *J S Afr Inst Min Metall*, 104: 239-243, (2004).
7. Kahraman S., Fener M. and Gunaydin O., "Predicting the sawability of carbonate rocks using multiple curvilinear regression analysis", *Int J Rock Mech Min Sci*, 41(7): 1123-1131, (2004).
8. Norling R.G., "Mechanical properties and the composition of some Swedish natural stone types and their effect on cutting results", *Conference on Diamond in The Construction and Stone industry*, Germany, (1971).
9. Clausen R., Wang C.Y. and Meding M., "Characteristics of acoustic emission during single diamond scratching of granite", *Ind Diamond Rev*, 3: 96-99, (1996).
10. Zhang S.H. and Lu F., "A new method of grading the sawability of natural rock materials", *Key Eng Mater*, 250: 293-296, (2003).
11. Kahraman S., Altun H., Tezekici B.S. and Fener M., "Sawability prediction of carbonate rocks from shear strength parameters using artificial neural networks", *Int J Rock Mech Min Sci*, 43(1):157-164, (2006).
12. Delgado NS, Rodriguez-Rey A, Rio LMS, Sarria ID, Calleja L. and Argandona VGR., "The influence of micro hardness on the sawability of Pink Porrino granite (Spain)", *Int J Rock Mech Min Sci*, 42(1): 161-166, (2005).
13. Tutmez B, Kahraman S. and Gunaydin O., "Multifactorial fuzzy approach to the sawability classification of building stones", *Constr Build Mater*, 21(8): 1672-1679, (2007).
14. Ribeiro RP, Paraguassu AB, Rodrigues J.E., "Sawing of blocks of siliceous dimension stone: influence of texture and mineralogy", *Bull Eng Geol Environ*, 66(1): 101-107, (2007).
15. Kahraman S. and Gunaydin O., "Indentation test to estimate the sawability of carbonate rocks", *Bull Eng Geol Environ*, 67(4): 507-511, (2008).
16. Guney A., "Performance prediction of large-diameter circular saws based on surface hardness tests for Mugla (Turkey) marbles", *Rock Mech Rock Eng*, 44(3): 357-366, (2011).
17. Tumac D., "Predicting the performance of large diameter circular saws based on Schmidt hammer and other properties for some Turkish carbonate rocks", *Int J Rock Mech Min Sci*, 75: 159-168, (2015).
18. Tumac D., "Artificial neural network application to predict the sawability performance of large diameter circular saws", *Measurement*, 80: 12-20, (2016).
19. International Society of Rock Mechanics (ISRM). "The complete ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring", *London: Pergamon Press*, (1981).
20. American Society for Testing and Materials (ASTM). "Standard test method for laboratory determination of abrasiveness of rock using the CERCHAR method", *ASTM D7625-10*, (2010).
21. Fener M, Kahraman S. and Ozder M.O., "Performance prediction of circular diamond saws from mechanical rock properties in cutting carbonate rocks", *Rock Mech Rock Engng*, 40(5): 505-517, (2007).



# POLİTEKNİK DERGİSİ

## *JOURNAL of POLYTECHNIC*

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://www.politeknik.gazi.edu.tr/index.php/PLT/index>

## Biyopolimerler ve montmorillonit kil nanokompozitleri

### *Biopolymers and its montmorillonit clay nanocomposites*

*Yazar(lar) (Author(s)):* Nevin ÇANKAYA, Özlem SÖKMEN

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz:** Çankaya N. ve Sökmen Ö., “Biyopolimerler ve montmorillonit kil nanokompozitleri”, *Politeknik Dergisi*, 20(3): 663-673, (2017).

**To cite this article:** Çankaya N. and Sökmen Ö., “Biyopolimerler ve montmorillonit kil nanokompozitleri”, *Journal of Polytechnic*, 20(3): 663-673, (2017).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://www.politeknik.gazi.edu.tr/index.php/PLT/issue/archive>

**DOI:** [10.2339/politeknik.339394](https://doi.org/10.2339/politeknik.339394)

# Biyopolimerler ve Montmorillonit Kil Nanokompozitleri

Nevin ÇANKAYA\*, Özlem SÖKMEN

Uşak Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Uşak, Türkiye

(Geliş/Received : 05.08.2016 ; Kabul/Accepted : 03.11.2016)

## ÖZ

Biyopolimerlerin, termoset ve termoplastik polimerlerden farklı olarak biyolojik olarak parçalanabilmesi, doğaya uyumlu olması, atık miktarlarında azalma sağlaması gibi özelliklere sahip olması onlara olan ilgiyi arttırmıştır. Bionanokompozitlerin düşük maliyet ve yüksek üretim hızlarında üretilmeleri; üstün mekanik, gaz bariyer ve termal özelliklere sahip olmalarından dolayı petrokimyasal bazlı polimerlerden üretilen nanokompozitlerden daha fazla rağbet görmektedir. Sürekli artan küresel nüfus, plastik atıkların miktarında artışa sebep olmaktadır. Atıkların yarattığı problemler, alternatif kaynak arayışları ve küresel ısınmaya neden olan CO<sub>2</sub> gazının artışı, bilim adamlarını ve üreticileri biyobozunur polimerler konusunda çalışmalar yapmaya yönlendirmiştir. Bu çalışmada kitosan, selüloz, nişasta, polilaktik asit ve aljinat biyopolimerleri ile montmorillonit (MMT) kili kullanarak elde edilen bionanokompozitlerin sentezi, karakterizasyonu ve hangi alanlarda kullanılabileceği araştırılmış ve şimdiye kadar yapılmış olan çalışmalar irdelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kitosan, selüloz, nişasta, polilaktik asit, aljinat, bionanokompozit, montmorillonit kil.

# Biopolymers and its Montmorillonit Clay Nanocomposites

## ABSTRACT

Some properties of biopolymers those are not available for thermoset and thermoplastic polymers such as biodegradability, environment-friendliness and decreased amount of waste has provided increased interest to them. Bionanocomposites are preferred to petrochemical based nanocomposites because of their lower costs, higher production speeds, and superior mechanical, gas barrier and thermal properties. Increased world population has led to increased amount of plastic wastes and CO<sub>2</sub> concentration in the atmosphere, which has forced scientists and manufacturers to search for alternative biodegradable resources. In this study the synthesis, characterization and use of bionanocomposites obtained from chitosan, cellulose, starch, polylactic acid and alginate biomaterials and montmorillonite (MMT) clay were investigated and the studies made up to now are examined.

**Keywords:** Chitosan, cellulose, starch, polylactic acid, alginate, bionanocomposite, montmorillonite clay.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Biyopolimerler yaşayan organizmalar tarafından oluşturulan, herhangi bir sentez sonucu oluşmamış, biyolojik olabileceği gibi canlıların hayati fonksiyonlarından bağımsız olarak tabiatta var olan organik polimerlerdir. Canlılar çok farklı tipte polimerler sentezleyebilirler. Bu polimerleri kimyasal yapılarına göre altı ana gruba ayırabiliriz: Polyesterler, proteinler, karbonhidratlar, yağ ve yağ asitleri, polifenoller ve özel polimerler. Biyopolimerler hemen hemen tüm ekonomik sektörlerde kullanılabilir. Örneğin; yapışkan, emici, yağlayıcı, ilaç dağıtım aracı, tekstil, güçlü yapı materyalleri ve bilişim materyali vb. [1, 2].

Biyopolimerler tekrar eden bir düzene sahiptirler, bu yüzden metaller, yüzey partikülleri ve diğer polimerlerle kimyasal reaksiyona girmeye yatkındırlar. Ağır metalleri ve radyoaktifleri barındıran çevresel kirlilik dünya çapında büyük bir sorundur. Nükleer ve diğer zararlı

metalik atıkları yok etmeyi amaçlayan yeni bir evrensel teknoloji bulunmamaktadır. Biyopolimerler bu tip bir yenilikçi teknoloji için potansiyel araçlardır [3]. Biyopolimerlerin kil ile etkileşimi ile elde edilen nanokompozitlerde termal, mekanik ve gaz bariyer özelliklerinde iyileşmeler olduğu tespit edilmiştir [4].

Su tutma ve iyon değiştirme kapasiteleri yüksek olan ve partikülleri suda kendiliğinden 2 mikrometrenin altına dağılabilen tabakalı ya da lifli yapıdaki hidratlaşmış alüminyum veya magnezyum silikatlara **kil mineralleri** denir. Kil minerallerinin ağırlıkta olduğu kayalara ise **kil** adı verilmiştir [5]. Kil tabakalarını oluşturan yapraklar iki tip atomik kristal yapıdan oluşur. Bunlardan biri oktahedral, diğeri tetrahedral yapıdadır. Oktahedral yapı üçer oksijen ya da hidroksilden oluşan iki tabaka arasında iyice paketlenmiş katyon (alüminyum, demir ya da magnezyum) atomu modelidir. Diğer yapı birimi (silika) tetrahedral yapıda olup köşelerde oksijen atomu bulunan düzgün dört yüzünün ortasına bir silikon atomunun yerleşmiş halidir ve SiO<sub>2</sub> olarak ifade edilir. Kil minerallerinin kristal yapıları, bu temel birimlerin oluşturdukları örgü tabakalarının değişik

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: nevin.cankaya@usak.edu.tr

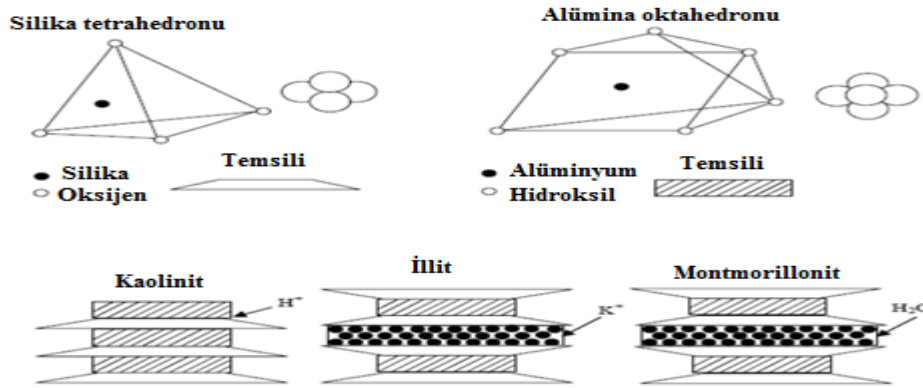
Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/politeknik.339394



kombinasyonlarla üst üste gelmeleri ile oluşur [6]. İçerdikleri minerallerin kimyasal bileşimine bağlı olarak beyaz, gri, kahverengi, yeşil, mavi ve pembe renklere sahip olan killer, jeolojik oluşumlarına ve mineral grubuna göre sınıflandırılmaktadır. Bir kilin kalitesi, kil minerallerinin türü ve kristalliği yanında kil dışı minerallerin türü ve kil içinde bulunma oranına bağlı olarak değişmektedir [7]. Şekil 1'de değişik kil minerallerinin yapısı [8], Çizelge 1'de ise yaygın olarak

kullanılan kil minerallerinin spesifik özellikleri verilmiştir [9].

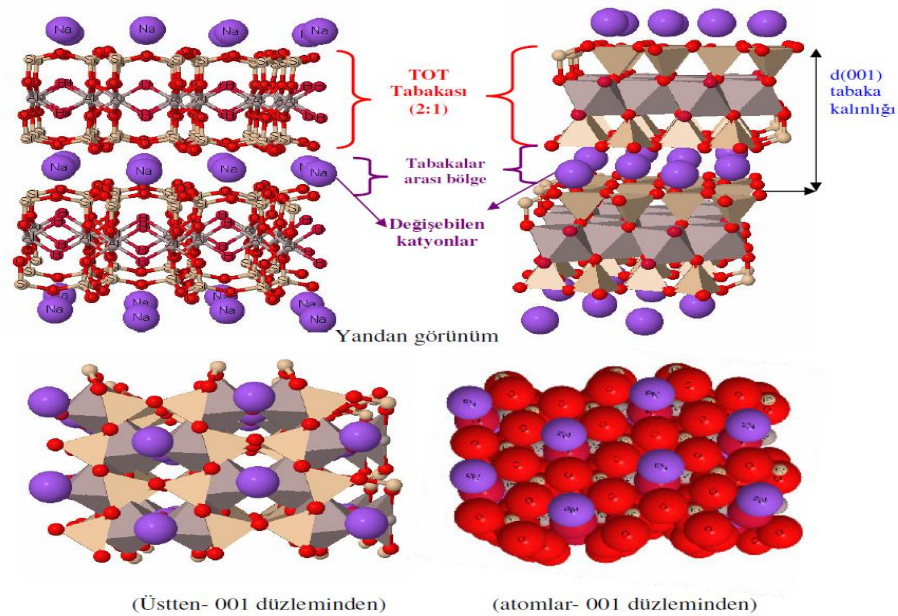
Literatürde en fazla 2:1 tabaka yapısına sahip olan montmorillonit (MMT) kili kullanılmıştır. Bunun nedeni, MMT kilinin tabakaları arasında su bulunmasıdır. Böylece şişebilen bir kil türü olan 2:1 tabakalı killerin bağlanma özellikleri, tabakaları arasında bulundurduğu iyonların niteliğine göre değişmektedir. Tabakalar arasında  $Ca^{2+}$  iyonları varken katmanlar birbirine



Şekil 1. Değişik kil minerallerinin yapısı (The structure of different clay minerals)

Çizelge 1. Yaygın kil minerallerinin kalınlık, çap ve spesifik yüzey alanları (Thickness, diameter and specific surface areas of common clay minerals [9].

Mineral	Tipik Kalınlık (nm)	Tipik Çap(nm)	Spesifik Yüzey Alanı (km <sup>2</sup> /kg)
Montmorillonit	3	100-1000	0.8
İllit	30	10000	0.08
Klorit	30	10000	0.08
Kaolinit	50-2000	300-4000	0.015



Şekil 2. MMT kilinin farklı açılardan görünümü (The appearance from different angles MMT clay) [12]

yakındır,  $\text{Na}^+$  iyonları varken katmanlar arası boşluk genişler ve buradaki serbest hidroksil gruplarına bir polimerin bağlanması mümkün olur. Bu iyonlar, kilin organik olarak modifiye edilebilmesi durumunda ortamdaki organik katyonlar ile yer değiştirebilmektedir. Bu yer değiştirmenin sonucunda tabakaların polaritesi değişmekte ve sonuç olarak tabakalar arası genişlemektedir. Genişlemiş yapıya sahip olan bu killer, nanokompozit malzeme sentezi için potansiyel oluşturmaktadır [10, 11]. Şekil 2’de MMT kilinin tabakalar arası boşluğu ve farklı açılardan görünümü gösterilmektedir.

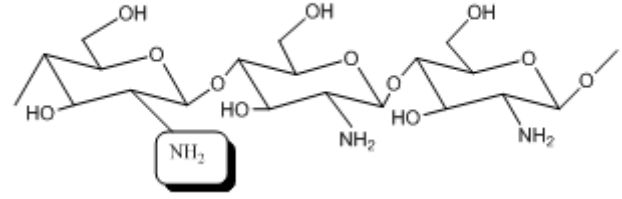
MMT’de bazal boşluğun genişlemesinin büyüklüğüne bağlı olarak iki tip şişme olur. Bunlar kristalsi ve ozmotik şişmedir. Kristalsi şişme su moleküllerinin birim tabakalar arasına girmesi sonucunda oluşur. Adsorplanan su moleküllerinin birinci tabakası heksagonal yapıdaki oksijen atomlarına hidrojen bağları ile bağlanması ile oluşur. Değişebilir katyon olarak  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Li}^+$  gibi hidratlı katyonlara sahip olan MMT’ler 30-40 Å’ a kadar şişerler, hatta bu bazen yüzler mertebesine kadar çıkabilir. Bu tip şişme ozmotik şişme olarak adlandırılır. Tabakaları arasında değişebilir katyon olarak  $\text{Ca}^{2+}$  iyonu bulduran MMT’ye  $\text{Ca}^{2+}$ MMT,  $\text{Na}^+$  iyonu bulduran MMT’ye,  $\text{Na}^+$ MMT denir. Suya atıldığında  $\text{Na}^+$ MMT,  $\text{Ca}^{2+}$ MMT’ den daha fazla şişer. Çünkü  $\text{Na}^+$ MMT, tabakalar arasına daha fazla su girmesine neden olur. Bu yüzden uzun ömürlü süspanسیونlar verirler [13]. Bu smektit grubu kil mineralleri içerisinde, endüstriyel bakımdan en önemlileri  $\text{Na}^+$ MMT ve  $\text{Ca}^{2+}$ MMT’dir.

Değişik organik maddelerle etkileşen killer, farklı özelliklerdeki organokilleri oluşturmaktadır. Organik katyonlarla, killerin yüzey özelliklerinin istenilen yönde değiştirilmesi için kil minerallerin yüzey modifikasyonu yapılmaktadır [14]. Elde edilen organokiller, nanokompozitlerin sentezinde ve organik kirleticilerin sudan uzaklaştırılması gibi alanlarda kullanılmaktadır. Organokil üretme, kil minerallerin organik katyonlarla tepkimelerine dayanır. Teknik olarak bu süreç, çözeltide bulunan kuarterner amonyum katyonları ile kil tabakaları arasında bulunan katyonların iyon değişimidir [15].

## 2. BİYOPOLİMERLER ve MMT KİLİ İÇEREN NANOKOMPOZİTLERİ (BIOPOLYMER and its MMT CLAY NANOCOMPOSITE)

### 2.1. KITOSAN (Chitosan)

Kitosan, kitinin kısmi deasetilasyonu (asetil grubu olan  $\text{CH}_3\text{CO}$  çıkartılması) ile elde edilen, 2-amino-2-deoksi-D-glikoz (glikozamin) tekrarlanan grupların birbirine  $\beta$ -1,4 bağlarıyla bağlandığı bir biyopolimer türüdür. Glikozaminin asetil glikozamine oranı deasetillenme derecesine bağlıdır. Bu değer %30-100 olup kristallliği, yüzey enerjisini ve kitosanın bozulmasını belirler. Kitosanın kimyasal yapısı Şekil 3’te verilmektedir [16].



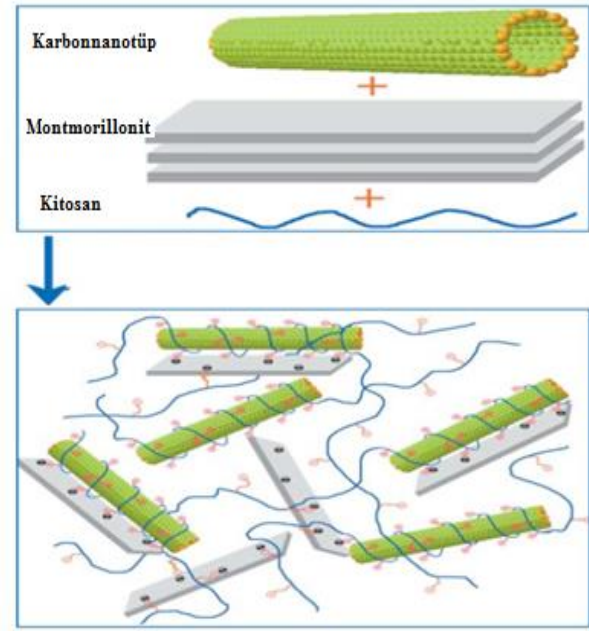
Şekil 3. Kitosanın kimyasal yapısı (The chemical structure of chitosan)

Kimyasal iyileştirmeler ile kitosandan sentezlenen N-karboksümetil kitosan, N-karboksietil kitosan vb. kozmetik, yara iyileştirme vb. gibi önemli alanlarda kullanılmaktadır. Kimyasal iyileştirmelerde ana zincir değişmez, böylece kitosanın fizikokimyasal ve biyokimyasal özellikleri korunur [17]. Kitosan, her tekrarlayan birimdeki primer (C-6), ve sekonder (C-3) hidroksil grupları ile amin (C-2) grubu olmak üzere toplam üç tane reaktif gruba sahiptir. Bu reaktif gruplar kolayca kimyasal modifikasyona uğramakta ve kitosanın mekaniksel ve fiziksel özellikleri ile çözünürlüğünü değiştirmektedir [18]. Kitosan biyobozunur, nontoksik ve biyoyumlu olması, ayrıca doğal olarak elde edilebilmesi sebebiyle ziraat, biyoteknoloji, gıda, kozmetik, medikal alan ve atık sularındaki kirleticilerin temizlenmesi gibi endüstriyel ve akademik alanlardaki birçok çalışmada yaygın olarak kullanılmaktadır [16-19]

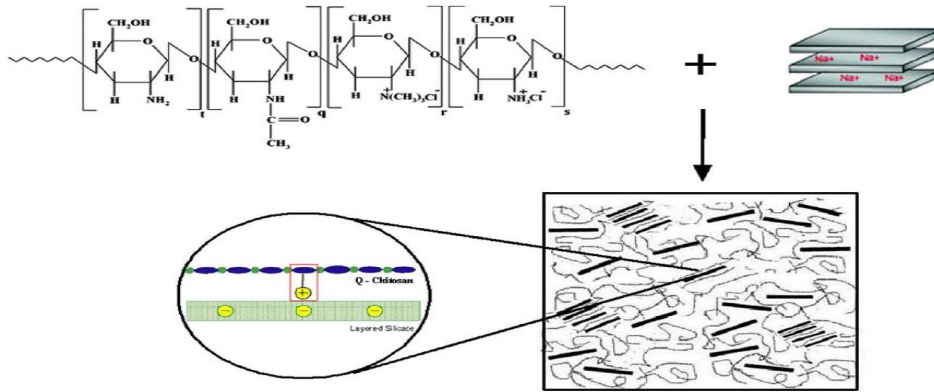
### 2.1.1. Kitosan- MMT Kili Nanokompozitleri (Chitosan- MMT Clay Nanocomposites)

Darder ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada, kitosan/kil/grafit biyonanokompozitini sentezlemişler, kil olarak  $\text{Na}^+$ MMT ve  $\text{Na}^+$ hektorit türlerini kullanmışlardır. 1Molar  $\text{NaCl}$  çözeltisi ile muamele edilen killer distile su ile yıkanmış ve ortamdaki  $\text{Cl}^-$  iyonları uzaklaşmaya kadar  $\text{AgNO}_3$  ile muamele edilmiştir. Kompozite elektriksel iletkenlik sağlamak için 1:0.2 (kil/grafit) oranında grafit tozu eklenmiştir. Uygun bir aparat kullanılarak 2 mm yüksekliğinde ve 3 mm çapında bir disk elde edilmiştir. Kitosan/kil/grafit biyonanokompozitini polipropilenden yapılmış plastik bir tüp içerisinde yerleştirilerek sensör hazırlanmıştır. Biyonanokompozitin kimyasal ve termal özellikleri Fourier Transform Infrared Spektroskopisi (FTIR), Nükleer Magnetik Rezonans ( $^{13}\text{C}$ -NMR), X-Işınları Difraksiyonu (XRD), Enerji Dağılımlı X-Işını Spektroskopisi (EDX), TGA (Termogravimetrik Analiz) ve DTA (Diferansiyel Termal Analiz) kullanılarak tespit edilmiştir. Kitosan/kil/grafit biyonanokompozitinin mekanik özelliklerinde iyileşmeler olduğu, biyonanokompozitin sağlamlığı ve yüzeyinin kolay yenilenebilir olmasından dolayı sulu çözeltilerdeki anyonları tanımda potansiyometrik sensör olarak kullanılabilceği düşünülmüştür [20]. Wang ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada, kitosan  $\text{Na}^+$ MMT ve glasiyel (susuz) asetik asit eklenerek kitosan/kil biyonanokompozitini sentezlemişler ve yapısını FTIR, XRD, Geçirimli Elektron Mikroskopu (TEM) ve TGA ile

karakterize etmişlerdir. %2.5, %5 ve %10 oranlarında Na<sup>+</sup>MMT ilavesiyle elde edilen biyonanokompozitlerde kil miktarının artmasına bağlı olarak elastik modül, sertlik ve termal özelliklerinde artış gözlemlenmiştir. Ayrıca kitosan matrisindeki asetik asit kalıntılarının, biyonanokompozitin termal kararlılığını, mekanik özelliklerini ve kristal özelliğini etkilediği tespit edilmiştir. Hem interkele hem de eksfoliye yapıdaki biyonanokompozitlerin termal bozunma sıcaklıklarında artış olduğu tespit edilmiştir [21]. Choudhari ve arkadaşları, kuaternize edilmiş kitosan/Na<sup>+</sup>MMT biyonanokompozit membranlar hazırlamışlar ve membranların yapısını FTIR, XRD, TGA ile karakterize etmişlerdir. Kompozit membranların hazırlanması Şekil 4'te ifade edilmiştir. %0, %5, %10, %15 oranlarında kil ilavesiyle elde edilen kompozitlerde kil miktarının artmasıyla su tutma kapasitesinin azaldığı tespit edilmiştir. Termogravimetrik çalışmalar neticesinde, biyonanokompozit membranların, kuaternize olmuş membranlardan daha çok termal kararlılık gösterdiği görülmüştür. Biyonanokompozit membranın termal kararlılığının artmış olmasıyla, karışımları ayırmak için farklı sıcaklıklara çıkıldığında biyonanokompozit membranların kullanım sürelerinin arttırılabileceği sonucuna varılmıştır [22].



Şekil 5. Kitosan/Na<sup>+</sup>MMT/karbonnanotüp (Chitosan/Na<sup>+</sup>MMT/carbon nanotube)



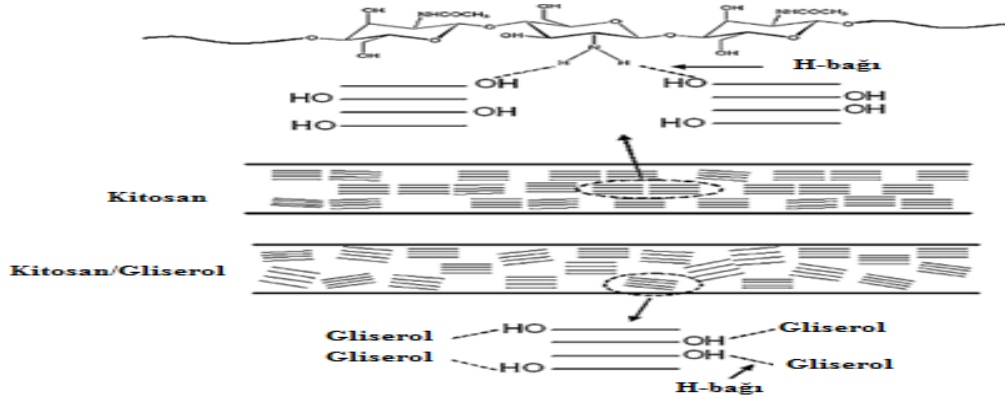
Şekil 4. Biyonanokompozit membranların hazırlanması (Preparation of bionanocomposite membranes)

Zhang ve arkadaşının yaptıkları çalışmada, kitosan/Na<sup>+</sup>MMT/karbonnanotüp içeren biyonanokompozit filmler yapılmış ve yapısı, XRD ve SEM ile karakterize edilmiştir. Şekil 5'te biyonanokompozitin hazırlanması gösterilmektedir. %0, %0.2, %0.5, %1, %2 ve %5 oranlarında MMT içeren biyonanokompozitlerde kil miktarının artmasına bağlı olarak Young Modülünde de artma gözlenmiştir. Biyonanokompozitin MMT ve karbonnanotüp oranının %1 arttırılmasıyla, Young Modülünün %50 oranında arttığı tespit edilmiştir. Karbonnanotüpler, kullanıldığı malzemenin içinde ağ yapıları oluşturarak üzerlerine etki eden ağırlık ve kuvvete karşı dayanıklı bir malzeme özelliği gösterirler. Bu çalışma, Na<sup>+</sup>MMT kili ile birleştirilerek oluşturulan karbonnanotüp malzemelerin, kil içermeyen karbonnanotüplere göre, mekanik özelliklerinde iyileştirme sağladığı ve dayanıklılığı arttırdığını göstermektedir [23].

Başka bir çalışmada, Yao ve arkadaşları kitosan/MMT biyonanokompozit filmlerini suyun buharlaştırılması ve/veya vakum filtrasyon yöntemi ile hazırlamışlardır. Biyonanokompozitlerin yapısı, FTIR, SEM, TEM, Atomik Kuvvet Mikroskopisi (AFM) ve TGA ile karakterize edilmiş ve mekanik özelliklerinde yüksek performans sergilediği görülmüştür. Işık geçirgenliği ve yanmazlık özelliklerinde de iyileştirici sonuçlar elde edilmiştir [24]. Lavorgna ve arkadaşları, kitosanı farklı oranlardaki Na<sup>+</sup>MMT ile etkileştirip, plastikleştirici olarak gliserol kullanılarak, biyonanokompozitlerde termal, mekanik ve bariyer özelliklerinde ne gibi değişiklikler olduğunu araştırmışlardır. FTIR, TGA ve XRD ile karakterize ettikleri kitosan/Na<sup>+</sup>MMT biyonanokompozitinin yapısı Şekil 6'da verilmiştir. Plastikleştirici-glisero ilavesiz sentezlenen biyonanokompozitlerin bariyer özellikleri en iyi sonucu vermiş ve su geçirgenliği özelliğinde azalma

görülmüştür. Plastikleştirici ilavesiyle sentezlenen kompozitlerin mekanik özelliklerinde ise, diğerlerine göre iyileşmeler olduğu ve daha iyi sonuç verdiği tespit edilmiştir [25].

geliştirdiğini tespit etmişlerdir [28]. Bir başka çalışmada ise Chang ve arkadaşları, Na<sup>+</sup>MMT kilini H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ile muamele ederek kitosan/kil biyonanokompozitlerini sentezlemişler; organik asit (tannik asit ve humik asit) ve



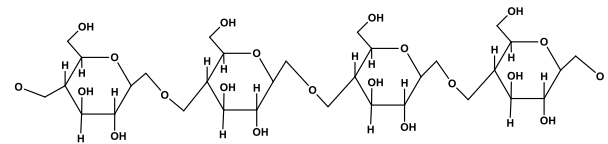
Şekil 6. Gliserol kullanıldığında kitosan/Na<sup>+</sup>MMT biyonanokompozitinin yapısı (Structure of chitosan/Na<sup>+</sup>MMT bionanocomposite when glycerol is used)

Ahmad ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada, Ultraviyole ışın kullanılarak gümüş/kil/kitosan biyonanokompozitini sentezlemişler ve yapısını FTIR, XRD, TEM ve Ultraviyole Görünür Alan Spektroskopisi (UV-VIS) ile karakterize etmişlerdir. Belirli sürelerde UV ışımına maruz bırakılan biyonanokompozitlerin, suda kararlı özellik gösterdiği ve antimikrobiyal yapıya sahip olduğu sonucuna varmışlar ve çeşitli tıbbi cihazlarda kullanılabilirliğini düşünmüşlerdir [26]. Günister ve arkadaşlarının yaptıkları başka bir çalışmada, kitosan farklı oranlardaki MMT kiline ilave edilmiştir. Polimer konsantrasyonunun artmasına bağlı olarak kil dispersiyonunun reolojik ve koloidal özellikleri incelenmiş ve bu amaçla sentezde iki yöntem kullanılmıştır. İlk yöntemde kitosan, MMT çözeltisine ilave edilirken; ikinci yöntemde ise MMT, kitosan çözeltisine ilave edilmiştir. İkinci yöntemde biyonanokompozitlerin daha yüksek termal kararlılığa sahip olduğu görülmüştür. %1 ile %6 oranlarında MMT içeren biyonanokompozitler, kil miktarının artmasına bağlı olarak termal kararlılıklarında da artış olduğu tespit edilmiştir. İkinci yöntemde kitosan miktarlarını sabit tutup kil miktarları artırıldığında, kil miktarı az olanın daha pürüzlü bir yüzeye sahip olduğu görülmüştür. Biyonanokompozitlerin yapısı FTIR, AFM, TGA, Diferansiyel Taramalı Kalorimetri (DSC) ile karakterize edilmiştir. Zeta potansiyeli üzerine yapılan çalışmalarda biyonanokompozitlerin kil partiküllerinin yüzeyinde kitosanın bağlı olduğu tespit edilmiş, kil miktarına bağlı olarak kitosanın termal kararlılığının arttığı görülmüştür [27]. Hong ve arkadaşları çalışmalarında, kitosan/MMT biyonanokompozit filmlerini sentezlemişler ve yapısını XRD ve TEM ile karakterize etmişlerdir. Karıştırma hızının da kil tabakalarının polimer matrisi içindeki dağılımını etkilediğini ifade etmişlerdir. Kitosan polimer matrisi içerisine kil tabakalarının homojen bir şekilde dağılması ile biyonanokompozitin oksijen ve su buharı geçirgenliğini, termal ve mekanik özelliklerini

boya (metilen mavisi ve reaktif boya RR222) kullanarak adsorpsiyon kapasitesini ve kinetik özelliklerini araştırmışlardır. Biyonanokompozit boncukların adsorpsiyon kapasitesinin aktive edilmiş kil ve kitosandan daha fazla olduğunu tespit etmişlerdir [29].

## 2.2. Selüloz (Cellulose)

Selüloz, çok sayıda glikoz molekülünün  $\beta$ -(1,4) glikozidik bağ ile bağlandığı, bitkilerde bulunan bir diğer polisakarittir. Lineer yapıda olup, uzun makro moleküler zincir içeren tekrar eden birimlerden oluşur [17]. Selülozun kimyasal yapısı Şekil 7'de gösterilmektedir.



Şekil 7. Selülozün kimyasal yapısı (The chemical structure of cellulose)

Selüloz molekülünde, her bir monomer ünitesi üzerinde oksitlenmeye karşı hassas olan üç adet hidroksil grubu (-OH) bulunur. -OH gruplarının bir başka selüloz zincirinin -OH grubuyla bağlanma özelliği vardır. Hidrojen bağları olarak bilinen bu bağlar, selüloz moleküllerinin hidrofilik (suyu seven) özellik kazanmasını sağlarlar. Kimyasal modifikasyonlara uğratılmış selüloz türevleri, gıdaların yapısını hidrofil özelliklerini ve fonksiyonel kalitesini olumlu yönde etkilemektedir. Çeşitli yöntemlerle elde edilen bu modifiye selülozlar, geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bunlardan en önemlileri şunlardır: Selüloz asetat (CA), Metil selüloz (MC), Karboksimetilselüloz (CMC), Hidroksietilselüloz (HEC), Hidroksipropilselüloz (HPC) ve Hidroksipropilmetilselüloz (HPMC) vb. [30, 31]. Modifiye edilmiş selülozun bazı kullanım alanları ise, giyim eşyası, mobilya teçhizatı, sigara filtresi, film,

levha, preslenmiş ve kalıplanmış eşya, vernik, cila, film, patlayıcılar vb.dir. Selülozun eter türevleri ise genellikle (MC, CMC, HEC, HPC, HPMC) gıda, boya ve ilaç endüstrisi, kaplamacılık, sıvı deterjan üretimi gibi farklı alanlarda kullanılmaktadır [32].

### 2.2.1. Selüloz-MMT Kili Nanokompozitleri (Cellulose-MMT Clay Nanocomposites)

Pranger ve arkadaşının yapmış olduğu çalışmada, selüloz fiberleri ile MMT kilini kullanarak furfural alkolü in-situ polimerizasyon yöntemini kullanarak polimerleştirip, Selüloz/PFA/MMT biyonanokompozitini sentezlemişler ve yapısını XRD, AFM, TGA ile karakterize etmişlerdir. Kompozitin eksfoliyeli yapıda olduğu ve yüksek termal kararlılığa sahip olduğundan, kaplamacılık alanında özellikle ısıya dayanıklı yapıştırıcı malzemelerin yapımında kullanılabilmesi sonucuna varmışlardır [33]. Liu ve arkadaşları, yanmazlık özelliği kazandırmak ve gaz bariyer özelliklerini incelemek amacıyla, selüloz/MMT biyonanokompozitlerini sentezlemişler ve yapısını FTIR, SEM, Dinamik Mekanik Analiz (DMA) ve TGA ile karakterize etmişlerdir. Selüloza MMT kili ilavesiyle elde edilen biyonanokompozitin oksijen bariyer özelliğinin, saf selülozdan yapılmış biyonanokompozite göre daha iyi sonuç verdiğini tespit etmişlerdir. %50 ve %80 MMT içeren selüloz/MMT biyonanokompozitlerinin açık alev testine tabi tutulduğunda hemen söndüğü gözlemlenmiştir. Yapılan bu çalışmayla, selüloz/MMT biyonanokompozitlere alev aldığında, kendi kendine sönebilme özelliği kazandırıldığı görülmüştür. Bu durumun normal selülozdan yapılan kâğıtlara göre daha avantajlı olduğu ve alternatif olduğu söylenebilir [34]. Ul-Islam ve arkadaşlarının yaptıkları başka bir çalışmada, bakteriyel selülozun MMT süspansiyonuna emdirilmesiyle bakteriyel selüloz/MMT biyonanokompozitini hazırlamışlar ve yapısını FTIR, XRD, SEM ve TGA kullanarak aydınlatmışlardır. Biyonanokompozitin termal ve mekanik özelliklerinde saf bakteriyel selüloza göre ilerleme olduğunu tespit etmişler ve bu kompozitlerin antibakteriyel özelliğinden dolayı; yara iyileştirme, ilaç taşıma gibi biyomedikal alanda kullanılabilmesi sonucuna varmışlardır [35]. Yang ve arkadaşları, selüloz/LiOH/üre çözeltisi ve Na<sup>+</sup>MMT kilini kullanarak biyonanokompozitleri sentezlemişler ve yapısını XRD ve SEM ile karakterize etmişlerdir. Saydam ve esnek özelliğe sahip olan biyonanokompozitin interkele yapıda olduğu tespit edilmiştir. Na<sup>+</sup>MMT kilindeki Na<sup>+</sup> iyonları yerine Li<sup>+</sup> iyonlarının geçtiği gözlemlenmiştir. Özellikle %85 selüloz ve %15 oranında MMT içeren biyonanokompozitlerin Young Modülünün 161, gerilme kuvvetinin ise %180 olduğu tespit edilmiştir. Biyonanokompozitin oksijen geçirgenliği ve termal genişmesinde azalmalar olduğu görülmüştür. Selüloz filmler hidrofilik özelliğe sahipken, biyonanokompozit filmlerin hidrofobik özelliğe sahip olduğu tespit edilmiştir. Modifiye edilmiş selülozun, mekanik özellikleri, optik şeffaflığı, biyoyumuşluğu, biyodegradasyonu, oksijen bariyer özellikleri kuru

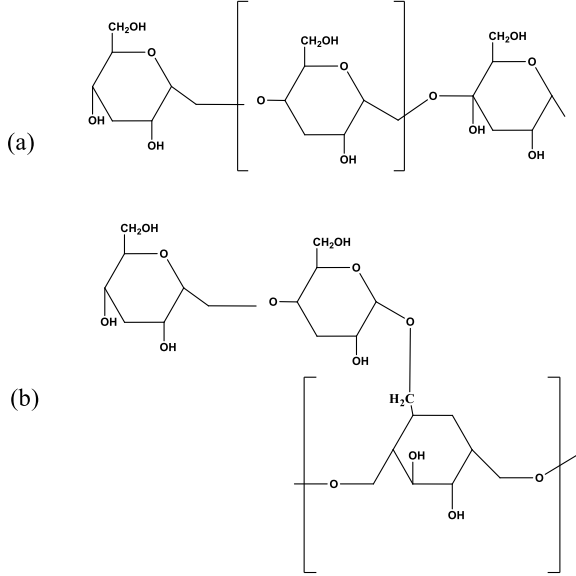
ortamda iyi sonuçlar verirken, nemli ortamdaki oksijen bariyer özelliklerinde geçirgenlik azalmıştır. LiOH/üre/selüloz biyonanokompozitlerinde ise nemli ortamda bile, mekanik dayanım, termal kararlılık ve oksijen gaz bariyer özelliklerinde gelişmeler olduğu tespit edilmiştir. Bu durum biyonanokompozitin farklı alanlarda da uygulama sahası bulabileceğini göstermektedir [36]. Romero ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, selüloz asetat içerikli CA/MMT biyonanokompozitini farklı çözücüler (su, aseton, asetik asit) kullanarak sentezlemişler ve yapısını XRD, TEM, DMA ve X-Işını Mikrotomografisiyle karakterize etmişlerdir. Biyonanokompozitlerin termal ve mekanik özelliklerine çözücü türünün etkisi araştırılmıştır. Böylece, biyonanokompozitlerin morfoloji ve diğer özelliklerini kontrol altına alabilmek için çözücünün büyük öneme sahip olduğu tespit edilmiştir [37]. Tunç ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada, antimikrobiyal bir ajan olan *carvacrol*, Na<sup>+</sup>MMT kili ve metil selüloz kullanarak, MC/*carvacrol*/MMT biyonanokompozitini sentezlemişler, yapısını FTIR, DSC ve SEM ile karakterize etmişlerdir. Biyonanokompozitlerin mekanik özellikleri artarken, su buharı ve oksijen geçirgenliği azalmıştır. Sentezlenen biyonanokompozitin yiyecek paketlenme alanında kullanılabilmesi sonucuna varılmıştır [38]. Ahmadzadeh ve arkadaşları, yüzeyi modifiye edilmiş organo-MMT ile etanol ve suyu selülozla birleştirerek selüloz/kil biyonanokompozit köpüklerini sentezlemişler, yapısını FTIR, SEM ve Geniş Açılı X-Işınları Difraksiyonu (WAXRD) ile karakterize etmişlerdir. Ajan olarak kullandıkları etanol ve su içerikli biyonanokompozit köpüklerin, morfolojik özelliklerini önemli ölçüde etkilediğini görmüşlerdir. Kristal parametrelerinin, kil miktarındaki etkileşim ile arttığı, fakat etanolle muamele edilen örneklerin kristal boyutlarında azalma olduğu WAXRD sonuçlarından anlaşılmıştır. Selülozda ve biyonanokompozit köpüklerdeki inter ve intra moleküler hidrojen bağlarının varlığını FTIR spektrumu ile araştırmışlardır. Selülozun fiziksel, kimyasal ve mekaniksel özelliklerinin değiştirilmesi ile elde edilen biyonanokompozitlerin, farklı endüstriyel alanlarda kullanılabilmesini düşünmüşlerdir [39]. Kumar ve arkadaşları Cr(VI) adsorpsiyonunu araştırmak amacıyla, selüloz/kil biyonanokompozitlerini sentezlemişlerdir. Yapısını FTIR, EDX ile karakterize etmişler ve Brunauer-Emmet-Teller (BET) cihazıyla da nanokompozitin gözeneklilik ölçümünü yapmışlardır. Biyonanokompozitlerin sulu çözeltide Cr(VI) ağır metalini, yüzeyi modifiye edilmiş biyopolimerlere göre daha iyi adsorpladığı sonucuna varmışlardır [40].

### 2.3. Nişasta (Starch)

Nişasta, hidrokoloid olan, doğada en ucuz bulunan ve biyobozunur olan doğal bir polimerdir. Patates, mısır, buğday, pirinç gibi bitkilerden elde edilebilmektedir. Saf nişasta beyaz, tatsız, kokusuzdur ve soğuk su veya alkolde çözünmez. Nişasta hidrofilik karakterde olup, kimyasal yapısı amiloz ve amilopektin olmak üzere iki çeşit molekülden oluşur. Amiloz,  $\alpha$  (1-4) glikozidik



bağıyla birbirine bağlanan glikoz ünitelerinden oluşmuştur ve doğrusaldır, amilopektin ise  $\alpha$  (1-4) ve  $\alpha$  (1-6) glikozidik bağlarıyla bağlanmıştır ve çoğunlukla dallanmış glikoz ünitelerinden meydana gelmektedir [17, 41]. Şekil 8’de nişastanın amiloz (a) ve amilopektin (b) kimyasal yapıları gösterilmektedir.



**Şekil 8.** Nişastanın (a) Amiloz, (b) amilopektin kimyasal yapısı  
(The chemical structure of (a) amylose, (b) amylopectin)

Nişasta granülleri, su ilave edilerek ısıtıldıklarında şişer, hacimleri genişler ve jelatinize hale gelirler. Jelatinizasyon nişastanın reolojik özelliklerini değiştiren önemli bir işlemdir. Jelatinizasyon işleminin sıcaklığı; nişastanın türüne, içerdiği amiloz ve amilopektin miktarına, hidrasyondan kaynaklanan nem miktarına (60 ile 85 °C aralığında) göre değişmektedir [42]. Nişasta suyun aşırısında ısıtıldığı zaman kristalin yapısı bozulur ve su molekülleri hidrojen bağlarıyla amiloz ve amilopektindeki hidroksil gruplarına bağlanır. Bu durum nişasta granüllerinin şişmesine ve çözünürlüğünün de artmasına neden olur. Amorf ve kristalin bölgelerdeki nişasta zinciri arasındaki karşılıklı etkileşim, nişastanın şişme ve çözünürlük özelliklerini etkilemektedir. Bu etkileşim amiloz/amilopektin oranından, amiloz ve amilopektinin molekül ağırlığından, dallanma derecesinden ve uzunluğundan etkilenmektedir [43, 44]. Nişasta termoplastik yapıya sahip olup belirli miktarlarda su ve plastikleştirici (gliserol, poliol vb.) ilavesiyle ısıtılarak işlenebilir. Ham nişasta ve plastikleştirici ilaveli nişasta, sentetik polimerlerle etkileştirilerek farklı kullanım alanları bulmuştur. Ancak, nişastanın suya duyarlı olması, kırılabilirliği ve zayıf mekanik özelliklere sahip olmasından dolayı, bu özelliklerinin iyileştirilmesi gerekmektedir. Bunun için de, nişasta kil ile modifiye edilerek çevre dostu biyokompozitler hazırlanmaktadır [17].

### 2.3.1. Nişasta-MMT Kili Nanokompozitleri (Starch-MMT Clay Nanocomposites)

Huang ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada, mısır nişastası, plastikleştirici olarak üre ve etanolle aktive edilmiş MMT kullanılarak nişasta/kil biyokompozitini sentezlemişler ve yapısını XRD, SEM, TEM ve TGA ile aydınlatmışlardır. Böylece, biyokompozitin termal ve mekanik özelliklerinde iyileşmeler olduğunu tespit etmişlerdir [45]. Olad ve arkadaşı, nişasta/MMT/polianilin biyokompozitini oksidatif polimerizasyonu yöntemi ile sentezlemişler ve yapısını FTIR, XRD, SEM, TEM ve TGA ile karakterize etmişlerdir. Kompozitin reaktif blue navy boyasını sulu çözeltiden adsorbe ederek uzaklaşmasını sağlamışlardır. Biyokompozitin tekstil atıklarındaki reaktif boyaları uzaklaştırmada etkili bir adsorban olarak kullanılabileceği sonucuna varmışlardır [46]. Manjunath ve arkadaşı; tapioca nişastasını glutaraldehitte çapraz bağ yaparak, düşük yoğunluklu polietilen (DYPE) uyumlaştırıcı olarak epoksi ve farklı miktarlarda organokil MMT ile muamele ederek, biyokompozitini sentezlemişler, yapısını FTIR, XRD, SEM, TGA ve DSC ile karakterize etmişlerdir. Biyokompozitin mekanik, termal, su adsorpsiyonu ve biyobozunurluk özelliklerini incelemişler ve bu özelliklerde iyileşmeler olduğunu tespit etmişlerdir. Çaprazbağlı nişasta/MMT kompozitlerinde, organokil miktarının artması ile mekanik özelliklerinin arttığı ancak, organokil miktarının artması ile suda şişme derecesinin azaldığını tespit etmişlerdir. Polietilen plastik kutular, mutfak eşyaları, kaplamalar, boru ve tüp, oyuncak yapımı, paketleme ve ambalaj film yapımında kullanılmaktadır.

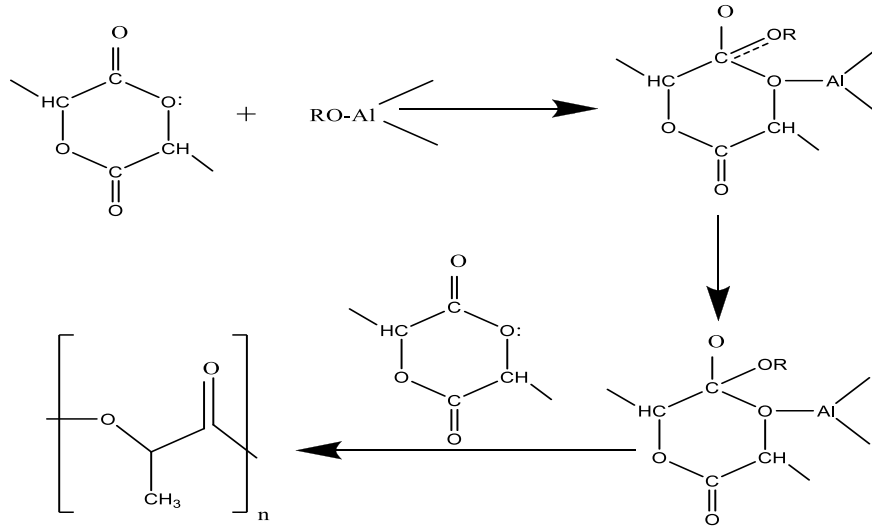
Nişasta/DYPE/MMT biyokompozit malzeme ile polietilenin kullanım özellikleri geliştirilmiş ve çevre kirliliğine sebep olan plastiklerin daha kolay parçalanarak ortamdaki uzaklaştırılmasının sağlanabileceği sonucuna ulaşılmıştır [47]. Pandey ve arkadaşının yapmış olduğu çalışmada, nişasta içerikli biyokompozitler, çözelti metodu kullanılarak kil ve plastikleştiricilerin farklı oranlarda katılmasıyla hazırlanmıştır. Sentezlenen biyokompozitin yapısını FTIR, XRD ve TGA ile karakterize edilmiş ve biyokompozitin termal, mekanik ve su adsorpsiyon çalışmaları yapılmıştır. Nişasta/gliserol/kil biyokompozitinde nişasta matrisine kilin ilavesinden sonra plastikleştirici katılması ile biyokompozitte mekanik sonuçların iyileştirilmesi sağlanmıştır. Ancak, kompozitin su tutma direnci iyi olmadığından paketleme alanında kullanılamayacağı sonucuna varılmıştır [48]. Müller ve arkadaşları, termoplastik nişasta (TPS)/MMT biyokompozitini hazırlamak için eriyik karıştırma ve çözelti metodunu kullanmışlardır. Kompozitin yapısını XRD, SEM ve TGA ile karakterize etmişlerdir. Farklı oranlardaki kil miktarlarına göre hazırlanan kompozitlerde, çözeltide harmanlama yöntemiyle sentezlenen biyokompozitin mekanik özelliklerinin eriyikte harmanlama yöntemiyle yapılandırılana göre daha fazla geliştirdiği tespit edilmiştir [49]. Gao ve arkadaşları, hidroksipropildinişastafosfatın (HPDNF) çeşitli



hidrofilik nanokiller ile oluşturduğu nişasta/kil biyonanokompozitlerini sentezlemişler; yapısını FTIR, XRD, SEM, TEM ve DSC kullanarak aydınlatmışlar; mekanik ve fiziksel özelliklerini incelemişlerdir. Nişasta/kil biyonanokompozitlerin camısı geçiş sıcaklığının düşük olduğu ( $T_g$ : -23,8°C) ve başlangıç ile son sıcaklık arasındaki farkın büyük olmasında dolayı (44,3 °C) ısı kapasitesinin yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Nişasta filmlerin pH, sıcaklık, nem gibi çevresel faktörlere karşı yüksek hassasiyet göstermesi ve zayıf mekanik özelliklerinden dolayı paketleme alanında kullanımı sınırlıdır. Sentezlenen HPDNF/MMT biyonanokompozitlerin çekme direnci artarken, su buharı geçirgenliğinin düşük olmasından dolayı gıda paketleme alanında kullanılabilirliği sonucuna varılmıştır [50].

#### 2.4. Polilaktik Asit (PLA) (Polylacticacid)

Laktik asit her insanın vücudunda oluşan tabii organik bir bileşik olup; kas, kan ve vücudun değişik organlarında bulunur. Laktik asit insanda ya da hayvanda kas dokularıyla ilişkili olduğu için, vücudun doğal metabolizmasında çözünürler. Laktik asidin polimerleşmesiyle oluşan polilaktik asit (PLA)'ın en çok ve en geniş uygulama alanı, tıp alanı ve cerrahidir [51]. Halka açılması polimerizasyon yöntemi kullanılarak laktattan, PLA sentezi Şekil 9'da gösterilmektedir. Enerji tasarrufu sağlaması, hidroliz ve alkoliz yoluyla laktik aside parçalanabilmesi, toprağa karıştığında gübre etkisi yapması, kolay modifikasyonlar ile fiziksel özelliklerinin değiştirilebilmesi PLA'nın diğer biyopolimerlere göre en önemli avantajlarıdır [52].



Şekil 9. PLA'nın sentezi (The synthesis of PLA)

##### 2.4.1. Polilaktikasit-MMT Kili Nanokompozitleri (Polylacticacid-MMT Clay Nanocomposites)

Gu ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada, PLA ile organo modifiye MMT kullanarak çift vidalı ekstrüzyon yöntemi ile, uyumlaştırıcı olarak polikaprolaktom kullanılarak eritme yöntemiyle PLA/kil biyonanokompozitini hazırlamışlar, yapısını XRD ve TEM ile karakterize etmişlerdir. Biyonanokompozitin

viskoelastik özellikleri araştırılmış ve PLA/MMT biyonanokompozitlerin mekanik özelliklerinde iyileşmeler olduğu tespit edilmiştir [53]. Plastikleştirici olarak ilave edilen maddelerin biyonanokompozitlerin mekanik, optik, bariyer ve kristallenme derecesini etkilediği bilinmektedir. Gümüş ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada, PLA/kil biyonanokompozitini sentezlemişler ve yapısını XRD ve DSC ile karakterize etmişlerdir. Plastikleştirici olarak polietilenglikol kullanmışlar ve biyonanokompozitin termal ve morfolojik özelliklerini araştırmışlardır. Farklı kinetik modeller kullanarak plastikleştirici içeren ve içermeyen PLA/MMT biyonanokompozitlerin kristalizasyon ve termal davranışlarını incelemişlerdir [54]. Pluta ve arkadaşları, %3 Na<sup>+</sup>MMT ve organo modifiye edilmiş MMT içeren PLA/kil kompozitini eritme yöntemiyle hazırlamışlardır. Biyonanokompozitlerin yapısını XRD, TGA, DSC, LM (polarizlenmiş ışık mikroskobu) ve SEC (Jel filtrasyon kromatografisi) ile karakterize etmişlerdir. Biyonanokompozitlerin morfolojileri ve termal özellikleri saf PLA ile karşılaştırılmıştır. Çalışmada işlem sıcaklıklarının yapısal karakteristiğe olan etkisi de araştırılmıştır. Biyonanokompozite yanmazlık özelliği kazandırılmış olup, sentezlenen kompozitin yanmaz özellik çalışmalarında öncü olabileceği sonucuna varılmıştır [55]. Ren ve arkadaşları, Na<sup>+</sup>MMT kilini organik katyon ile modifiye ederek eritme yöntemiyle PLA/organokil biyonanokompozitini hazırlamışlardır. Uyumlaştırıcı olarak kullanılan polikaprolaktom (PCL)'nin ve dolgu maddesi organo-MMT'in

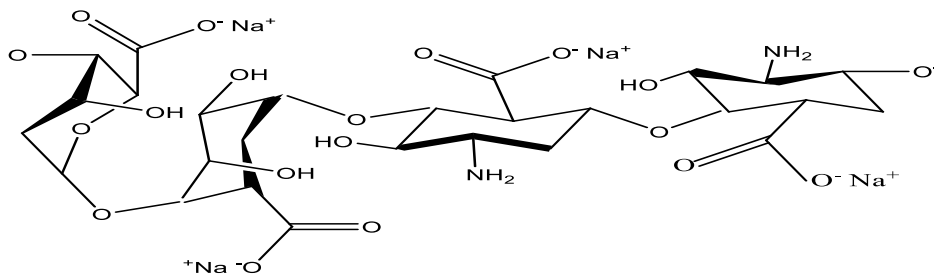
biyonanokompozit özelliklerine etkisi incelenmiştir. Biyonanokompozitlerdeki tabakalar arası genişlemeyi XRD ile karakterize etmişler, termal ve mekanik özellikleri de araştırmışlardır. İnterkele yapıda elde edilen PLA/MMT biyonanokompozitlerin istiflenme kalınlığı artarken, PLA'nın kristallenmesinde azalma olduğu tespit edilmiştir. PCL ve organo-MMT eklenmesi biyonanokompozitin termal özelliklerini oldukça

etkilemiştir [56]. Ogata ve arkadaşları, organik olarak modifiye ettikleri  $\text{Na}^+\text{MMT}$  ile PLA/kil biyonanokompozitlerini sentezlemişler, yapısını XRD ve DSC ile karakterize etmişlerdir. PLA/MMT biyonanokompozitlerin mekanik özelliklerinde iyileşmeler olduğunu tespit etmişlerdir [57].

PLA ile yapılan filmler çoğunlukla paketlenme alanında kullanılmaktadır. PLA filmlerin mekanik özelliklerinin zayıf olmasından, MMT kili ilave edilmesiyle ısı kapasitesi, tutuşma sıcaklığı ve gaz bariyer özellikleri geliştirilebilir. Katıyar ve arkadaşlarının yapmış oldukları bir çalışmada, polimerizasyon yöntemiyle hem laktik hem de laktik asidin katalizör sistemleriyle PLA/kil biyonanokompozitlerini hazırlamışlardır. Organik modifiye edilmiş kil ile hazırlanan biyonanokompozitin yapısı dağılmış yapıda oluşurken, modifiye edilmemiş MMT ile hazırlanan biyonanokompozitlerin yapısı aralanmış yapıda olduğu XRD ile tespit edilmiştir. Sentezledikleri biyonanokompozitte oksijen ve su buharı geçirgenliğinin azaldığını gözlemlemişler ve böylece, gıda paketlenme alanında kullanılabileceği sonucuna varmışlardır [58].

## 2.5. Aljinat (Alginate)

Aljinat, doğal bir polisakkarit olan aljinik asidin sodyum tuzudur ve kimyasal formülü  $\text{C}_6\text{H}_7\text{O}_6\text{Na}$ 'dır. Kahverengi su yosunundan elde edilen aljinat, soğuk ve sıcak suda kolaylıkla çözünür ve bu özelliği sayesinde ısıya dayanıklı jeller oluşturabilir. Sodyum-aljinat ( $\text{Na}^+\text{Alj}$ ) gıda sektöründe kıvam artırıcı, emülsiyon sabitliğini sağlayıcı, jelleştirici ve viskozite artırıcı olarak, soslar, çorbalar, içecekler ve tatlılar gibi çeşitli gıdalarda kullanılmaktadır. Ayrıca  $\text{Na}^+\text{Alj}$ , tekstil sanayisinden, medikal uygulamalara, gıda uygulamalarından ağır metallerin uzaklaştırılmasına kadar pek çok uygulama alanına sahiptir [59, 60]. Şekil 10'da  $\text{Na}^+\text{Alj}$  yapısı gösterilmektedir.



Şekil 10.  $\text{Na}^+\text{Alj}$ inatin kimyasal yapısı (The chemical structure of  $\text{Na}^+\text{Alginate}$ )

### 2.5.1. Aljinat-MMT Kili Nanokompozitleri (Alginate-MMT Clay Nanocomposites)

Zlopasa ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada, anyonik biyopolimer  $\text{Na}^+\text{Alg}$  ile MMT kilini kullanarak,  $\text{Na}^+\text{Alg/MMT}$  biyonanokompozit filmini döküm metodu kullanarak hazırlamışlar ve yapısını XRD, ESEM (Çevresel elektron mikroskobu) ve WXAS (Geniş Açılı X-Işını Saçılma) ile karakterize etmişlerdir [61]. Alboofetileh ve arkadaşları, MMT ve çapraz bağlayıcı olarak  $\text{CaCl}_2$  kullanarak  $\text{Na}^+\text{Alg/MMT}$

biyonanokompozitini hazırlamışlar ve yapısını ise XRD ile karakterize etmişlerdir. %3 kil ilavesi ve farklı oranlardaki  $\text{CaCl}_2$  eklenmesiyle, su buharı geçirgenliğinin %30, sudaki çözünürlüğün %39 oranında azaldığını gözlemlemişlerdir. Bununla birlikte biyonanokompozitin hidrofilik karakteri artarken, mekanik özelliğinin de saf aljinat filmlere göre %36 oranında arttığını tespit etmişlerdir.  $\text{Na}^+\text{Alg/MMT}$  biyonanokompozitinin gıda paketlenme alanında kullanılabileceği sonucuna varmışlardır [62].

## 3. SONUÇLAR (CONCLUSION)

Bilim ve teknoloji alanındaki hızlı gelişmelere bağlı olarak yeni malzeme arayışları, biyopolimerlerle ilgili çalışmaların en etkili yürütücü kuvveti olmuştur. Biyopolimerlerin ekonomik olması ve toksik özellik göstermemesinden ve kilin ekonomik ve kolay elde edilebilir olmasından dolayı, bu konu üzerine çalışmalar yoğunlaşmıştır [63]. Gerek biyopolimerlerin çeşitli yöntemlerle modifikasyonu ile elde edilen biyopolimer/MMT kil nanokompozitleri, gerek kili modifiye ederek elde edilen biyopolimer/organokil nanokompozitleri, bu çalışma sahasının ne kadar geniş olduğunu göstermektedir. Önümüzdeki yıllarda bilimsel faaliyetlerin ve endüstrinin bu çalışma alanını geliştirecek farklı çalışmalara yöneleceğini düşünmekteyiz ve bu amaçla, hedef odaklı biyopolimer-kil içerikli malzemelerin sentezinin artırılacağını düşünmekteyiz. Bu çalışmada, biyopolimerler ile MMT kili kullanılarak elde edilen biyonanokompozitlerin; antimikrobiyal, termal, mekanik ve bariyer özelliklerinde önemli iyileşmeler sağladığı, su ve oksijen geçirgenliğinde olumlu ilerlemeler görüldüğü ve metal ve boya tutmada başarı sağladığı tespit edilmiştir.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Herdman R. C., "Biopolymers: making materials nature's way", *Government Printing Office*, Washington DC., U.S.A., (1993).
2. Çankaya N., "Selüloz üzerinde aşılama çalışmaları", *Doktora Tezi*, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, (2011).
3. Etemadi O., Petrisor I. G., Kim D., Wan M-W., Yen T. F., "Stabilization of metals in subsurface by biopolymers: laboratory drainage flow studies", *Soil and Sediment*

- Contamination: An International Journal**, 12(5): 647-661, (2003).
4. John J. M., Thomas S., "Natural polymers", **RSC Green Chemistry**, 17, RSC Publishing, (2012).
  5. Utracki L. A., "Clay-containing polymeric nanocomposites", **Rapra Technology Limited**, 1, United Kingdom, (2004).
  6. Ünlü C. H., "Mısır koçanı ksilanından mikro/nanokompozit eldesi", **Doktora Tezi**, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul (2009).
  7. Eser N., "Bazı haloisit-polimer nanokompozitlerin hazırlanması ve karakterizasyonu", **Yüksek Lisans Tezi**, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara (2010).
  8. Grim R. E. and Güven N., "Bentonites, geology, mineralogy, properties and uses (devel. sedimentol., 24)", **Elsevier**, Amsterdam, 256, (1978) .
  9. Holtz R. D. and Kovacs W. D., "An introduction to geotechnical engineering", **Prentice-Hall, Inc.**, New Jersey, (1981).
  10. Yano K., Usuki A., Okada A. T. and Kamigaito K. O., "Synthesis and properties of polyimide-clay hybrid", **Journal of Polymer Science: Part A Polymer Chemistry**, 31: 2493-2498, (1993).
  11. Magaraphan R., Lilayuthalert W., Sirivat A. and Schwank J. W., "Preparation, structure, properties and thermal behavior of rigid-rod polyimide/montmorillonite nanocomposites", **Composites Science and Technology**, 61: 1253-1264, (2001).
  12. Noyan H., "Sütunlanmış killerin hazırlanması ve bazı fizikokimyasal özelliklerinin belirlenmesi", **Doktora Tezi**, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara (2007).
  13. Toprakgezer F., "Nanokompozit sentezinde kullanılacak Na-bentonit kilinin saflaştırılması", **Yüksek Lisans Tezi**, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana (2010).
  14. Ahmadi S. J., G'Sell C., Huang Y., Ren N., Mohaddespour A., Hiver J. M., "Mechanical properties of NBR/clay nanocomposites by using a novel testing system". **Composites Science and Technology**, 69: 2566-2572, (2009).
  15. Paiva L. B., Morales A. R. and Díaz F. R. V., "Organoclays: properties, preparation and applications", **Applied Clay Science**, 42: 8-24, (2008).
  16. Çankaya N., Sökmen Ö., "Kitosan-Cloisite kili biyonanokompozitleri", **International Science Symposium**, İstanbul/Büyükkada, 133-142, (2016).
  17. Seçkin T., "Biyopolimerler", "Polimer kimyası fonksiyonel yaklaşım ve uygulamaları", **Seçkin Yayıncılık**, Ankara, (2015).
  18. Lim S.H., "Synthesis of a fiber-reactive chitosan derivative and its application to cotton fabric as an antimicrobial finish and a dyeing-improving agent", **Ph.D Thesis**, North Carolina State University, U.S.A, (2002).
  19. Çankaya N., Turan N. and Sökmen Ö., "Schiff bazı biyopolimerleri", **International Science Symposium**, İstanbul/Büyükkada, 67-77, (2016).
  20. Darder M., Colilla M. and Hitzky E. R., "Chitosan-clay nanocomposites: application as electrochemical sensors", **Applied Clay Science**, 28: 199-208, (2005).
  21. Wang S. F., Shen L., Tong Y. J., Chen L., Phang I. Y., Lim P. Q., Liu T. X., "Biopolymer chitosan/montmorillonite nanocomposites: preparation and characterization", **Polymer Degradation and Stability**, 90: 123-131, (2005).
  22. Choudhari S. K., Kariduraganavar M. Y., "Development of novel composite membranes using quaternized chitosan and Na<sup>+</sup>-MMT clay for the pervaporation dehydration of isopropanol", **Journal of Colloid and Interface Science**, 338: 111-120, (2009).
  23. Zhang J. P., Wang A. Q., "Synergistic effects of Na<sup>+</sup>-montmorillonite and multi-walled carbon nanotubes on mechanical properties of chitosan film", **Express Polymer Letters**, 3: 302-308, (2009).
  24. Yao H. B., Tan Z. H., Fang H. Y., Yu S. H., "Artificial nacre-like bionanocomposite films from the self-assembly of chitosan-montmorillonite hybrid building blocks", **Angewandte Chemie International Edition**, 49: 10127-10131, (2010).
  25. Lavorgna M., Piscitelli F., Mangiacapra P. And Buonocore G. G., "Study of the combined effect of both clay and glycerol plasticizer on the properties of chitosan films", **Carbohydrate Polymers**, 82: 291-298, (2010).
  26. Ahmad M. B., Shameli K., Darroudi M., Yunus W. M. Z. W. and Ibrahim N. A., "Synthesis and characterization of silver/clay/chitosan bionanocomposites by UV-irradiation metho", **American Journal of Applied Sciences**, 6(12): 2030-2035, (2009).
  27. Günister E., Pestreli D., Ünlü C. H., Atıcı O. and Güngör N., "Synthesis and characterization of chitosan-MMT biocomposite systems", **Carbohydrate Polymers**, 67: 358-365, (2007) .
  28. Hong S. I., Lee J. H., Bae H. J., Koo S. Y., Lee H. S., Choi J. H., Kim D. H., Park S. H. and Park H. J., "Effect of shear rate on structural, mechanical, and barrier properties of chitosan/montmorillonite nanocomposite film", **Journal of Applied Polymer Science**, 119: 2742-2749, (2011).
  29. Chang M. Y., Juang R. S., "Adsorption of tannic acid, humic acid, and dyes from water using the composite of chitosan and activated clay", **Journal of Colloid and Interface Science**, 278: 18-25, (2004).
  30. Çankaya N. and Sökmen Ö., "Selüloz-Cloisite kili içeren biyonanokompozitler", **1<sup>st</sup> International Academic Research Congress**, Antalya/Side , (2016).
  31. Williams P. A., "Renewable resources for functional polymers and biomaterials", **RSC Publishing**, Glyndwr University, Wrexham, UK, (2011).
  32. Kırıcı H., Ateş S. ve Akgül M., "Selüloz türevleri ve kullanım yerleri", **Fen ve Mühendislik Dergisi**, 4(2): 119-130, (2001).
  33. Pranger L. and Tannenbaum R., "Biobased nanocomposites prepared by in situ polymerization of furfuryl alcohol with cellulose whiskers or montmorillonite clay", **Macromolecules**, 41: 8682-8687, (2008).
  34. Liu A., Walther A., Ikkala O., Belova L. and Berglund L. A., "Clay nanopaper with tough cellulose nanofiber matrix for fire retardancy and gas barrier functions", **Biomacromolecules**, 12: 633-641, (2011).
  35. Ul-Islam M., Khana T. and Park J. K., "Nanoreinforced bacterial cellulose-montmorillonite composites for biomedical applications", **Carbohydrate Polymers**, 89: 1189-1197, (2012).

36. Yang Q., Wu C.-N., Saito T. and Isogai A., "Cellulose-clay layered nanocomposite films fabricated from aqueous cellulose/LiOH/urea solution", *Carbohydrate Polymers*, 100: 179-184, (2014).
37. Romero R. B., Leite C. A. P. and Gonçalves M. D. C., "The effect of the solvent on the morphology of cellulose acetate/montmorillonite nanocomposites", *Polymer*, 50: 161-170, (2009).
38. Tunç S., Duman O. and Polat T. G., "Effects of montmorillonite on properties of methyl cellulose/carvacrolbased active antimicrobial nanocomposites", *Carbohydrate Polymers*, 150: 259-268, (2016).
39. Ahmadzadeh S., Desobry S., Keramata J. and Nasirpour A., "Crystalline structure and morphological properties of porous cellulose/clay composites: the effect of water and ethanol as coagulants", *Carbohydrate Polymers*, 141: 211-219, (2016).
40. Kumar A. S. K., Kalidhasan S., Rajesh V. and Rajesh N., "Application of cellulose-clay composite biosorbent toward the effective adsorption and removal of chromium from industrial wastewater", *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 51: 58-69, (2012).
41. Zobel H. F., "Molecules to granules: a comprehensive starch review", *Starch/Stärke*, 40: 44-50, (1988).
42. Alavi S., "Starch research over the years", *Food Research International*, 36: 307-308, (2003).
43. Hoover R., "Composition, molecular structure, and physicochemical properties of tuber and root starches: a review", *Carbohydrate Polymers*, 45: 253-267, (2001).
44. Karapantsios T. D., Sakonidou E. P. and Raphaelides S. N., "Water dispersion kinetics during starch gelatinization", *Carbohydrate Polymers*, 49: 479-490, (2002).
45. Huang M. and Yu J., "Structure and properties of thermoplastic corn starch/montmorillonite biodegradable composites", *Journal of Applied Polymer Science*, 99: 170-176, (2006).
46. Olad A. and Azhar F. F., "Eco-friendly biopolymer/clay/conducting polymer nanocomposite: characterization and its application in reactive dye removal", *Fibers and Polymers*, 15: 1321-1329, (2014).
47. Manjunath L., Sailaja R. R. N., "Starch/polyethylene nanocomposites: mechanical, thermal, and biodegradability characteristics", *Composites Engineers*, 1-12, (2014).
48. Pandey J. K. and Singh R. P., "Green nanocomposites from renewable resources: effect of plasticizer on the structure and material properties of clay-filled starch", *Starch/Stärke*, 57: 8-15, (2005).
49. Müller P., Kapin É. and Fekete E., "Effects of preparation methods on the structure and mechanical properties of wet conditioned starch/montmorillonite nanocomposite films", *Carbohydrate Polymers*, 113: 569-576, (2014).
50. Gao W., Dong H., Hou H. and Zhang H., "Effects of clays with various hydrophilicities on properties of starch-clay nanocomposites by film blowing", *Carbohydrate Polymers*, 88: 321-328, (2012).
51. Üner İ. ve Koçak E. D., "Poli(laktik asit)'in kullanım alanları ve nano lif üretimdeki uygulamaları", *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 11 (22): 79-88, (2012).
52. Dorgan J., Lehermeier R. H. and Mang M., "Thermal and rheological properties of commercial-grade poly(lactic acid)s", *Journal of Polymers and the Environment*, 8: 1-9, (2000).
53. Gu S. Y., Ren J. and Dong B., "Melt rheology of polylactide/montmorillonite nanocomposites", *Journal of Polymer Science: Part B: Polymer Physics*, 45: 3189-3196, (2007).
54. Gumus S., Ozkoc G. and Aytac A., "Plasticized and unplasticized PLA/organoclay nanocomposites: short- and long-term thermal properties, morphology, and nonisothermal crystallization behavior", *Journal of Applied Polymer Science*, 123: 2837-2848, (2012).
55. Pluta M., Galeski A., Alexandre M., Paul M.A. and Dubois P., "Polylactide/montmorillonite nanocomposites and microcomposites prepared by melt blending: structure and some physical properties", *Journal of Applied Polymer Science*, 86: 1497-1506, (2002).
56. Ren J., Yu T., Li H., Ren T. and Yang S., "Studies on morphologies and thermal properties of poly(lactic acid)/polycaprolactone/organic-modified montmorillonite nanocomposites", *Polymer Composites*, 29: 1145-1151, (2008).
57. Ogata N., Jimenez G., Hidekazu K. and Ogihara T., "Structure and thermal/mechanical properties of poly (l-lactide)-clay blend", *Journal of Polymer Science*, 35: 389-396, (1997).
58. Katiyar V., Gerds N., Koch C. B., Risbo J., Hansen H. C. B. and Plackett D., "Melt processing of poly(l-lactic acid) in the presence of organomodified anionic or cationic clays", *Journal of Applied Polymer Science*, 122: 112-125, (2011).
59. Safi S., Morshed M., Ravandi H. S. A. and Ghiachi M., "Study of electrospinning of sodium alginate, blended solutions of sodium alginate/poly(vinyl alcohol) and sodium alginate/poly (ethylene oxide)", *Journal of Applied Polymer Science*, 104: 3245-3255, (2007).
60. Zactiti E. M. and Kieckbush T., "Potassium sorbate permeability in biodegradable alginate films", *Journal of Food Engineering*, 77: 462-467, (2006).
61. Zlopasa J., Norder B., Koenders E. A. B. and Picken S. J., "Origin of highly ordered sodium alginate/montmorillonite bionanocomposites", *Macromolecules*, 48: 1204-1209, (2015).
62. Alboofetileh M., Rezaei M., Hosseini H. and Abdollahi M., "Effect of nanoclay and cross-linking degree on the properties of alginate-based nanocomposite film", *Journal of Food Processing and Preservation*, 38: 1622-1631, (2014).
63. Çankaya N. ve Sökmen Ö., "Kitosan Kil Biyonanokompozitleri", *Politeknik Dergisi*, 19(3): 283-285, (2016).



# POLİTEKNİK DERGİSİ

## JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://www.politeknik.gazi.edu.tr/index.php/PLT/index>

## Farklı özlü tel kullanılarak birleştirilen S275 yapı çeliğinin mekanik ve mikroyapı özelliklerinin incelenmesi

### *Investigation of mechanical and microstructure properties of S275 structural steel joined by using different flux cored wire*

Yazar(lar) (Author(s)): Bekir ÇEVİK

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz:** Çevik B., “Farklı özlü tel kullanılarak birleştirilen S275 yapı çeliğinin mekanik ve mikroyapı özelliklerinin incelenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 20(3): 675-680, (2017).

**To cite this article:** Çevik B., “Farklı özlü tel kullanılarak birleştirilen S275 yapı çeliğinin mekanik ve mikroyapı özelliklerinin incelenmesi”, *Journal of Polytechnic*, 20(3): 675-680, (2017).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://www.politeknik.gazi.edu.tr/index.php/PLT/issue/archive>

**DOI:** [10.2339/politeknik.339397](https://doi.org/10.2339/politeknik.339397)

# Farklı Özlü Tel Kullanılarak Birleştirilen S275 Yapı Çeliğinin Mekanik ve Mikroyapı Özelliklerinin İncelenmesi

Bekir ÇEVİK\*

Düzce Üniversitesi, Gümüşova M.Y.O., Kaynak Teknolojisi Bölümü, 81850, Gümüşova, Düzce

(Geliş/Received : 05.08.2016 ; Kabul/Accepted : 09.11.2016)

## ÖZ

Özlü teller, iç kısımlarına yerleştirilen ve toz halindeki çeşitli bileşenlerden oluşmaktadır. Özü oluşturan bileşenlerin amaca göre değiştirilebilmesi sayesinde özlü teller çok yönlü kullanım özelliklerine sahiptirler. Günümüzde değişik kaynak yöntemleri ve değişik malzemeler için geliştirilmiş olan özlü teller (elektrotlar) bulunmaktadır. Bu nedenle özlü tel ark kaynak yönteminde özlü tel elektrotlarla yapılan mekanize kaynak da gittikçe önem kazanmaktadır. Özlü tel ark kaynak yönteminde farklı koruyucu gazlar ve karışımları ile kullanımı konusunda araştırmalar devam etmektedir. Bu çalışmada, S275 yapı çeliği levhalar özlü tel ark kaynak yöntemi ile rutil ve bazik özlü teller kullanılarak ticari saflıktaki argon atmosferinde birleştirilmiştir. Bu amaçla 10 mm kalınlıktaki S275 çelik levhalara 70° çift V kaynak ağız formu oluşturulmuştur. Kaynaklı numunelerin mekanik ve mikroyapı özelliklerini belirlemek için çekme ve sertlik testi ile metalografik incelemeler yapılmış ve saf argon gazının farklı özlü teller ile kullanılabilirliği araştırılmıştır. Yapılan çekme testi sonucunda en yüksek mekanik özellikler bazik özlü tel ile yapılan kaynak dikişlerinden elde edilmiştir. Çekme testi esnasında kaynaklı numunelerdeki ayrılma, genellikle de geçiş bölgesine yakın yerlerde meydana gelmiştir. Bütün kaynak parametrelerinde, kaynak metal sertliğinin ısının tesiri altında kalan bölge (ITAB) ve esas metalden yüksek olduğu görülmüştür. Mikroyapı çalışmaları sonucunda ITAB'ta tane irileşmesinin meydana geldiği tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Özlü tel ark kaynağı, rutil ve bazik özlü tel, saf argon, S275 yapı çeliği, mekanik özellikler, mikroyapı.

## Investigation of Mechanical and Microstructure Properties of S275 Structural Steel Joined by Using Different Flux Cored Wire

### ABSTRACT

Flux cored wires are composed of various components that are placed in their internal parts and have powder form. Since components constituting core can be changed according to purpose, flux cored wires have multidimensional properties of use. Today, there are various flux cored wires (electrodes) that have been developed for different welding methods and different materials. Therefore, mechanized welding, performed with flux cored wire electrodes in flux cored arc welding method, has also gained importance day by day. Studies conducted on use of different shielding gasses and gas combinations in flux cored arc welding method have been ongoing. In this study, S275 structural steel plates were welded under commercial pure argon atmosphere via flux cored arc welding method by using rutil and basic flux cored wires. For this purpose, 70° double V weld groove form was formed for 10 mm thick S275 steel plates. Metallographic examinations were performed through tensile and hardness tests in order to determine mechanical and microstructure properties of welded samples and usability of pure argon gas with different flux cored wires was investigated. As a result of tensile test, the highest mechanical properties were obtained from weld seams performed by using basic flux cored wires. Separation in welded samples during tensile test generally occurred zones close to transition zone. It was observed in all welding parameters that hardness of weld metal was higher than heat affected zone (HAZ) and base metal. As a result of microstructure studies, it was determined that grain coarsening occurred in HAZ.

**Keywords:** Flux-cored arc welding, rutil and basic cored wire, pure argon, S275 structural steel, mechanical properties, microstructure.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Özlü tel ark kaynağı (ÖTAK) yöntemi endüstride demir ve demir dışı metallerin kaynağında yaygın kullanılan ergitmeli bir kaynak yöntemidir. ÖTAK yönteminde kaynak için gereken ısı, eriyen ve sürekli beslenen bir tel elektrotla iş parçası arasında oluşan ark yoluyla elde

edilir. Kaynak teli ark bölgesine otomatik olarak gönderilir, ergir ve kaynak metalini oluşturur [1,2]. ÖTAK yönteminde içi cüruf oluşturucu, gaz oluşturucu, alaşım elementleri ve deoksidasyon elementlerle doldurulmuş teller kullanılır. Tel içerisine yerleştirilen bu elementler manuel metal ark kaynak (MMAK) yönteminde kullanılan elektrotların örtüsüyle aynı görevi yapar [3,4]. Ark oluştuğunda bu elementler yanarak hem kaynak dumanı oluşturur hem de kaynak metalini alaşımlandırarak kaynak mukavemetini artırır ve kaynak

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: bekircevik@duzce.edu.tr

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/politeknik.339397



dikişi üzerinde ince bir cüruf tabakası oluşur [1]. Ayrıca, kaynak bölgesi gaz metal ark kaynağında (GMAK) olduğu gibi koruyucu bir gaz ile korunur. Koruyucu gaz olarak argon (Ar), helyum (He), karbondioksit (CO<sub>2</sub>) gazları ve bu gazların değişik oranlardaki karışımları kullanılır [5-8].

Argon gazı demir ve demir dışı metallerin kaynağında kullanılabilen soy bir gazdır. Argon gazının yoğunluğu havadan 1.38 kat daha yüksektir. Ayrıca, düşük iyonizasyon enerjisi sahiptir. Bu özellikler nedeniyle Argon gazı, özellikle yatay pozisyonlarda çevredeki atmosferin ergimiş kaynak banyosuyla temasını etkin bir biçimde engelleyen bir gazdır. Kaynak bölgesini koruma görevi dışında Argon gazının kaynak işlemine ve kaynak dikişine birçok farklı etkileri vardır. Arkin karakteristiğine, metal transfer şekline, kaynak nüfuziyetine, kaynak dikiş profiline ve mekanik özelliklere etki etmesinin yanında soy bir gaz olması nedeniyle kaynak bölgesini temizleme özelliği de vardır. Argon gazı sessiz ve düzgün bir ark sağlar, kolay bulunur ve düşük maliyetlidir [2,6].

Bazik özlü teller, yüksek mekanik özelliklere sahip kaynak metali istenilen yerlerde tercih edilmektedir. Tokluk değerleri çok yüksek olduğundan bazik özlü teller, basınçlı kap ve kazan, depolama tankları, basınçlı borular, çelik konstrüksiyonlar ve gemilerde birleştirme kaynaklarında kullanılır. Ayrıca yüksek karbonlu ve kaynağı zor çeliklerde sert dolgu kaynağı öncesinde tampon tabaka amaçlı kullanıma uygundur. Bazik özlü teller ile yüksek kaliteli ve gözeneksiz kaynak dikişleri elde edilebilmektedir [2,7]. Rutil özlü teller, özellikle gemi inşaatı ve çelik konstrüksiyon imalat kaynaklarında kullanım için geliştirilmiştir. Bu tip kaynak telleri ile kaynak banyosu kolay kontrol edilebildiğinden ve curufu hızlı katılaştığından her pozisyonda kaynak yapmaya uygundur. Rutil özlü teller yüksek akım değerlerinde çalışma imkanı sağladığından kaynak metali yığılma hızı yüksek olmasının yanı sıra sıçramasız, düzgün ve parlak kaynak dikişleri verir. Ayrıca, rutil özlü teller ile yapılan kaynak dikişlerinin curufu kolay kalkma özelliğine sahiptir [2,4,7,8].

Farklı gaz atmosferleri kullanılarak farklı çeliklerin kaynağında özlü tellerin kullanılabilmesi ile ilgili çalışmalar günümüzde de yoğun bir şekilde devam etmektedir. Sönmez ve Ceyhan [8], yaptığı bir çalışmada S235 JR çelik levhaları ÖTAK yöntemi ile farklı kaynak pozisyonlarında birleştirmiştir. Kaynak işlemlerinde 100% CO<sub>2</sub> ve rutil özlü tel kullanmışlardır. En iyi mekanik özellikler düz yatay (PA) pozisyonda yapılan kaynak dikişlerinde elde etmişlerdir. Ayrıca kaynak

dikişlerinde porozite oluştuğunu rapor etmişlerdir. Işık [9], yapmış olduğu bir çalışmada ST 52 çelik malzemeleri farklı özlü tel elektrotlar kullanarak birleştirmiş ve özlü tel tipinin kaynak dikiş özelliklerine etkisini araştırmıştır. Yaptığı çalışmada çekme testi sonucunda elde edilen mekanik özelliklerin birbirine yakın olmakla birlikte en iyi mekanik özelliklerin rutil özlü tel ile yapılan kaynak dikişlerinde meydana geldiğini rapor etmiştir. Güner [10], yaptığı çalışmada ST 37 çelik malzemeleri SG2 içi dolu (masif) ve rutil özlü tel kullanarak birleştirmiştir. Yapılan çekme testi sonucunda tüm numunelerin ana metalden kopması nedeniyle çekme dayanımı ve % uzama miktarlarının yakın değerlerde olduğunu rapor etmiştir. Endüstrisinde kullanılan malzeme çeşitlerinin artması, farklı özellikler gerektiren yerlerde farklı metal bağlantılarının gerekliliği ve ekonomik faktörlerin giderek önem kazanması metallerin kaynağında en ideal sarf malzemelerin kullanılması zorunlu kılmaktadır [11]. Yüzlerce farklı metal ve alaşımlarının olduğu düşünüldüğünde en uygun kaynak teli (elektrot) ve koruyucu gaz seçimi oldukça zordur. Hatta her kaynak yönteminde farklı ilave tel çeşitlerinin bulunması ve farklı koruyucu gazlarının kullanılabilmesi düşünüldüğünde durum daha da karmaşık bir hal almaktadır. Bu nedenle kaynak öncesi kaynaklı birleştirmeden beklenen en iyi dayanım özelliklerinin hangi değişkenlerle (ilave tel, koruyucu gaz, akım, voltaj v.s) elde edilebileceğinin belirlenmesi gerekmektedir [4,9-13].

Bu çalışmada, ÖTAK yöntemi ile ticari saflıkta Ar atmosferi altında birleştirilen S275 yapı çeliğinin mekanik ve mikroyapısal özelliklerine bazik ve rutil özlü tellerin etkisi araştırılmıştır. S275 yapı çelikleri özellikle çelik konstrüksiyonlarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Kullanılan kaynak tel türünün kaynaklı birleştirmenin mekanik özelliklerine etkisini belirlemek için çekme ve sertlik testleri uygulanmıştır. Ayrıca, kaynak metali ile ısının tesiri altında kalan (ITAB) bölgede meydana gelen mikroyapılar ve tane morfolojisi değerlendirilmiştir.

## 2. MALZEME VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

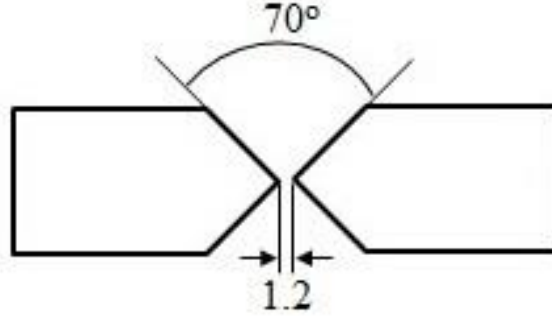
Bu çalışmada, 200×80×10 mm ebatlarında S275 yapı çeliği levhalar ÖTAK yöntemleri ile farklı özellikte kaynak telleri kullanılarak birleştirilmiştir. Kaynak teli olarak bazik ve rutil karakterli özlü teller kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan esas metalin ve kaynak tellerinin

**Çizelge 1.** Esas metal ve kaynak telinin kimyasal kompozisyonu (The chemical compositions of base metal and welding wires)

	C	Si	Mn	P	S
S275 yapı çeliği	0,21	0,3	1,5	0,045	0,045
Rutil özlü tel (EN ISO 17632-A)	0.04	0.6	1.4	0.015	0.015
Bazik özlü tel (EN 17632:2009)	0.06	0.55	1.15	0.010	0.010

**Çizelge 2.** Esas metal ve kaynak telinin mekanik özellikleri (The mechanical properties of base metal and welding wires)

	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	% Uzama
S275 yapı çeliği	min. 245	612.5	34
Rutil özlü tel (EN ISO 17632-A)	420	500-640	min. 22
Bazik özlü tel (EN 17632:2009)	420	500-640	min. 20

**Şekil 1.** Kaynak ağız formu (Welding groove configuration)

kimyasal bileşimleri Çizelge 1, mekanik özellikleri Çizelge 2’de verilmiştir.

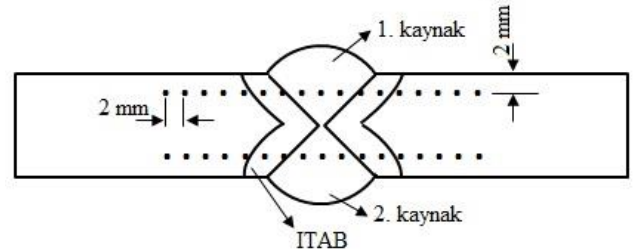
Kaynak işlemlerinde tam nüfuziyet sağlamak amacıyla çelik plakalara çift V kaynak formu oluşturulmuştur. Çelik plakalara Şekil 1’deki gibi 70° çift V kaynak ağızı açılmış ve 1.2 mm kök aralığı bırakılarak puntalanmıştır. Kaynak işlemlerinde koruyucu gaz olarak ticari saflıktaki argon (% 100 Ar) kullanılmıştır. Kaynak teli olarak 1.2 mm çapında bazik ve rutil özlü kaynak telleri kullanılmıştır. Kaynaklı numunelerin üretiminde GKM 420-2W tip su soğutmalı gazaltı kaynak makinesi kullanılmıştır. Kaynak işlemleri Çizelge 3’teki kaynak parametreleri kullanılarak yatay pozisyonda yapılmıştır. Çalışmalarda kullanılan kaynak parametre değerlerine, yapılan ön çalışmalar sonucu karar verilmiştir. Kaynak işlemleri çift yönlü olarak iki pasoda gerçekleştirilmiş ve kaynatılan numuneler açık havada soğumaya bırakılmıştır.

**Çizelge 3.** Kaynak parametreleri (Welding parameters)

Kaynak akımı	150 A
Kaynak voltajı	24 V
Tel hızı	5 m/dak
Kaynak hızı	5 mm/s
Gaz debisi	12 lt/dak
Elektrot çapı	1.2 mm
Elektrot tipi	Bazik ve rutil özlü tel
Koruyucu gaz	Argon (ticari saflıkta)

Birleştirilen numunelere metalografik testlerin yanı sıra sertlik ve çekme gibi mekanik testler yapılmıştır. Kaynaklı numunelerden 3'er adet çekme, 1'er adet mikroyapı ve sertlik numunesi hazırlanmıştır. Çekme test numuneleri ASTM-E8 standardına göre hazırlanmıştır. Çekme testleri BME-T serisi 100 kN’luk universal çekme test cihazı kullanılarak yapılmıştır. Mikroyapı ve

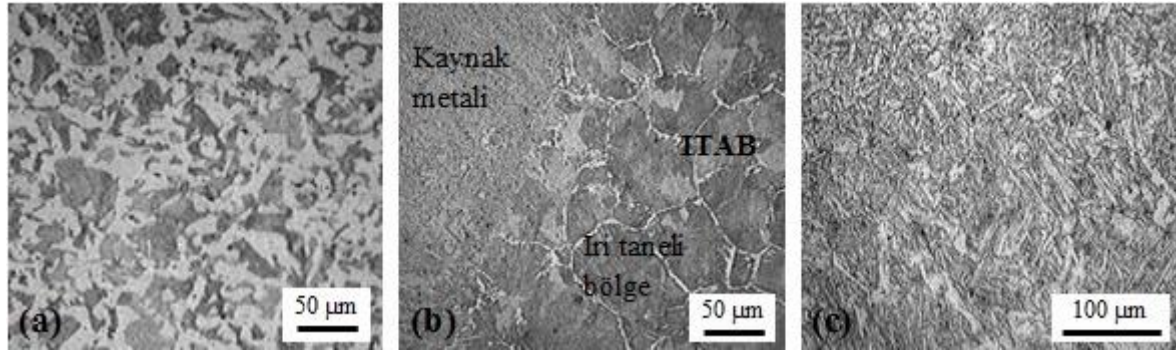
sertlik numunelerine standart yöntemlerle zımparalama, parlatma ve dağlama işlemleri uygulanmıştır. Numuneler % 2’lik nital çözeltisi ile dağlanmış ve Metkon Inverted Tip metal mikroskobu kullanılarak mikroyapıları incelenmiştir. Kaynaklı numunelerin sertlik dağılımı üniversal sertlik test cihazı kullanılarak Rockwell B (HR<sub>B</sub>) cinsinden belirlenmiştir. Sertlik işlemleri, 1/16” çelik bilye ile 100 kgf yük 10 s süre ile uygulanarak 2 mm aralıklarla 17 noktadan yapılmıştır.

**Şekil 2.** Sertlik dağılım planı (Hardness distribution plan)

### 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSIONS)

#### 3.1. Mikroyapı incelemesi (Microstructure Examination)

Şekil 3 ve 4’te deneysel çalışmalarda kullanılan S275 yapı çeliğinin ÖTAK yöntemi ile bazik ve rutil özlü tel kullanılarak birleştirilmesi sonrası elde edilen kaynak bölgeleri mikroyapıları ve esas metal mikroyapıları verilmiştir. Her iki şekilde de (a) esas metal, (b) geçiş bölgesi (ısı tesiri altında kalan bölge-ITAB) ve (c) kaynak metali mikroyapılarını temsil etmektedir. Mikroyapı görüntüleri incelendiğinde S275 yapı çeliğinin ferrit (açık renkli bölgeler) ve perlit (koyu renkli bölgeler) yapıya sahip olduğu görülmektedir (Şekil 3.a ve 4.a).

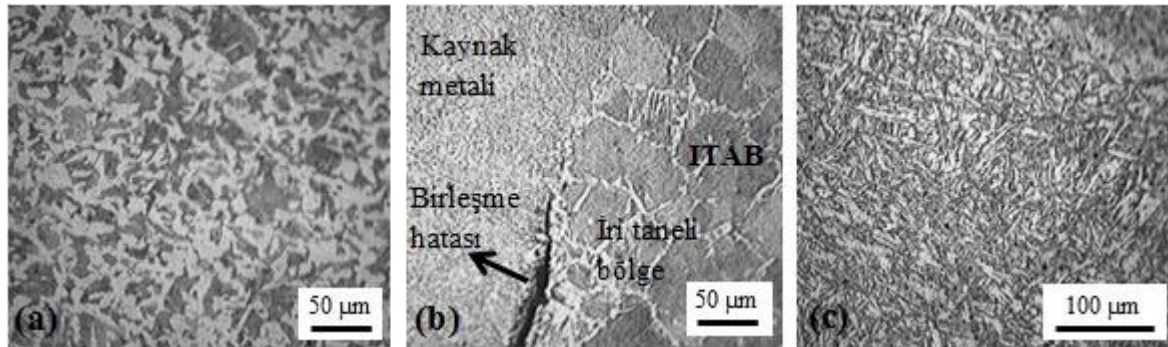


Şekil 3. Bazik özlü tel ile yapılan kaynak dikişi mikroyapı görüntüleri, a) ana metal b) geçiş bölgesi (ITAB), c) kaynak metali (Microstructure images of welded by basic wire, a) base metal b) transition zone (HAZ), c) weld metal)

Şekil 3.b ve 4.b'da kaynak metali, iri taneli bölge ve ITAB-kaynak metali geçiş bölgelerini kapsayan mikroyapı görüntüleri verilmiştir. Görüntüler genel olarak değerlendirildiğinde, her iki birleştirmede kaynak metalleri, ITAB'lar ve kaynak ergime sınırına bitişik bölgelerin birbirlerine benzer görüntüler sergilediği belirlenmiş ancak bazik özlü tel ile yapılan birleştirmede ITAB tane boyutunun rutil özlü tel ile yapılan birleştirmeye nazaran daha iri tanelerden oluştuğu görülmüştür. ITAB'larda, tane boyutları irileşmiş, 40-70 µm boyutlarında taneler oluşmuştur. Durgutlu ve diğ. [14], Kaya ve diğ. [15] ve Akay ve diğ. [16], ark kaynak yöntemlerinde kaynak metaline en yakın bölgelerde ısı

### 3.2. Sertlik Test Sonuçları (Hardness Test Results)

Şekil 5'te bazik ve rutil özlü tel ile birleştirilen numunelerin kaynak bölgesi (esas metal, ITAB, kaynak metali) sertlik dağılımı verilmiştir. Kaynaklı numunelerde en yüksek sertlik değerleri kaynak metallere ölçülmüş ve onu sırasıyla ITAB ve esas metalin takip etmiştir. Bazik özlü tel ile birleştirilen numunenin kaynak metali sertlik değerleri, rutil özlü tel ile birleştirilen numuneyle kıyaslandığında daha yüksek sertlik değerlerin oluştuğu görülmüştür. Bazik elektrot ile birleştirilen numunenin kaynak metalinin ortalama sertlik değeri 107 HR<sub>B</sub>, ITAB'ın ortalama sertlik değeri ise 97 HR<sub>B</sub> olduğu belirlenmiştir. Rutil özlü tel ile

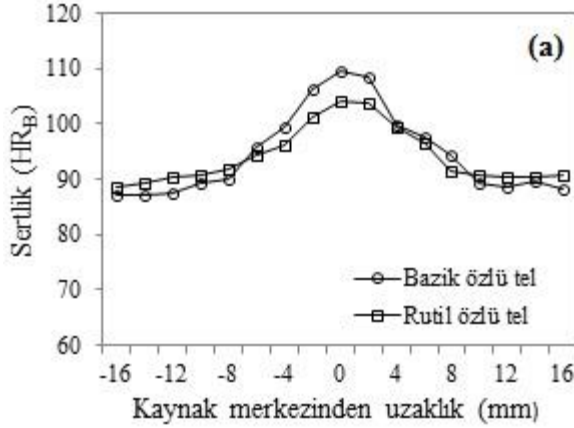


Şekil 4. Rutil özlü tel ile yapılan kaynak dikişi mikroyapı görüntüleri, a) ana metal b) geçiş bölgesi, c) kaynak metali (Microstructure images of welded by rutile wire, a) base metal b) transition zone (HAZ), c) weld metal)

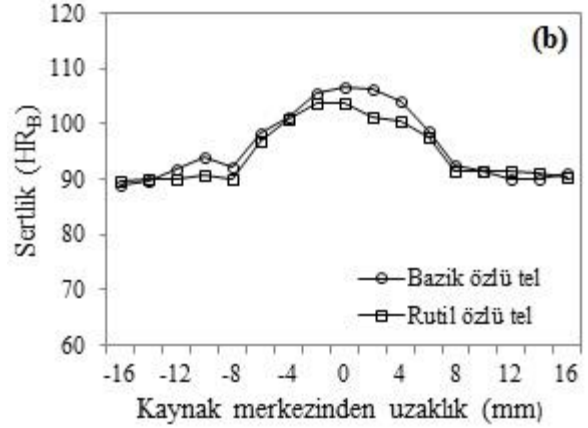
girdisinin etkisiyle kaba ve kolonsal tanelerin oluştuğunu ifade etmişlerdir. Bazik özlü tel ile yapılan birleştirmenin geçiş bölgesinde herhangi bir mikroyapısal hataya rastlanmamıştır. Ancak rutil özlü tel ile yapılan birleştirmede geçiş bölgesinde birleşme hatası (yetersiz nüfuziyet) oluştuğu görülmüştür. Şekil 3.c ve 4.c'de kaynak metali daha büyük büyütme ile görüntülenmiştir. Her iki numunenin de kaynak metali ince iğnesel tanelerden oluşmuştur. Literatürde [7,8,11,14-16], düşük karbonlu ve düşük alaşımlı kaynak metalinde soğuma hızına bağlı olarak oluşan yapılar, tane sınırı ferriti, widmanstatten ferrit, asiküler ferrit, beynit ve perlit olabileceği belirtilmektedir. Kaynak metali mikroyapıları incelendiğinde ağırlıklı olarak widmanstatten ferrit ve asiküler ferrit (iğnemsî kısımlar) taneleri oluştuğu gözlemlenmiştir

birleştirilen numunenin ise kaynak metali ortalama sertlik değeri 102 HR<sub>B</sub>, ITAB'ın ortalama sertlik değeri 95,5 HR<sub>B</sub> olduğu tespit edilmiştir. Esas metalin sertliği ise 84±3 HR<sub>B</sub> olarak belirlenmiştir. Literatürde [17], düşük karbonlu az alaşımlı çeliklerin kaynağında ITAB'ta çatlamaya karşı tedbir olarak sertliğin 350 HV'yi (~109 HR<sub>B</sub>) geçmemesi tavsiye edilmektedir. Kaynaklı numunelerin sertlik dağılımları bu kritik değer altında olduğu görülmektedir. Sönmez ve Ceyhan [8], Kılınçer ve Kahraman [11] ve Kaya ve diğ. [17], ark kaynağı ile yaptıkları çalışmalarda kaynak bölgesinde en yüksek sertlik değerlerinin kaynak metalinde elde edildiğini ve onu sırasıyla ITAB ve esas metalin takip ettiğini rapor etmişlerdir. Kılınçer [18], % 0,22'den az karbon oranına sahip çeliklerin ark kaynağı ile birleştirilmesinde en sert bölgenin kaynak metali

olduğunu ve kaynak metalinden esas metale doğru gidildikçe sertlik değerlerinin azaldığını ifade etmiştir.



birleştirmede elde edilmiştir. Rutil özlü tel ile birleştirilen numunede çekme dayanımı ana metale kıyasla % 31



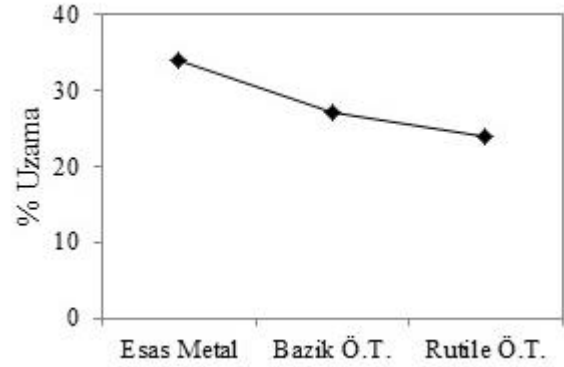
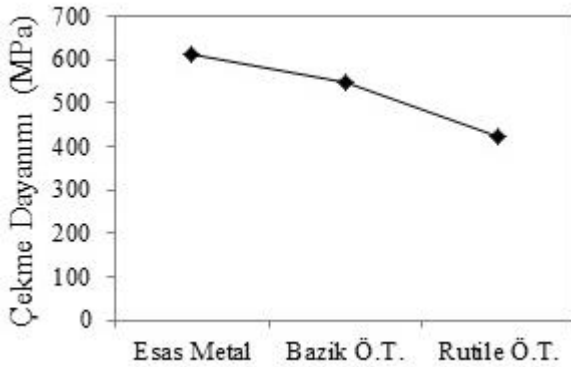
Şekil 5. Kaynaklı numunelerin sertlik dağılımı, a) 1. kaynaklar, b) 2. kaynaklar (Hardness distribution of welded samples, a) 1<sup>st</sup> welds, 2<sup>nd</sup> welds)

### 3.3. Çekme Test Sonuçları (Tensile Test Results)

Özlü tel ark kaynak yöntemi ile farklı özlü tel kullanılarak birleştirilen kaynaklı numunelerin çekme test sonuçları Şekil 6’te verilmiştir. Şekil 6 incelendiğinde en yüksek çekme dayanımı ve % uzama miktarının kaynaksız S275 yapı çeliği levhaya (esas metal) ait olduğu görülmektedir. Yapılan çekme testi sonucunda esas metalin çekme dayanımı 612.5 MPa, % uzaması ise % 34 olarak tespit edilmiştir. Kaynaksız S275 yapı çeliği çekme testi sonucu kavrama kısmına yakın bir yerden kırılmıştır (Şekil 7.a). Kaynaklı birleştirmelerden elde edilen çekme test sonuçları kıyaslandığında ise en yüksek çekme dayanımına bazik özlü tel ile yapılan kaynaklı numunelerden elde edilmiştir. Bazik özlü tel ile birleştirilen numunede 549.5 MPa çekme dayanımı elde edilmiştir. Bu numunenin çekme dayanımı ana metal ile kıyaslandığında % 10.2’lik bir düşüş olduğu görülmüştür. Bazik özlü tel ile birleştirilen numunenin % uzama miktarı ise % 27 olarak tespit edilmiş ve ana metalin % uzama miktarı ile kıyaslandığında % 20.5’lik azalma meydana gelmiştir. En düşük çekme dayanımı ise rutil özlü tel ile yapılan

oranında azalmış ve 423 MPa olarak belirlenmiştir. Bu numunelerdeki çekme dayanımındaki düşüşe kaynak metal-içi taneli bölge arasında oluşan birleşme hatasının etkisinin olduğu düşünülmektedir (Şekil 4.b).

Şekil 7’de çekme numunelerinin kırılma form görüntüleri verilmiştir. Her iki özlü tel ile birleştirilen numunede kopmalar genellikle geçiş bölgesinde meydana gelmiştir. Literatürde [11,14], kaynaklı birleştirmelerde ilk aranan özelliğin birleştirmenin dayanımının ana metal ile aynı veya ona yakın olması gerektiği belirtilmektedir. Bilindiği gibi kaynaklı birleştirmelerin en kritik bölgesi ısı tesiri altında kalan bölge (ITAB) ve kaynak metal-içi ana metal geçiş bölgesidir [11]. Ark kaynaklarında katılma esnasında geçiş bölgelerinde katılma hataları (mikro boşluk, porozite, yetersiz nüfuziyet v.s) olabilmektedir. Çekme testi sonucunda kaynaklı numunelerin bu kritik bölgelerden kopmasına geçiş bölgelerinde oluşabilen katılma hatalarının neden olduğu düşünülmektedir.



Şekil 6. Ana metal ve kaynaklı numunelerin çekme dayanımları ve % uzamaları, Not: Bazik Ö.T.: Bazik Özlü Tel, Rutile Ö.T.: Rutile Özlü Tel- (Tensile strength and % elongation of the base metal and welded samples, Note: Bazik Ö.T.: basic cored wire, Rutile Ö.T. : Rutile cored wire)





Şekil 7. Çekme numunelerinin kırılma formu, a) esas metal, b) bazik özlü tel, c) rutil özlü tel (Fracture form of tensile test samples, a) base metal, b) basic cored wire, c) rutile flux cored wire)

#### 4. SONUÇLAR (RESULTS)

S275 yapı çeliği levhalar özlü tel ark kaynak yöntemi ile bazik ve rutil özlü tel kullanılarak % 100 argon atmosferi altında birleştirilmiş ve kaynaklı bağlantıların mikroyapı ve mekanik özellikleri incelenmiş olup elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

1. S275 yapı çeliği levhalar özlü tel ark kaynak yöntemi ile bazik ve rutil özlü tel kullanarak ticari saflıktaki argon gaz atmosferi altında başarı bir şekilde birleştirilmiştir. Ancak, rutil özlü tel ile yapılan kaynak dikişinde birleşme hatasına (yetersiz nüfuziyet) rastlanmıştır.
2. Bazik özlü telin ticari saflıktaki argon atmosferi altında daha iyi sonuçlar verdiği belirlenmiştir.
3. Her iki özlü tel ile yapılan birleştirmelerde kaynak metali sertliğinin ITAB ve esas metalden yüksek olduğu görülmüştür.
4. Çekme testi sonucunda en yüksek mekanik özellikler bazik özlü tel ile yapılan kaynaklı numunelerden elde edilmiştir.
5. Çekme testleri sonucunda tüm kaynaklı bağlantılarda kopma, kaynak metali-iri taneli bölge arasındaki geçiş bölgesinde gerçekleşmiştir.
6. Her iki kaynaklı bağlantının, kaynak metalinde oluşan mikroyapıların ağırlıklı olarak widmanstatten ferrit ve asiküler ferrit olduğu gözlemlenmiştir.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Ghazvinlo H.R. and Honarbakhsh A., "Effect of gas-shielded flux cored arc welding parameters on weld width and tensile properties of weld metal in a low carbon steel", *Journal of Applied Science*, 10 (8): 658-663, (2010).
2. Eryürek İ. B., "Gazaltı (MIG/MAG) kaynağı", *Askaynak Yayınları*, İstanbul, (1998).
3. Kahraman N. and Gülenç B., "Modern kaynak teknolojisi", *EPA-MAT Basım Yayın Ltd. Şti*, (2009).
4. Morimoto T., "Developments in flux-cored wire for gas-shielded arc welding", *Kobelco Technology Review*, 26: 49-56, (2005).
5. Katherasan D., Sathya P. and Raja A., "Shielding gas effects on flux cored arc welding of AISI 316L (N) austenitic stainless steel joints", *Materials and Design*, 45: 43-51, (2013).
6. Durgutlu A., "Experimental investigation of the effect of hydrogen in argon as a shielding gas on TIG welding of austenitic stainless steel", *Materials and Design*, 25: 19-23, (2004).
7. Oğuz, B., "Arc welding", *Oerlikon-Erdini Basım ve Yayınevi*, İstanbul, 1989.
8. Sönmez U. and Ceyhan V., "Investigation of mechanical and microstructural properties of S 235 JR (ST 37-2) steels welded joints with FCAW", *Kovove Materialy-Metallic Materials*, 52: 57-63, (2014).
9. Işık A.O., "MAG kaynağında özlü tel elektrod tipinin kaynak dikişi özelliklerine etkisinin incelenmesi", *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2014).
10. Güner M., "MAG kaynağında elektrod tipinin (çıplak tel-özlü tel) kaynak dikişi özelliklerine etkisinin incelenmesi", *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2007).
11. Kılınçer S., Kahraman N., "MIG welding of AISI 409 and Ç1010 steel using an austenitic electrode and investigation of their mechanical properties", *J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ.*, 24(1): 23-31, (2009).
12. Karadeniz E., Ozsarac U. and Yıldız C., "The effect of process parameters on penetration in gas metal arc welding processes", *Material and Design*, 28: 649-656, (2007).
13. Anık, S., "Farklı metallerin Kaynağı", *Gedik Kaynak Dünyası*, 4-8, İstanbul, (1988).
14. Durgutlu A., Kahraman N. ve Gülenç B., "Tozaltı ark kaynağında kaynak tozunun mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisinin incelenmesi", *Gazi Üniversitesi Endüstriyel Sanatlar Eğitim Fakültesi Dergisi*, 11: 1-8, (2002).
15. Kaya Y., Kahraman N., Durgutlu A. ve Gülenç B., "Ferritik paslanmaz çelik ile düşük karbonlu çelik malzemelerin farklı kaynak yöntemleriyle birleştirilebilirliğinin araştırılması", *International Iron & Steel Symposium*, Karabük, Türkiye, 779-788, (2012).
16. Akay A. A., Kaya Y. ve Kahraman N., "Farklı özellikteki malzemelerin tozaltı ark kaynak yöntemi ile birleştirilmesi ve birleştirmelerin tahribatlı ve tahribatsız muayenesi", *SAÜ. Fen Bil. Der.*, 17(1): 85-96, (2013).
17. Kaya, Y., Kahraman, N., Durgutlu, A. ve Gülenç, B., "Tozaltı ark kaynağı ile birleştirilen farklı kalınlıktaki Grade A gemi saclarının mekanik özelliklerinin araştırılması", *e-Journal of New World Science Academy*, 5(2): 348-352, (2010).
18. Kılınçer S., "Düşük karbonlu çeliklerin tozaltı ark kaynak yöntemi ile kaynak edilebilirliğinin ve mekanik özelliklerinin incelenmesi", *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (1998).



# POLİTEKNİK DERGİSİ

## JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://www.politeknik.gazi.edu.tr/index.php/PLT/index>

## Kontrollü atmosferde üretilmiş Fe-Co ikili alaşımlarının borlanması ve karakterizasyonu

### *Boronizing and characterization of Fe-Co binary alloys produced in controlled atmosphere*

Yazar(lar) (Author(s)): Yücel GENÇER, Mehmet TARAKÇI

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz:** Gençer Y. ve Tarakçı M., “Kontrollü atmosferde üretilmiş Fe-Co ikili alaşımlarının borlanması ve karakterizasyonu”, *Politeknik Dergisi*, 20(3): 681-688, (2017).

**To cite this article:** Gençer Y. and Tarakçı M., “Kontrollü atmosferde üretilmiş Fe-Co ikili alaşımlarının borlanması ve karakterizasyonu”, *Journal of Polytechnic*, 20(3): 681-688, (2017).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://www.politeknik.gazi.edu.tr/index.php/PLT/issue/archive>

**DOI:** 10.2339/politeknik.339398



# Kontrollü Atmosferde Üretilmiş Fe-Co İkili Alaşımlarının Borlanması ve Karakterizasyonu

Yücel GENÇER\*, Mehmet TARAKÇI,

Gebze Teknik Üniversitesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, Gebze-Kocaeli

(Geliş/Received : 16.08.2016 ; Kabul/Accepted : 08.02.2017)

## ÖZ

Bu çalışma, altlıktaki Co miktarının Fe-Co alaşımının borlama davranışına etkisini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Öncelikle, vakum/argon altında ikili Fe-Co (% atomik 1, 2, 4, 8, 12, 16 Co) alaşımları hazırlanmıştır. Bu Fe-Co alaşımları saf Fe ile birlikte kutu borlama yöntemiyle 1100°C'de 3 saat süre ile borlanmıştır. Oluşturulan borür tabakanın mikroyapısı, faz bileşimi, kalınlığına bağlı sertliği, borür tabakanın kimyasal bileşimi ve yüzey morfolojisi; X-ray kırınımı, taramalı elektron mikroskobu, sertlik cihazı ve profilometre ile karakterize edilmiştir. Tüm alaşımların yüzeyinde testere dişli bir borür tabakasının oluştuğu ve testere dişli morfolojinin Co miktarı ile değişmediği görülmüştür. Borür tabakanın FeB ve Fe<sub>2</sub>B fazlarından oluştuğu, bu fazların varlığı ve miktarı altlıktaki Co miktarına bağlı olmadığı, ancak borür tabakada homojen şekilde dağılmış kobaltın varlığı tespit edilmiştir. Borür tabaka kalınlığı ve yüzey pürüzlülüğü altlıktaki Co miktarı ile değişmemiştir. Tüm Fe-Co alaşımları yüzeyinde oluşan borür tabaka sertlik değerlerinin (1450 HV - 2200 HV), saf Fe üzerindeki borür tabakanın sertlik değerinde olduğu ve borür tabaka kalınlığı boyunca sabit kaldığı görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Kutu borlama, demir borür, fe-co alaşımı, sertlik, takım çelikleri.

## Boronizing and Characterization of Fe-Co Binary Alloys Produced in Controlled Atmosphere

### ABSTRACT

This study was carried out to reveal the effect of amount of Co in the substrate on boronizing behavior of Fe-Co alloy. Firstly, binary Fe-Co alloys (at. % 1, 2, 4, 8, 12, 16 Co) were prepared under argon/vacuum atmosphere. The Fe-Co alloys along with pure Fe were borided with pack boronizing method at 1100°C for 3 hours. Microstructure, phase composition, hardness with thickness, chemical composition and surface morphology of boride layer were characterized by using X-Ray diffraction, SEM-EDS, hardness measurement device and profilometer. The formation of tooth shaped boride layer on all substrates were observed. The typical saw tooth morphology and the boride layer thickness formed on pure Fe were not changed with Co addition into the substrates. It was revealed that the boride layer contained FeB and Fe<sub>2</sub>B phases, and the phase content was not changed with Co concentration in the substrates. The existence and homogenous distribution of Co in the boride layer were revealed. The hardness (1450 HV - 2200 HV) of the boride layer was found to be in the same range of hardness of boride layer formed on pure iron and was independent from the boride layer thickness.

**Keywords:** Pack boriding, iron boride, fe-co, hardness, tool steels.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Hammadde kaynaklarının azalmasıyla, uygulama alanına bağlı olarak malzeme özelliklerinin geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak, malzemenin tüm bünyesini geliştirmek yerine, o malzemenin kullanılacağı şartlara göre, sadece yüzey özelliklerini geliştirmek, özellikle son yıllarda önem kazanmış ve endüstriyel uygulamalarda da geniş kullanım yeri bulmuştur. Bu amaçla, fiziksel buhar biriktirme (PVD), kimyasal buhar biriktirme (CVD), elektrokimyasal, sprey ve difüzyon esaslı borür tabaka teknikleri kullanılarak, aşınma, korozyon ve oksidasyona karşı daha dirençli karbür, nitrür ve borür esaslı kaplamalar ile malzemelerin yüzey özelliklerinin iyileştirilmesi yoluna gidilmektedir [1-5]. Bu yöntemlerden birisi olan

borlama, demir esaslı ve demir dışı metallere ve alaşımlara uygulanabilen termokimyasal bir yüzey modifikasyon tekniğidir [6-11]. Borlama işleminin diğer geleneksel yüzey modifikasyon tekniklerine göre en büyük avantajı, işlem sırasında malzeme yüzeyinde çok sert borür bileşiklerinin (1450-5000 HV) oluşmasıdır [8-12]. Bu borür bileşiklerin, yüksek sıcaklıklarda kimyasal yapılarını korumaları, malzemenin oksidasyon direncini arttırmakta ve sıvı metallere karşı malzemeyi çok daha dirençli hale getirmektedir [7, 8, 11, 13]. Borlama işlemi esnasında, metalik kristal kafes içerisine bor atomlarının difüzyonu ile malzeme yüzeyinde farklı bor bileşikleri oluşabilmektedir [10]. Borlama sırasında oluşan borür tabaka özelliklerini (morfoloji, fazlar, sertlik ve kalınlık) etkileyen birçok faktör bulunmasına karşın, altlık malzemenin cinsi ve kimyasal bileşimi son derece önemlidir [10]. Alaşım elementlerinin, çeliğin borlama davranışına etkisi, kısıtlı sayıdaki çalışmaya konu olmuştur [11, 14,

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

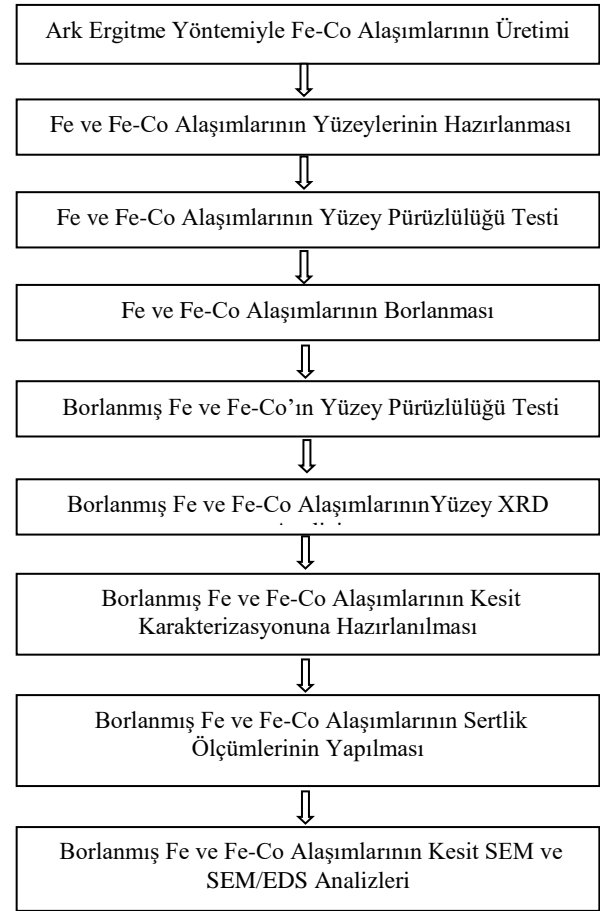
e-posta: gencer@gtu.edu.tr

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/politeknik.339398

15]. Ancak, çeliklerin bileşimlerinde birden fazla alaşım elementi olmasından dolayı her bir alaşım elementinin borür tabaka özelliklerine müstakil etkisine dair bulgular oldukça sınırlıdır. Alaşım elementlerinin müstakil etkisini belirlemek amacıyla, Fe-M (M=C, Cr, Ti, Cu, V, Mn, Ni, Si, W, Mo) ikili alaşımları borlanarak, oluşan borür tabaka özelliklerine alaşım elementlerinin etkisi üzerine son zamanlarda sistematik çalışmalar yapılmıştır [16-22]. Brakman ve arkadaşları ile Badini ve arkadaşları saf demire çeşitli oranlarda Cr ve Ni katarak saf demirin borlama davranışına etkisi incelemiştir. Cr borür tabaka boyunca hemen hemen homojen bir dağılım gösterdiği ve Cr içeren Fe-Cr alaşımında belirgin bir geçiş bölgesi oluştuğu, Cr içeren borür tabakanın sertliği, Cr miktarı ile doğru orantılı olarak arttığı rapor edilmiştir. Altlıktaki Ni miktarının artması ile, borür tabaka/matris ara yüzeyinde testere dişli yapının düzlemsel yapıya dönüştüğü, borür tabaka kalınlığının ve sertliğinin azaldığı rapor edilmiştir [22]. Dolayısıyla, söz konusu çalışmalar, Cr ve Ni içeren takım çeliklerinin borlama şartlarının belirlenmesinde katkı sağlamıştır. Takım çeliklerinin alaşım elementlerinden olan titanyumun ve vanadyumun etkisini belirlemek üzere yapılan çalışmalarda, Fe-Ti ve Fe-V ikili alaşımları hazırlanarak borlanmıştır. Fe-Ti alaşımının borlaması sırasında, hem borür tabakada hem de geçiş bölgesinde çökelti halinde  $TiB_2$  fazının oluştuğu ve yüzey sertliğinin arttığı tespit edilmiştir [20]. Fe-V alaşımında artan V miktarına bağlı olarak borür tabaka kalınlığının azaldığı ve saf Fe yüzeyinde tipik olarak oluşan testere diş şeklindeki borür tabakası morfolojisinin kaybolduğu,  $V_5B_6$  fazının oluşması ile de sertliğin arttığı rapor edilmiştir [17]. Literatürde, içerisinde Co bulunan takım çeliklerinin yüzeylerinin borlama metodu ile iyileştirmesine yönelik kısıtlı sayıda çalışmaya rastlanmıştır. Ancak yapılan bu çalışmalarda alaşım elementi olarak kobaltın yalın halde etkisi tam olarak rapor edilememiştir. Çünkü kobaltın yanında diğer alaşım elementlerinin etkisi de söz konusudur. Dolayısıyla, bu çalışmada atomik olarak % 1, 2, 4, 8, 12, 16 Co içeren sentetik Fe-Co ikili alaşımları hazırlanmış ve karşılaştırma amaçlı saf Fe ile birlikte  $1100^\circ C$ 'de, 3 saat süreyle kutu borlama yöntemiyle borlanmış ve oluşan borür tabaka karakterize edilerek kobaltın etkisi belirlenmiştir.

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL STUDY)

Yapılan deneysel çalışmaların akış şeması Şekil 1'de verilmiştir. Öncelikle, Alfa Easer'den temin edilen saf Fe (% 99,97) ve Co (% 99,5) metal parçaları kullanılıp, atomik olarak % 1, 2, 4, 8, 12, 16 Co içeren sentetik Fe-Co ikili alaşımları (Fe-1Co, Fe-2Co, Fe-4Co, Fe-8Co, Fe-12Co, Fe-16Co) vakum / argon altında ark ergitme fırınında hazırlanmıştır. Ergitme işlemi sonunda boyutları 50 mm x 10 mm x 10 mm olan çubuk şeklindeki alaşımlar elde edilmiştir.



Şekil 1. Yapılan deneysel çalışmaların akış şeması (Flow chart of the experimental study)

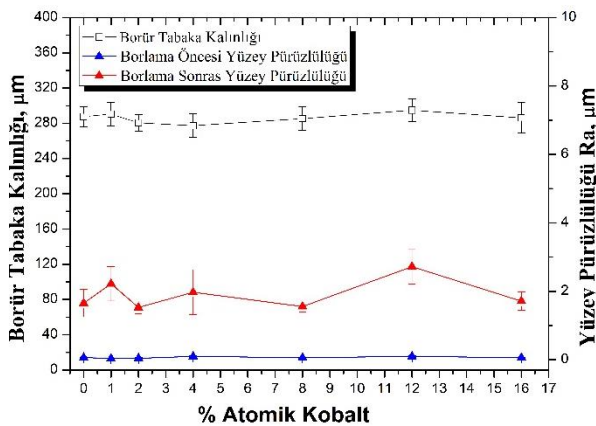
Bu alaşımlar, boyutları 10 mm x 10 mm x 5 mm olacak şekilde dilimlenip, numunelerin iki yüzeyi de 80-1200 nolu silisyum karbür (SiC) zımparalarla aşındırıldıktan sonra 3-1  $\mu m$  tanecik boyutuna sahip elmas pasta ile parlatılmıştır. Karşılaştırmak amacıyla borlama işlemine tabi tutulacak olan saf Fe numunelerin yüzeyleri de aynı şekilde borlama işlemi için hazırlanmıştır. Fe-Co ikili alaşımları ve saf Fe ticari Ekabor 2 (% 90 SiC, % 5 B<sub>4</sub>C, % 5 KBF<sub>4</sub>) borlama tozuna gömülmüş ve borlama işlemi sırasında numunelerin oksitlenmesini önleme amacıyla potanın üst kısmına oksit giderici toz konularak potanın kapağı sıkıca kapatılmıştır. Bu pota elektrik dirençle ısıtılan dijital kontrollü kutu fırına yerleştirilerek, fırın sıcaklığı 30 dk içerisinde  $1100 \pm 5^\circ C$ 'ye çıkarılarak bu sıcaklıkta 3 saat süreyle borlama işlemi gerçekleştirilmiştir. Borlama işlemi sonunda fırının kapağı açılarak numunelerin oda sıcaklığına soğuması sağlanmıştır. Potadan çıkarılan numunelerin üzerindeki borlama tozu kalıntıları mekanik olarak temizlenmiştir. Borlama işlemi öncesi ve sonrası yüzey pürüzlülüğünün saf Fe içerisindeki Co miktarına göre nasıl değiştiğini tespit etmek için Veeco Dektak 8 profilometre cihazı ile 0,025 mm/s hızla 2 mm x 2 mm alandan 20 profil taranarak yüzey pürüzlülüğü ( $R_a$ ) ölçülmüştür. Borlanmış Fe-Co ikili alaşım ve saf Fe

numunelerinin yüzeylerinden Bruker D8 X-ışınları kırınımı (XRD) cihazı ve Cu-K $\alpha$  ışını ile tarama açısı 20° ile 100° arasında seçilerek faz analizleri yapılmıştır. XRD analizi sonrasında borlanan numunelerin kesitten mikroyapı, sertlik ve taramalı elektron mikroskopuyla kimyasal analizini (SEM-EDS) gerçekleştirmek amacıyla hazırlanan yüzeylere dik olacak şekilde kesilerek epoksi kalıp içerisine alınmıştır. Borür tabakaların kesit görüntüsünü ortaya çıkarmak için numuneler 80-1200 SiC zımpara kâğıtlarıyla aşındırılmış ve 3-1  $\mu$ m parçacık boyutunda elmas pasta kullanılarak parlatılmıştır. Borür tabakaların sertlik değerleri Mitutoyo sertlik cihazı ile 25 g yükün 10 s uygulanmasıyla ölçülmüştür. Yüzeyden altlığa doğru mesafeye bağlı sertlik değerleri en az 10 Vickers izi oluşturularak tespit edilmiştir. Numunelerin kesitten, SEM-EDS ile mikroyapı incelemesi, kimyasal analizleri ve borür tabaka kalınlığı ölçümü Philips XL-30 SEM kullanılarak yapılmıştır.

### 3. DENEYSEL SONUÇLAR (EXPERIMENTAL RESULTS)

#### 3.1. Borür Tabaka Kalınlığı ve Yüzey Pürüzlülüğü (Boride Layer Thickness and Surface Roughness)

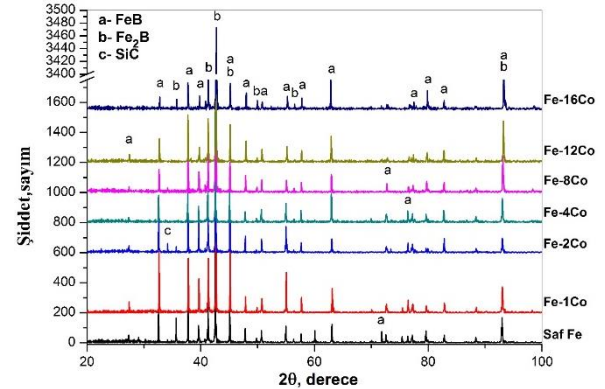
Şekil 2’de borlanmış Fe-Co ikili alaşımları ve saf Fe yüzeyinde oluşan borür tabaka kalınlığının artan Co miktarına bağlı olarak değişimi görülmektedir. Grafik incelendiğinde artan Co miktarı ile borür tabaka kalınlığında dikkate değer bir değişim görülmemektedir. Verilerdeki saçılmalar göz önüne alındığında, borür tabaka kalınlığındaki değişimlerin ölçüm hata sınırları dâhilinde kaldığı anlaşılmaktadır. Aynı şekilde yüzey pürüzlülüğünün ( $R_a$ ) artan Co miktarına bağlı olarak değişimi verilmiştir. Borlama öncesi parlatılan numunelerin yüzey pürüzlülük değerleri yaklaşık 0,3  $\mu$ m civarında olduğu göz önüne alındığında, borlama sonrası numune yüzey pürüzlülüğü değerlerinde tüm alaşım bileşimleri için bir artış söz konusudur. Saf Fe içerisine katılandırılan Co miktarındaki artışa bağlı olarak bir değişim olmasına rağmen, sistematik bir değişim söz konusu olmayıp, borlama sonrası elde edilen yüzeylerin pürüzlülük değerleri 1,5-2,5  $\mu$ m arasında değişmektedir.



Şekil 2. Fe içerisindeki Co miktarına bağlı olarak borür tabaka kalınlığı ve yüzey pürüzlülük değerlerinin ( $R_a$ ) değişimi (The change in boriding layer thickness and surface roughness ( $R_a$ ) values with Fe-Co alloys)

#### 3.2. Faz Analizi (Phase Analysis)

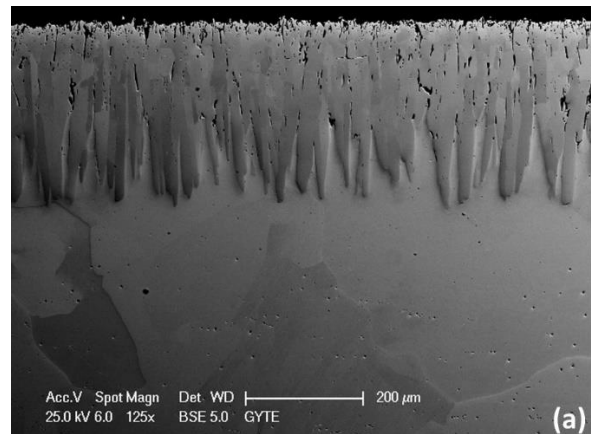
Fe-Co ikili alaşımları ve saf demirin borlama sonrası yüzeylerinden alınan XRD spektrumları Şekil 3’de verilmiştir. XRD spektrumları incelendiğinde borlanmış tüm Fe-Co alaşımları yüzeyinde FeB ve Fe<sub>2</sub>B fazlarının oluştuğu görülmekte olup bu fazların farklı yönelime sahip borür kristallerinden oluştuğu anlaşılmaktadır. Bazı alaşımların yüzeyinde SiC fazına ait pikler de var olup, bu fazın Ekabor 2 bileşiminde bulunan SiC tozlarının numune yüzeyinden tamamen uzaklaştırılmamasından kaynaklanmaktadır.

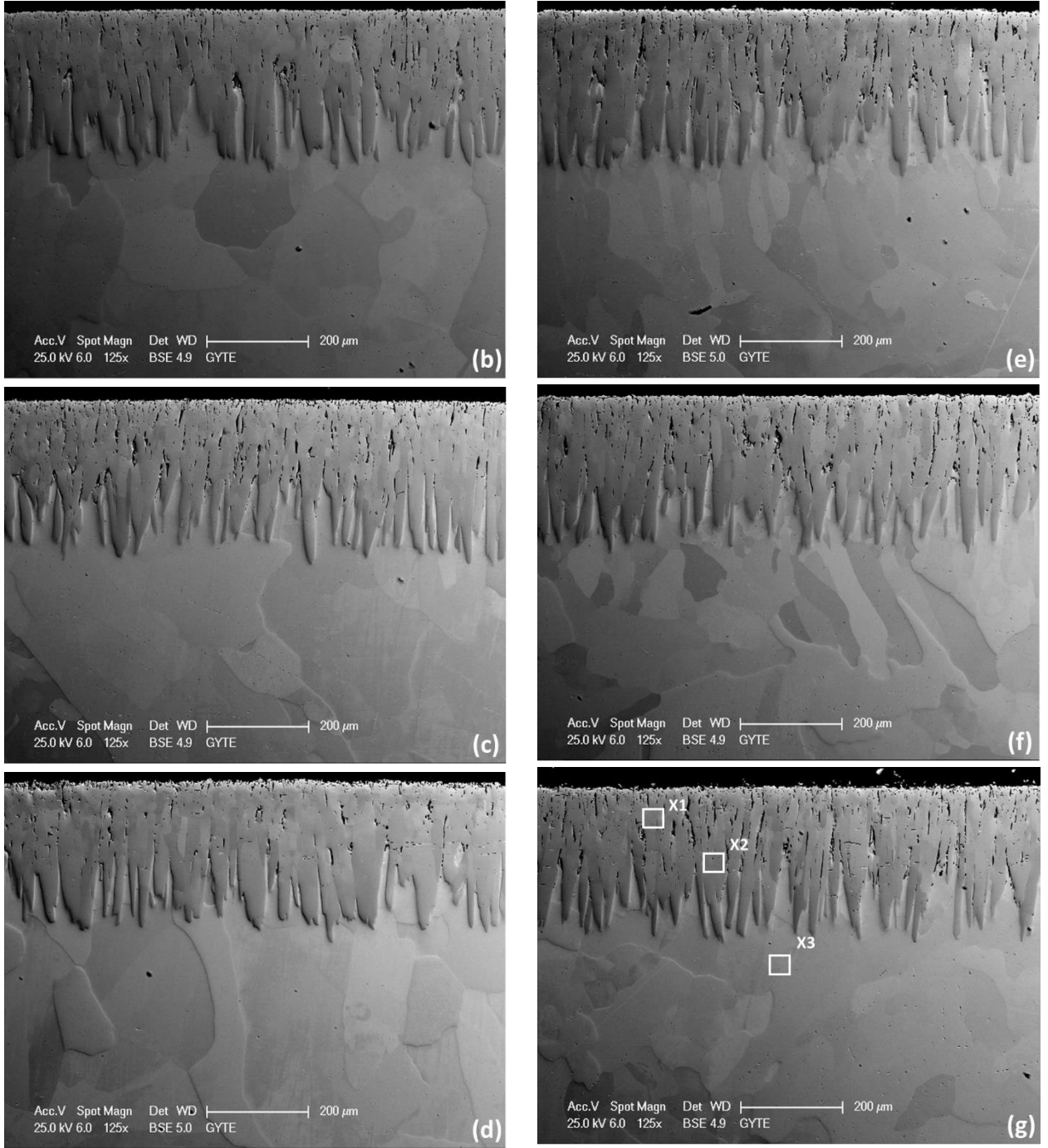


Şekil 3. Fe-Co ikili alaşımları ve saf demirin yüzeyindeki borür tabakanın XRD spektrumları (The surface XRD spectrums of the boride layer on Fe-Co alloys and iron)

#### 3.3. Kesit SEM İncelemesi (Cross-sectional SEM Analysis)

Borlanmış Fe-Co ikili alaşımlarının ve saf demirin kesitten alınan SEM görüntüleri Şekil 4’de verilmiştir. SEM görüntüleri incelendiğinde borür tabakaları genel olarak 2 ayrı bölgeye ayrılabilir; I) Borür tabakası, II) Altlık malzeme. Saf Fe yüzeyinde oluşan borür tabakasına bakıldığında borür tabakasının tek renk olduğu ve testere dişli morfolojiye sahip olduğu açıkça görülmektedir (Şekil 4a). Ayrıca tabaka içerisinde özellikle yüzeye yakın bölgelerde gözenek miktarının yüksek olduğu görülmektedir. Borür tabakanın iç bölgesinde yer yer gözenekler ve küçük çatlaklar olduğu görülmektedir. Co miktarının artması ile testere dişli morfolojinin değişmediği ve farklı miktarda Co içeren Fe-Co alaşımları için benzer olduğu Şekil 4b-g incelendiğinde açıkça görülmektedir.

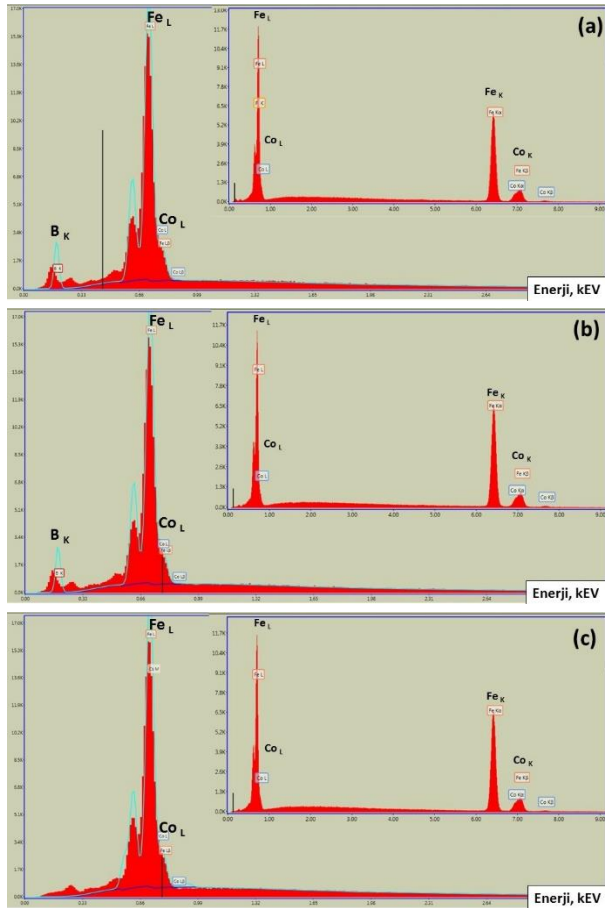




**Şekil 4.** Borlanmış Fe-Co ikili alaşımlarının ve saf demirin kesitten alınan SEM görüntüleri; (a) Saf Fe, (b) Fe-1Co, (c) Fe-2Co, (d) Fe-4Co, (e) Fe-8Co, (f) Fe-12Co ve (g) Fe-16Co (Cross-sectional SEM micrograph of boride layers on Fe-Co alloys and pure iron; (a) pure Fe, (b) Fe-1Co, (c) Fe-2Co, (d) Fe-4Co, (e) Fe-8Co, (f) Fe-12Co and (g) Fe-16Co)

### 3.4. SEM-EDS Analizleri (SEM-EDS Analysis)

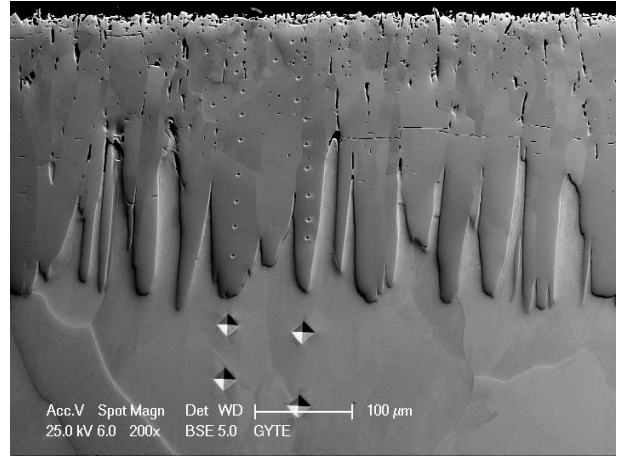
Şekil 4'te Fe-16Co alaşımına ait kesit SEM görüntüsü üzerinde işaretlenen 3 farklı bölgeden elde edilen SEM-EDS spektrumları Şekil 5'te verilmiştir. Şekil 5a'da Şekil 4'ün X1 bölgesinden 15 kV hızlandırma voltajında elde edilen SEM-EDS spektrumu verilmiştir. Ayrıca X1 bölgesinden 5 kV hızlandırma voltajında alınan SEM-EDS spektrumu 15 kV ile alınan spektrum ile birlikte Şekil 5a'da verilmiştir. Benzer şekilde, Şekil 4'teki X2 ve X3 nolu bölgelerden 15 kV hızlandırma voltajı ile elde edilen SEM-EDS sonuçları sırasıyla Şekil 5(b) ve 5(c)'de verilmiştir. Şekil 5(b) ve (c) içerisine 5 kV hızlandırma voltajı ile elde edilen SEM-EDS sonuçları da yerleştirilmiştir. X1 ve X2 bölgelerine ait SEM-EDS sonuçları (Şekil 5(a) ve (b)) incelendiğinde bu bölgelerde yüksek oranda Fe, B ve Co elementlerinin varlığı söz konusu olup, her iki bölgedeki kimyasal bileşim benzerdir. Altlıktan alınan (X3) SEM-EDS spektrumunda B elementi tespit edilmemiş olup, ancak Co ile birlikte yüksek oranda demirin varlığı söz konusudur.



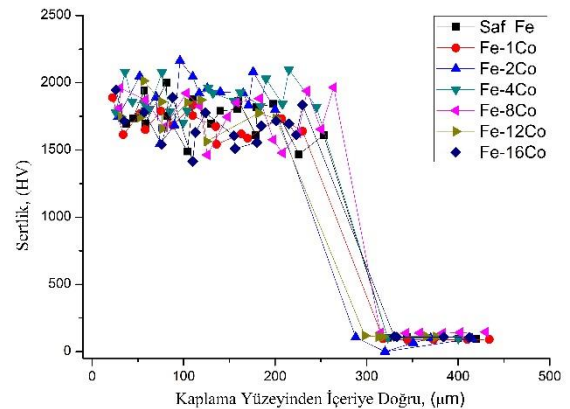
Şekil 5. Fe-16Co ikili alaşımına ait mikroyapı görüntüsünde belirli bölgelerden elde edilen SEM-EDS spektrumları: Şekil 4'te (a) X1 Bölgesi, (b) X2 Bölgesi ve (c) X3 bölgesi (SEM-EDS spectrum for Fe-16Co binary alloys: (a) Area X1, (b) Area X2 and (c) Area X3 in Fig. 4)

### 3.5. Sertlik (Hardness)

Şekil 6'da Fe-4Co ikili alaşımının yüzeyinde oluşturulan borür tabakanın kalınlığı boyunca ve altlık bölgede elde edilen Vickers sertlik izlerinin tipik SEM görüntüsü verilmiştir. Altlıktan alınan sertlik izlerinin borür tabakadan alınan sertlik izlerinden daha büyük olduğu görülmektedir. Bu da borür tabaka sertlik değerlerinin altlığın sertlik değerinden daha yüksek olduğunu göstermektedir. Bu sertlik izlerinden elde edilen sertlik değerlerine benzer şekilde tüm alaşımlar için borür tabaka yüzeyinden altlığa doğru mesafeye bağlı olarak değişimi Şekil 7'de verilmiştir. Borür tabaka sertliği 1450 HV ile 2200 HV arasında değişirken, altlık malzeme sertlik değeri 100 HV ile 150 HV arasında değişim göstermektedir. Borür tabaka sertlik değerlerinde bir saçılma söz konusu olup, Co miktarına bağlı bir değişimin olmadığı anlaşılmaktadır. Tüm alaşımlar için borür tabakadan altlığa doğru sertlik değerlerinde ani bir düşüş söz konusu olup, sertlik açısından bir geçiş bölgesi yoktur.



Şekil 6. Borlanmış Fe-4Co ikili alaşımına ait borür tabakadaki sertlik izlerinin SEM görüntüsü (SEM images of hardness indents on the boride layer of Fe-4Co alloy)



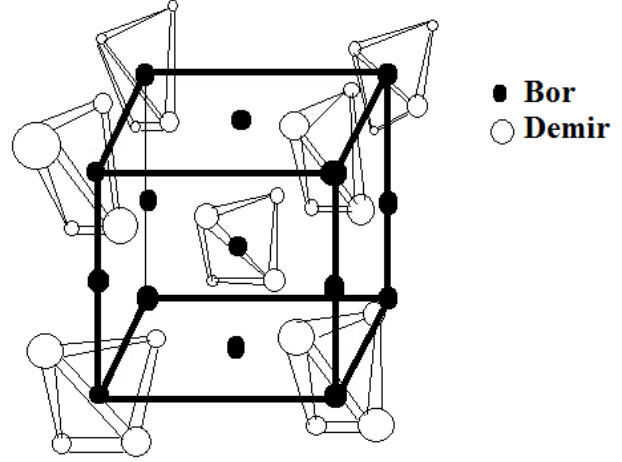
Şekil 7. Fe-Co alaşımları ve saf Fe yüzeyinde oluşan borür tabaka sertliğinin yüzeyden altlığa doğru değişimi (Microhardness profile from the boride layer surface towards the substrates for the borided pure iron and Fe-Co alloys)



#### 4. TARTIŞMA (DISCUSSION)

Bu çalışmada atomik olarak % 1, 2, 4, 8, 12, 16 Co, demir içerisine katkılanılarak hazırlanan Fe-Co alaşımlarının borlanması sonucu elde edilen borür tabakalarda FeB fazı XRD ile tespit edilmesine rağmen, SEM ile tespit edilememiştir. Literatürde de yaygın olarak belirtildiği gibi her zaman FeB fazını XRD faz analizi ile tespit edilse bile mikroyapı analizi ile görüntülemek her zaman mümkün olmamaktadır [23]. Bunun birkaç nedeni; FeB fazının çok az ve bölgesel oluşması, oluşan FeB fazının kesitten görüntülenemeyecek kadar ince olması ve metalografik olarak numune hazırlanması esnasında FeB fazının dökülmesi olarak değerlendirilmektedir. Kesitten yapılan SEM incelmesinde, ayrıca Co-B içeren bir faz oluşmadığı, ancak borür tabakaların kesitten yapılan SEM-EDS analizi sonunda, borür tabaka yapısındaki Co elementinin altlıklarda olduğu gibi homojen bir şekilde dağıldığı görülmüştür. Bu tespit, bize Co elementinin demir borür esaslı tabaka içerisinde Co atomlarının demir borür kafes içerisinde Fe atomlarının yerinde yer alan atomlar olarak bulunduğunu göstermektedir. Yani müstakil olarak  $Co_xB_y$  gibi bir faz veya fazların oluşmadığı ancak FeB ve/veya  $Fe_2B$  fazlarıyla birlikte, (Fe, Co)B,  $(Fe,Co)_2B$  şeklinde bulunduğu literatürdeki Fe-Co-B faz diyagramı dikkate alınarak söylenebilir [24]. Co elementinin  $Fe_2B$  kristal kafes içerisinde dağılımını daha net anlaşılması için Şekil 8’ de  $Fe_2B$  fazına ait birim hücre gösterilmektedir. Koyu renk ile gösterilen daireler B atomlarını ( $r_B : 0,083 \text{ nm}$ ) simgelerken, içi boş çemberler ise demir atomlarını simgelemektedirler. Alaşım elementinde bulunan Co, borlama esnasında yukarıda bahsettiğimiz sebeplerden dolayı Fe atomları ( $r_{Fe} : 0,124 \text{ nm}$ ) ile yer değiştirmektedir. Birim hücre içinde tüm Fe atomlarının yerine Co atomlarının ( $r_{Co} : 0,125 \text{ nm}$ ) geçmemiş olması, yani Fe atomuna ait pozisyonların tamamının Co atomlarınca doldurulmamış olması nedeniyle, borür tabakada tamamen  $Co_xB_y$  gibi bir faz oluşmamıştır. Bu birim hücredeki Fe atomlarına ait pozisyonların düşük bir oranda Co atomları tarafından doldurulması, kristal kafesinde dikkate değer bir değişim meydana getirmemesi dolayısıyla, atomik olarak %16 Co içeren Fe-Co alaşımlarının yüzeyinde bile sadece Fe esaslı borür fazlar oluşmuştur. Bu yüzden, yapılan XRD faz analizlerinde Co esaslı bir borür fazı tespit edilememiştir. Literatürde, V, Ti ve Mo gibi elementleri içeren Fe-M alaşımlarının borlanması sonucu bu elementlerin B elementine karşı yüksek kimyasal aktivitesinden dolayı V, Ti ve Mo içeren borürlü bileşikler, hem borür tabakasında hem de geçiş bölgesi olarak adlandırılan bölgede çökelti şeklinde olduğu rapor edilmiştir [17, 20, 25]. Ancak, Fe ve Co elementlerinin bor elementine karşı benzer kimyasal davranış göstermeleri ve atom çaplarının yakınlığı dolayısıyla, Co elementi borlama sırasında, B atomu ile farklı bir ara faz oluşturmadığı anlaşılmıştır. Ancak, demir içerisindeki Co miktarı çok yüksek olduğu durumda  $Co_xB_y$  gibi ayrı bir faz meydana gelmektedir. Zira atomik olarak % 50 Co içeren ikili Fe-

Co alaışımının borlanması sonucu, yüzeydeki borür tabakada  $Co_2B$  fazının olduğu raporlanmıştır [26].



Şekil 8. Hacim merkezli tetragonal  $Fe_2B$  birim hücresinin şematik gösterimi (Schematic of body centered tetragonal unit cell of  $Fe_2B$ ) [22]

Literatürde yapılan çalışmalarda Si, Ni, Cr, Ti, Mo ve V gibi elementlerin borür tabaka morfolojisini değiştirdiği ve borür tabaka kalınlığını azalttığı tespit edilmiştir [16, 17, 20-22, 25]. Ancak borür tabaka morfolojisine ve borür tabaka kalınlığına etki etmeyen Mn gibi elementler de mevcuttur. Demir içerisinde farklı oranlarda katılan Mn elementinin testere dişli borür tabakanın morfolojisini etkilemediği ve borür tabaka kalınlığında bir değişime sebep olmadığı raporlanmıştır [18, 19]. Fe-Co üzerine yapılan bu çalışmada da Mn elementinin gösterdiği etkilere benzer özellikler gösterdiği borür tabaka morfolojisi ve borür dişli yapısının bozulmadığı ve borür tabaka kalınlığında göreceli olarak değişim olmadığı tespit edilmiştir. Saf Fe yüzeyinde oluşan borür tabaka testere dişli morfolojinin, altlığa atomik olarak % 16’ya kadar ilave edilen Co ile değişmemesi iki şekilde açıklanabilir; Birincisi, borür kristallerin büyümesini ve bor difüzyonunu engelleyecek herhangi bir fiziksel engel oluşturacak kararlı bir (Fe, Co)-B bileşik oluşmadığından, Fe-B saf Fe yüzeyinde olduğu gibi büyümüştür. İkincisi, altlıktaki Co miktarı, Fe-B fazları içerisinde bor elementinin kristal içerisinde tercihli difüzyon yönünü etkilemediğinden kaynaklanmaktadır. Fe-Co alaşımları üzerine yapılan bu çalışmada borür tabakaların sertlik değerlerinde, hem mesafeye bağlı ve hem de altlık alaışımının kimyasal kompozisyonuna bağlı olarak önemli bir değişim olmadığı görülmüştür. Mesafeye bağlı olarak sertlik değerlerinin borür tabaka kalınlığı boyunca 1450 HV ile 2200 HV arasında değiştiği görülmektedir. Bu sertlik değerleri altlıktaki Co miktarı ile de değişmemiştir. Bu sertlik değerleri borlama sonucu saf Fe üzerinde oluşan borür tabakanın tipik sertlik değerlerine karşılık gelmektedir. Altlık olarak kullanılan Fe-Co alaşımların sertlik değerleri ise 100 HV ile 150 HV arasında ölçülmüştür. Bu arada, borür tabaka sertliği ile altlık sertlik değeri arasında “ara” bir sertlik değeri tespit edilmemiş olup, sertlik açısından bir geçiş



bölgesi tanımlanmamıştır. Yani, borür tabakanın altında herhangi bir şekilde, B atomları açısından zengin katı eriyik bir matris bölgesi veya çökeltilerden oluşan bir geçiş bölgesi oluşmadığı söylenebilir. Her ne kadar Fe esaslı malzemelerin borlanmasında genellikle bu tür geçiş bölgesi görülse de, Fe-Co alaşımlarında geçiş bölgesinin oluşmadığı, mikroyapı incelemesinde, sertlik ölçümünde ve SEM-EDS kimyasal analiz sonuçlarından anlaşılmaktadır. Bu durum, Co elementinin borür tabaka içerisinde ayrı bir borür faz olarak bulunmaması ve Co atomlarının demir borür fazı içerisinde homojen şekilde dağılması ile açıklanabilir. Benzer durum Fe-Mn ikili alaşımlarının borlanma davranışı üzerine yapılan çalışmada da raporlanmıştır [18].

## 5. GENEL SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, atomik olarak % 1, 2, 4, 8, 12, 16 Co içeren ikili Fe-Co alaşımları ark ergitme yöntemi ile hazırlanıp, bu alaşımlar kutu borlama yöntemi ile 1100°C ve 3 saat süre ile borlanmıştır. Borlanmış numunelerin karakterize edilmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

1. Tüm alaşımların yüzeyinde testere dişli morfolojide borür tabaka oluşmuş, bu morfoloji altlıktaki Co miktarı ile değişmemiştir.
2. Borür tabaka FeB ve Fe<sub>2</sub>B fazlarından oluşmuş ve bu fazların varlığı ile miktarları altlıktaki Co miktarı ile değişmemiştir.
3. Co elementinin borür tabakada homojen şekilde dağıldığı belirlenmiştir.
4. Altlıktaki Co miktarı değişmesine rağmen, borür tabaka kalınlığı değişmemiştir.
5. Yüzey pürüzlülüğü, borlama işlemi ile bir miktar artmasına rağmen, altlıktaki Co miktarına bağlı dikkate değer bir değişim görülmemiştir.
6. Fe-Co alaşımlarının borlanması sonucunda geçiş bölgesi oluşmamıştır.
7. Tüm Fe-Co alaşımların yüzeyinde oluşan borür tabakanın sertlik değerinin saf Fe yüzeyinde oluşan borür tabaka sertlik değerine yakın olduğu ve bu değerlerin borür tabaka kalınlığı boyunca yaklaşık olarak sabit kaldığı belirlenmiştir.

## TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENTS)

Deneysel çalışmalarda desteklerinden dolayı Yunus Azaklı, Kerem Özgür Gündüz, Zafer Çağatay Öter ve Sezgin Cengiz'e teşekkür ederiz. Bu makale, GYTE BAP 2012-A17 numaralı proje kapsamında yapılan çalışmalardan üretilmiştir.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Şen Ş., Termokimyasal Borlama İşlemiyle AISI 5140, AISI 4140 ve AISI 4340 Çeliklerinin Yüzey Performanslarının Geliştirilmesi, *Doktora Tezi*, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 8-15, (1998).

2. Persson A., Hogmark S. and Bergstrom J., "Thermal fatigue cracking of surface engineered hot work tool steels", *Surface and Coating Technology*, 191(2-3): 216-227, (2005).
3. Celikkan H., Ozturk M.K., Aydin H. and Aksu M.L., "Boriding titanium alloys at lower temperatures using electrochemical methods", *Thin Solid Films*, 515(13): 5348-5352, (2007).
4. Pfohl C., Bulak A. and Rie K.T., "Development of titanium diboride coatings deposited by PACVD", *Surface and Coating Technology*, 131(1-3): 141-146, (2000).
5. Hofsass H., Eyhusen S. and Ronning C., "On the mechanisms of cubic boron nitride film growth", *Diamond and Related Materials*, 13(4-8): 1103-1110, (2004).
6. Kholin A.S., "Phase composition and crack resistance of alloy boride layers on steel", *Metal Science and Heat Treatment*, 41(3-4): 159-161, (1999).
7. Riofano R.M.M., L.C. Casteletti, L.C.F. Canale, G.E. Totten, "Improved wear resistance of P/M tool steel alloy with different vanadium contents after ion nitriding", *Wear*, 265(1-2): 57-64, (2008).
8. Mu D., Yang C., Shen B.L. and Jiang H., "Oxidation resistance of borided pure cobalt", *Journal of Alloys and Compound*, 479(1-2): 629-633, (2009).
9. Gunes I., Ulker S. and Taktak S., "Plasma paste boronizing of AISI 8620, 52100 and 440C steels", *Material & Design*, 32(4): 2380-2386, (2011).
10. Sinha A.K., Boriding(Boronizing), (1991).
11. Atik E., Yunker U. and Meric C., "The effects of conventional heat treatment and boronizing on abrasive wear and corrosion of SAE 1010, SAE 1040, D2 and 304 steels", *Tribology International*, 36(3): 155-161, (2003).
12. Tarakci M., Gencer Y. and Calik A., "The pack-boronizing of pure vanadium under a controlled atmosphere", *Applied Surface Science*, 256(24): 7612-7618, (2010).
13. Podgornik B., Hogmark S., Sandberg O., Leskovsek V., "Wear resistance and anti-sticking properties of duplex treated forming tool steel", *Wear*, 254(11):1113-1121,(2003).
14. Ozbek I. and Bindal C., "Mechanical properties of boronized AISI w4 steel", *Surface and Coating Technology*, 154(1): 14-20, (2002).
15. Calik A., Sahin O. and Ucar N., "Mechanical Properties of Boronized AISI 316, AISI 1040, AISI 1045 and AISI 4140 Steels", *Acta Physica Polonica A*, 115(3): 694-698, (2009).
16. Tarakci M., Gencer Y., Azakli Y. and Sahinturk U., "Surface Modification Of Fe-8si Alloy By Boronizing And Its Characterization", *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture Gazi*, 28(3): 645-655, (2013).
17. Gunduz K.O., Gencer Y., Tarakci M. and Calik A., "The effect of vanadium on the boronizing properties of pure iron", *Surface and Coating Technology*, 221: 104-110, (2013).
18. Gencer Y., "Influence of manganese on pack boriding behaviour of pure iron", *Surface Engineering*, 27(8): 634-638, (2011).

19. Calik A., Gencer Y., Tarakci M., Gunduz K.O. and Gulec A.E., "Bonding of Equiatomic Fe-Mn Binary Alloy", *Acta Physica Polonica A*, 123(2): 449-452, (2013).
20. Gencer Y., Tarakci M. and Calik A., "Effect of titanium on the boronizing behaviour of pure iron", *Surface and Coating Technology*, 203(1-2): 9-14, (2008).
21. Carbucicchio M. and Palombarini G., "Effects of Alloying Elements on the Growth of Iron Boride Coatings", *Journal of Materials Science Letters*, 6(10): 1147-1149, (1987).
22. Brakman C.M., Gommers A.W.J. and Mittemeijer E.J., "Boriding of Fe and Fe-C, Fe-Cr, and Fe-Ni Alloys - Boride-Layer Growth-Kinetics", *Journal Materials Research*, 4(6): 1354-1370, (1989).
23. Cengiz S., Gencer Y., Tarakci M. and Azakli Y., "Influence Of Copper Amount On The Pack Boronizing Behaviour Of Fe-Cu Binary Alloys", *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture Gazi*, 30(3): 339-349, (2015).
24. V. Raghavan, "B-Co-Fe (Boron-Cobalt-Iron)", *Journal of Phase Equilibria and Diffusion*, 33(5): 392-394, (2012).
25. Azakli Y., Cengiz S., Tarakci M. and Gencer Y., "Characterisation of boride layer formed on Fe-Mo binary alloys", *Surface Engineering*, 32(8): 589-595, (2016).
26. Gencer Y. ve Tarakci M., "50Fe-50Co Alaşiminin Borlanması Ve Karakterizasyonu", *16th International Materials Symposium*, Denizli, Türkiye, 42, (2016).



# POLİTEKNİK DERGİSİ

## JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://www.politeknik.gazi.edu.tr/index.php/PLT/index>

## Emme havası giriş sıcaklığı ve ön karışımli yakıt oranının RCCI yanma karakteristiklerine ve motor performansına etkileri

### *The effects of inlet air temperature and premixed fuel ratio on RCCI combustion and engine performance characteristics*

Yazar(lar) (Author(s)): Ahmet UYUMAZ, Hamit SOLMAZ

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz:** Uyumaz A. ve Solmaz H., “Emme havası giriş sıcaklığı ve ön karışımli yakıt oranının RCCI yanma karakteristiklerine ve motor performansına etkileri”, *Politeknik Dergisi*, 20(3): 689-698, (2017).

**To cite this article:** Uyumaz A. and Solmaz H., “Emme havası giriş sıcaklığı ve ön karışımli yakıt oranının RCCI yanma karakteristiklerine ve motor performansına etkileri”, *Journal of Polytechnic*, 20(3): 689-698, (2017).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://www.politeknik.gazi.edu.tr/index.php/PLT/issue/archive>

**DOI:** [10.2339/politeknik.339401](https://doi.org/10.2339/politeknik.339401)

# Emme Havası Giriş Sıcaklığı ve Ön Karışım Yakıt Oranının RCCI Yanma Karakteristiklerine ve Motor Performansına Etkileri

Ahmet UYUMAZ<sup>1\*</sup>, Hamit SOLMAZ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Otomotiv Teknolojisi Programı, BURDUR

<sup>2</sup>Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü, ANKARA

(Geliş/Received : 17.08.2016 ; Kabul/Accepted : 02.11.2016)

## ÖZ

Bu çalışmada emme havası giriş sıcaklığı ve ön karışım yakıt oranının reaktif kontrollü sıkıştırma ile ateşlemeli (RCCI) yanma karakteristikleri ve motor performansı üzerindeki etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Bu amaçla dört silindri, dört zamanlı, direkt enjeksiyonlu benzinli motor RCCI modda 1000 d/d'da 40°C, 60°C ve 80°C emme havası giriş sıcaklıklarında PRF20, PRF40 ve PRF 60 yakıtları ile stokiometrik karışım oranında ve tam yükte çalıştırılmıştır. Emme havası giriş sıcaklığı ve ön karışım oranı arttıkça maksimum silindir basıncının ve ısı dağılımının arttığı, yanmanın avansa alındığı görülmüştür. Bunun tersine sabit emme havası giriş sıcaklığında ön karışım oranı arttıkça yanmanın rötara alındığı görülmüştür. Maksimum indike termik verim 60 °C emme giriş havası sıcaklığında PRF20 yakıtına göre PRF60 yakıtı ile %7.4 artarak %32.3 elde edilmiştir. Motor performansı açısından en uygun yakıtın PRF60 olduğu belirlenmiştir. Deneysel sonuçları RCCI yanmasının emme havası giriş sıcaklığı ve ön karışım yakıt oranından hassas bir şekilde etkilendiğini, yanma fazının emme giriş sıcaklığı ve ön karışım yakıt oranı ile kontrol edilebileceğini göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Reaktif kontrollü sıkıştırma ile ateşlemeli yanma (RCCI), emme havası giriş sıcaklığı, ön karışım yakıt oranı, yanma, motor performansı.

# The Effects of Inlet Air Temperature and Premixed Fuel Ratio on RCCI Combustion and Engine Performance Characteristics

## ABSTRACT

In this study, the effects of inlet air temperature and premixed fuel ratio on RCCI combustion and engine performance characteristics were investigated experimentally. For this purpose, a four cylinder, four stroke, direct injection gasoline engine was operated on RCCI mode with PRF20, PRF40 and PRF60 at 1000 rpm, stoichiometric ratio, inlet air temperature of 40°C, 60°C, 80°C and full load condition. It was seen that maximum in-cylinder pressure and heat release rate increased and advanced with the increase of inlet air temperature and premixed fuel ratio. On the contrary, it was found that combustion was delayed with the increase of premixed fuel ratio at a given inlet air temperature. Indicated thermal efficiency increased by about 7.4 % with PRF60 compared to PRF20 and was obtained 32.3 % at 60 °C inlet air temperature. It was determined that PRF60 was the most suitable fuel in view of engine performance. Test results showed that RCCI combustion was sensitively influenced by inlet air temperature and premixed fuel ratio and combustion phasing can be controlled with inlet air temperature and premixed fuel ratio.

**Keywords:** RCCI, inlet air temperature, premixed fuel ratio, combustion, engine performance.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Artan fosil kökenli yakıt fiyatları ve zararlı egzoz gazlarının azaltılması noktasında içten yanmalı motorların verimlerinin artırılması gerekmektedir. Bununla birlikte egzoz emisyon standartlarındaki sınırlamalar düşük emisyonlu ve verimi yüksek motorların geliştirilmesiyle sağlanması mümkün görünmektedir. Gerekli emisyon standartların karşılanması ve daha verimli içten yanmalı motorların

geliştirilmesinde homojen dolgu sıkıştırma ile ateşlemeli (HCCI) yanma, ön karışım sıkıştırma ile ateşlemeli (PCCI) yanma, kısmi ön karışım (PPC) ve reaktif kontrollü sıkıştırma ile ateşlemeli (RCCI) yanma modları uygulanmaktadır [1-6]. Egzoz gazlarının azaltılmasında kullanılan sistemler hem maliyeti arttırmakta hem de yakıt tüketiminin artışına neden olmaktadır. Özellikle dizel motorlarda karışımın homojen olmamasına bağlı olarak lokal zengin ve fakir karışım bölgeleri oluşmakta, yanma odasında zengin ve yüksek sıcaklıkta gerçekleşen yanma sonucu NO<sub>x</sub> ve is emisyonları açığa çıkabilmektedir [7-10]. Bu noktada egzoz gazlarının indirgenmesi ve ısıl verimin artırılması

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: auyumaz@mehmetakif.edu.tr

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/politeknik.339401

amacıyla araştırmacılar düşük sıcaklık yanma modları üzerinde yoğunlaşmaktadırlar. Düşük sıcaklıkta meydana gelen yanma  $\text{NO}_x$  oluşumunu engellemektedir. Aynı zamanda tutuşma gecikmesi süresi uzayarak daha homojen bir karışımın oluşturulması için zaman tanınmış olmaktadır [8,11,12]. HCCI yanması yüksek yüklerde vuruntu, düşük yüklerde ateşlenememe problemlerinden dolayı motor çalışma aralığı sınırlı kalmaktadır. HCCI yanması üzerinde direkt kontrol mekanizması olmadığından basınç artış oranı ve hızlı bir ısı dağılımı görülmektedir. Düşük sıcaklıkta meydana gelen RCCI yanması emme havası basıncının artırılmasına ve EGR uygulanarak karışımın seyreltilmesine imkân verilmektedir. Kimyasal kinetiklerin kontrol ettiği düşük sıcaklık yanma modunda yanmanın başlangıcı ve bitiş kontrol edilerek verim artırılabilir [13]. RCCI yanması düşük sıcaklıklarda meydana geldiğinden özellikle düşük motor yüklerinde CO ve HC emisyonları artmaktadır. Farklı reaktif özelliklerde yakıtlar kullanılarak ve emme havası giriş sıcaklığı artırılarak CO ve HC emisyonları azaltılabilmekte ve yanma kontrol edilebilmektedir. Kokjohn ve diğ. [7] hafif ve ağır yük motorunda RCCI yanma modunu incelemişlerdir. Her iki motorda da  $\text{NO}_x$  emisyonlarının 0.05 g/kW-h, is emisyonlarının 0.01 g/kW-h ve vuruntu yoğunluğunun 4 MW/m<sup>2</sup> değerinin altına düştüğünü görmüşlerdir. Hanson ve diğ. [14] RCCI yanmasını düşük yüklerde incelemişlerdir. 4,5 brüt imep değerinde %54 indike termik verimin elde edildiğini görmüşlerdir. Bununla birlikte  $\text{NO}_x$  ve duman emisyonlarının US EPA 2010 emisyon sınırlarının altında olduğunu gözlemlemişlerdir. Dempsey ve diğ. [15] dört silindri RCCI bir motorda partikül madde emisyonlarının değişimini incelemişlerdir. RCCI yanma modunda sifıra yakın partikül madde açığa çıktığını belirtmişlerdir. Hanson ve Reitz [16] RCCI yanmasını ve konvansiyonel dizel yanmasını dört silindri bir motorda emisyonlar ve motor performansı açısından karşılaştırmışlardır. RCCI yanması ile konvansiyonel dizel yanmasına göre daha düşük  $\text{NO}_x$  ve duman, daha fazla HC ve CO emisyonu açığa çıktığını göstermişlerdir. Wissink ve diğ. [17] Fourier analizi ile basınç dalgalanmaları ve ısı dağılımlarını HCCI, RCCI ve konvansiyonel dizel yanma modlarında incelemişler, verim ve  $\text{NO}_x$  emisyonlarının değişimini karşılaştırmışlardır. HCCI ve RCCI yanmasında tüm frekans modlarında azalma tespit etmişlerdir. Dizel yanması ile daha fazla güç çıkışının elde edildiğini görmüşlerdir. Pohlkamp ve Reitz [18] dizel ve benzin yakıtlarını kullanarak RCCI modda %25, % 50 ve % 75 yükte çalıştırılan bir motorda emme havası giriş sıcaklığının ve enjeksiyon zamanlamasının verim, emisyonlar ve yanma kararlılığı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. % 75 motor yükünde dizel yanmasına göre %3 daha fazla verim göstermiştir. Bununla birlikte dizel yanmasına göre  $\text{NO}_x$  ve is emisyonlarında azalma HC ve CO emisyonlarında artış gözlemişlerdir. Benajes ve diğ. [19] yüksek ve düşük reaksiyon değerlerine sahip benzin ve dizel yakıtları ile gerçekleştirilen RCCI yanmasını deneysel ve nümerik olarak incelemişlerdir.

Dizel enjeksiyonu ile yanmanın başladığını ardından benzin-hava karışımının yanmaya iştirak ettiğini belirtmişlerdir. Dizel/benzin oranı azaldıkça tutuşma gecikmesi süresinin arttığını, karışımın elde edilmesi için gereken süresinin uzadığını göstermişlerdir. Benajes ve diğ. [20] bir başka çalışmada direkt enjeksiyon zamanlamasının ve karışım oranının RCCI motorda performansa ve emisyonlara etkilerini deneysel olarak araştırmışlardır. Deneyler porttan E10-95, E10-98, E20-95 ve E85 yakıtları direkt silindir içine dizel yakıt püskürtülerek 1200 d/d'da gerçekleştirilmiştir. E85 yakıtı ile yapılan deneylerde kararlı yanmanın gerçekleşebilmesi için dikkate değer oranda dizel yakıtının olması gerektiğini görmüşlerdir. Bu durumun  $\text{NO}_x$  emisyonlarını ve vuruntu yoğunluğunu arttırdığını gözlemlemişlerdir. Zhu ve diğ. [21] n-heptan ve benzin yakıtlarını kullanarak gerçekleştirdikleri RCCI yanmasını ve emisyon değerlerini tek silindri bir motorda farklı enjeksiyon zamanlaması ve ön karışım oranlarında incelemişlerdir. Enjeksiyon zamanlamasının avansa alınması ile tutuşma gecikmesi süresinin arttığını görmüşlerdir. Üç farklı test yakıtı ile yapılan deneylerde CO ve is emisyonları azalırken  $\text{NO}_x$  emisyonlarının arttığını görmüşlerdir. Li ve diğ. [22] benzin ve biyodizel yakıtlarının RCCI yanması üzerindeki etkilerini nümerik olarak KIVA4-CHEMKIN ile incelemişlerdir. Benzin oranı değiştirdiğinde yanma başlangıcının ve yanma fazının kontrol edilebildiğini görmüşlerdir. Aynı zamanda benzin miktarındaki artış ile  $\text{NO}_x$  ve is emisyonlarının daha homojen bir yanma ile azaldığını görmüşlerdir. Benajes ve diğ. [23] yeniden reaksiyona girme karakteristiklerinin düşük olduğu yakıtların (porttan E10-95, E10-98, E20-95 ve E85, direkt silindire dizel) ve karışım oranının RCCI yanması ve emisyonlar üzerindeki etkilerini düşük yükte incelemişlerdir. Uygun karışım oranları kullanıldığında azalan yeniden etkinleştirme karakteristikleri ile indike termik verimin % 4,5 iyileştiğini gözlemlemişlerdir. Qian ve diğ. [24] porttan etanol ve benzin direkt silindir içine n-heptan yakıtlarını püskürterek sağladıkları RCCI yanmasını ve emisyon karakteristiklerini incelemişlerdir. Etanol/n-heptan yakıtları kullanıldığında RCCI yanmasında tutuşma gecikmesinin arttığını görmüşlerdir. Artan ön karışım yakıt oranlarında RCCI yanması ile  $\text{NO}_x$  ve is emisyonlarının iyileştiğini görmüşlerdir. Farklı karışım oranlarında benzin/n-heptan yakıtı ile etanol/n-heptan yakıtına oranla daha düşük HC, daha fazla  $\text{NO}_x$  ve is emisyonu açığa çıkardığı görülmüştür. 0.57 ön karışım oranında benzin/n-heptan ve etanol/n-heptan yakıtları ile maksimum indike termik verim elde edildiğini görmüşlerdir. İndike ortalama efektif basınç (imep) değeri 6 barın üzerinde iken etanol/n-heptan yakıtı ile hesaplanan indike termik verimin benzin/n-heptan yakıtından daha yüksek olduğunu görmüşlerdir. Qian ve diğ. [25] bir başka çalışmada direkt silindire n-heptan, porttan etanol, n-butanol and n-amil alkol püskürterek gerçekleştirdikleri RCCI yanması ve emisyonları deneysel olarak araştırmışlardır. Çevrim başına sabit ısı enerjiler göz önüne alındığında ön karışım oranı arttıkça

NO<sub>x</sub> ve is emisyonlarının azaldığını görmüşlerdir. Bunun yanında n-heptan/n-butanol ve n-heptan/n-amil alkol yakıtları karşılaştırıldığında RCCI etanol yanmasında yanma fazının yüksek ön karışım oranlarında rötara alındığını gözlemlemişlerdir. Kakaee ve diğ. [26] doğalgaz ve dizel yakıt karışımları ile sağlanan RCCI yanmasını ve emisyon karakteristiklerini 9 bar imep değerinde nümerik olarak incelemişlerdir. Wobbe sayısının ve motor devrinin önemli derecede RCCI yanmasını ve emisyonları etkilediğini ifade etmişlerdir. Yüksek Wobbe numarası ile daha fazla maksimum silindir basıncı, sıcaklık ve NO<sub>x</sub> ve daha düşük HC ve CO emisyonlarının elde edildiğini görmüşlerdir.

Bu çalışmada dört silindri, dört zamanlı, 2L hacmindeki benzinli bir motorun RCCI motora dönüşümü gerçekleştirilmiştir. Emme havası giriş sıcaklığı ve ön karışım oranının RCCI yanma karakteristikleri ve motor performansı üzerindeki etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Bu amaçla deney motoru tam yükte, stokiyometrik karışım oranında, 1000 d/d motor devrinde, 40 °KA (ÜÖN'dan önce) enjeksiyon zamanlamasında, farklı emme havası giriş sıcaklıklarında (40°C, 60°C ve 80°C) ve ön karışım oranlarında (PRF20, PRF40 ve PRF60) RCCI yanma modunda çalıştırılmıştır. Silindir basıncı, ısı dağılımı, imep, yanma başlangıcı, yanma süresi, kümülatif ısı dağılımı, yanma verimi ve indike termik verim gibi yanma ve performans karakteristikleri incelenmiştir.

## 2. MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

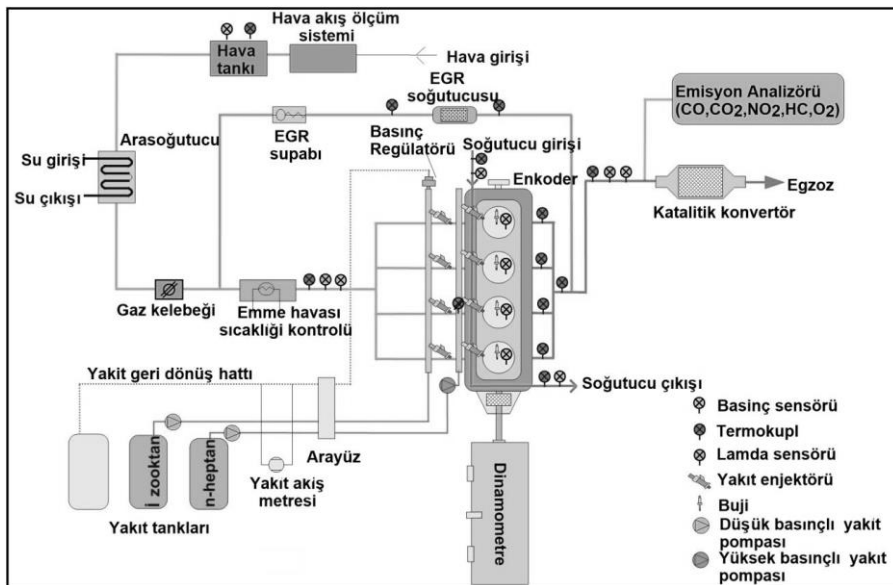
Emme havası giriş sıcaklığı ve ön karışım yakıt oranının RCCI yanması ve motor performansına etkilerini incelemek için yapılan deneyler Michigan Technological University'de, Advanced Power System Research Center'da gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneğinin şematik görünümü Şekil 1'de görülmektedir.

Deney düzeneğinde dinamometreye bağlı deney motorunda lamda, EGR, oranı, gaz kelebeği, konumu, emme havası giriş sıcaklığı, enjeksiyon zamanlaması ve supap zamanlaması gibi parametreler kontrol edilebilmektedir. Deneylerde dört zamanlı, dört silindri 2 L hacmindeki GM Ecotec benzinli motor kullanılmış, RCCI yanma modunda çalıştırılmıştır. Deney motorunun teknik özellikleri Çizelge 1'de verilmektedir. Deney motoru 460 BG gücünde kontrol edilebilir AC dinamometreye bağlanmış, motor devri ve yükü değiştirilmiştir. Deneyler tam gaz kelebeği açıklığında ve 1000 d/d motor devrinde gerçekleştirilmiştir. Motora alınan emme havasının giriş sıcaklığı emme manifoldu ile gaz kelebeği arasına yerleştirilen emme havası ısıtıcısı ile kontrol edilebilmektedir.

**Çizelge 1.** Deney motorunun teknik özellikleri (The technical properties of the test engine)

Model	GM Ecotec LHU Gen I
Silindir çapı x Strok [mm]	86 x 86
Silindir sayısı	4
Silindir hacmi [L]	2.0
Sıkıştırma oranı [mm]	9.2:1
Biyel kolu uzunluğu [mm]	145.5
Maksimum güç [kW]	270
Yakıt enjeksiyon sistemi	Benzinli direkt
Supap sistemi	Üstten çift eksantrik, 4

Emme havası giriş sıcaklığı ve ön karışım yakıt oranının RCCI yanma karakteristikleri üzerindeki etkilerini incelemek için silindir basıncı 115A04 model PCB piezo basınç sensörü ile ölçülmektedir. Ölçülen silindir basıncı 1104CA model DSP şarj amplifikatörü ile yükseltilmiş ACAP yanma analiz sistemi kullanılarak silindir basıncı verileri işlenmiştir. Krank konumunu belirlemek için deney motorunun krank miline 1 °KA aralığı hassasiyetinde ölçüm yapabilen enkoder bağlanmıştır. Bununla birlikte 700 model Micro Motion yakıt akış



**Şekil 1.** Deney düzeneğinin şematik görünümü (The schematic view of the experimental setup)



metresi ile yakıt tüketimi ölçülmüştür. RCCI motor çalışma parametreleri dSPACE MicroAutoBox ve RapidPro üniteleri kullanılarak kumanda edilebilmektedir. Lamda, değişken supap zamanlaması, emme havası giriş sıcaklığı, enjeksiyon zamanlaması, gaz keleşi konumu ve EGR gibi motor çalışma parametrelerin kontrolünü içeren motor yönetim sistemi için MATLAB Simulink modeli geliştirilmiş ve kullanılmıştır. dSPACE ünitesi kullanılarak emme ve egzoz kamların fazı, yakıt hat basıncı, gaz keleşi konumu, hava-yakıt oranını, krank açısı ve EGR supabı pozisyonu ölçülebilmektedir. Sırasıyla NI TB 4353, NI PXI 6225 and NI PXI 6722 modüllerini içeren National Instrument PXIe 1078 chassis sistemi kullanılarak termokupl, basınç sensörü ve dinamometre kontrol edilebilmektedir. MATLAB kodu hazırlanarak silindir içi basınç verileri kullanılarak yanma analizi gerçekleştirilmiştir. Kullanılan MATLAB programı ile özgül yakıt tüketimi, indike ortalama efektif basınç (imep), indike termik verim, yanma başlangıcı, yanma süresi, yanma verimi, basınç artış oranı, ısı dağılımı ve kümülatif ısı dağılımı gibi parametreler belirlenebilmekte ve hesaplanabilmektedir. Lab VIEW arayüzü kullanılarak ölçülen veriler görüntülenmiştir. Isı dağılımı analizi için termodinamiğin birinci kanununa dayalı ideal gaz denklemi kullanılmıştır. Isı dağılımı hesaplamasında çevrimde çalışma gazının ideal gaz olduğu kabulü yapılmıştır. Isı dağılımı Eş. (1) ile hesaplanmıştır.

$$\frac{dQ}{d\theta} = \frac{k}{k-1} P \frac{dV}{d\theta} + \frac{1}{k-1} V \frac{dP}{d\theta} + \frac{dQ_{heat}}{d\theta} \quad (1)$$

Bu eşitlikte  $dQ$ ,  $dQ_{heat}$ ,  $d\theta$  ve  $k$  sırasıyla ısı dağılımı, silindir duvarlarına transfer edilen ısıyı, krank açısı değişimini ve özgül ısıların oranını göstermektedir. Yanma verimi ise Eş. (2) ile hesaplanmıştır.

$$\eta_{yanma} = \frac{\int_{t_{y_{bas}}}^{t_{y_{son}}} \frac{dQ_{gr}}{d\theta} d\theta}{m_f Q_{LHV}} \quad (2)$$

Burada  $t_{y_{bas}}$  ve  $t_{y_{son}}$  krank açısına bağlı olarak yanma başlangıcını ve sonunu,  $\frac{dQ_{gr}}{d\theta}$  krank açısına bağlı olarak toplam ısı dağılımını,  $Q_{LHV}$  yakıtın alt ısı değerini,  $m_f$  bir çevrimde silindire sürülen yakıt miktarını ifade etmektedir [26-30].

Deneylerde ön karışım yakıt oranının ve emme havası giriş sıcaklığının RCCI yanma karakteristikleri ve motor performansı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Benzinli deney motoru izooktan ve n-heptan yakıtları porttan ve direkt silindir içerisine püskürtülerek RCCI yanma modunda çalıştırılmıştır. Deneylerde kullanılan yakıtların özellikleri Çizelge 2'de görülmektedir.

**Çizelge 2.** İzooktan ve n-heptan yakıtlarının özellikleri (The properties of the iso-octane and n-heptane fuels) [31]

	İzooktan	n-heptan
Araştırma oktan sayısı	100	0
Kimyasal formülü	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>
Molekül ağırlığı [gr/mol]	114.23	100.21
Yoğunluk [kg/m <sup>3</sup> @ 15.4 °C]	692	695
Kaynama noktası [K]	372.2-372.6	371
Alt ısı değeri [kJ/kg]	44310	44566

Deneyler tam yükte, stokiyometrik karışım oranında ( $\lambda=1$ ), 1000 d/d motor devrinde, sabit enjeksiyon zamanlamasında 40 °KA (ÜÖN'dan önce) RCCI yanma modunda gerçekleştirilmiştir. Emme havası giriş sıcaklığı ve ön karışım yakıt oranının RCCI yanması ve performans karakteristikleri üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Deneyler Çizelge 3'de belirtilen motor çalışma parametrelerinde gerçekleştirilmiştir.

**Çizelge 3.** Deney şartları (Test conditions)

Yakıt	PRF20, PRF40,
Motor yükü	Tam yük
Motor devri [d/d]	1000
Emme havası giriş sıcaklığı [°C]	40, 60, 80
Lamda	1
Egzoz supabı kapanma	22
Emme supabı açılma	22
Enjeksiyon zamanlaması	40

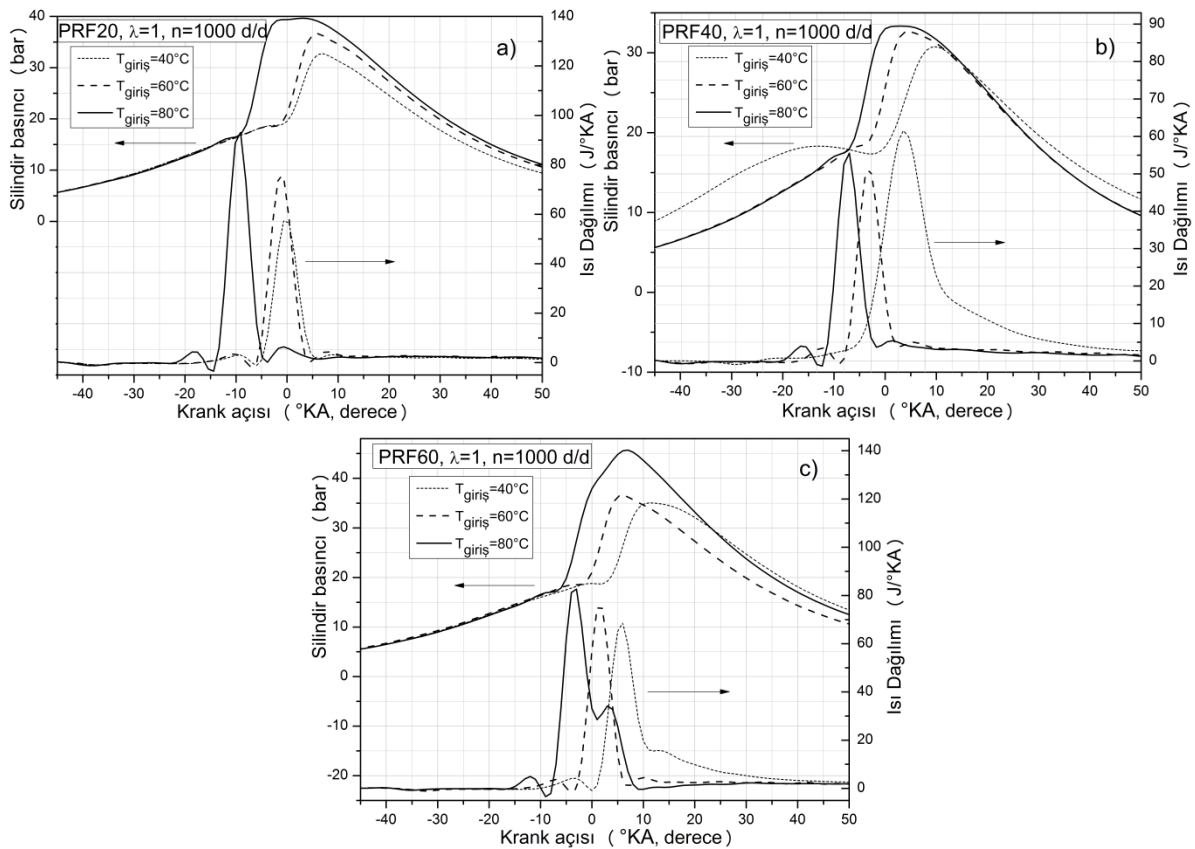
### 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

RCCI yanması emme havası giriş sıcaklığı ve ön karışım oranından oldukça etkilenmektedir. Düşük ve yüksek reaksiyon karakteristiklerine sahip yakıtların kullanılması RCCI yanmasında yaygın olarak kullanılan bir metottür. Bu çalışmada düşük reaksiyon karakteristiğine sahip izooktan yakıtı porttan, yüksek reaksiyon karakteristiğine sahip n-heptan yakıtı direkt silindire püskürtülerek RCCI yanması sağlanmıştır. Yanma başlangıcı ve yanmanın seyri yakıt özellikleri ve çevrimin başlangıcındaki sıcaklık ve basınç değerleri tarafından kontrol edilebilmektedir. Şekil 2'de Emme havası giriş sıcaklığı ve ön karışım yakıt oranının silindir basıncı ve ısı dağılımı üzerindeki etkileri görülmektedir. Ön karışımli RCCI yanması yanmanın başlangıcındaki termodinamik şartlara hassas şekilde bağlıdır. Yapılan deneylerde ön karışım oranının değiştirilmesi ile emme havası giriş sıcaklığının geniş bir aralıkta değiştirilmesi mümkün olmuş ve kararlı

RCCI yanması sağlanmıştır [14]. Şekil 2'de ısı dağılımları incelendiğinde RCCI yanmasında düşük sıcaklık ve yüksek sıcaklık reaksiyonlarının meydana geldiği görülmüştür. Düşük ve yüksek sıcaklık reaksiyonları arasında kalan bölge ise negatif sıcaklık katsayılı bölge olarak adlandırılmaktadır. RCCI yanmasında diğer konvansiyonel yanma türlerine göre daha düşük silindir basıncı ve ısı dağılımı gradyanı göstermektedir. Konvansiyonel dizel yanması ile karşılaştırıldığında RCCI yanmasında daha uzun ve yavaş bir ısı dağılımı grafiği elde edilmektedir [18]. Şekil 2'de görüldüğü gibi emme havası giriş sıcaklığı arttıkça tüm ön karışım yakıt oranlarında maksimum silindir basıncının arttığı ve yanmanın avansa alındığı görülmektedir. Emme havası giriş sıcaklığının artırılması ile yanma odasında reaktifliğin önemli ölçüde artırıldığı görülmektedir. Bu durum silindir basıncının ve ısı dağılımının artışına neden olmaktadır [18]. Özellikle 80 °C emme havası giriş sıcaklığında önemli derecede yanmanın avansa alındığı, maksimum basıncı arttığı görülmektedir. Düşük sıcaklık reaksiyonlarında 60°C ve 40°C emme havası giriş sıcaklıklarında önemli bir farklılık görülmemektedir. Benzer şekilde ön karışım yakıt oranı artırıldıkça maksimum silindir basıncının arttığını ifade etmek mümkündür. RCCI yanması kimyasal kinetikler tarafından kontrol edilen ön karışımli bir yanmadır. Yüksek emme havası giriş sıcaklığı silindir cidarı sıcaklığının çok fazla azalmasına engel olmakta, yanma iyileşmekte

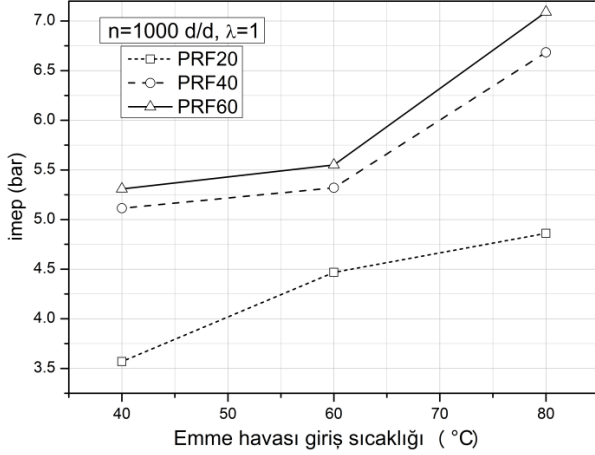
dir. Çünkü RCCI yanmasında soğuk silindir cidarı kinetik reaksiyon oranının azalmasına neden olarak yanmayı kötüleştirir [16,32]. Aynı zamanda sabit emme havası giriş sıcaklığında ön karışım yakıt oranı arttıkça yanma fazının rötara alındığı görülmektedir [33]. Düşük ön karışım yakıt oranlarında yanmanın n-heptan tarafından kontrol edildiği ifade edilebilir. Buna bağlı olarak ön karışım yakıt oranı arttıkça silindir basıncı ve ısı dağılımı artış göstermektedir. Yüksek sıcaklık reaksiyonları boyunca ısı dağılımının hızlı artışı emme havası giriş sıcaklığının artışı ile gerçekleşmektedir [14, 34].

Ön karışımli yanma modları içerisinde HCCI yanması üzerinde direkt bir kontrol mekanizması bulunmamaktadır. Dolayısıyla hızlı ve ani bir ısı dağılımı görülmekte yanma fazının kontrolünde güçlüklerle karşılaşmaktadır. Bunun sonucunda özellikle yüksek motor yüklerinde aniden gerçekleşen ısı dağılımı sonucu vuruntu problemi görülmektedir. Fakat RCCI yanmasında farklı yakıt enjeksiyon stratejileri, farklı reaksiyon karakteristiklerine sahip yakıtların kullanılması ve çevrimin başlangıç termodinamik şartlarının değiştirilmesi ile yanma fazı kontrol edilebilmektedir. Bununla birlikte motor performansı da iyileştirilmektedir. Şekil 3'de emme havası giriş sıcaklığı ve ön karışım yakıt oranının imep üzerindeki etkileri görülmektedir. Stokiyometrik oranda yapılan deneylerde emme havası giriş sıcaklığı arttıkça imep değerlerinin arttığı görülmektedir. Maksimum imep değerleri PRF60,

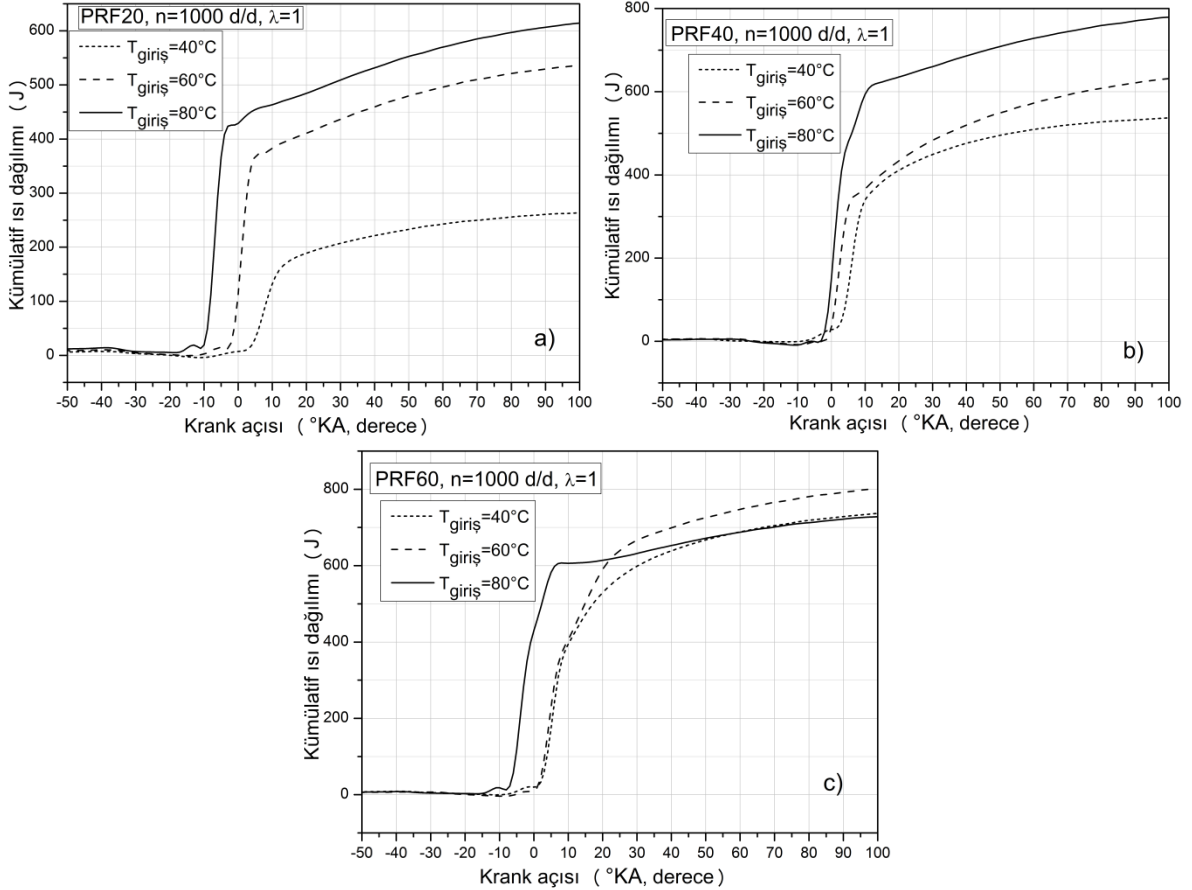


**Şekil 2.** Emme havası giriş sıcaklığı ve ön karışım yakıt oranının silindir basıncı ve ısı dağılımı üzerindeki etkileri (The effects of inlet air temperature and premixed fuel ratio on cylinder pressure and heat release rate)

PRF40 ve PRF20 yakıtları ile 80°C emme havası giriş sıcaklığında sırasıyla 7.09 bar, 6.68 bar ve 4.86 bar olarak kaydedilmiştir. Benzer şekilde ön karışım yakıt oranı arttıkça imep değerlerinin arttığı görülmektedir [35].



**Şekil 3.** RCCI yanmasında emme havası giriş sıcaklığı ve ön karışım yakıt oranının imep üzerindeki etkisi (The effect of inlet air temperature and premixed fuel ratio on imep)



**Şekil 4.** Kümülatif ısı dağılımları (Cumulative heat release rates)

Şekil 5 ön karışım yakıt oranının ve emme havası giriş sıcaklığının yanma başlangıcı ve yanma süresi üzerindeki etkilerini göstermektedir. Emme havası giriş sıcaklığının

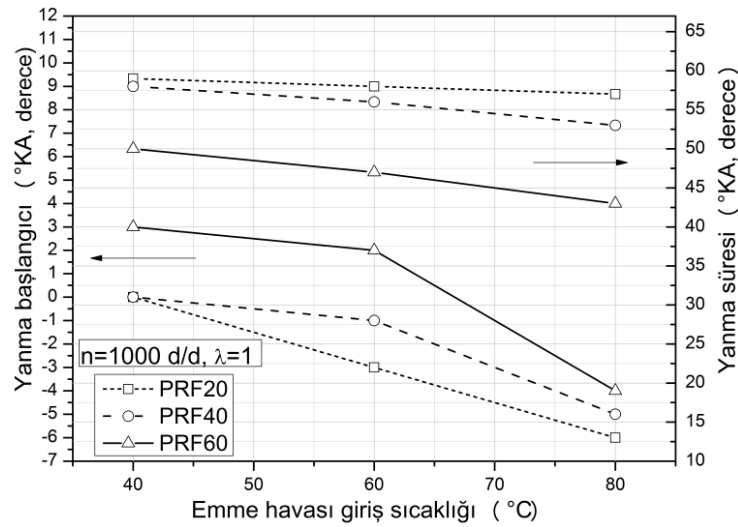
etkilediği en önemli değişkenlerden biri yanmanın başlangıcıdır. Emme havası giriş sıcaklığı arttıkça yanma başlangıcı avansa alınmaktadır. Şekil 5 incelendiğinde RCCI yanma zamanlamasının emme havası giriş sıcaklığı tarafından kontrol edildiği görülmektedir [36]. Emme havası sıcaklığının artırılması oksidasyon oranını hızlandırarak yanma şartlarını kolaylaştırmaktadır. Bunun tersine sabit emme havası giriş sıcaklığında ön karışım yakıt oranı arttıkça yanmanın rötara alındığını ifade etmek mümkündür. Yüksek emme giriş sıcaklığına bağlı olarak yanma odası sıcaklığı artmakta yanma daha kısa sürmektedir. Şekil 5'de görüldüğü gibi emme giriş sıcaklığı arttıkça yanma süresi kısalmaktadır. Aynı şekilde ön karışım yakıt oranı arttığında yanma süresinin kısaldığı görülmektedir.

Yanma analizinde KA50 silindire alınan karışım kütlelerinin yarısının yanmasını tamamladığı krank açısına denk gelmektedir. KA50 ve termik verim arasında yakın bir ilişki bulunmaktadır. Maksimum termik verim için KA50 ÜÖN'dan hemen sonra (5-10 °KA ÜÖN'dan sonra) elde edilmelidir [29, 30]. Şekil 6 RCCI yanmasında KA50 ve indike termik verimin değişimini göstermektedir. Emme havası giriş sıcaklığı arttıkça

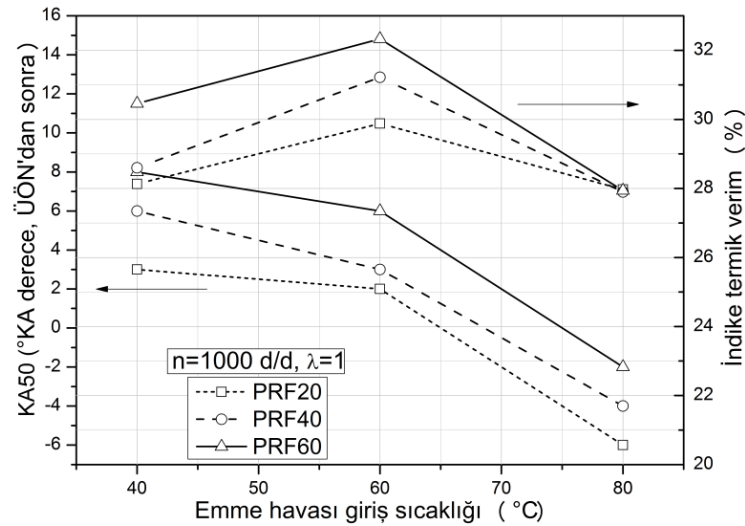
yanmanın avansa alındığı görülmektedir. Fakat yanmanın çok fazla avansa alınması indike termik verimin azalmasına neden olmaktadır. Ön karışım yakıt

oranı arttıkça yanmanın rötara alındığı görülmektedir. Maksimum indike termik verim 60°C emme giriş sıcaklığında PRF20, PRF40 ve PRF60 yakıtları ile sırasıyla %29.8, % 31.2 ve % 32.3 şeklinde elde edilmiştir. Curran ve diğ. [37] tarafından yapılan çalışmada maksimum verimin KA50 değeri ÜÖN'dan 5°KA iken elde edildiğini görmüşlerdir. RCCI yanmasında düşük ve yüksek reaksiyon karakteristiklerine sahip yakıtlar kullanıldığı göz önüne alındığında en uygun yakıtın seçimi önemlidir. Bu noktada indike termik verim ve motor performansı açısından en uygun yakıtın PRF60 olduğu görülmektedir.

oksidasyon oranı artmaktadır. RCCI yanması düşük sıcaklıklarda meydana geldiğinden konvansiyonel yanma türlerine göre yanma verimi düşük kalmaktadır. Şekil 7'de emme havası giriş sıcaklığı ve ön karışım oranının yanma verimi üzerindeki etkileri görülmektedir. Termik verime benzer şekilde yanma verimi ön karışım oranı arttıkça artış göstermektedir. Emme havası giriş sıcaklığı arttıkça tüm ön karışım oranlarında yanma verimi artmaktadır. Yanma verimini etkileyen en önemli değişkenlerden biri yanma sonu gaz sıcaklığıdır. Gerçekleştirilen deneylerde emme havası giriş sıcaklığı arttıkça maksimum silindir gaz sıcaklığı artış göstermektedir. Maksimum yanma verimi PRF60 ile 80



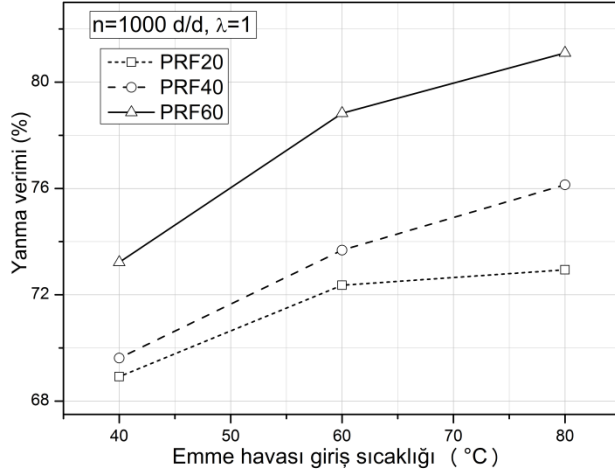
Şekil 5. Yanma başlangıcı ve yanma sürelerinin değişimi (The variation of start of combustion and combustion duration)



Şekil 6. RCCI yanmasında KA50 ve indike termik verimin değişimi (The variation of CA50 and indicated thermal efficiency in RCCI combustion)

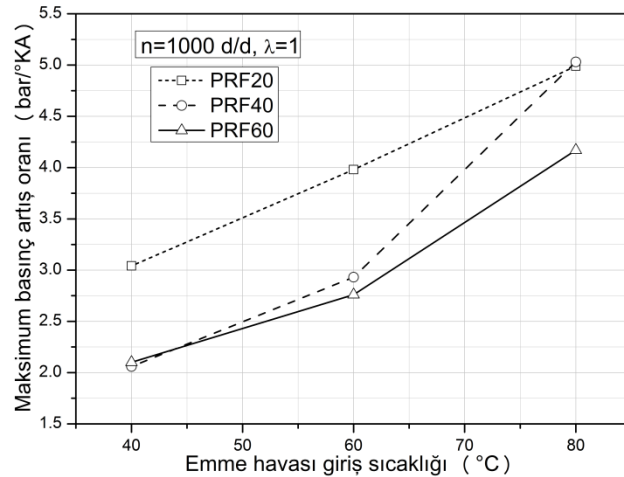
RCCI yanmasında düşük ısı ve pompalama kayıpları verimin azalmasına engel olmaktadır. Daha fazla net iş ve azalan ısı transfer kayıpları sonucu termik verim artmaktadır [38]. RCCI yanmasında yanma verimi yanma fazının avansa alınması ile iyileşmektedir. Çünkü oksidasyon reaksiyonları için gerekli zaman ve

°C emme giriş sıcaklığında %81.1 elde edilmiştir. PRF60 yakıtına göre PRF40 ve PRF20 ile yanma verimi sırasıyla % 6.1 ve %10.06 azalmıştır. Daha homojen ve yanmaya daha uygun karışım ile yanma veriminin arttığı görülmektedir.



**Şekil 7.** Emme havası giriş sıcaklığına bağlı yanma veriminin değişimi (The variation of combustion efficiency depending on inlet air temperature)

Şekil 8'de RCCI yanmasında maksimum basınç artış oranının değişimi görülmektedir. Emme havası giriş sıcaklığı arttıkça maksimum basınç artış oranı artmaktadır. Emme havası giriş sıcaklığı arttıkça ısı dağılımı ve reaksiyon oranı hızlanmakta basınç artış oranı artmaktadır. Literatürde maksimum basınç artış oranı 10 bar/°KA tarafından sınırlandırılmaktadır [27,28]. Şekil 8 incelendiğinde bu sınırın hiçbir deneyde aşılmadığı görülmektedir. RCCI yanmasında düşük sıcaklıkta meydana gelen oksidasyon reaksiyonları sonucu kararlı bir yanma gerçekleşmektedir. 1000 d/d motor devri ve stokiyometrik oranda yapılan deneylerde ön karışım yakıt oranı arttıkça maksimum basınç artış oranının azaldığını ifade etmek mümkündür. Maksimum basınç artış oranı PRF40 ile 80°C emme giriş sıcaklığında 5.03 bar/°KA olduğu belirlenmiştir.



**Şekil 8.** Maksimum basınç artış oranının değişimi (The variation of maximum pressure rise rate)

#### 4. CONCLUSIONS (SONUÇLAR)

RCCI yanması yüksek termik verim ve düşük NO<sub>x</sub> ve is emisyonları ile araştırmacılar tarafından büyük ilgi görmektedir. Fakat özellikle düşük yüklerde azalan

yanma verimine bağlı olarak yanma ve motor performans karakteristikleri kötüleşmektedir. Bu çalışmada emme havası giriş sıcaklığının ve ön karışım yakıt oranının RCCI yanma ve motor performans karakteristikleri üzerindeki etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Emme havası sıcaklığı arttıkça maksimum silindir basıncı ve ısı dağılımı arttığı görülmüştür. Aynı zamanda emme havası giriş sıcaklığı ve ön karışım oranı arttıkça indike termik verim ve yanma veriminin arttığı görülmüştür. Maksimum indike termik verim PRF20 yakıtına göre PRF60 yakıtı ile %7.4 artarak %32.3 elde edilmiştir. Motor performansı açısından en uygun yakıtın PRF60 olduğu görülmüştür. Sonuç olarak RCCI yanmasının ön karışım yakıt oranı ve emme havası giriş sıcaklığından hassas bir şekilde etkilendiği, yanma fazının kontrol edilebileceği görülmüştür.

#### SEMBOLLER (NOTATIONS)

$k$	Özgül ısıların oranı
$m_f$	Bir çevrimde silindire sürülen yakıt miktarı
$n$	Motor devri
$dQ$	Isı dağılımı
$dQ_{heat}$	Silindir cidarlarına transfer edilen ısı
$dQ_{gr}$	Toplam ısı dağılımı
$Q_{LHV}$	Yakıtın alt ısı değeri
$P$	Silindir basıncı
$V$	Silindir hacmi
$\theta$	Krank mili açısı
$\lambda$	Lamda
$\eta_{yanma}$	Yanma verimi
$ty_{baş}$	Krank açısına bağlı olarak yanma başlangıcı
$ty_{son}$	Krank açısına bağlı olarak yanma sonu

#### KISALTMALAR (ABBREVIATIONS)

AC	Alternatif akım
BG	Beygir güç
BTDC	Üst ölü noktadan önce
CO	Karbon monoksit
HC	Hidrokarbon

<b>HCCI</b>	Homogen dolgulu sıkıştırma ile
ateşlemeli	
<b>imep</b>	İndike ortalama efektif basınç
<b>KA</b>	Krank açısı
<b>NO<sub>x</sub></b>	Azot oksit
<b>PCCI</b>	Ön karışım dolgulu sıkıştırma ile
ateşlemeli	
<b>PPC</b>	Kısmi ön karışimli yanma
<b>PRF</b>	Birincil referans yakıt
<b>RCCI</b>	Reaktif kontrollü sıkıştırma ile
ateşlemeli	
<b>US EPA</b>	Birleşik devletler çevre koruma ajansı
<b>ÜÖN</b>	Üst ölü nokta

### TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışmanın yapılabilmesi için Hamit SOLMAZ 2219/A Doktora sonrası araştırma bursu kapsamında TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir. Ayrıca deney düzeneğinin kurulması için "United States National Science Foundation (Grant No:1434273)" tarafından finansal destek sağlanmıştır. Yazarlar TÜBİTAK ve United States National Science Foundation'a teşekkür eder.

### KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Ansari E., Poorghasemi K., Khoshbakt Irdmousa B., Shahbakhti M. and Naber J., "Efficiency and Emissions Mapping of a Light Duty Diesel - Natural Gas Engine Operating in Conventional Diesel and RCCI Modes," *SAE Technical Paper*. (2016).
2. Poorghasemi K., Saray R. K., Ansari E., Irdmousa B. K., Shahbakhti M. and Naber J. D., "Effect of diesel injection strategies on natural gas/diesel RCCI combustion characteristics in a light duty diesel engine", *Applied Energy*, 199: 430-446, (2017).
3. Liu H.F., Xu J., Zheng ZQ, Li S.J. and Yao M.F., "Effects of fuel properties on combustion and emissions under both conventional and low temperature combustion mode fueling 2,5-dimethylfuran/diesel blends", *Energy*, 62: 215-23, (2013).
4. Hanson R.M., Kokjohn S. L., Splitter D.A. and Reitz R.D., "An experimental investigation of fuel reactivity controlled PCCI combustion in a heavy-duty engine", *SAE Int. J. Engines*, 2010-01-0864, (2010).
5. Splitter D., Reitz R., Hanson R., "High efficiency, low emissions RCCI combustion by use of a fuel additive", *SAE International*, 2010-01-2167, (2010).
6. Bessonette P.W., Schleyer C.H., Duffy K.P., Hardy W.L. and Liechty M.P., "Effects of fuel property changes on heavy-duty hcci combustion," *SAE Technical Paper* 2007-01-0191, (2007).
7. Kokjohn S., Hanson R., Splitter D., Kaddatz J. and Reitz R., "Fuel reactivity controlled compression ignition (RCCI) combustion in light- and heavy-duty engines", *SAE International*, 2011-01-0357, (2011).
8. Theis J., Ura J., Li J., Surnilla G., Roth J.M. and Goralski C.T., "NO<sub>x</sub> release characteristics of lean no<sub>x</sub> traps during rich purges," *SAE Technical Paper* 2003-01-1159, (2003).
9. Ra Y. and Reitz R. D., "A reduced chemical kinetic model for IC engine combustion simulations with primary reference fuels", *Combustion and Flame*, 155(4): 713-738, (2008).
10. Hardy W. and Reitz R., "A Study of the Effects of High EGR, High Equivalence Ratio, and Mixing Time on Emissions Levels in a Heavy-Duty Diesel Engine for PCCI Combustion," *SAE Technical Paper*, 2006-01-0026, (2006).
11. Kim J., Park S. W. and Reitz R. D., "Improvements in the Performance and Pollutant Emissions for Stoichiometric Diesel Combustion Engines using a Two-Spray-Angle Nozzle", *Journal of Automobile Engineering*, 224(8): 1113-1122, (2010).
12. Opat R., Ra Y., Gonzalez D., M., Krieger R., Reitz R.D., Durrett R.P., Foster D.E., Siewert R.M., "Investigation of Mixing and Temperature Effects on HC/CO Emissions for Highly Dilute Low Temperature Combustion in a Light Duty Diesel Engine," *SAE Technical Paper*, 2007-01-0193, (2007).
13. Kokjohn S. L., Reitz R. D. "Investigation of the Roles of Flame Propagation, Turbulent Mixing, and Volumetric Heat Release in Conventional and Low Temperature Diesel Combustion", *ASME J. Eng. Gas Turbines Power*, 133: 10, (2011).
14. Hanson R., Kokjohn S., Splitter D. and Reitz R., "Fuel Effects on Reactivity Controlled Compression Ignition (RCCI) Combustion at Low Load", *SAE International*, 2011-01-0361, (2011).
15. Dempsey A., Curran S., Storey J., Eibl M., Pihl J., Prikhodko V., Wagner R. and Parks J., "Particulate Matter Characterization of Reactivity Controlled Compression Ignition (RCCI) on a Light Duty Engine", *SAE International*, 2014-01-1596, (2014).
16. Hanson R., Reitz R., "Transient RCCI Operation in a Light-Duty Multi-Cylinder Engine", *SAE International*, 2013-24-0050, (2013).
17. Wissink M., Wang Z., Splitter D., Shahlari A. And Reitz R., "Investigation of Pressure Oscillation Modes and Audible Noise in RCCI, HCCI, and CDC", *SAE International*, 2013-01-1652, (2013).
18. Pohlkamp K. and Reitz R., "Reactivity Controlled Compression Ignition (RCCI) in a Single-Cylinder Air-Cooled HSDI Diesel Engine", *SAE International*, 2012-32-0074, (2012).
19. Benajes J., Molina S., García A. and Belarte E., Vanvolsem M., "An investigation on RCCI combustion in a heavy duty diesel engine using in-cylinder blending of diesel and gasoline fuels", *Applied Thermal Engineering*, 63: 66-76, (2014).
20. Benajes J., Molina S., García A. And Monsalve-Serrano J., "Effects of direct injection timing and blending ratio on RCCI combustion with different low reactivity fuels", *Energy Conversion and Management*, 99: 193-209, (2015).
21. Zhu L., Qian Y., Wang X. and Lu X., "Effects of direct injection timing and premixed ratio on



- combustion and emissions characteristics of RCCI (Reactivity Controlled Compression Ignition) with N-heptane/gasoline-like fuels”, *Energy*, 93: 383-392, (2015).
22. Li J., Yang W. M., Ana H. and Zhao D., “Effects of fuel ratio and injection timing on gasoline/biodiesel fueled RCCI engine: A modeling study”, *Applied Energy*, 155: 59–67, (2015).
  23. Benajes J., Molina S., García A. and Monsalve-Serrano J., “Effects of low reactivity fuel characteristics and blending ratio on low load RCCI (reactivity controlled compression ignition) performance and emissions in a heavy-duty diesel engine”, *Energy*, 90: 1261-1271, (2015).
  24. Qian Y., Wang X., Zhu L. and Lu X., “Experimental studies on combustion and emissions of RCCI (reactivity controlled compression ignition) with gasoline/n-heptane and ethanol/n-heptane as fuels”, *Energy*, 88: 584-594, (2015).
  25. Qian Y., Ouyang L., Wang X., Zhu L. and Lu X., “Experimental studies on combustion and emissions of RCCI fueled with n-heptane/alcohols fuels”, *Fuel*, 162: 239–250, (2015).
  26. Kakaee A-H., Rahnam, P. and Paykani A., “Influence of fuel composition on combustion and emissions characteristics of natural gas/diesel RCCI engine”, *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 25: 58-65, (2015).
  27. Zhao H., “HCCI and CAI engines for the automotive industry”, *Cambridge England: Woodhead Publishing Ltd.*, (2007).
  28. Heywood J. B., “Internal combustion engine fundamentals”, *New York: McGraw- Hill*; ISBN 0-07-028637-X, United States of America, (1988).
  29. Stone R., “Introduction to Internal Combustion Engines, Second Edition”, *Macmillan Press Ltd*, ISBN 0-333-55083-8, Hong Kong, (1992).
  30. Polat S., Kannan, K., Shahbakhti M., Uyumaz A. and Yücesu H.S., “an experimental study for the effects of supercharging on performance and combustion of an early direct injection HCCI engine”, *Second International Reserch Conference on Engineering, Science and Management*, Dubai, 51-57, (2015).
  31. Anonymous 2,2,4-2-2-4Trimethylpentane-compound summary, PubChem Compound. USA: National Center for Biotechnology Information 26 March Identification and Related Records, 2005 (Retrieved March 2012).
  32. Chang K., Lavoie G., Babajimopoulos A., Filipi Z. and Assanis D.N., “Control of a Multi-Cylinder HCCI engine during transient operation by modulating residual gas fraction to compensate for wall temperature effects,” *SAE Technical Paper, 2007-01-0204*, (2007).
  33. Dempsey A. B., Walker N. R., Reitz R., “Effect of cetane improves on gasoline, ethanol, and methanol reactivity and the implications for RCCI combustion”, *SAE International*, 2013-01-1678, (2013).
  34. Splitter D., Hanson R., Kokjohn S., Wissink M. and Reitz R., “Injection effects in low load RCCI dual-fuel combustion”, *SAE International*, 2011-24-0047, (2011).
  35. Curran S., Hanson R. And Wagner R., “Effect of E85 on RCCI performance and emissions on a multi-cylinder light-duty diesel engine”, *SAE International*, 2012-01-0376, (2012).
  36. Splitter D., Wissink M., DelVescovo D. and Reitz R., “RCCI engine operation towards 60% thermal efficiency”, *SAE International*, 2013-01-0279, (2013).
  37. Curran S., Hanson R. and Wagner R., “Efficiency and Emissions Mapping of RCCI in a light-duty diesel engine”, *SAE International*, 2013-01-0289, (2013).
  38. Hanson R., Curran S. and Wagner R., “Effects of Biofuel Blends on RCCI Combustion in a Light-Duty, Multi-Cylinder Diesel Engine”, *SAE International*, 2013-01-1653, (2013).



# POLİTEKNİK DERGİSİ

## JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://www.politeknik.gazi.edu.tr/index.php/PLT/index>

## İstanbul bölgesinde çalışan inşaat firmalarında proje portföy yönetimi uygulamaları

### *Project portfolio management applications for Turkish construction industry in Istanbul region*

*Yazar(lar) (Author(s)): Cenk BUDAYAN*

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz:** Budayan C., “İstanbul bölgesinde çalışan inşaat firmalarında proje portföy yönetimi uygulamaları”, *Politeknik Dergisi*, 20(3): 699-709, (2017).

**To cite this article:** Budayan C., “İstanbul bölgesinde çalışan inşaat firmalarında proje portföy yönetimi uygulamaları”, *Journal of Polytechnic*, 20(3): 699-709, (2017).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://www.politeknik.gazi.edu.tr/index.php/PLT/issue/archive>

**DOI:** 10.2339/politeknik.339403

# İstanbul Bölgesinde Çalışan İnşaat Firmalarında Proje Portföy Yönetimi Uygulamaları

Cenk BUDAYAN\*

Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul

(Geliş/Received : 24.08.2016 ; Kabul/Accepted : 01.01.2017)

## ÖZ

Uluslararası proje sayısının artması ile beraber geleneksel olarak kullanılan her bir projenin kendi başına yönetilmesi yaklaşımının şirket başarısı için yeterli olmadığı görülmüştür. Bunun sonucu olarak son yıllarda proje portföy yönetimi (PPY) anlayışı firmalar tarafından uygulanmaya başlanmıştır. Bu yaklaşımda projelerin birbirine uyumlu hale getirilmesi ve kaynakların projeler arasında düzgün olarak atanmasıyla projelerin bir bütün olarak koordine edilmesi hedeflenmektedir. Literatüre bakıldığı zaman, PPY uygulamaları sayesinde firmaların performanslarını artırdıkları gözlenmiştir, fakat inşaat sektörü incelendiği zaman PPY uygulamasının sektörde çokta yaygın olmadığı görülmektedir. Bunun en önemli nedenlerinden biri, firmaların PPY'yi başarılı şekilde nasıl uygulayacaklarını ve uygularken karşılaşılabilecekleri engelleyicileri tam olarak bilememeleridir. Diğer önemli bir neden ise PPY uygulamasının ekstra emek ve kaynak gerektirmesi, fakat PPY faydalarının kısa sürede görülebilmesi ve uzun süreli yararların ise firmalar tarafında tam olarak idrak edilmemesi sonucu olarak kısa süre içerisinde PPY uygulamasından vazgeçilmesidir. Diğer bir deyişle, firmalar PPY'yi efektif olarak uygulayamadıkları ve uzun süreli yararları bilemedikleri için PPY uygulamasında başarısız olmaktadır, bu da PPY'nin yeterli düzeyde sektörde uygulanmasını engellemektedir. Bu çalışmada Türk inşaat firmalarının PPY uygularken karşılaşılabilecekleri sorunların ve uygulama sonucunda elde edecekleri başarıların ortaya çıkarılması için İstanbul bölgesinde yer alan Türk inşaat firmaları ile bir anket çalışması yapılmıştır. Böylece, PPY uygulamak isteyen firmalara kendilerine uygun bir yol haritası hazırlaması için gerekli altyapı sağlanmıştır. Ayrıca, PPY sonucunda elde edecekleri yararları bilmeleri onları PPY uygulamasına kaynak atama konusunda motive edecektir. Bu amaçla yapılan anket çalışması sonucunda en önemli engelleyiciler paydaşlar arasındaki fonksiyonel iletişim yetersizliği, paydaşların PPY uygulamasına adanmışlığındaki yetersizlik ve PPY uygulanması için gerekli olan eğitimlerdeki yetersizlikler olarak belirlenmiştir. En önemli etkiler ise kaynakların daha efektif kullanılması ve riskin azaltılması olduğu sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Proje portföy yönetimi, uygulanmasını engelleyici faktörler, uygulamasının faydaları.

## Project Portfolio Management Applications for Turkish Construction Industry in Istanbul Region

### ABSTRACT

With an increasing number of international projects, traditional project management which focuses on single project in isolation by assuming limited interactions among projects is not appropriate for being successful in the market. Therefore, a new project management method, namely project portfolio management (PPM) is started to be applied in the market. According to this method, the projects should be coordinated as a whole by establishing synergies among the projects and allocation of existing resources among the projects. Consequently, it is observed that the companies can increase their performance by applying the PPM effectively. However, the number of companies applying PPM in the construction industry is very limited. The one of the main reasons is that the companies have limited knowledge about how to apply the project portfolio management appropriately as well as the challenges confronted during this procedure. The other important reason is that the application of project portfolio management requires extra effort and resources, however most of the benefits are not observed in the short term and the long term benefits are not understood properly. Therefore, since the companies cannot apply the PPM effectively and do not recognize the long term benefits, the companies give up on applying the PPM implementation, which in turn limit PPM implementation in the market. To provide a deeper insight into the major challenges and benefits of the implementation and practice of PPM in construction industry, this paper conducts a questionnaire survey study by targeting Turkish construction companies working in Istanbul region. Therefore, the companies can exploit the findings of this study to develop a road map for applying PPM. In addition, the findings about the benefits can also be useful for the companies to motivate them. The most effective challenges obtained at the end of this study are lack of functional communication, lack of commitment of stakeholders and lack of required education. On the other hand, the most important benefits are effective allocation of resources and decrease of risk.

**Keywords:** Project portfolio management, challenges, benefits.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Proje portföy yönetimi (PPY) aynı stratejik amaçları hedefleyen ve aynı kaynaklar için mücadele eden projelerin

koordinasyonu ve kontrolü ile ilgilenmektedir [1]. Böylece, yöneticiler hangi projelere öncelik vereceklerine ve hangi projeleri şirket portföylerine dâhil edip hangilerini çıkaracaklarına karar verebilmektedirler. Özellikle uluslararası iş hacminin artmasıyla beraber PPY daha da önem kazanmıştır. Fakat PPY uygulamaları bakıldığı za-

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: budayan@yildiz.edu.tr

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/politeknik.339403

man PPY'nin doğru projenin seçilmesi ile sınırlandırıldığı görülmektedir, bu durum da PPY'den şirketlerin efektif olarak yararlanmasını engellemektedir [2]. Aslına bakıldığında zaman PPY sadece projenin doğru seçilmesi ile ilgili değildir, ayrıca projelerin bir bütün olarak yönetilmesi, projeler arasında koordinasyonun sağlanması, projelerin birbiri ile uyumlu hale getirilmesi, projeler arasında kaynakların dağıtılması ile ilgilenmektedir [3]. Doğru bir PPY uygulamasının şirketlerin performanslarını pozitif yönde etkilediği ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır [4], fakat PPY'nin Türkiye'de ve dünyada özellikle inşaat sektörü içerisinde sınırlı şekilde uygulandığı görülmektedir. Bunun temel nedenlerinden biri inşaat firmalarının PPY'yi sadece doğru projeyi seçmek olarak görmesi ve diğer temel elemanlarını konusunda yeterli bilgiye sahip olmamalarıdır, diğer bir deyişle PPY'yi nasıl uygulayacakları konusunda sınırlı bilgilerinin olmasıdır. Diğer bir neden ise uygulama sırasında karşılaşılan sorunlar ve bu sorunlarla nasıl başa çıkılacağı ile ilgili bilgi yetersizliğidir [3]. Bu çalışma çerçevesinde, Türk inşaat sektöründe yer alan firmaların PPY uygulamaları incelenerek PPY'nin efektif olarak uygulanmasını engelleyici faktörler ortaya çıkarılmaya çalışılacaktır. Böylece, PPY'yi uygulamak isteyen firmaların PPY uygulaması sırasında karşılaşılabilecekleri sorunlar ortaya çıkarılabilecek ve bu firmaların bu sorunlara karşı gerekli tedbirleri uygulamaya başlamadan alabilmeleri sağlanabilecektir. Diğer bir deyişle, firmalar portföy yönetimini uygulamaya başlamadan bu sorunlara göre kendi yol haritalarını oluşturabilecek ve böylece başarılı şekilde portföy yönetimi uygulamasını hayata geçirebileceklerdir. Bunun yanında, portföy yönetiminin firmalar tarafından uygulanmasını teşvik edecek önemli bir diğer nokta ise PPY uygulamasının avantajlarının bilinmesidir. Bu nedenle, bu çalışmanın diğer bir amacı efektif uygulanan PPY'lerin Türkiye'de uygulayan ve uygulamak isteyen inşaat firmalarına getirebileceği avantajları göstermektir. Böylece firmalar PPY'nin şirketlerinin ihtiyaçlarına cevap verebilme potansiyelini anlayabilecekler ve PPY'nin önemini daha iyi bir şekilde algılayacaklardır. Diğer önemli bir amaç ise PPY uygulamasının şirket içinde ne derecede başarılı bir şekilde uygulandığının ortaya çıkarılmasıdır. Bunun için PPY uygulayan firmaların başarıları, bir kriter olarak kullanılabilir. Bu çalışma sayesinde firmalar PPY uygulaması sayesinde diğer firmaların elde ettikleri başarıları ve gerçekleştirdikleri gelişmeleri görerek kendi uygulamalarının başarı seviyesini değerlendirebileceklerdir.

## 2. KAVRAMSAL MODEL (CONCEPTUAL MODEL)

Bu çalışmayı hayata geçirebilmek için ilk olarak kavramsal bir model geliştirilmeye çalışılmıştır. Bu modelin ilk kısmında PPY uygulayan firmaların PPY uygulama seviyelerinin ortaya çıkarılması amaçlanmaktadır. Bunu başarmak için PPY süreçleri ve anahtar PPY elemanlarını ortaya çıkarmak için yapılan çalışmalar irdelenmiş, bu analizler sonucunda 12 temel anahtar elemanı olduğu

dikkate alınmıştır. Çalışmanın bu kısmı PPY uygulaması yaptığı söyleyen firmalara uygulanmıştır. Bu sayede PPY'nin firmalar arasında uygulama olgunluğu ortaya çıkarılmıştır. İkinci kısım ise PPY'nin uygulanmasının engelleyici faktörlerin ortaya çıkarılmasını hedeflemektedir. Bu amaçla geniş bir literatür taraması yapılmış, bu tarama sonucunda 11 negatif etkileyen faktör belirlenmiştir. Bu faktörler hem PPY uygulayan hem de uygulamayan şirketlere sorulmuş, böylece uygulayan firmaların ve uygulamayan firmaların PPY'nin uygulanmasını etkileyen faktörler konusundaki görüşleri ortaya çıkarılmıştır. Uygulayan firmalar açısından bakıldığında zaman bu kısım vasıtasıyla uygulamada bu faktörlerin ne boyutta etkilediği konusunda fikir sahibi olunması hedeflenmiştir. Uygulamayan firmaların ise PPY'yi uygulamak istememesine neden olan faktörler gösterilmiştir. Son olarak PPY uygulaması sonucunda elde ettikleri kazanımlar ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır. Bu amaçla PPY başarı kriterleri incelenmiş ve 9 tane başarı kriteri ortaya çıkarılmıştır.

### 2.1. Proje Portföy Yönetiminin Anahtar Elemanları (Key Elements of Project Portfolio Management)

De Reyck ve diğ. [5] yaptıkları çalışma sonucunda 3 değişik adaptasyon seviyesi belirlemiş ve bu farklı seviyelerde yer alan firmaların PPY uygulamasından farklı şekilde etkilendiklerini göstermiştir. Bu çalışmanın gösterdiği çerçevede PPY uygulayan firmaların adaptasyon seviyesini gösterebilmek amacıyla PPY uygulamalarında kullanılması gereken anahtar elemanlar belirlenmiştir. Bu elemanları belirlemek için literatür taraması yapılmıştır. Rajegopal ve diğ. [6] 6 anahtar elemandan bahsederken De Reyck ve diğ. [5] 8 anahtar elemandan bahsetmektedir. Young ve Conboy [7] yaptıkları literatür çalışması sonucunda PPY ile ilgili kavramları 8 grup altında toplamışlardır. Bu çalışmalar incelendiğinde ortak anahtar elemanlar gösterdikleri gibi, bazı anahtar elemanların ise çalışmaya özgün olduğu görülmüştür. Bu nedenle bu çalışmalardaki bütün anahtar elemanları kullanabilmek amacıyla çalışmalardan bahsedilen elemanlar birleştirilerek 12 anahtar elemandan oluşan bir liste elde edilmiştir. Bu elemanlar portföyde iletişim ve değişim yönetimi, proje portföyünün merkezi olarak yönetilmesi, finansal analizlerin yapılması, risk analizlerinin yapılması, bağlılıkların yönetilmesi, projelerin tanımlanması, kategorize edilmesi ve önemlerinin belirlenmesi, projelerin şirket stratejisine uygunluğunun sağlanması, projelerin sistematik olarak seçilmesi ve portföy dengesinin sağlanması, kısıtlamaların yönetilmesi, dinamik olarak portföyün tekrardan gözden geçirilmesi, portföy kaynak yönetimi ve özel bilgisayar programlarının kullanılmasıdır.

### 2.2. Proje Portföy Yönetiminin Uygulanmasını Engelleyici Faktörler (Challenges of Implementation of Project Portfolio Management)

De Reyck ve diğ. [5] bilgi teknolojileri projeleri için yaptıkları çalışmada PPY uygulaması sırasında karşılaşılan 11 önemli engelleyici belirlemişlerdir. Shehu ve Akin-töye [3] ise inşaat sektörü için yaptıkları çalışmada 28

tane engelleyici belirlemiş fakat daha sonra yaptıkları faktör analizi sonucunda bu 28 engelleyici değişkeni 6 temel faktörde incelemişlerdir. Elonen ve Arto [8] ise yaptıkları çalışma sonucunda proje seçimi ve PPY uygulaması sırasında şirketlerin karşılaştıkları 6 temel problemden bahsetmektedirler. Bu yapılan çalışmalar temel alınarak bu çalışmada 11 faktör belirlenmiştir. Bazı faktörler direkt olarak kullanılırken, bazı faktörler inşaat sektörü göz önüne alınarak değiştirilmiştir. Örneğin, De Reyck ve diğ. [5] üst düzey yönetimin PPY uygulamasına adanmışlığındaki yetersizliği önemli bir engelleyici olarak düşünürken bu çalışmada bütün paydaşların adanmışlığı düşünülmüştür. Bunun nedeni ise fırsatlardan yararlanabilmek için üst düzey yönetimin daha fazla birimin adanmışlığı ve desteği gerekmektedir [9]. Ayrıca, sadece üst yönetiminin PPY'ye adanmışlığının başarıya etkisi konusunda değişik fikirler bulunmaktadır [10]. Bazı yazarlar [11, 12] üst yönetimini proje portföye yönetime katkısının portföy performansı pozitif yönde etkilediğini söylerken, bazı yazarlar [10, 13] ise üst yönetimin dahil olmasının u-şeklinde bir etkisinin olduğunu iddia etmektedir. Bu yazarlara göre üst yönetiminin optimum seviyede dahil olması portföy performansını pozitif yönde etkilemektedir, fakat sürece çok fazla dahil olması ise proje portföy performansını negatif yönde etkileyebilmektedir. Bu nedenlerden dolayı sadece üst düzey yönetimin adanmışlığı incelenmesi bu faktör konusunda yeterli düzeyde fikrin elde edilmesine yetmeyecektir, bunun sonucu olarak bu faktör yerine tüm paydaşların adanmışlığı bu çalışma çerçevesinde incelenmiştir. Bu faktörler ve bu faktörlerin geçtiği çalışmalar Çizelge 1'de gösterilmiştir.

değerlendirilmektedir. Bu kriterler maliyet, kalite ve zamandır. PPY'nin başarısının değerlendirilmesi sadece proje performansının değerlendirilmesi ile mümkün değildir ve daha geniş başarı kriterlerinin düşünülmesini gerektirmektedir [14]. Bu nedenle proje portföyünün şirketin başarısı üzerindeki etkileri incelenirken proje, portföy ve organizasyonun bir arada incelenmesi gerekmektedir. Cooper ve diğ. [15]'e göre, PPY performansı birbirinden farklı 4 boyutta incelenmelidir. Bunlar portföyde yer alan projelerin ortalama başarıları, portföyde yer alan projeler arasındaki sinerji, firmanın stratejisine uygunluk ve portföyün dengesidir. Müller ve diğ. [14] yaptıkları çalışmada 9 PPY performans değişkeni belirlemişlerdir. Belirledikleri boyutları üç ana grupta incelemişlerdir. Bu gruplar sonuçları elde etmek, amaçları başarmak ve öncelikleri dengelemektir. Teller [16] ise yaptığı literatür çalışması sonucunda proje portföy başarısını 7 boyutta toplamıştır. Bu boyutlar ortalama proje başarısı, ortalama ürün başarısı, projeler arasındaki sinerjinin kullanımı, stratejik uyum, portföy dengesi, geleceğe hazırlık ve ekonomik başarıdır. Diğer taraftan, PPY'nin şirketler üzerindeki etkileri Datz [17] tarafından 5 ana başlıkta toplanmıştır. Bunlar yatırımların değerlerinin risk azaltılırken maksime edilmesi, paydaşlar arasındaki iletişim ve uyumun güçlendirilmesi, yöneticilerin takım çalışmasına ve sorumluluk almaya yönlendirilmesi, planlama departmanlarının kaynakları daha efektif kullanarak zaman planlaması yapmasının sağlanması, gereksiz projelerin sayısının azaltılması ve projelerin işinin bitirilmesinin kolaylaştırılmasıdır. Bu çalışmalardaki boyutlar incelenerek 9 PPY etkisi belirlenmiştir.

**Çizelge 1.** Literatür çalışması sonucunda elde edilen engelleyici faktörler (Challenges obtained as a result of the literature survey)

Faktörler	A	B	C
Paydaşlar arasındaki fonksiyonel iletişim yetersizliği	X	X	
Bütün paydaşların proje portföy yönetimi uygulamasına adanmışlığındaki yetersizlik	X	X	X
Gerekli eğitim yetersizliği	X	X	
Proje portföy yönetimi teknikleri konusundaki bilginin yetersizliği	X	X	X
Projeleri analiz etmek için gerekli verinin yetersizliği	X		X
Proje yararlarının ölçülmesinde kullanılan uygun metotların eksikliği	X	X	X
Şirketin açık bir stratejisinin olmaması	X	X	X
Projelerin ve çalışan personelin finansal becerisinin yetersizliği	X	X	X
Sık olarak proje kapsamının değişmesi	X	X	
Personel devinimi	X		X
İlk yatırım ve operasyon masrafları için gerekli bütçenin olmaması		X	X

A: De Reyck ve diğ. [5], B: Shehu ve Akintoye [3], Elonen ve Arto [8]

### 2.3. Proje Portföy Yönetiminin Etkileri (The Impact of Project Portfolio Management)

Genel olarak firma başarılarının değerlendirilmesi proje bazında yapılmakta ve projeler üç temel kriter üzerinden

Belirlenen bu etkiler ve bu etkilerin geçtiği çalışmalar Çizelge 2'de gösterilmiştir.

**Çizelge 2.** Literatür çalışması sonucunda elde edilen PPY'nin etkileri (The impacts of PPM obtained as a result of the literature survey)

Etkiler	Referanslar
Kaynakların daha efektif kullanılması	Meskendahl [18], Chao ve diğ. [19]
Riskin azaltılması	Teller [16], Mikkola [20], Chao ve diğ. [19]
Proje Portföyündeki dengenin sağlanması	Hunt ve diğ. [21], Cooper ve diğ. [15], Jonas ve diğ. [22], Teller [16]
Firma stratejisine uygun hale gelmesi	Hunt ve diğ. [21], Cooper ve diğ. [15], Jonas ve diğ. [22], Teller [16]
Belirlenen ortalama maliyeti başarmak	Meskendahl [18], Jonas ve diğ. [22], Müller ve diğ. [14]
Belirlenen ortalama zamanı başarmak	Hunt ve diğ. [21], Meskendahl [18], Jonas ve diğ. [22], Müller ve diğ. [14]
Yöneticilerin takım çalışmasına ve sorumluluk almaya yönlendirilmesi	Jonas ve diğ. [22], Teller [16], Cooper ve diğ. [15]
Belirlenen ortalama kaliteyi başarmak	Meskendahl [18], Jonas ve diğ. [22], Müller ve diğ. [14]
Paydaşlar arasındaki iletişimin geliştirilmesi	Teller [16], Jonas ve diğ. [22]

### 3. ARAŞTIRMA YÖNTEMİ (RESEARCH METHODOLOGY)

Çalışmanın hedeflerini yerine getirmek amacıyla bir anket hazırlanmıştır. Hazırlanan anket 4 kısımdan oluşmaktadır. İlk kısımda anketi cevaplayan kişiler ve çalıştıkları firmalar hakkında bilgi elde etmek amacıyla 8 soru sorulmuştur. Bu kısmın amacı ankete katılan kişilerin ve çalıştıkları firmaların bu anketi cevaplayabilme yeterliliğini ortaya çıkarmaktır. Sonuç olarak bu çalışma ankete dayalı olarak yapılmaktadır ve ankete dayalı çalışmaların güvenilirliği anketi cevaplayan kişilerin yeterliliği ile sağlanabilmektedir. İkinci kısım PPY'nin 12 temel elemanından oluşmaktadır. Ayrıca, bu kısmın sadece PPY uygulayan firmalar tarafından cevaplandırılması gerekmektedir, bu nedenle ankete katılan firmalara PPY uygulama durumları sorulmuş ve bu cevaba göre ankete katılanların yönlendirilmesi yapılmıştır. Diğer bir deyişle, bu kısım toplam 13 sorudan oluşmaktadır ve bu sorulardan anahtar elemanlarla ilgili sorular sadece PPY uygulayan firmalar tarafından cevaplandırılmıştır. Anketin bu kısmında anketi cevaplayanlara bu elemanları kullanıp kullanmadıkları sorulmuştur. Anketin üçüncü kısmı ise PPY'nin başarılı şekilde uygulanmasını engelleyici 11 faktörden oluşmaktadır. Bu faktörler anketi cevaplayanlar tarafından 1-5 Likert ölçeğinde değerlendirilmektedir. Bu değerlendirmede 1 çok az anlamına gelirken 5 çok fazla anlamına gelmektedir. Anketin son kısmında ise PPY'nin iş süreçlerine olan etkileri değerlendirilmiştir. Bu kısımda bir önceki kısımda olduğu gibi 1-5 Likert ölçeği kullanılmış ve değerlendirme 1 ile 5 arasında yapılmıştır. Bu çalışma için hazırlanan anket farklı firmalarda çalışan karar verici konumunda bulunan 135 kişiye e-posta ve telefonla iletişime geçilerek gönderilmiştir. Katılımcılar seçilirken sadece PPY uygulanan firmalar hedef olarak belirlenmemiş, ayrıca uygulamayan firmalar da seçilmiştir. Böylece, uygulayan ve uygulamayan firmaların PPY konusundaki görüşlerinin alınması sağ-

lanmıştır. Gönderilen anketlerden 48 tanesinden geri dönüş alınmıştır. Sonuç olarak yapılan çalışmada dönüş oranı %35,56 olarak gerçekleşmiştir.

### 4. ANALİZLERİN İRDELENMESİ (DISCUSSION OF ANALYSES)

Anketin her bölümü tanımlayıcı analizle incelenmiş ve elde edilen sonuçlar aşağıda yer alan başlıklarda irdelenmiştir.

#### 4.1. Ankete Katılanların ve Çalıştıkları Şirketlerin Demografik Yapısı (Demographic Structure of the Participants and their Companies)

Bu ankete yer alan katılımcıların ve çalıştıkları firmaların demografik yapısı aşağıdaki çizelgede gösterilmiştir. Bu çizelge incelendiği zaman ankete katılan kişilerin büyük kısmının (%39,58) yönetim içerisinde görevli olduğu görülmektedir. Ayrıca iş geliştirme ve planlama departmanlarında çalışan kişilerin bu çalışmada temsil edildikleri söylenebilir. Yine tecrübeleri ile ilgili bilgiler incelendiği zaman bu ankete katılanların büyük kısmının 10-15 yıl arasında (%45,83) sektör tecrübesine sahip olduğu görülmektedir. Bu veriler ışığında ankete katılan kişilerin sektör içerisindeki deneyimlerinin yeterli seviyede olduğunu söylenebilir. Firmalarla ilgili bilgilerden yararlanarak, ankete katılan firmaların büyük çoğunluğunun orta (%43,75) ve büyük ölçekli (%35,42) firmalar olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca, şirketlerin faaliyette buldukları yıl sayısı da bu firmaların deneyim anlamında yeterli seviye olduğunu göstermektedir. İş hacmine bakıldığı zamanda şirketlerin iş hacminin yüksek olduğu söylenebilir. En son olarak uzmanlaştıkları proje tiplerinde ise bütün proje tiplerinin aynı oranda bu çalışmada temsil edildikleri görülmektedir. Bu bulgular çerçevesinde ankete katılan firmaların bu çalışma içerisinde yer alacak deneyim ve büyüklüğe sahip oldukları söylenebilir.



**Çizelge 3.** Katılımcıların ve çalıştıkları şirketlerin demografik yapısı (Demographic structure of the participants and their companies)

<b>Çalıştıkları Şirketin Büyüklüğü</b>	<b>Küçük</b>	<b>Orta</b>	<b>Büyük</b>		
	%20,83	%43,75	%35,42		
	<b>Yönetim</b>	<b>İş geliştirme</b>		<b>Planlama</b>	
	%39,58	%33,33		%27,08	
	1-5 yıl	5-10 yıl	10-15 yıl	15-20 yıl	>20 yıl
	%6,25	%31,25	%45,83	%6,25	%8,33
	<b>1-9</b>	<b>10-25</b>	<b>25-50</b>	<b>50-100</b>	<b>100+</b>
	%47,92	%25,00	%12,50	%2,08	%12,50
	<b>1-5</b>	<b>5-10</b>	<b>10-20</b>	<b>20-30</b>	<b>30+</b>
	%25,00	%12,50	%41,67	%10,42	%10,42
	<b>0-1 milyon dolar</b>	<b>1-5 milyon dolar</b>	<b>5-10 milyon dolar</b>	<b>10-20 milyon dolar</b>	<b>&gt;20 milyon dolar</b>
	%18,75	%25,00	%29,17	%16,67	%10,42
	<b>0-1 milyon dolar</b>	<b>1-5 milyon dolar</b>	<b>5-10 milyon dolar</b>	<b>10-20 milyon dolar</b>	<b>&gt;20 milyon dolar</b>
	%47,91	%25,00	%12,50	%12,50	%2,08
	<b>Konut projeleri</b>	<b>Endüstriyel projeler</b>	<b>Altyapı Projeleri</b>	<b>Diğerleri</b>	
	%35,42	%18,75	%33,33	%12,5	

#### 4.2. Bu Çalışmaya Katılan ve PPY Uygulayan Firmaların Olgunluk Seviyeleri (The Maturity Level of the PPM Applying Companies in this Study)

Ankete katılan firmaların %75'lik kısmı PPY'yi uygulamadıklarını belirtmişlerdir. Bu da ankete katılan 12 firmanın PPY'yi uyguladıkları anlamına gelmektedir. Fakat Çizelge 4'deki veriler incelediği zaman PPY'nin anahtar elemanlarının çoğunluğunun bu firmalar tarafından yoğun olarak kullanıldığı anlaşılmaktadır. Bu da uygulayan firmaların uygulama anlamında yüksek bir olgunluğa sahip olduğunu göstermektedir. Her ne kadar firmalar bu elemanları kullandıklarını deklare etseler de önemli bir nokta da bu elemanların hangi seviyede kullanıldığı ve elde edilen sonuçların firmalar tarafından ne ölçüde dikkate alındığıdır. Çizelge 4 incelendiği zaman en yüksek uygulama yüzdelerinin proje seçimiyle ilgili uygulamalarda olduğu görülmektedir. Bu durum ankete katılan Türk inşaat firmalarının en önde tuttukları

PPY elemanlarının proje seçimleri ile ilgili olduğunu göstermektedir. Bu da Kaiser ve diğ. [2] tarafından belirtildiği gibi firmaların hala PPY'yi bir planlama ve kontrol yaklaşımı olarak gördüklerini göstermektedir. Bu anahtar elemanlar arasında en düşük uygulama yüzdesinin özel bilgisayar programlarının kullanılmasında olduğu görülmektedir. De Reyck ve diğ. [5] tarafından yapılan çalışmada da çalışmaya katılan firmaların sadece %30'nun PPY için geliştirilmiş programları kullandıkları görülmektedir. Bu çalışmada dikkat çeken diğer önemli bir bulgu ise, proje portföylerinin merkezi olarak yönetiminin sınırlı olduğudur. Hâlbuki PPY için merkezi bir yönetim ihtiyacı literatürde geniş olarak belirtilmiştir [23]. Özellikle, bilginin merkezi bir veri tabanında toplanması, bilgi akışı için büyük bir öneme sahiptir [8]. De Reyck ve diğ. [5] tarafından yapılan çalışma incelendiği zaman bu anahtar elemanın uygulama oranının %93 olduğu görülmektedir.

**Çizelge 4.** PPY anahtar elemanlarının PPY uygulayan firmalarda uygulanma olgunluğu (The maturity level of PPM key elements in firms applying PPM)

Anahtar elemanlar	Uygulanma	Uygulanmama
	(%)	(%)
Portföye iletişim ve değişim yönetimi	83,33	16,67
Proje portföyünün merkezi olarak yönetilmesi	50,00	50,00
Finansal analizlerin yapılması	91,67	8,33
Risk analizlerinin yapılması	83,33	16,67
Bağılılıkların yönetilmesi	58,33	41,67
Projelerin tanımlanması, kategorize edilmesi ve önemlerinin belirlenmesi	75,00	25,00
Projelerin şirket stratejisine uygunluğunun sağlanması	75,00	25,00
Projelerin sistematik olarak seçilmesi ve portföy dengesinin sağlanması	83,33	16,67
Kısıtlamaların yönetilmesi	66,67	33,33
Dinamik olarak portföyün tekrardan gözden geçirilmesi	75,00	25,00
Portföy kaynak yönetimi	75,00	25,00
Özel bilgisayar programlarının kullanılması	33,33	66,67

#### 4.3. PPY Anahtar Elemanları ile İlgili Analizler (PPM Key Elements Analyses)

Çalışma sonunda elde edilen engelleyici faktörlerle ilgili veriler tanımlayıcı analiz yöntemi (descriptive analysis) kullanılarak irdelenmiş ve elde edilen sonuçlar Çizelge 5'te gösterilmiştir. Çizelge 5'te ankete cevap verenlerin verdikleri cevapların ortalaması ve bu cevapların standart sapmaları gösterilmiştir. Çizelge 5 incelendiği zaman bütün faktörlerin ortalamalarının 3 üzerinde yer aldığı görülmektedir. Bu da belirlenen bütün faktörlerin PPY'nin başarılı şekilde uygulanabilmesini engelleyebilme potansiyelinin olduğunu göstermektedir. Fakat bu faktörler içerisinde özellikle paydaşlar arasındaki fonksiyonel iletişim yetersizliğinin, paydaşların PPY uygulamasına adanmışlığındaki yetersizliğinin ve gerekli eğitim yetersizliğinin PPY'nin başarılı şekilde uygulanmasında diğerlerine göre daha etkili olduğu görülmektedir. Bu faktörler incelendiği zaman paydaşların PPY'de önemli bir role sahip olduğu söylenebilir. Özellikle paydaşlar arasındaki fonksiyonel iletişimin yetersiz olması PPY'nin başarılı şekilde uygulanmasında en büyük engel olarak görülmektedir. Sonuç olarak PPY bütün projelerin ortak bir hedef ulaşmak için firma kaynaklarının en optimum seviyede kullanılmasını hedeflemektedir. Bu da iyi bir iletişimle mümkün olabilmektedir [24, 25]. Ayrıca, PPY'nin uygulanabilmesi için gerekli olan temel elemanlardan projelerin birbirine olan bağımlılıklarının belirlenmesi ancak açık bir iletişimle mümkündür [26]. Son olarak, özellikle yöneticiler arasındaki açık bir iletişimin olması proje portföyünü yönetmek için gerekli olan bilgilerin güvenilirliği ve şeffaflığı sağlamaktadır [22]. Her ne kadar iyi bir PPY için paydaşlar arasındaki iletişimin önemi yukarıda gösterildiği gibi literatürde belirtildiyse de inşaat sektörüne bakıldığında inşaat sektörünün

özgün yapısından dolayı paydaşlar arasındaki iletişimin yeterli olmadığı görülmektedir. Shehu ve Akintoye [3] Birleşik Krallık inşaat sektörü için yaptıkları çalışmada fonksiyonel iletişim yetersizliğini 3,759 ortalama ile önemli bir faktör olarak belirlemekle beraber önem derecesi diğer faktörlere göre daha aşağıda yer almaktadır. Diğer taraftan, bu çalışma ise iletişim eksikliğini 4,630 ortalama değer ile en önemli faktör olarak göstermektedir. Bu da bu çalışmaya katılan firmalar açısından Birleşik Krallık inşaat sektörüne göre iletişim konusunda Türk inşaat sektörünün daha yetersiz olduğu anlaşılmaktadır. Elde edilen çıktı sonucunda PPY'nin uygulanmasında fonksiyonel iletişim yetersizliğinin Birleşik Krallık inşaat sektörüne göre Türk inşaat sektörü için daha önemli bir engelleyici olduğu sonucuna varılabilir.

İkinci en önemli faktör ise paydaşların PPY uygulamasına adanmışlıklarında gösterdikleri yetersizliktir. PPY'nin başarısına, adanmışlığın iki şekilde etki ettiği söylenebilir. Birinci olarak, PPY zaman ve kaynak gerektiren bir süreçtir, ayrıca edinimleri uzun bir süreçten sonra görülmektedir. Diğer bir deyiş yapılan yatırımın etkileri uzun bir zaman sonunda görülmektedir. Adanmışlığın yüksek seviyede olmadığı durumlarda firmalar PPY için gerekli kaynağı atamakta çekimser kalmakta ve PPY uygulamasında vazgeçerek başarısız olunmasına neden olmaktadır [11]. Diğer taraftan, firmalar tekil proje yönetiminden PPY'ye geçerken yönetsel süreçlerini tamamen değiştirmektedirler. Bu da paydaşların bu değişime kendilerini adapte etmesini gerektirir. Bu durum, paydaşlar için yeni zorlukları da beraberinde getirmektedir. Bu zorlukların aşılması ancak paydaşların kendilerinin PPY'ye inanması ile mümkün olabilmektedir. Farklı sektörler için yapılan çalışmalarda da üst yönetiminin en azından optimum katkısının PPY'nin

başarısı için elzem olduğunu göstermiştir. Fakat özellikle inşaat sektörü için yapılan çalışmalarda bu faktör diğer faktörlere göre daha önemli bulunmuştur. Shehu ve Akintoye [3]'nin Birleşik Krallık inşaat sektörü için yaptıkları çalışmada en önemli engelleyici faktörün iş liderlerinin PPY'ye olan adanmışlıklarının yetersiz olması olduğunu belirlemişlerdir. Bu da bize inşaat sektörünün yapısı dolayısıyla bütün paydaşların adanmışlığının PPY'nin başarısı için çok önemli olduğunu göstermektedir.

Diğerlerine göre daha etkisiz olarak görülen faktör ise ilk yatırım ve operasyon masrafları için gerekli bütçenin olmaması olarak belirtilmiştir. Shehu ve Akintoye [3]'nin çalışmasında da yatırım için gerekli olan ekstra bütçe önem olarak orta sıralarda yer almıştır. Özellikle proje portföy yönetimi uygulamayan firmalar proje portföy yönetimi için gerekli bütçeden daha çok proje portföy yönetimini uygulamak için gerekli bilgiyi ve eğitimin daha önemli birer faktör olduğunu belirtmişlerdir. Bu da firmaların maddi nedenlerden daha çok proje portföy yönetimini nasıl uygulayacaklarını bilmediklerinden kaynaklı olarak proje portföy yönetiminden uzak durduklarını göstermektedir.

Bu çalışma çerçevesinde PPY'yi uygulayan ve uygulamayan firmaların engelleyici faktörler üzerindeki görüş farklılıklarını ortaya çıkarabilmek için SPSS 22 programı kullanılarak t-testi uygulanmıştır. Bu analiz sonucunda

PPY uygulayanların ve uygulamayanların verdikleri cevapların ortalamaları elde edilmiş, ayrıca analiz sonucunda elde edilen p-değeri de çizelgede gösterilmiştir. P-değeri istatistiksel olarak iki grup arasında anlamlı bir görüş farkının mevcudiyetini test etmek amacıyla kullanılır. Eğer p-değeri 0,05'ten daha küçük bir değere sahip ise bu iki grup arasında anlamlı bir görüş farkının olduğu anlaşılır. Uygulayan ve uygulamayan firmaların bu faktörler hakkındaki görüşlerinin ortalamaları ve p-değerleri Çizelge 5'de gösterilmektedir. Bu değerler incelediği zaman en önemli ve istatistiksel olarak tek anlamlı görüş farkının gerekli eğitim yetersizliğinde (p-değeri = 0,046) olduğu görülmektedir. Uygulamayan firmalar bunun çok önemli bir engelleyici olduğunu düşünmektedir, buna karşı uygulayan firmalar ise önem olarak bu faktörü daha alt sıralara koymaktadır. Diğer önemli bir görüş farklılığı ise proje portföy yönetimi teknikleri konusundaki bilginin yetersizliği (p-değeri = 0,091) faktöründe görülmektedir. Bu iki faktörde göstermektedir ki proje portföy yönetimini uygulamayan firmalar proje portföy yönetimi için yeterli eğitimin ve bilginin elde edilmesinin zor olduğunu düşünmekte ve bunun PPY uygulamasını çok zor hale getirdiğine inanmaktadır. Diğer taraftan uygulayan firmalar ise bu durumun aşılabilir olduğu düşünmektedir, bu nedenle bu faktörleri daha az etkili bir faktör olarak görmektedir. Bu durum uygulamayan firmaların proje portföy yönetimi konusunda sınırlı bilgilerinin olduğunu

**Çizelge 5.** Engelleyici faktörler için elde edilen tanımlayıcı analiz ve t-test sonuçları (Descriptive statistics and t-test results of challenges)

Engelleyeci faktör	Ortalama	Std. sapma	PPY uygulayan	PPY uygulamayan	P- değeri
Paydaşlar arasındaki fonksiyonel iletişim yetersizliği	4,63	0,704	4,60	4,63	0,899
Bütün paydaşların proje portföy yönetimi uygulamasına adanmışlığındaki yetersizlik	4,50	0,960	4,50	4,50	1,000
Gerekli eğitim yetersizliği	4,45	0,986	3,82	4,66	0,046
Proje portföy yönetimi teknikleri konusundaki bilginin yetersizliği	4,33	0,917	3,90	4,46	0,091
Projeleri analiz etmek için gerekli verinin yetersizliği	4,28	1,037	3,90	4,40	0,190
Proje yararlarının ölçülmesinde kullanılan uygun metotların eksikliği	3,98	1,165	3,90	4,00	0,818
Şirketin açık bir stratejisinin olmaması	3,48	1,300	3,70	3,40	0,553
Projelerin ve çalışan personelin finansal becerisinin yetersizliği	3,48	1,395	3,70	3,40	0,563
Sık olarak proje kapsamının değişmesi	3,33	1,206	3,40	3,30	0,823
Personel devinimi	3,20	0,939	3,00	3,26	0,444
İlk yatırım ve operasyon masrafları için gerekli bütçenin olmaması	3,08	1,575	3,40	2,96	0,458

ve bu nedenle proje portföy yönetimi uygulamaktan çekindiğini göstermektedir. Hâlbuki görüleceği gibi bu engel PPY uygulayan firmalar tarafından aşılabilecek bir engel olarak görülmektedir. Bu da göstermektedir ki PPY uygulamayan firmalar bu konu hakkında sınırlı bilgileri olduğu için PPY uygulamaktan kaçınmaktadırlar.

#### 4.4. Ankete Katılan Firmaların PPY'nin Etkisi Üzerindeki Görüşleri (Opinions of the Participating Companies on the Impacts of PPM)

Ankete katılan firmaların PPY uygulamasının etkisi hakkındaki görüşleri ile ilgili yapılan tanımlayıcı analiz ve portföy yönetimi uygulayan ve uygulamayan firmaların bu konu üzerindeki görüş farklılıklarını görebilmek için yapılan t-test sonuçları Çizelge 6'da gösterilmiştir. Bu çizelge incelendiği zaman ankete katılan firmaların PPY uygulamasının Türk inşaat firmaları üzerinde pozitif etki yapacağını düşündükleri görülmektedir. Fakat etki faktörleri incelendiği zaman, özellikle inşaat firmalarının PPY uygulaması ile kaynaklarını daha efektif kullanabilecekleri ve risklerini azaltabilecekleri düşünülmektedir.

Böylece, kaynaklar da kendilerine uygun projelerde daha efektif çalışabilmektedirler. Diğer taraftan, firmalar aynı anda birçok projeyi yürütürken aynı kaynak havuzunu kullanmaktadırlar [24], fakat firmalar proje temelli bir yönetim uyguladıkları zaman genellikle çalışanların kendi projeleri dışında kalan diğer projeler hakkında bilgileri sınırlı kalmaktadır. Bunun sonucu olarak havuzda yer alan kaynaklara bir proje ihtiyaç duyarken diğer projede kullanılmadan durabilmektedir. Hâlbuki PPY vasıtasıyla firmalar bütün projeleri bir bütün olarak yönetebilmekte, bu da kaynaklara farklı projelerin ihtiyaç duyması durumunda bu kaynakların daha efektif kullanılmasını sağlamaktadır [2]. PPY uygulaması sırasında dikkat edilen diğer bir nokta ise proje portföyü oluştururken projeler arasındaki uyumdur. Böylece, benzer bilginin ve kaynağın kullanılabilirdiği projelerin bir arada yapılması sağlanmaktadır. Bunun sonucu olarak, firmalar aynı kaynaklardan birden fazla projede dönüşümlü olarak yararlanabilmektedirler.

Çizelge 6 incelendiği zaman görüleceği gibi PPY'nin en önemli ikinci etkisinin riskleri azaltmak olduğu görülmektedir. Bu nedenle, PPY'nin karşılaşılan risklerin yönetilmesinde önemli bir etkisi olduğu söylenebilir.

Çizelge 6. Ankete katılan firmalara göre PPY'nin yaptığı etkiler

Etkiler	Ortalama	Standart sapma	PPY uygulayan	PPY uygulamayan	P-değeri
Kaynakların daha efektif kullanılması	4,75	0,630	4,50	4,83	0,319
Riskin azaltılması	4,43	0,844	4,00	4,56	0,065
Proje Portföyündeki dengenin sağlanması	4,40	0,841	4,20	4,46	0,392
Firma stratejisine uygun hale gelmesi	4,30	0,822	4,00	4,40	0,186
Belirlenen ortalama maliyeti başarmak	4,23	0,999	4,40	4,16	0,529
Belirlenen ortalama zamanı başarmak	4,20	0,911	4,30	4,16	0,694
Yöneticilerin takım çalışmasına ve sorumluluk almaya yönlendirilmesi	4,13	1,090	4,40	4,03	0,363
Belirlenen ortalama kaliteyi başarmak	3,53	1,109	3,80	3,43	0,231
Paydaşlar arasındaki iletişimin geliştirilmesi	2,85	1,210	3,10	2,76	0,457

Firmalar sınırsız kaynağa sahip değildir, bunun sonucu olarak eldeki kaynakların en efektif şekilde kullanılması firmaların başarısı için büyük önem taşımaktadır. Diğer önemli husus ise, firmalar genellikle eldeki kaynaklara göre çok daha fazla sayıda projeyi bir arada yürütmeye çalışmaktadırlar. Bundan dolayı, birden fazla projenin bir arada yürütüldüğü ortamlarda en önemli sorun bu projelerin en önemlilerin belirlenmesi ve sınırlı kaynağın diğer projeleri zarara uğratmadan efektif olarak kullanılmasıdır [24]. PPY sayesinde firmalar hangi projelerin daha önemli olduğu ortaya çıkarabilirler ve kaynaklarını öncelikli olarak bu projelere yönlendirebilirler. Bu da kaynakların efektif bir şekilde kullanılmasını sağlayacaktır. Ayrıca, PPY uygulayan firmalar daha proje seçim aşamasında eldeki kaynaklarını düşünmekte ve proje seçimlerini eldeki kaynaklarına uygun olarak yapmaktadırlar [2].

Risklerin proje temelli yönetilmesinin risklerin tam olarak yönetmekte yetersiz kaldığı bu nedenle daha geniş bir perspektifle yönetilmesi gerektiği düşünülmektedir. Bu geniş perspektif risklerin organizasyon düzeyinde ve portföy düzeyinde yönetilmesi olabilir. Organizasyon seviyesinin hiyerarşik anlamda projelere uzak olması nedeniyle risklerin hızlı bir şekilde ortaya çıkarılması ve yönetilmesi imkânsız hale gelmektedir, bu nedenle risklerin organizasyon düzeyinde yönetilmesi risklerin verimli şekilde yönetilmesi için tek başına yeterli olmamaktadır [16]. Portföy düzeyinde risk yönetiminin riskleri yönetmek için en ideal yönetim şekli olduğu düşünülmektedir [27]. Çünkü firmalar bu yaklaşım sayesinde projelerin birbirine olan bağımlılıkları nedeniyle ortaya çıkan riskleri belirleyebilirler ve değişik projeler-

deki risklerin birbirlerine olarak bağılıklarını ortaya çıkarabilirler [16]. Olsson [27] risklerin portföy düzeyinde yönetilmesi sayesinde şirketlerin üç düzeyde yarar sağlayacağını söylemektedir. Birinci düzeyde firmalar diğer projelerdeki riskleri inceleyerek riskler konusunda deneyim kazanarak, bu deneyimlerini portföylerinde yer alan projelerin risk yönetimlerinde kullanılabılırler. Risk yönetiminde bilginin önemi literatürde yoğun şekilde vurgulanmaktadır. İkinci düzey ise portföy düzeyindedir. Bu düzeydeki yararın elde edilebilmesi için portföyün ortak risklerinin ortaya çıkarılması gerekmektedir. Böylece, firmalar bu riskleri kendileri için avantaj haline getirebilirler, çünkü bir projedeki risk başka bir proje için fırsat anlamına gelebilmektedir [1]. Üçüncü düzey ise organizasyon düzeyindedir, firmalar kendi içerisindeki portföyleri birbirleriyle karşılaştırarak bu portföylerdeki ortak riskleri ortaya çıkarabilir. Böylece, firmanın yapısal sorunlarını da görmüş olurlar. Bu nedenle risklerin proje seviyesinde yönetilmesi yerine portföy seviyesinde yönetilmesiyle risklerin çok daha etkili şekilde yönetilebileceği ve projelerdeki risklerin etkilerinin azaltılabileceği görülmektedir.

Yapılan analizler sonucunda elde edilen diğer önemli bir bulgu ise paydaşların arasındaki iletişimin geliştirilmesinde PPY'nin etkisinin sınırlı olduğudur. Hâlbuki engelleyici faktörler içerisinde en önemli faktörün paydaşlar arasındaki fonksiyonel iletişim yetersizliği olduğu ortaya çıkarılmıştı. Bu çerçevede PPY'nin başarılı olabilmesi için ilk olarak paydaşlar arasındaki iletişimin geliştirilmiş olması gerekmektedir, diğer bir deyişle paydaşlar arasındaki iletişim geliştirilmeden PPY'nin başarılı bir şekilde uygulanması mümkün olmamaktadır. Diğer taraftan, PPY'yi uygulamaya başlamak paydaşlar arasındaki iletişimin oluşmasını sağlamamaktadır. Bu da bize proje portföy yönetimi uygulamasından önce mutlaka paydaşlar arasında iletişimin geliştirilmesi için hazırlıkların yapılması gerektiğini ve proje portföy yönetimi uygulamalarının ise iletişim eksikliğini ortadan kaldırmaya katkısının sınırlı olduğunu göstermektedir.

Yapılan t-test incelendiği zaman proje portföy yönetimini uygulayan ve uygulamayan firmalar arasında proje portföyü yönetiminin etkisi açısından anlamlı bir fark olmadığı görülmektedir. Ayrıca, her ne kadar firmalar PPY'yi uygulamaya bile uygulama sonucunda pozitif etkilerinin olacağını düşünmektedirler. Yine de bu etkiler arasında en büyük görüş farkının riskin azaltılması konusunda olduğu anlaşılmaktadır. Proje portföy yönetimini uygulamayan firmalar proje portföy yönetimi sayesinde risklerle daha iyi mücadele edilebileceğine inanmaktadır. Diğer tarafından uygulayan firmalar ise proje portföy yönetiminin risklerin yönetilmesinde etkisinin olduğunu düşünmekle beraber bu seviyenin daha sınırlı olduğu görüşündedirler.

## 5. SONUÇ (CONCLUSION)

Firmalar klasik proje yönetimi uygulamaları ile piyasadaki rekabetçi gücünü koruyamamakta ve bunun sonucu olarak yeni bir yaklaşım olan proje portföy yönetimine

yönelmektedirler. Fakat, inşaat sektörü incelendiği zaman proje portföy yönetimi uygulamalarının sınırlı olduğu görülmektedir. Bunun en önemli nedenleri ise firmaların proje portföy yönetimini nasıl uygulayacaklarını bilmemeleri ve yararlarını tam olarak idrak edememeleridir. Bu nedenle, bu çalışmada ankete katılan firmaların görüşleri çerçevesinde Türk inşaat sektöründe PPY uygulamasının başarılı olmasını engelleyici faktörler ortaya çıkarılarak, firmaların daha hazırlık aşamasında bu faktörlere karşı gerekli tedbirleri almasını sağlayacak yol haritalarının oluşturmasına yardımcı olmaya çalışılmıştır. Aynı şekilde, firmaların PPY'den ne beklemesi gerektiği belirlenmiştir. Bu çalışma sonucunda firmaların PPY uygulaması sırasında başarısını engelleyici en önemli faktörlerin paydaşlar arasındaki fonksiyonel iletişim yetersizliği, paydaşların proje portföy yönetimi uygulamasına adanmışlığındaki yetersizlik ve gerekli eğitimin yetersiz olması olduğu ortaya çıkarılmıştır. PPY'nin başarılı şekilde uygulanmasını engelleyici en önemli faktörlerden birinin paydaşlar arasındaki fonksiyonel iletişim yetersizliğidir, bu nedenle paydaşlar arasındaki iletişim proje portföyün başarılı şekilde uygulanması için çok önem teşkil etmektedir. Diğer bir deyişle, proje portföy yönetimini uygulamak isteyen firmaların mutlaka paydaşları ile iletişimlerini kuvvetlendirmeleri gerekmektedir. Bu amaçla, firmalar paydaşları ile iyi ve uzun süreli ilişkiler kurmayı tercih etmelidirler. Ayrıca, projeler arasındaki iletişim geliştirilmesi de büyük öneme sahiptir. Bu amaçla firmalar bilgi ve iletişim teknolojilerinden yararlanabilirler. Diğer bir önemli unsur ise paydaşların proje portföy yönetimine adanmışlığıdır. Bu adanmışlığı sağlamak ise şirketin üst yönetimine düşmektedir. Diğer bir deyişle, adanmışlık üst yönetimle başlamalıdır. Eğer üst yönetim PPY'ye inanmazsa veya PPY hakkında şüpheleri varsa, PPY uygulamasının başarılı olması mümkün görülmemektedir. Bu açıdan, PPY uygulamasına başlamadan önce üst yönetimin sahip olduğu şüpheler ortadan kaldırılmalıdır. Diğer aşamada ise alt kademedeki personele PPY'nin önemi ve yararları anlatılarak şirket içerisinde PPY'ye duyulan inanç artırılmalıdır. PPY uygulamayan firmalar açısından bakıldığında zaman en önemli sorunun bu firmaların PPY konusunda yeterli bilgisinin olmaması olduğu görülmektedir. Hatta uygulamayan firmalar bu engellerin aşılmasının zor olduğuna inanmaktadır. Diğer taraftan, uygulayan firmalara baktığımız zaman bu faktörleri önemli engelleyiciler olarak görmeleriyle beraber diğer birçok faktörü daha önemli olarak gördükleri anlaşılmaktadır. Bu da bize PPY hakkında yapılacak çalışmaların sayısının artması ve bunun sonucu olarak bu konudaki bilginin ve bilincin artması ile beraber PPY uygulamasının Türk inşaat sektöründe artma olasılığının olduğunu göstermektedir. PPY uygulamasının yararlarını incelendiği zaman ise en önemli yararların kaynaklarını daha efektif kullanılmasında ve risklerin azaltılmasında görülmüştür. En az etki ise paydaşların arasında iletişimde olduğu düşünülmektedir. En son olarak, bu çalışmanın kısıtlamalarından bahsedilecektir. Bu çalışmanın en önemli kısıtlaması katılımcı sayısının sınırlı olmasıdır. Özellikle

PPY uygulayan firma sayısı anket çalışması için çok sınırlıdır. Fakat Türk inşaat sektörü düşünüldüğü zaman PYY uygulayan firma sayısı çok azdır. Bu anlamda PYY uygulayan çok sayıda firmaya ulaşmak mümkün olmamıştır. Literatüre bakıldığı zaman bu konu hakkında bilgi üretiminin PYY uygulamasının artması için çok önemli olduğu görülmektedir. Bu tür çalışmaların yapılmayıp PYY uygulayan firma sayısının artmasını beklemek ise PYY'nin Türkiye'de uygulanma şansının azalmasına neden olacaktır. Bu nedenle, Türkiye'deki PYY uygulamalarının artması anlamında bu çalışma birçok firmaya yön gösterebilme potansiyeline sahiptir. Daha sonraki aşamalarda ise PYY uygulayan firma sayısının artması ile daha ayrıntılı analizler yapmak mümkün olabilecektir. Ayrıca, bu çalışmada yer alan uygulayan firmalar incelendiği zaman bu firmaların PYY uygunluk seviyelerinin yüksek olduğu görülmektedir. Bu açıdan bulunan sonuçların anlamlı olduğu düşünülmektedir. Diğer önemli kısıtlama ise elde edilen kısıtlı veri nedeniyle konu hakkında daha derin bilgi sağlayacak analizlerin yapılamamasıdır. Fakat literatür incelendiği zaman bu konu hakkında yapılan çalışmalarda da benzer analizlerin yapıldığı görülmektedir [3, 5]. Yine de PYY uygulamasının artması ile birlikte daha farklı analizlerin yapılması konunun daha derinlemesine incelenmesi açısından önemlidir.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Martinsuo M., "Project portfolio management in practice and in context", *International Journal of Project Management*, 31(6): 794-803, (2013).
2. Kaiser M. G., El Arbi F., and Ahlemann F., "Successful project portfolio management beyond project selection techniques: Understanding the role of structural alignment", *International Journal of Project Management*, 33(1): 126-139, (2015).
3. Shehu Z., ve Akintoye A., "Major challenges to the successful implementation and practice of programme management in the construction environment: A critical analysis", *International Journal of Project Management*, 28(1): 26-39, (2010).
4. Hernández C., Pajares J., ve López-Paredes A., "A portfolio inspired metric for project selection in construction management", *Organization, Technology & Management in Construction: An International Journal*, 3(1): 246-268, (2011).
5. De Reyck B., Grushka-Cockayne Y., Lockett M., Calderini S. R., Moura M., ve Sloper A., "The impact of project portfolio management on information technology projects", *International Journal of Project Management*, 23(7): 524-537, (2005).
6. Rajegopal S., McGuin P., ve Waller J., "Project portfolio management: Leading the corporate vision", *Project Portfolio Management*, (2007).
7. Young M., ve Conboy K., "Contemporary project portfolio management: Reflections on the development of an Australian Competency Standard for Project Portfolio Management", *International Journal of Project Management*, 31(8): 1089-1100, (2013).
8. Elonen S., ve Artto K. A., "Problems in managing internal development projects in multi-project environments", *International Journal of Project Management*, 21(6): 395-402, (2003).
9. Choi Y. R., ve Shepherd D. A., "Entrepreneurs' Decisions to Exploit Opportunities", *Journal of Management*, 30(3): 377-395, (2004).
10. Jonas D., "Empowering project portfolio managers: How management involvement impacts project portfolio management performance", *International Journal of Project Management*, 28(8), (2010).
11. Hermanto V. ve Martín-Cruz N., "The role of top management involvement in firms performing projects: A dynamic capabilities approach", *Journal of Business Research*, 69(9): 3447-3458, (2016).
12. De Brentani U. ve Kleinschmidt E. J., "Corporate Culture and Commitment: Impact on Performance of International New Product Development Programs", *Journal of Product Innovation Management*, 21(5): 309-333, (2004).
13. Unger B. N., Kock A. Gemünden H. G., ve Jonas D., "Enforcing strategic fit of project portfolios by project termination: An empirical study on senior management involvement", *International Journal of Project Management*, 30(6): 675-685, (2012).
14. Müller R., Martinsuo M., ve Blomquist T., "Project portfolio control and portfolio management performance in different contexts", *Project Management Journal*, 39(3): 28-42, (2008).
15. Cooper R., Edgett S., ve Kleinschmidt E., "Portfolio management for new product development: results of an industry practices study", *R&D Management*, 31(4): 361-380, (2001).
16. Teller J., "Portfolio Risk Management and Its Contribution to Project Portfolio Success: An Investigation of Organization, Process, and Culture", *Project Management Journal*, 44(2): 36-51, (2013).
17. Datz T., "Portfolio Management Done Right." <<http://www.cio.com/article/2440051/it-organization/portfolio-management-done-right.html>>. (18.07, 2016), (2003).
18. Meskendahl S., "The influence of business strategy on project portfolio management and its success — A conceptual framework", *International Journal of Project Management*, 28(8): 807-817, (2010).
19. Chao R. O., Kavadias S., ve Gaimon C., "Revenue Driven Resource Allocation: Funding Authority, Incentives, and New Product Development Portfolio Management", *Management Science*, 55(9): 1556-1569, (2009).
20. Mikkola J. H., "Portfolio management of R&D projects: implications for innovation management", *Technovation*, 21(7): 423-435, (2001).
21. Hunt R., Killen C. P., Killen C. P., Hunt R. A., ve Kleinschmidt E. J., "Project portfolio management for product innovation", *International Journal of Quality & Reliability Management*, 25(1): 24-38, (2008).
22. Jonas D., Kock A., ve Gemünden H. G., "Predicting project portfolio success by measuring management



- quality-a longitudinal study", *IEEE Transactions on Engineering Management*, 60(2), (2013).
23. Kendall G., ve Rollins S., "Advanced project portfolio management and the PMO", *J. Ross Publishing*, Florida, (2003).
  24. Fricke S. E., ve Shenbar A. J., "Managing multiple engineering projects in a manufacturing support environment", *IEEE Transactions on Engineering Management*, 47(2): 258-268, (2000).
  25. Cooper R. G., Edgett S. J., ve Kleinschmidt E. J., "Benchmarking Best NPD Practices—I", *Research-Technology Management*, 47(1): 31-43, (2004).
  26. Teller J., ve Kock A., "An empirical investigation on how portfolio risk management influences project portfolio success", *International Journal of Project Management*, 31, (2013).
  27. Olsson R., "Risk management in a multi-project environment: An approach to manage portfolio risks", *International Journal of Quality & Reliability Management*, 25(1): 60-71, (2008).



# POLİTEKNİK DERGİSİ

## JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://www.politeknik.gazi.edu.tr/index.php/PLT/index>

## Effects of impregnation with Tanalith-E on the compression strength of some woods

*Yazar(lar) (Author(s)):* Hakan KESKİN, Nihat DAĞLIOĞLU

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz:** Keskin H. ve Dağlıoğlu N., “Effects of impregnation with Tanalith-E on the compression strength of some woods”, *Politeknik Dergisi*, 20(3): 711-716, (2017).

**To cite this article:** Keskin H. and Dağlıoğlu N., “Effects of impregnation with Tanalith-E on the compression strength of some woods”, *Journal of Polytechnic*, 20(3): 711-716, (2017).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://www.politeknik.gazi.edu.tr/index.php/PLT/issue/archive>

**DOI:** [10.2339/politeknik.339404](https://doi.org/10.2339/politeknik.339404)

# Effects of Impregnation with Tanalith-E on the Compression Strength of Some Woods

Hakan KESKİN<sup>1\*</sup>, Nihat DAĞLIOĞLU<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Gazi University, Technology Faculty, Department of Wood Products Industrial Engineering,  
06500 Teknikokullar, Ankara – TURKEY

<sup>2</sup>Gazi University, Industrial Arts Education Faculty, Department of Industrial Technology Education,  
06500 Beşevler, Ankara – TURKEY

(Received : 03.09.2016 ; Accepted : 02.11.2016)

## ABSTRACT

This study was performed to determine the effects of impregnation with Tanalith-E on compression strengths of Oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky), European oak (*Quercus petraea* Liebl.), Black walnut (*Junglans nigra* Lipsky), Lombardy poplar (*Populus nigra* Lipsky), Ash (*Fraxinus excelsior* Lipsky) and Scotch pine (*Pinus sylvestris* Lipsky) woods. For this aim, the wood samples were prepared according to TS 345 and impregnated with Tanalith-E by the method of the vacuum according to ASTM D 1413 and producers' definition. After impregnation process, compression strength was measured according to TS 2595. Consequently, compression strengths of wood un-impregnated were found higher (approximately 6.63%) than impregnated with Tanalith-E wood materials. Accordingly, the highest values of compression strengths were obtained in impregnated Oriental beech and ash woods, whereas the lowest values were obtained in the Lombardy poplar wood.

**Keywords :** Compression strength, Tanalith E, impregnation, woods.

## ÖZ

Bu çalışma, su bazlı Tanalith-E ile emprenye etmenin ağaç malzemelerin (Doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky), Sapsız meşe (*Quercus petraea* Liebl.), Kara ceviz (*Junglans nigra* Lipsky), Kavak (*Populus nigra* Lipsky), Dişbudak (*Fraxinus excelsior* Lipsky), Sarıçam (*Pinus sylvestris* Lipsky)) basınç direncine etkilerini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Bu maksatla; kayın, meşe, ceviz, kavak, dişbudak ve sarıçam odunlarından TS EN 345 esaslarına göre hazırlanan deney örnekleri Tanalith-E ile ASTM D 1413 esaslarına uyularak vakum yöntemi ile emprenye edilmiştir. Emprenye edildikten sonra basınç direnci değerleri TS 2595 standardı esaslarına göre belirlenmiştir. Sonuç olarak, emprenyesiz örneklerin emprenye edilmiş örneklere göre; basınç direnci değeri yaklaşık olarak % 6.63 daha yüksek bulunmuştur. Tanalith-E ile emprenye edilmiş ağaç malzemelerin basınç direnci değerleri en yüksek kayın ve dişbudakta, en düşük değerler ise kavak odununda elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler :** Basınç direnci, tanalith e, emprenye, ağaç malzemeler.

## 1. INTRODUCTION

Preserving wood materials from environmental effects and providing long usage periods are economically important. If the wood materials are used without processing by preservative chemicals (with regard to the area of usage), fungal stains, insect infestation, humidity, fire etc. damage the wood. As a result of these damages, the woods require to be repaired, maintained or replaced before its economic life ends [1]. For this reason, in most places the wood materials should be impregnated with some chemicals. In the case of wood is not impregnated but only painted and varnished instead, the prevention on the surfaces is limited to a maximum of two years [2].

It is reported that, in mines, as a result of the impregnation of the beech and spruce wood with water-soluble salts, the bending, tensile and impact strength decreased a little whereas compression strength increased [3]. In another research concerning the impregnation of pine, spruce, fir, beech and poplar woods with Antrasen, it was found that, the compression strength increased by 6–40% and bending strength increased by 10–22% [4].

It was assessed that, salty impregnation materials increased the compression strength by 4.6–9.6%, whereas decreased the bending strength by 2.9–16% [5]. In another study, chromate copper arsenate (CCA) and arsenate copper arsenate (ACA) salts did not cause any significant impact on modulus of elasticity in bending [6].

Impregnation of alder (*Alnus glutinosa* L.) with vinylmonomers increased the compression strength [7]. In another study, impregnation of Scotch pine and Oriental spruce with zinc chlor and sulphate did not cause to a decrease in the compression strength [8].

In the interaction of wood material and impregnation period, the highest compression strength values were found in the samples impregnated with long-term dipping method whereas the lowest in the samples impregnated with shortterm dipping method. The compression strength in long-term dipping increased 11.4% in beech, 15.2% in oak, 21.6% in pine, 16.5% in spruce, 11.9% in fir and 12.3% in poplar. The amount of impregnation material penetrated into the wood cause to increase in compression strength [9].

In this study, Oriental beech, European oak, Black walnut, Lombardy poplar, Ash and Scotch pine woods

\*Corresponding Author

e-mail: khakan@gazi.edu.tr

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/politeknik.339404

commonly being used in furniture manufacturing and massive constructions were examined with respect to the effects of impregnation with Tanalith-E on the compression strength.

## 2. MATERIAL AND METHOD

### 2.1. Material

#### 2.1.1. Wood materials

The Oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky), European oak (*Quercus petraea* Liebl.), Black walnut (*Juglans nigra* Lipsky), Lombardy poplar (*Populus nigra* Lipsky), Ash (*Fraxinus excelsior* Lipsky) and Scotch pine (*Pinus sylvestris* Lipsky) woods to be used as test sample was chosen randomly from the timber merchants in Ankara. Special emphasis is given for the selection of wood materials. Accordingly, non-deficient, proper, knotless, normally grown (without zone line, without reaction wood, without decay and insect mushroom damages) wood materials were selected.

#### 2.1.2. Impregnation material

Tanalith-E, used as an impregnation material in this study was supplied from Hemel (Hemel-Hickson Timber Products Ltd.), Istanbul. Tanalith-E is not contain chromium or arsenic, non-flammable, fluent, water-based, completely, soluble in water, non-corrosive material with a pH value of 7 and a density of  $1.04 \text{ g.cm}^{-3}$ . It is available as a ready-made solution. Tanalith-E wood preservative contains a copper compound andazole biocides. Storage in a frost free environment is recommended [10].

### 2.2. Method

#### 2.2.1. Preparation of the test samples

The rough drafts for the preparation test and control samples were cut from the sapwood parts of massive woods and conditioned at a temperature of  $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$  and  $65 \pm 3 \%$  relative humidity for three months until reaching an equilibrium in humidity distribution. The samples for compression strength test, with a dimension of  $20 \times 20 \times 30 \text{ mm}$  were cut from the drafts having an average humidity of  $12 \%$  according to TS 2595 [11]. The densities and humidity values of all test samples were measured before the impregnation process. The test samples were impregnated by the method of the vacuum according to ASTM D 1413 [12], TS 344 [13] and TS 345 [14]. The specifications of the impregnation solution were determined before and after the process. The processes were carried out at  $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$  temperature. Retention of impregnation material ( $R$ ) was calculated by the formula;

$$R = \frac{G \cdot C}{V} 10^3 \text{ kg.m}^{-3} \quad G = T_2 - T_1 \quad (1)$$

Where  $G$  is the amount of impregnation solution absorbed by the sample (g),  $T_2$  is the sample weight after the impregnation (g),  $T_1$  is the sample weight before the impregnation (g),  $C$  is the concentration (%) of the impregnation solution and  $V$  is the volume of the samples ( $\text{cm}^3$ ).

Impregnated test samples were kept under a temperature of  $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$  and  $65 \pm 3 \%$  relative humidity until they reach to a stable weight.

#### 2.2.2. Compression strength

The tests for compression strength parallel to grains of wood materials were carried out with Universal Testing Machine shown in Figure 1, according to TS 2595. The capacity of Universal Testing Machine was 400 N. The speed of testing machine was adjusted to  $5 \text{ mm/min}$ . for crashing to occur in 1-2 minutes.

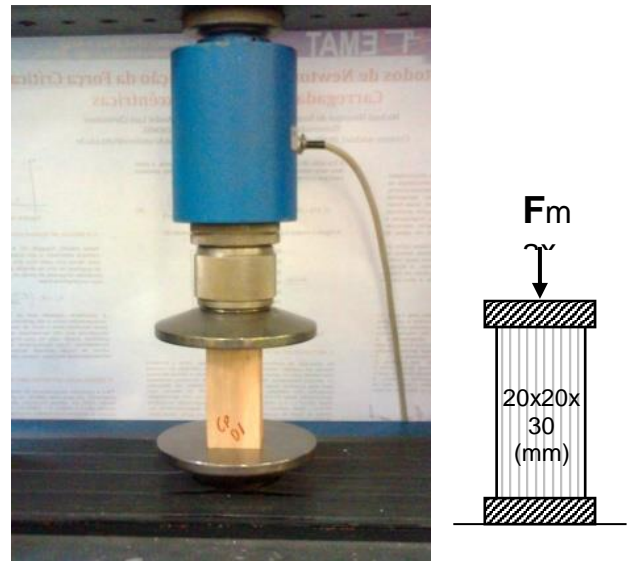


Figure 1. Compression strength test in a universal testing machine

Compression strength was calculated by the formula;

$$\sigma_b = \frac{F_{\max}}{ab} \text{ N.mm}^{-2} \quad (2)$$

Where  $F_{\max}$  is the breaking load on the scale (N),  $a$  is the cross-sectional width of test sample (mm),  $b$  is the cross-sectional thickness of the test sample (mm).

### 2.3. Data Analysis

The results were analyzed statistically by computer software, SPSS 15.0 for Windows. A total of 24 treatment groups was obtained with 4 compression test sample and one control sample. Ten replications were made in each test group. Thus, a total of 120 samples ( $6 \times 2 \times 10$ ) were prepared. The effects of impregnation with Tanalith-E on compression strength of the woods were analyzed by ANOVA (Analysis of Variance). Duncan Test was also applied where appropriate.

## 3. RESULTS AND DISCUSSION

### 3.1. Retention Amount

Statistical values pertaining to averages of retention amount of experimented samples have been given in Table 1.

**Table 1.** Statistical values belong to averages of retention amount

Statistical values	WOOD MATERIALS					
	Beech	Oak	Walnut	Poplar	Ash	Pine
$\bar{X}$ ( $kg.m^{-3}$ )	138.357	85.617	81.086	76.149	94.929	70.391
$S_s$ ( $kg.m^{-3}$ )	5.46626	4.27868	2.03932	8.962018	3.1171408	4.55572
$v$ ( $s^2$ )	33.2000	20.3412	4.62095	89.24197	10.796185	23.0607
min ( $kg.m^{-3}$ )	129.481	76.348	79.035	66.356	90.032	62.348
max ( $kg.m^{-3}$ )	146.321	93.024	86.356	91.662	99.032	78.356
N	10	10	10	10	10	10

**Table 2.** Result of the retention amount variance analysis (ANOVA)

Variance Source	Squares Sum	Degree of Exemption	Averages of Squares	F value	Sig.
Inter Group	30306	5	6061.246	200.636*	0.000
In-Group	1631.351	54	30.210		
TOTAL	31937.58	59			

\*P &lt; 0.05

According to F test which has been done to determine retention amount of wood materials; retention amounts have been differed from as per wood materials in statistical context ( $F_{(5,54)}=200.636$ ,  $P<0.05$ ). According to DUNCAN test results that are related to this (Table 3); highest retention amount has been obtained from oriental beech, then Ash, Oak, Black Walnut, Black Poplar, and Scotch Pine follow up, respectively. Mathematical difference between Oak and Black Tree has not been found relevant in statistical context.

it, respectively. The main reason of the highest level of retention amount in Oriental beech may stem from high permeability ratio. In fact, in literature, retention amounts of wood materials which were impregnated by dipping method with Imersol-Aqua; on Oriental beech 274.728  $kg.m^{-3}$  gained, and then on oak 44.936  $kg.m^{-3}$ , on Scotch pine 68.538  $kg.m^{-3}$ , on Uludag fir 79.180  $kg.m^{-3}$ , on spruce 92.225  $kg.m^{-3}$  and on Black Poplar 75.405  $kg.m^{-3}$  followed up, respectively [15].

**Table 3.** Retention amount related DUNCAN test result

Groups	N	For sub-groups $\alpha = 0,05$				
		1	2	3	4	5
Scotch Pine	10	70.391				
Poplar	10		76.149			
Walnut	10			81.086		
Oak	10			85.617		
Ash	10				94.929	
Beech	10					138.357
SIGNIFICANT		1.000	1.000	10.071	1.000	1.000

According to wood materials, the highest retention amount has been obtained from Oriental beech with 138.357  $kg.m^{-3}$  and then Ash 94.929  $kg.m^{-3}$ , Oak 85.617  $kg.m^{-3}$ , Black Walnut 81.086  $kg.m^{-3}$ , Black Poplar 76.149  $kg.m^{-3}$  and Scotch Pine 70.391  $kg.m^{-3}$  have followed up

### 3.2. Compression Strength

Statistical values of compression strength of impregnated wood materials and control samples have been given in Table 4.

**Table 4.** Statistical values of compression strength

Statistical values	IMPREGNATED WOOD MATERIALS					
	Beech	Oak	Walnut	Poplar	Ash	Pine
X ( $N.mm^{-2}$ )	66.771	62.748	59.638	37.758	69.676	54.207
Ss ( $N.mm^{-2}$ )	2.06912	2.41847	2.15121	2.20096	3.641582	1.63439
v ( $s^2$ )	4.75698	6.49890	5.14192	5.38248	14.73458	2.96804
min ( $N.mm^{-2}$ )	63.25	59.05	54.32	34.35	64.64	51.73
max ( $N.mm^{-2}$ )	69.83	66.25	62.51	39.74	76.63	57.36
N	10	10	10	10	10	10
UN-IMPREGNATED CONTROL SAMPLES						
X ( $N.mm^{-2}$ )	68.965	64.612	61.812	40.844	72.164	54.953
Ss ( $N.mm^{-2}$ )	2.52653	2.22249	3.07068	1.71388	4.246530	3.12027
v ( $s^2$ )	7.09265	5.48830	10.4767	3.26378	20.03669	10.8179
min ( $N.mm^{-2}$ )	64.82	60.12	56.35	38.03	62.34	50.03
max ( $N.mm^{-2}$ )	73.25	68.62	69.03	44.35	78.35	59.03
N	10	10	10	10	10	10

According to F Test which has been done for determination compression strength of impregnated wood materials (Table 5); compression strength values indicates significant differences according to type of wood material in statistical context ( $F_{(5;54)}=200.990$ ,  $P<0.05$ ). According to Duncan test results which is related to this; the highest compression strength value has been obtained from Ash wood and then on Oriental beech, Oak, Walnut, Scotch Pine and Black Poplar followed up, respectively (Table 6).

According to T test which has been done to figure out compression strength of Impregnated massive wood

material and un-impregnated control samples (Table 7); difference between compression strength have been determined significantly as 0.05 tolerance which is smaller than un-impregnated poplar samples. Mathematical differences in compression strength values between other wood materials have not been found significant.

Compression strength values parallel to grains of wood materials (control samples) which were not impregnated have not been found significant according to impregnated with Tanalith-E wood materials (except poplar) (Table 8). However on impregnated poplar wood, compression

**Table 5.** Compression strength variance analysis results

Variance Source	Squares sum	Degree of exemption	Averages of Squares	F value	Sig.
Inter Group	6613.066	5	1322.613	200.990*	0.000
In-Group	355.346	54	6.580		
TOTAL	6968.412	59			

\* $P<0.05$

**Table 6.** Compression strength DUNCAN test's results

GROUPS	N	For sub-groups $\alpha = 0,05$					
		1	2	3	4	5	6
Poplar	10	37.758					
Pine	10		54.207				
Walnut	10			59.638			
Oak	10				62.748		
Beech	10					66.771	
Ash	10						69.676
SIGNIFICANT		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000



strength values were average 8.173 % lower according to control samples. It may be the result of weakening

In Literature, Compression strength values parallel to grains of massive wood materials were declared as

**Table 7.** Compression strength T test results

WOODS	N	X	Ss	SD	SIG.(T)*
Scotch Pine (E)	10	54.207	1.7228	18	0.536 <sup>NS</sup>
Scotch Pine (K)	10	54.953	3.2891		
Walnut (E)	10	59.638	2.2676	18	0.099 <sup>NS</sup>
Walnut (K)	10	61.812	3.2368		
Ash (E)	10	69.676	3.8386	18	0.199 <sup>NS</sup>
Ash (K)	10	72.164	4.4762		
Poplar (E)	10	37.758	2.3200	18	0.004
Poplar (K)	10	40.844	1.8066		
Beech (E)	10	66.771	2.1811	18	0.06 <sup>NS</sup>
Beech (K)	10	68.965	2.6632		
Oak (E)	10	62.748	2.5493	18	0.106 <sup>NS</sup>
Oak (K)	10	64.612	2.3427		

\*P<0.05, N: Number of samples X: Average, E: impregnated sample, K: Unimpregnated control sample, Ss: Standard deviation, SD: Degree of exemption, NS (No significant)

effects of impregnation material on cohesion strength between poplar woods' grains.

Oriental beech 64.4 N.mm<sup>-2</sup>, Oak 65.5 N.mm<sup>-2</sup>, Scotch Pine 55.0 N.mm<sup>-2</sup>, Ash 50.4 N.mm<sup>-2</sup>, Black Walnut 72.0

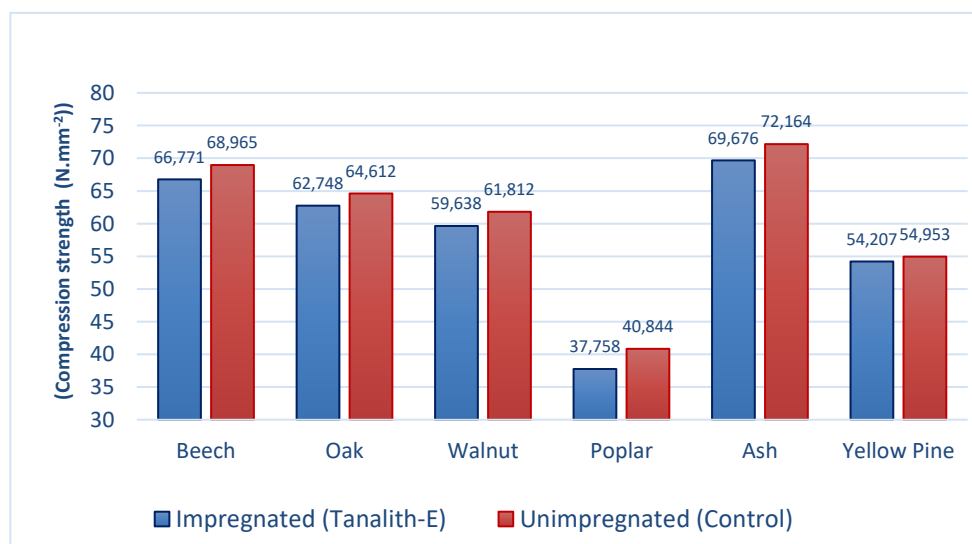
**Table 8.** Compression strength differences of Impregnated and un-impregnated wood materials

WOOD MATERIALS	Beech	Oak	Walnut	Poplar	Ash	Pine
Impregnated (N.mm <sup>-2</sup> )	66.771	62.748	59.638	37.758	69.676	54.207
Difference ratio (%)	3.285*	2.970*	3.645*	8.173	3.571*	1.376*
Un-impregnated (N.mm <sup>-2</sup> )	68.965	64.612	61.812	40.844	72.164	54.953

\*NS (No significant): Difference is no significant according to T test

Compression strength has been obtained highest on ash wood according to wood species and then Oriental beech,

N.mm<sup>-2</sup>, Black Poplar 34.5 N.mm<sup>-2</sup> [1, 9]. These compression strength values except walnut and ash, the



**Figure 2.** Compression strength values

Oak, Black Walnut, Scotch Pine, Black Poplar followed up, respectively (Figure 2).

results came close to each other. However, difference between walnut and ash woods may stem from different

features of geographical regions of tree samples and experiment samples.

#### 4. CONCLUSION

The highest retention amounts in accordance with wood species were obtained from Oriental beech as 138.357 kg.m<sup>-3</sup>, afterward, in Ash 94.929 kg.m<sup>-3</sup>, in Oak 85.617 kg.m<sup>-3</sup>, in Black Walnut 81.086 kg.m<sup>-3</sup>, in Black Poplar 76.149 kg.m<sup>-3</sup> and in Scotch Pine 70.391 kg.m<sup>-3</sup> followed up, respectively. The main reason for highest retention amount in Oriental beech may be the high level permeability of this kind of wood [15].

Compression strength values of impregnated wood materials founded in Oriental beech 66.771 N.mm<sup>-2</sup>, in Oak 62.748 N.mm<sup>-2</sup>, in Black Walnut 59.638 N.mm<sup>-2</sup>, in Black Poplar 37.758 N.mm<sup>-2</sup>, in Ash 69.676 N.mm<sup>-2</sup> and in Scotch Pine 54.207 N.mm<sup>-2</sup>. Compression strength values of control samples were determined as in Oriental beech 68.965 N.mm<sup>-2</sup>, in Oak 64.612 N.mm<sup>-2</sup>, in Black Walnut 61.812 N.mm<sup>-2</sup>, in Black Poplar 40.844 N.mm<sup>-2</sup>, in Ash 72.154 N.mm<sup>-2</sup> and Scotch Pine 54.953 N.mm<sup>-2</sup> respectively. According to F test which was carried out for Compression strengths of impregnated wood materials; compression strength values indicated significant differences in statistical meaning in accordance with wood species ( $F_{(5;54)}=200.990, P<0.05$ ). According to DUNCAN test results which was carried out related this; the highest compression strength was obtained from ash wood, then oriental beech, Oak, Black Walnut, Scotch Pine and Black Poplar followed up, respectively. According to T test results which has been carried out to determine of diversities between compression strengths values of control samples and impregnated wood materials; distinction in Beech, Oak, Ash, Walnut, and Scotch Pine (except Poplar) was insignificant. In the case of impregnated Poplar wood, compression strength value was average 8.17 % ratio lower in accordance with control samples. The reason can be reducing effect of impregnation material on cohesion strength between Poplar woods' grains. Results showed that impregnation material has negative effects only on Poplar wood, it has not any negative effect on beech, oak, ash, walnut and Scotch pine wood.

Accordingly, the highest values of compression strengths were obtained in impregnated Oriental beech and ash woods, whereas the lowest values were obtained in the Lombardy poplar wood. In consequence, in the massive construction and furniture elements that the compression strengths after the impregnation is of great concern, impregnation with Tanalith-E of beech and ash wood materials could be recommended.

#### ACKNOWLEDGEMENT

This study is a portion of the M.Sc. Thesis prepared by Nihat Dağlıoğlu, Institute of Science and Technology, Gazi University, Ankara, Turkey.

#### REFERENCES

- Ors Y., Keskin H., "Ağaç Malzeme Teknolojisi", Gazi Üniversitesi Yayın no: 2000/352, 1-6, 144-155, *Gazi Kitabevi*, Ankara (2008).
- Atar M., "Effects of impregnation with imersol-aqua on the bending strength of some wood materials", *Materials & Design*, 29(9): 1707-1712, (2008).
- Kollman F., "Die eigenschaftänderung von grubenholz nach schutzsalzimpregnation", *Forschungsber., Des Landes Nordrhein*, Westfalen, Germany, 54: (1959).
- Stabnikov V.M., "Puti uviliczenia sroka sluszbny dreviesinyw konstrukcjach", Leningrad, 19-25, (1957).
- Wazny J., "Investigations of the influence of wood preservatives on strength", *Dreviesiny Sreda*, 3: 181, (1973).
- Bentsen B.A., "Mechanical properties of longleaf pine treated waterborne salt preservatives", *USDA For Serv.*, 2: 434, (1984).
- Temiz A., "Physcal and mechanical properties of wood-polymer composites prepared from alder wood (*Alnus glutinosa* Lipsky)", *32nd Annual Meeting Nara*, Japan, (2001).
- Tetjamer L., "Methoden und resultate der prufung schweizerischen bahnholzer, material pru fungsaf", schweizerischen polytechnikum.Zurich: *Paul Paray Verlag*, (1986).
- Keskin H., Atar M., Togay A., "Impacts of impregnation with imersol-aqua on the compression strength of some solid wood materials", *Construction and Building Materials*, 22(7): 1402-1408, (2008).
- Hemel-Hickson's Timber Impregnation Co. (GB), Into the 21st. century, "Imersol-Aqua brochure", Datasheet, 4(2): 6214, (2000).
- TS 2595, "Odunun Liflere Paralel Doğrultuda Basınç Dayanımının Tayini", TSE, Ankara (1977).
- ASTM D 1413-76, "Standard Test Method of Testing Wood Preservatives by Laboratory Soil Blocks Cultures", ASTM Standards, USA, (1976).
- TS 344, "Ahşap Koruma Genel Kuralları", TSE, Ankara, (1981).
- TS 345, "Ahşap Emprenye Maddeleri Etkilerinin Muayene Metotları", TSE, Ankara, (1974).
- Ors Y., Atar M., Keskin, H., Yavuzcan H.G., "Impacts of impregnation with imersol-aqua on the modulus of elasticity in bending", *Journal of Applied Polymer Science*, 99(6): 3210, (2006).



# POLİTEKNİK DERGİSİ

## JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://www.politeknik.gazi.edu.tr/index.php/PLT/index>

## MOORA optimizasyon yaklaşımı ile inşaat proje müdürü seçimi: çok kriterli bir karar verme uygulaması

### *Construction project manager selection with the MOORA optimisation method: a multi-objective optimization application*

Yazar(lar) (Author(s)): Latif Onur UĞUR

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz:** Uğur L. O., “MOORA optimizasyon yaklaşımı ile inşaat proje müdürü seçimi: çok kriterli bir karar verme uygulaması”, *Politeknik Dergisi*, 20(3): 717-723, (2017).  
**To cite this article:** Uğur L. O., “MOORA optimizasyon yaklaşımı ile inşaat proje müdürü seçimi: çok kriterli bir karar verme uygulaması”, *Journal of Polytechnic*, 20(3): 717-723, (2017).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://www.politeknik.gazi.edu.tr/index.php/PLT/issue/archive>

**DOI:** [10.2339/politeknik.339408](https://doi.org/10.2339/politeknik.339408)

# MOORA Optimizasyon Yaklaşımı ile İnşaat Proje Müdürü Seçimi: Çok Kriterli Bir Karar Verme Uygulaması

Latif Onur UĞUR\*

Düzce Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Konuralp/ DÜZCE

(Geliş/Received : 16.09.2016 ; Kabul/Accepted : 24.01.2017)

## ÖZ

Büyük yatırım bedelleri, detaylandırılmış kalite şartları ve sürekli bir baskı oluşturan sınırlı yapım süreleri; inşaat projelerinin detaylı bir şekilde planlanmasını, organize edilmesini ve metodolojik kontrollerini gerektirmektedir. Günümüz ekonomik şartlarında düşük karlarla yüklenilen yapım projeleri için gereken nitelikte proje müdürleri bulmak da başlı başına bir konu haline gelmiştir. Bu çalışmada, yabancı bir ülkede (Rusya) yapılacak büyük bir inşaat projesinin yönetiminde yer alacak bir proje müdürünün seçilmesi amaçlanmıştır. Seçim, çok kriterli karar verme yöntemlerinden MOORA yaklaşımı ile yapılmış; hem Oran Analizi tabanlı hem de Referans Noktası Teorisi esaslı hesaplamalar yapılarak elde edilen sıralamalar karşılaştırılmıştır. MOORA yönteminin temel alındığı böyle bir karar modelinin inşaat firmalarında proje müdürü seçimi ve değerlendirilmesi konularında kullanılabileceği anlaşılmıştır. Uygulanan model, kriterlerin değiştirilmesiyle benzer yapım firmalarında da kullanılabilir.

**Anahtar Kelimeler:** İnşaat proje müdürü, yönetici seçimi, çok kriterli karar verme, MOORA yöntemi.

## Construction Project Manager Selection With the MOORA Optimisation Method: A Multi-Objective Optimization Application

### ABSTRACT

Large investment costs, detailed quality requirements and limited construction periods of forming a continuous stress requires; in the planning details, being organized and methodical checks of construction projects. In today's economic conditions, finding project managers which have required quality for the construction projects which incurred with low profits, is a subject itself. In this study, selection of a project manager who will work in big construction project in a foreign country (Russia) aimed. The selection proses made with a multi-criteria approach method, MOORE decision-making process. Ratio Analysis and Reference Point based calculations made and obtained sequences compared. Such a decision model based on the MOORA method, sides may be used for election and evaluation of project managers in construction companies. Application of the model, can be use in similar construction companies by changing the criterias.

**Keywords:** Construction project manager, manager selection, multi-objective optimization, MOORA method.

### 1.GİRİŞ (INTRODUCTION)

Proje kavramı için yapılmış tanımlardan ikisi; “eşsiz bir ürün ya da hizmeti ortaya çıkartmak için ortaya konulan geçici çaba” ve “değişik alanlarda önceden plan ve programa alınmış, maliyeti hesaplanmış, kurum ve kuruluşların yönetim organları tarafından onaylanmış, kısa ve uzun vadeye bağlanarak özel kurum veya devlet adına gerçekleştirilmesi kabul edilmiş bilimsel çalışma tasarısı”dır (1).

Proje yönetimi, belirli bir projenin hedef ve amaçlarına ulaşip bitirilmesi için kaynakların planlanması, organize edilmesi, tedarik edilmesi ve yönetilmesi disiplindir. İnşaat proje yönetimi, sözleşmelerde tarif edilen kalite standartlarından ödün vermeksizin, tasarım öncesinden

başlayarak projenin tesliminden sonraki anahtar teslimine kadar geçen etapların tamamının veya belli bir kısmının planlanmasının mal sahibi adına temsilci sıfatıyla yönetilmesi hizmetlerinin adıdır. Proje yöneticisi, proje boyunca sadece kilit öneme sahip kararları müşteriye bırakarak müşteri adına hareket eden dışarıdan temin edilen bir yönetici gibi hareket eder (2).

İnşaat projelerinde proje müdürlerinin Görev Yetki ve Sorumlulukları aşağıdaki gibi sıralanabilir (3) :

- Üst yönetim tarafından belirlenen proje yönetim politikaları ve buna bağlı oluşturulan sistemlerin, projeye bağlı şantiye veya şantiyeler tarafından anlaşılmasını ve faaliyetlerin bu çerçevesinde yürütülmesinin sağlanması.
- Kendisine bağlı olan Proje veya Projelerin Master plan, bütçe ve iş programlarının hazırlanması

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: latifugur@düzce.edu.tr

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/politeknik.339408

gereklikçe revize edilmesi, bunların gerçekleşmelerinin takibi ve projenin bağlı olduğu grup direktörüne raporlanması. Hazırlanan raporlara bağlı olarak iş gücü, finansman ihtiyacı ve proje sonu projeksiyon tahminleriyle projelerin yapımı sırasında olası aksaklıklarını tespit ederek gerekli önlemlerin önceden alınmasını sağlamak.

- Mobilizasyon öncesinde veya mobilizasyon süresince “Proje Yönetim Planı”nın hazırlanması ve projenin bu plan dahilinde yürütülmesi.
- Proje Organizasyonunun oluşturulması, malzeme, makina/ekipman teçizat ve personel programlarının hazırlanarak bunların temini ve proje boyunca en verimli biçimde kullanımının sağlanması.
- Projede kullanılacak taşeronların seçilmesi, onaylanması, taşeron sözleşmelerinin hazırlanarak imzalanması, taşeronun yönetim ve idaresi, taşeron performanslarının takibinin ilgili prosedürlere uygun olarak yürütülmesi.
- Malzeme tedarikçilerinin seçilmesi, onaylanması, yetki sınırları içerisinde tekliflerin değerlendirilerek uygun tedarikçilerin belirlenmesi, malzeme temin sözleşmelerinin hazırlanması, tedarikçilerin performanslarının takibi.
- Proje faaliyetlerinin düzenli ve hızlı biçimde yürütülmesini sağlamak için Proje ile Merkez birimler arasındaki iletişim ve koordinasyonun etkin biçimde kurulması.
- Proje ile merkez arasında tanımlanan Proje bilgi akışının ( muhasebe ve bordro bilgileri, iş ilerleme raporları vb.) sağlanması.
- Proje nakit akışının planlanarak ihtiyacın veya fazlanın tespit edilerek merkez’e bildirilmesi.
- Şantiye’de gerçekleştirilen hizmet ve imalatlara ilişkin hakediş ve kesin hesapların zamanında ve sözleşmeye ve şirket çıkarlarına uygun ve doğru olarak şirket çıkarlarına uygun olarak hazırlanmasının sağlanması, kontrolü, İşveren’e onaylatılması.
- Ambar, muhasebe, personel, kamp, üretim tesisleri, makina parkı, atölye ve yardımcı tesisler gibi tüm şantiye hizmet ve destek birimlerinin işin akışına uygun ve birbirleriyle ve merkez birimlerle uyumlu biçimde çalışmalarının sağlanması.
- İş güvenliğinin ilgili yönetmelik ve prosedürlere uygun olarak sağlanması için her türlü önlemin alınması, faaliyetlerin denetlenmesi.

- İşveren ve İşveren temsilcileriyle, ortaklarla iyi ilişkilerin kurulmasını ve sürdürülmesinin sağlanması.
- Şantiye çalışanları, sendika temsilcileri, resmi kuruluşlarla ve genel olarak çevre halkıyla iyi ilişkiler geliştirerek şirketin en iyi biçimde temsil edilmesi.
- Mobilizasyon ve demobilizasyon faaliyetlerinin planlanması, yönetilmesi ve sonuçlandırılması.
- Geçici kabul, kesin kabul gibi Proje teslimine yönelik tüm çalışmalarının İşveren/İşveren temsilcisi ve Merkez birimlerle yürütülmesi, koordinasyonu ve sonuçlandırılması.
- Tüm Şantiye faaliyetlerinin kalite standartlarına ve bu standartlara göre oluşturulan prosedür ve diğer dökümanlara uygun olarak gerçekleştirilmesinin sağlanması.
- Mukavele tatbikatı çalışmalarının İşveren/İşveren temsilcisine karşı yürütülmesi ve koordinasyonu. Yurtiçi ve yurtdışı teknik müşavir, hukukçularla işbirliği içinde anlaşmazlıkların ve taleplerin çözümünde etkin rol alınması.

Anılan nitelikte sorumlulukların hakkıyla yerine getirilebilmesi için proje müdürü adaylarının sahip olması gereken pek çok nitelikten birkaçı; eğitim, liderlik, iletişim yeteneği, pragmatik olmak, organize edicilik, ileri görüşlülük, dürüst ve çözüm odaklı olmaktır.

Büyük yatırım bedelleri, detaylandırılmış kalite şartları ve sürekli bir baskı oluşturan sınırlı yapım süreleri; inşaat projelerinin detaylı bir şekilde planlanmasını, organize edilmesini ve metodolojik kontrollerini gerektirmektedir. Tüm bu işlerden birinci derecede sorumlu olacak proje müdürlerine ise büyük yükler düşmekte ve ağır sorumluluklar yüklenmektedir. Günümüz ekonomik şartlarında düşük karlarla yüklenilen yapım projeleri için gereken nitelikte proje müdürleri bulmak da başlı başına bir konu haline gelmiştir. Personel ilanları ve güvenilir referanslar her kendine özgü yapım projesinin idarecisinin seçiminde temel bir fayda sağlamaktadır. Ancak elemeler sonucunda kalan az sayıda nitelikli adaylardan birinin seçilmesi konusunda pek çok farklı özelliği olan adaylardan, o projeye has gerekli nitelikleri maksimize eden birinin seçilmesi, daha projenin başında verilecek hayati bir karar mahiyetindedir.

“Bir iş veya sorun hakkında düşünülerek verilen kesin yargıya” ya da “Herhangi bir durum için tartışılarak verilen kesin yargıya” karar denmektedir (4). Hedef ve amaçların gerçekleştirilmesi yönünde mevcut alternatifler arasından birini seçme eylemi de karar kavramı için kullanılan tanımlardan biridir. Karar verme günümüzde, birçok bilim alanı ile arakesiti olan geniş kapsamlı bir bilim dalı olmuştur (5).

Nicel değişkenlerin yanında nitel değişkenleri de ölçmek gerekliliğinden dolayı karar verilecek ortamın çok iyi analiz edilmesi gerekmektedir. Bu da çok fazla veriye sahip olmayı ve sayısal teknikleri kullanmayı bir ihtiyaç haline getirmiştir (6). Günümüzde zorlaşan ve karmaşıklaşan karar süreçlerinin karar vericinin bireysel becerileri yanında daha verimli, hızlı karar almasına olanak sağlayacak karar verme araçları ile desteklenmesi gerekmektedir (7). Rasyonel karar almak için tecrübeler, sezgiler ve sınırlı bilgilerin yanı sıra karar sürecinin analitik olarak da değerlendirilmesi gerekmektedir (8).

Karar verme sürecinin aşamaları; Amaç belirleme ve sorunu tanımlama, Amaç ve sorunları irdeleme, Öncelik belirleme, Alternatif belirleme, Alternatifleri irdeleme ve değerlendirme, Seçim kriterlerini belirleme ve Seçim yapmadır (9). Herhangi bir karar için gerekli olan elemanlar ise; Karar verici, Amaç, Karar kriterleri, Seçenekler, Olaylar ve Sonuçtur (10).

Çok Kriterli Karar Verme; matematik, yönetim, enformatik psikoloji, sosyal bilimler ve ekonomi gibi birden çok disiplinin bir araya gelip karar alıcıya birden fazla boyutla karar problemini değerlendirme ve karar alma imkanı sağlayan yöntemlerin bir araya getirildiği yapıdır. Çok Kriterli Karar Verme Problemleri; birden fazla kriterin optimize edildiği mümkün çözüm setleri içerisinde en iyi alternatifin seçildiği problemler olarak tanımlanabilir (10). Çok Kriterli Karar Verme Problemleri üç temel başlık altında incelenebilir; Seçim, Sınıflama ve Sıralama (11).

Bir işletmenin insan kaynakları yönetiminde en önemli ve en zor konuyu işgören bulma ve seçme teknikleri oluşturur (12). Her alanda ihtiyaç duyulan personel seçimi ve alımı, kurumun/kuruluşun amaçları ve hedefi doğrultusunda temel ve tartışmasız çok önemli bir konudur. Doğru anlaşılması, uygun metodların seçilmesi ve uygulanması durumunda kurumun/kuruluşun stratejik amaçları ve beklentilerine ulaşması için büyük bir öneme sahiptir (13).

Özbek, kuruluşlarda en uygun adayın belirlenmesinin çok kriterli karar verme problemi olarak görüldüğünü ifade etmektedir. Araştırmasında Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci yöntemini temel alan bir yönetici belirleme modeli geliştirmiştir. Bu yöntem, adayların değerlendirilme sürecinde kesin olmayan ve belirsiz verilerin kullanılmasını yanında nitel ve nicel kriterleri de değerlendirme sürecine katabilen bir yöntemdir. Önerilen model, yedi aday, on iki kritere göre değerlendirmiş ve uygulamanın yapıldığı kuruluş için en uygun adayı belirlemiştir (14). Öngörmüş ve diğ., bir işletmedeki personel seçim problemini ele almıştır. Çalışmalarında personel seçiminde, işletme için önemli olan nitel ve nicel kriterler belirlenerek, niteliksel ve niceliksel değişkenlerin değerlendirilmesinde etkili bir yöntem olan Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) kullanılmıştır. Kriterlerin ve alternatiflerin değerlendirilmesinde, dilsel değişkenler ve bulanık sayılar kullanılmıştır. Tasarlanan sistemde sonuçlar; bu yöntemin personel seçimine sayısal bir çözüm getirerek karar ver-

mede gözle görülebilir bir kolaylık sağladığını göstermiştir (15). Dağdeviren, Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi yöntemi ile personel seçimi probleminin çözümüne yönelik bir algoritma önermiştir (16). Doğan ve Önder, insan kaynakları temin ve seçim sürecinde çok kriterli karar verme tekniklerini kullanarak, en uygun adayın/adayların seçilebileceği bir modeli ortaya koymak amacı ile; Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) kullanmışlardır. Bu yaklaşımın karmaşık karar problemlerinin analizinde yaygın olarak kullanılabileceğini ifade eden yazarlar, yaklaşımın alternatiflerin sıralanmasında ve en uygun alternatifin seçiminde karar vericilere yardımcı olması için kullanılabileceğini belirtmişlerdir (17). Tepe ve Görener'in çalışmalarında, Türkiye'deki kurumsal bir şirketin personel seçim süreci ele alınmış; değerlendirmede dikkate alınacak ölçüt ağırlıkları Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) ile hesaplanmış, sonrasında MOORA yöntemini kullanarak personel seçimini gerçekleştirilmiştir (18). Özbek, bir modelde Analitik Hiyerarşi Süreci ve MOORA yöntemlerini bütünleşik olarak kullanmıştır. Yönetici ölçüt ağırlıkları AHS ile belirlenmiş ve en uygun yöneticinin seçimini ise MOORA-MULTIMOORA yöntemine göre yapmıştır. Çalışma sonuçları MOORA yönteminin çeşitli sürümlerinde birbirine benzer sonuçlara ulaşıldığını göstermiştir (19).

Bu çalışmada, yabancı bir ülkede (Rusya) yapılacak büyük bir inşaat projesinin yönetiminde yer alacak bir proje müdürünün seçilmesi amaçlanmıştır. Sıralama ve seçim, çok kriterli karar verme yöntemlerinden MOORA yaklaşımı ile yapılmış; hem Oran Analizi tabanlı hem de Referans Noktası Teorisi esaslı hesaplamalar yapılarak elde edilen sıralamalar karşılaştırılmıştır.

## 2. MOORA ORAN ANALİZİ TABANLI ÇOK ÖLÇÜTLÜ/ NİTELİKLİ OPTİMİZASYON YÖNTEMİ (MOORE RATIO ANALYSIS BASED MULTICRITERIA/ QUALITY OPTIMIZATION METHOD)

MOORA (Multi-Objective Optimization on the basis of Ratio Analysis) yöntemi çok ölçütlü ya da çok nitelikli iki veya daha fazla çakışan niteliği veya amacı belirli kısıtlar altında eş zamanlı olarak optimize etme sürecidir. MOORA yöntemi çeşitli nitelikler ya da amaçlara ilişkin farklı alternatiflerin performansını gösteren Eşitlik 1'deki karar matrisi ile başlar (20, 21).

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$



Bu karar matrisinde,

$i$ = alternatif

$j$ = nitelik yada ölçüt

$m$  = toplam alternatif sayısı

$n$  = toplam nitelik yada ölçüt sayısı

$x_{ij}$ = $i$ . Alternatifin  $j$ . ölçüt açısından performans ölçüm değeri olarak ifade edilmektedir.

Daha sonra, normalizasyon işlemi gerçekleştirilir. Normalizasyon için kullanılan yöntemler Eşitlik 2’de gösterilen vektör normalizasyonu ve Eşitlik 3’te sunulan doğrusal normalizasyondur (22).

$$r_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m X_{ij}^2}}, i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n. \quad (2)$$

$$r_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sum_{i=1}^m X_{ij}}, i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n. \quad (3)$$

Bu işlem  $x_{ij}$  ile gösterilen  $i$ . Alternatifin  $j$ . ölçüt açısından performans ölçüm değerini verir. Buradaki  $x_{ij}$  değeri  $j$  Ölçüt yada nitelik açısından  $i$ . Alternatifin normalize edilmiş performansını temsil eden  $[0,1]$  aralığında yer alan birimi bulunmayan bir sayıdır. Çok amaçlı optimizasyon için, bu normalize edilmiş performans değerleri (faydalı nitelikler için) maksimizasyon durumunda eklenip, (faydasız nitelikler için) minimizasyon durumunda çıkarılarak her bir alternatif için tek bir değer bulunur. Bu durumda optimizasyon problemi 4 numaralı denklemdeki gibi oluşur (22).

$$y_i = \sum_{j=1}^g X_{ij}^* - \sum_{j=g+1}^n X_{ij}^* \quad (4)$$

Bu eşitlikte,

$n$ = enbüyüklenecek nitelik ya da ölçüt sayısı

$n-g$  = enküçüklenecek nitelik ya da ölçüt sayısı

$y_i$ = tüm nitelik ya da ölçütler açısından  $i$ . Alternatife ilişkin normalize edilmiş değerdir.

### 3. REFERANS NOKTASI TEORİSİ (REFERENCE POINT THEORY)

Referans noktası yaklaşımında, oran metoduna ek olarak her kriter için; amaç maksimizasyon ise maksimum noktalar, amaç minimizasyon ise minimum olan, referans noktaları ( $r_j$ ’ler) belirlenir. Belirlenen bu noktaların, her  $x_{ij}^*$  ile olan uzaklıkları bulunur. Yani;

$$r_j - x_{ij}^* \quad (5)$$

işlemi yapılır ve matris olarak yazılır. Burada;

$i= 1, 2, \dots, m$  alternatiflerin sayısını,

$j= 1, 2, \dots, n$  kriterlerin sayısını,

$x_{ij}^*$ ,  $i$ . alternatifin  $j$ . kriterdeki normalleştirilmiş değerini,

$r_j$ ,  $j$ . kriterin referans noktasını göstermektedir.

Oluşturulan matrise Eşitlik 6. ‘da gösterilen “Tchebycheff Min-Maks Metrik İşlemi” uygulanır

$$P_i = \text{Min}_i (\text{Max}_j | r_i - x_{ij}^* |) \quad (6)$$

Böylece sıralama yapılır (23, 24, 25).

### 4. UYGULAMA (APPLICATION)

Yurtdışında yapılacak büyük bir inşaat projesinin ihalesini alan yapım firması, bu proje için bir proje müdürü seçecektir. Adayların belirlenmesi için internet ve yazılı basın üzerinden, bu görevin gerektirdiği çok sayıda niteliği içeren iş ilanları verilmiş, sektör profesyonellerinden öneriler istenmiş ve olabildiğince fazla adayın başvuru yapması için çaba harcanmıştır. Ön değerlendirme ve yüzyüze görüşme aşamalarının ardından projeye en uygun beş aday nihai değerlendirmeye alınmıştır. Yapılacak bir sıralama ve seçim çalışması için MOORA yöntemi kullanılmasına karar verilmiş; hem Oran Analizi tabanlı hem de Referans Noktası Teorisi esaslı hesaplamalar yapılarak elde edilen sıralamalar değerlendirilmiş ve seçim yapılmıştır. Adayların değerlendirilmesindeki temel kriterler firma yöneticileri ve insan kaynakları bölümü elemanları görüşleri esas alınarak aşağıdaki gibi oluşturulmuştur;

K1: Mezun olunan okul: Alınan teknik eğitimin ve bilgi temelini kalitesine referans olması için adayların mezun oldukları okullar ve bölümler firma teknik ve idari yöneticileri tarafından beşli Ricat Ölçeği kullanılarak puanlandırılmıştır. En yüksek puanlar, daha iyi teknik altyapıyı ifade etmektedir.

K2: Aktif mühendislik süresi: Mezun olunduktan sonra fiilen yapılan çalışma süreleridir, adayların başvuru formlarından edinilmiş bilgiler yine adaylarca görüşülüp revize edilerek veri oluşturulmuştur. Aktif mühendislik süresi en çok olan aday bu kritere göre en olumlu seçenek kabul edilmiştir.

K3: Yaş: Fiilen çok enerji sarf etmesi gereken adayların bu kritere göre en genç olanı avantajlı olacaktır.

K4: Tamamlanan proje sayısı: İnşaat sektöründe sık iş değiştirmelerin doğal olduğu ve bunların bir kısmının projeler tamamlanmadan önce gerçekleştiği göz önüne alınarak, çalışılan işlerin tamamlanması aşamasına kadar görev yapmış (sebat göstermiş, vazgeçilmemiş) olmak da başka bir tercih sebebi olarak firma yönetimince kriterler arasına alınmıştır. Bu kriterde ne kadar çok proje tamamlandı ise o kadar tercih sebebi olunacaktır.

K5: Yabancı dil: Yurtdışında ve kamuya yapılacak bir projenin sözkonusu olması yabancı dili akıcı olarak kullanma ve teknik terimlere hakim olma niteliğini gerektirecektir. Önce İngilizce, ardından Rusça bilmek, beşli Ricat Ölçeği ile puanlandırılmış ve adayların yabancı dil kriter puanları oluşturulmuştur. Puanı yüksek olan adayın daha iyi yabancı dil hakimiyeti olduğu kabul edilmiştir.

K6: Referanslar: İnşaat sektöründe daha önce çalışılan firmalarda ve projelerde görev yapmış önemli kademedeki kimselerin referansları büyük önem arz etmektedir. Gerek firmanın insan kaynakları elemanları gerekse proje



ile ilgili teknik ve idari personelce yapılan referans araştırmaları sonucunda her aday için 10 üzerinden puanlandırma yapılmıştır. Puanı yüksek olmak, tercih sebebi olarak alınmıştır.

**K7: İletişim yeteneği:** Gerek insan kaynakları elemanlarının gerek proje genel koordinatörünün yaptığı değerlendirmeler esas alınarak, referansların ifadeleri de gözönünde bulundurularak, 10 puan üzerinden iletişim yeteneği değerlendirilmiştir. Puanı yüksek olan daha iyi iletişim yeteneğine sahip kabul edilmiştir.

**K8: Talep edilen ücret:** Her bir adaya talep ettiği net aylık ücret sorulmuş, verdikleri yanıtlardaki değerler ayın alınarak değerlendirme kriteri olarak kullanılmıştır. Adaylar ne kadar düşük ücret isterlerse o kadar tercih edileceklerdir.

Kriterlerin yukarıdaki kapsama belirlenmesi ile kesin olmayan ve belirsiz verilerin kullanılması yanında nitel ve nicel kriterleri de değerlendirmek mümkün olmuştur. Değerlendirme esaslarına göre; kriterlerden altı tanesinde en yüksek puan alınması tercih sebebiyken iki tanesinde de en düşük puan almak tercih sebebi olacaktır. Kriterlerin her biri eşit ağırlıkta değerlendirilmiştir. Bu verilere göre; adayların, kriterlerin ve her adayın hangi kriterlere göre kaç puan aldığına değerleri Çizelge 1.'de verilmiştir.

**Çizelge 1.** Sıralanacak adaylar ve bu adaylara ait kriterlerin değerleri (Candidates will be listed and the value of the criteria of these candidates)

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
	Mezun olunan okul	Aktif mühendislik	Yaş	Tamamlanan proje sayısı	Yabancı dil	Referanslar	İletişim yeteneği	Talep ettiği ücret
Aday 1	5	27	52	8	5	8	7	6200
Aday 2	4	22	51	5	4	7	5	5500
Aday 3	5	18	45	5	5	9	9	7000
Aday 4	3	24	54	9	3	7	8	6500
Aday 5	5	25	49	7	4	6	7	5000

**Çizelge 2.** Normalizasyon işlemi sonucunda elde edilen değerler (The values obtained as a result of normalization process)

	MAKS	MAKS	MİN	MAKS	MAKS	MAKS	MAKS	MİN
	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
Aday 1	0,5	0,51599684	0,462391	0,51214752	0,52414242	0,47894747	0,42759306	0,455907003
Aday 2	0,4	0,42044187	0,453499	0,3200922	0,41931393	0,41907904	0,30542361	0,404433631
Aday 3	0,5	0,34399789	0,400146	0,3200922	0,52414242	0,53881591	0,5497625	0,514733713
Aday 4	0,3	0,45866386	0,480176	0,57616596	0,31448545	0,41907904	0,48867778	0,477967019
Aday 5	0,5	0,47777485	0,435715	0,44812908	0,41931393	0,3592106	0,42759306	0,367666938

**Çizelge 4.** Referans noktalarının hesabı (Calculation of the reference point)

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
Aday 1	0,5	0,51599684	0,462391	0,51214752	0,52414242	0,47894747	0,42759306	0,455907003
Aday 2	0,4	0,42044187	0,453499	0,3200922	0,41931393	0,41907904	0,30542361	0,404433631
Aday 3	0,5	0,34399789	0,400146	0,3200922	0,52414242	0,53881591	0,5497625	0,514733713
Aday 4	0,3	0,458663858	0,480176	0,57616596	0,31448545	0,41907904	0,48867778	0,477967019
Aday 5	0,5	0,477774852	0,435715	0,44812908	0,41931393	0,3592106	0,42759306	0,367666938
Referans Noktaları	0,5	0,51599684	0,400146	0,57616596	0,52414242	0,53881591	0,5497625	0,367666938

Çizelge 1.'de verilen değerler (2) ifadesi kullanılarak normalize edilmiştir. Bu işlemin sonucunda elde edilen değerler Çizelge 2.'deki gibidir. Ayrıca bu Çizelgede maksimum ve minimum olması istenen kriterler de belirtilmiştir

Çizelge 2.'deki değerler kullanılarak (4) formülü yardımı ile  $y_i^*$  değeri hesaplanmış ve Oran Metodu'na göre sıralama yapılmıştır. Çizelge 3. Bu hesabın sonuçlarını göstermektedir.

**Çizelge 3.** Oran Metodu'na göre sıralama (Rate sort by Unit Credit Method)

	$y_i^*$	Oran Metodu Sıralama
Aday 1	2,040529077	1
Aday 2	1,426417935	5
Aday 3	1,861930952	2
Aday 4	1,598929562	4
Aday 5	1,82863978	3

Referans Noktası Yaklaşımı kullanılarak sıralama yapmak için Çizelge 2.'deki değerlerden referans noktalar belirlenmiştir. Bu değerler Çizelge 4.'ün en alt satırında verilmiştir.

Bu değerlerle (6) ifadesi uygulanarak hesaplamalar yapılmıştır. Bu hesap değerleri Çizelge 5.'te verilmiştir.

MOORA yönteminin temel alındığı karar modelinin inşaat firmalarında proje müdürü seçimi ve

**Çizelge 5.** (6). ifadesinin kullanımı ile yapılan hesaplamalar (Calculations with the use of the term (6.))

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
Aday 1	0	0	0,062245	0,06401844	0	0,05986843	0,12216944	0,088240065
Aday 2	0,1	0,09555497	0,053353	0,25607376	0,10482848	0,11973687	0,24433889	0,036766694
Aday 3	0	0,171998947	0	0,25607376	0	0	0	0,147066775
Aday 4	0,2	0,057332982	0,080029	0	0,20965697	0,11973687	0,06108472	0,110300081
Aday 5	0	0,038221988	0,035569	0,12803688	0,10482848	0,1796053	0,12216944	0

Elde edilen verilerin maksimum değerleri ve Referans Noktası Teorisi'ne göre yapılan sıralama Çizelge 6.'da verilmiştir.

**Çizelge 6.** Referans Noktası Yaklaşımı'na göre sıralama (Sort according to Reference Point Approach)

	Maksimum değerler	Sıralama
Aday 1	0,122169444	1
Aday 2	0,25607376	4
Aday 3	0,25607376	4
Aday 4	0,209656967	3
Aday 5	0,179605302	2

Böylece MOORA Yöntemi'nin iki farklı yaklaşımına göre sıralama yapılmıştır. Her iki yaklaşıma göre de "Aday 1" en uygun seçenek olarak belirlenmiştir. Oran Yöntemi'ne göre ikinci sırada yer alan "Aday 3", Referans Noktası Yaklaşımı'na göre dördüncü sırada yer alırken; Oran Yöntemi'ne göre üçüncü sırada yer alan "Aday 5", Referans Noktası Yaklaşımı'nda ikinci sırayı almıştır. Sonuçta iki yaklaşımda da ilk sırayı alan aday söz konusu yapım projesi için proje müdürü olarak tercih edilmiştir.

## 5.SONUÇ (RESULTS)

Ayrık alternatiflerle çok amaçlı optimizasyon için önerilen yöntemlerden biri olan MOORA Yöntemi, önemliliği verilmiş amaç durumunda da başarı ile kullanılan bir yöntemdir. Yöntemin diğer çok kriterli karar verme yöntemleri olan Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP), Analitik Ağ Süreci (ANP), VIKOR, TOPSİS, ELECTRE, PROMETHEE, MACBETH, UTA, STEM ve PAPRIKA gibi yöntemlerle birlikte ya da hibrit olarak kullanılması mümkün görülmektedir.

Seçim kriterlerinin belirlenmesi esnasında kesin olmayan ve belirsiz verilerin kullanılması yanında nitel ve nicel kriterleri de değerlendirmek mümkün olmuştur. Dolayısı ile MOORA yaklaşımında nitel ve nicel kriterler bir arada kullanılabilmiştir. Bu yöntemin kullanımı ile proje müdürü seçimine sayısal bir çözüm getirilerek karar vermede önemli bir kolaylık sağlanmıştır.

Modelin uygulanması için özel yazılım programlarına ihtiyaç duyulmamaktadır. Tüm hesaplamalar elektronik tablolama programı ile gerçekleştirilebilmektedir.

değerlendirilmesi konularında kullanılabileceği anlaşılmıştır. Uygulanan model, kriterlerin değiştirilmesiyle benzer yapım firmalarında da kullanılabilir. Farklı kuruluşlarda kriterlerin değerlendirilmesi farklı uzmanların değer yargılarına göre yapılacağından farklı sonuçların bulunması da olasıdır.

## KAYNAKLAR

1. TDK Büyük Türkçe Sözlük, Son erişim tarihi: 13.09.2016  
[http://www.tdk.gov.tr/index.php?option=com\\_bts&arama=kelime&guid=TDK.GTS.57d7adc8484798.10803611](http://www.tdk.gov.tr/index.php?option=com_bts&arama=kelime&guid=TDK.GTS.57d7adc8484798.10803611)
2. <http://mgamimarlik.com.tr/mgamimarlik.com.tr/tr/insaat-proje-yonetimi-nedir-ne-faydasi-var/index.html> Son erişim tarihi: (13.09.2016)
3. [http://www.bedavahizmet.com/faydali\\_bilgi.aspx?ID=514&baslik=Santiye\\_personelinin\\_gorev\\_tanimlari](http://www.bedavahizmet.com/faydali_bilgi.aspx?ID=514&baslik=Santiye_personelinin_gorev_tanimlari) Son erişim tarihi:(13.09.2016)
4. Türk Dil Kurumu, Büyük Türkçe Sözlük, son erişim tarihi (02.09.2016)  
[http://www.tdk.gov.tr/index.php?option=com\\_bts&arama=kelime&guid=TDK.GTS.57c94dc09aa9a2.86045855](http://www.tdk.gov.tr/index.php?option=com_bts&arama=kelime&guid=TDK.GTS.57c94dc09aa9a2.86045855)
5. Esen Ö., "Önsöz", Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri, *Dora Yayinevi*, iii, Bursa, (2015).
6. Özdemir E., "Önsöz", Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri, *Dora Yayinevi*, vii, Bursa, (2015).
7. Yıldırım B.F. ve Önder E., "Takdim", Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri, *Dora Yayinevi*, ix, Bursa, (2015).
8. Can M., "Karar Teorisi", Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri, *Dora Yayinevi*, 1, Bursa, (2015).
9. Koçel T., "İşletme yöneticiliği", *Beta Basım Yayın Dağıtım A.Ş.*, (2001).
10. Turan G., "Lagrange gevşetmesi ile küçük portföylerin elde edilmesi ve İMKB'ye uygulanması", *Doktora Tezi*, (2013).
11. Vassilev V., Genova K. and M. Vassileva, "A brief survey of multicriteria decision making methods", *Bulgarian Academy of Sciences Cybernetics and Information Technologies*, 5(1): 4, (2005).
12. Sabuncuoğlu, Z., "İnsan kaynakları yönetimi", 72, Bursa: *Ezgi Yayınları*, (2000).

13. Altun A. ve Kovacı A., “Personel seçiminde mülakat ve mülakat yöntemleri”, *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, 1(3): 55-61, (2004).
14. Özbek A., “Yöneticilerin çok kriterli karar verme yöntemi ile belirlenmesi”, *Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 24, (2014).
15. Özgörmüş E., Mutlu Ö. ve Güner H., “Bulanık AHP ile personel seçimi”, *V. Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu : Düşünceden Uygulamaya Değer Yaratma*, İstanbul, 14, (2005).
16. Dağdeviren M., “Bulanık analitik hiyerarşi prosesi ile personel seçimi ve bir uygulama”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22(4): (2007).
17. Doğan A. ve Önder E., “İnsan kaynakları temin ve seçiminde çok kriterli karar verme tekniklerinin kullanılması ve bir uygulama” *Journal of Yasar University*, 9(34): 5796-5819, (2014).
18. Tepe S. ve Görener A., “Analitik hiyerarşi süreci ve moora yöntemlerinin personel seçiminde uygulanması”, *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi* Yıl: 13(25): 1-14, (2014).
19. Özbek A., “Akademik birim yöneticilerinin moora yöntemiyle seçilmesi: Kırıkkale üzerine bir uygulama”, *Kırıkkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi* 38(1): 1-18, (2015).
20. Brauers W. K. M., Ginevičius R. and Podvezko V., “Regional development in Lithuania considering multiple objectives by the MOORA method”, *Technol Econ Dev Econ*, 16: 613–640, (2010).
21. Chakraborty S., “Applications of the MOORA method for decision making in manufacturing environment”. *Int J Adv Manuf Technol*, 54: 1155–1166, (2011).
22. Özdağoğlu A., “Normalizasyon yöntemlerinin çok ölçütlü karar verme sürecine etkisi–Moora yöntemi incelemesi”, *Ege Akademik Bakış*, 14(2): 283-294, (2014).
23. Brauers W. K. M., Zavadskas E. K., “The MOORA method and its application to privatization in a transition economy”, *Control and Cybernetics*, 35(2): 445-469, (2006).
24. Brauers W. K. M. and Ginevičius R., “Robustness in regional development studies: the case of Lithuania”, *Journal of Business Economics and Management*, 10(2): 121-140, (2009).
25. Brauers W. K. M. and Ginevičius R., “The economy of the belgian regions tested with MULTIMOORA”, *Journal of Business Economics and Management*, 11(2), 173-209, (2010).



# POLİTEKNİK DERGİSİ

## JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://www.politeknik.gazi.edu.tr/index.php/PLT/index>

## Tarımsal arazi sulama sistemlerinde mobil uygulamalar: örnek bir çalışma

### *Mobile applications in agricultural land irrigation systems: a case study*

Yazar(lar) (Author(s)): Mehmet Fatih IŞIK, Cemal YILMAZ, Ercan IŞIK

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz:** Işık M. F., Yılmaz C. ve Işık E., “Tarımsal arazi sulama sistemlerinde mobil uygulamalar: örnek bir çalışma”, *Politeknik Dergisi*, 20(3): 725-731, (2017).

**To cite this article:** Işık M. F., Yılmaz C. and Işık E., “Tarımsal arazi sulama sistemlerinde mobil uygulamalar: örnek bir çalışma”, *Journal of Polytechnic*, 20(3): 725-731, (2017).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://www.politeknik.gazi.edu.tr/index.php/PLT/issue/archive>

**DOI:** [10.2339/politeknik.339409](https://doi.org/10.2339/politeknik.339409)

# Tarımsal Arazi Sulama Sistemlerinde Mobil Uygulamalar: Örnek Bir Çalışma

Mehmet Fatih IŞIK<sup>1\*</sup>, Cemal YILMAZ<sup>2</sup>, Ercan IŞIK<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Hitit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Çorum, Türkiye

<sup>2</sup>Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

<sup>3</sup>Bitlis Eren Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bitlis, Türkiye

(Geliş/Received : 21.12.2016 ; Kabul/Accepted : 22.02.2017)

## ÖZ

Bu çalışmada, elmanın yetiştirme evresine bağlı olarak kurulan damlama sulama sistemlerinin mobil aygıtlardan kontrolünü ve izlenebilmesini sağlayan bir proje Çorum/Merkez’ de başarılı bir şekilde uygulanmıştır. Klasik kontrol sistemi yerine günümüz teknolojisinin vazgeçilmez elemanları olan akıllı telefon üzerinden çalışabilen bir yapı oluşturulmuştur. Tarım arazisinde bulunan elma ağaçlarının kök kısımlarına yakın yerlere nem sensörleri yerleştirilmiştir. Bu sensörlerden alınan bilgilere göre sulama durumu çizelgesi oluşturulmuştur. Çalışmada bunun yanı sıra ürün yetiştirme evresine bağlı olarak da bir çizelgeleme oluşturulmuştur. Bu proje ile hem kullanılan su miktarında önemli bir avantaj sağlanmış hem de tarımsal süreçler için yeni bir izleme ve kontrol algoritması oluşturulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Damlama sulama sistemi, akıllı telefon, sensör.

## Mobile Applications in Agricultural Land Irrigation Systems: A Case Study

### ABSTRACT

In this study, at the Çorum /center a project that provides control and monitoring on mobile devices to drip irrigation system has been applied successfully. An essential element of modern technology to replace conventional control system, which has established a structure that works through smartphones. There are apple trees on agricultural land. The humidity located in the root portion of the tree. According to the information obtained from these sensors state irrigation schedule has been established. In this project, irrigation schedule has been established, depending upon the growth stage as well as product. This project provided a significant advantage in the amount of water used and that has been established a new algorithm for the monitoring and control of agricultural processes in both.

**Keywords:** Drip irrigation system, smart phone, sensor.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Çorum Karadeniz bölgesinde yer alan büyük tarım arazileri olan bir il olmasına rağmen su kaynaklarının yeterli olduğunu söylemek mümkün değildir. Merkezde, tarımsal sulama sistemlerinin büyük bir kısmı yeraltı su kaynaklarından karşılanırken bazı bölgelerde ise ırmaklardan karşılanmaktadır. Çorum gibi Türkiye’de de aynı şekilde sulama yapan birçok il bulunmaktadır. Gerek Çorum’da gerekse ülkemizin birçok bölgesinde gün geçtikçe artan tarımsal su ihtiyacını karşılamak için teknoloji yardımı ile çözüm arayışları sürmektedir. Bu noktada ortaya çıkan en mantıklı çözüm su kaynaklarının doğru şekilde kullanılması olarak görülebilir. Su kaynaklarının doğru ve verimli kullanılması için damlama sulama sistemi önemli bir çözüm olarak ortaya çıkmaktadır. Ancak damlama sulama sisteminde iyileştirmeler yapmak kaçınılmaz bir hal almıştır.

Tarımsal sulama sistemlerinde teknoloji desteği gün geçtikçe artış göstermektedir [1-4]. Teknolojik çözümlerin

ana konusu su kullanımını en verimli hale getirmektir. Özellikle mobil aygıtların bir bilgisayar kadar hızlı ve veri kayıt kapasitelerinin artması birçok sektörde sıkça kullanılmaya başlanmasını sağlamıştır. Çevre, sağlık, güvenlik gibi birçok alanda izleme ve kontrol uygulamalarında sıkça kullanılmaya başlanmış ve olumlu sonuçlar vermiştir [5-10].

Bitkilerin yetişmesinde önemli faktörlerden birinin de su tüketimine bağlı olarak değiştiği bilinmektedir [11].

Damlama sulama sistemi kullanılan arazilerde, yeraltı su kaynaklarından pompalar vasıtası ile alınan su, filtre yardımıyla temizlendikten sonra laterallere aktarılmaktadır.

Bu çalışmada Çorum ilinde bir elma bahçesi için otomatik olarak çalışan bir damlama sulama sistemi geliştirilmiştir. Bu sistemi klasik sistemlerden ayıran birçok özellik mevcuttur. Bunların başında yetiştirilen ürünün büyüme evresine bağlı olarak ihtiyacı olan su değerinin hesaplanmasıdır. Buna bağlı olarak elde edilen değerler, bulgular ve değerlendirme kısmında grafikler ile açıklanmıştır. Bir diğer önemli faktör, bitkinin kök kısımlarına yakın yerlere yerleştirilen sensörler vasıtası ile alınan değerlerin gerçek zamanlı olarak mobil aygıtlar

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: mehmetfatih@hitit.edu.tr

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/politeknik.339409

üzerinden izlenebilmesi ve kontrol edilebilmesidir. Çalışma diğer önemli kısmı ise enerji boyutudur. Sistemin enerji ihtiyacı güneş panelleri ile sağlanmaktadır. Bu durum gerek akademik çalışmalardan gerekse ticari durumlar irdelendiğinde kurulum maliyetlerinin çok kısa sürede telafi ettiği açıkça görülmektedir [12,13].

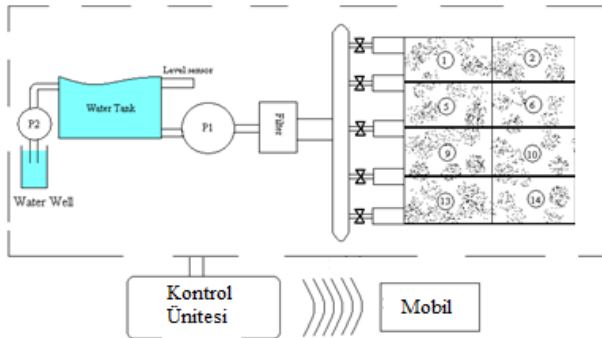
Çalışmanın amacı IOS/Android tabanlı mobil aygıtlar kullanılarak uzaktan kontrollü modern bir damlama sulama sistemi oluşturmaktır. Klasik damlama sistemi yerine, iklimsel verileri de kullanarak bitkinin yetişme evresinde ihtiyaç duyduğu su miktarı ve toprak içindeki nem değerine göre yeni bir damlama sulama algoritması oluşturmaktır. Geliştirilen modern sulama sistemi için hem donanımsal hemde yazılım altyapısı kurulmuş olup istenildiği takdirde birçok bitki için de kolayca uygulanabilir modüler bir yapı oluşturulmuştur.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)

Tarımsal alan için sulama sistemlerinde toprağın ihtiyacı olan su miktarı, bitki tipine ve toprak içindeki su miktarına bağlı olarak değişmektedir. Toprak içindeki su kapasitesi toprağın nemi olarak tanımlanabilir. Bu değer sayısal ya da analog sensörler yardımı ile kolayca ölçülebilmektedir. Toprak nem sensörleri için doğru ölçüm kadar sensörlerin kalibrasyonu ve hızlı veri aktarımı gibi özelliklerin de uygun olması çalışmalarda verimi etkileyen önemli unsurlardır. Toprak içindeki su miktarının doğru bir şekilde ölçülmesi kullanılacak su miktarının belirlenmesinde temel teşkil edecektir. Toprak içindeki su miktarının az olmasının yanında çok olması da bir dezavantajdır [14]. Tüketilecek su değerinin bitkinin yetişme evresine bağlı olarak belirlenebilmesi de suyun verimli kullanılması bakımından önemli bir unsur olmaktadır.

Bu çalışma Çorum ili Mecitözü ilçesinde yaklaşık olarak 300 m<sup>2</sup> lik bir alanda bulunan elma ağaçlarının bulunduğu alanda 06.03.2015 ile 05.10.2015 tarihleri arasında uygulanmıştır. Ancak bu sistemini altyapısının oluşturulması işlemleri 2014 yılı içinde yapılmıştır. Altyapıdan kasıt ise sensörlerin yerleştirilmesi, yazılım ve donanımların oluşturulması işlemlerini kapsamaktadır.

Tarımsal alan için belirlenen genel çalışma durumuna ait tasarım Şekil 1’de sunulmuştur.



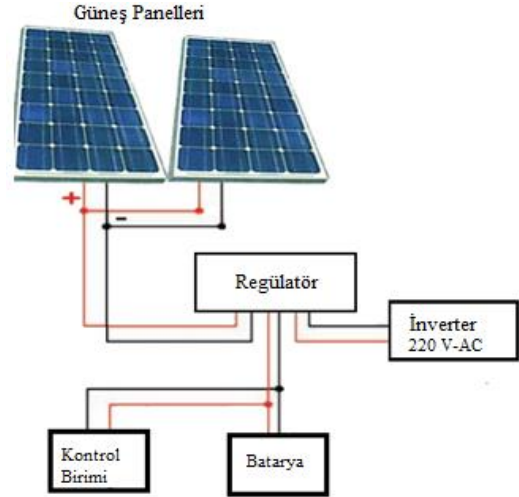
Şekil 1. Sistem Mimarisi (System Architecture)

Çalışmada her biri 5 metre uzunluğunda 5 ayrı lateral (su hattı) kullanılmıştır. 3000 lt' lik su tankından 2 Kw'lık tek fazlı pompalar vasıtası ile alınan su bir havuz içinde dinlendirme ünitesine aktarılmıştır. Aktarılan su, hatlarda tıkanıklığı ortadan kaldırmak amacıyla filtrelenerek damla sulama hatlarına gönderilmiştir. Çalışmada DS 200 nem sensörü kullanılmış olup, mobil bağlantı ve erişim için bir adet Weintek marka CMT-Server (sunucu), bir adet Omron marka CJ2M-CPU-31 PLC (Programlanabilir Lojik Kontrolör) ve bir adet yönlendirici (router) kullanılmıştır. Şekil 2’ de çalışmanın yapıldığı alan gösterilmiştir.



Şekil 2. Çalışmanın yapıldığı alan (Area of work)

Sistemde kullanılan elektrikli cihazlar ve pompalar için ihtiyaç duyulan enerji şebekeden karşılanmamıştır. Enerji ihtiyacını karşılamak için güneş enerjisinden yararlanılmıştır. Bunun için güneş panelleri kurulmuş olup, güneş panellerinden elde edilen enerji ister doğru akım isterse alternatif akım şeklinde kullanılabilir. Kurulan güneş panellerine ait çalışma blok diyagramı Şekil 3’de gösterilmiştir.

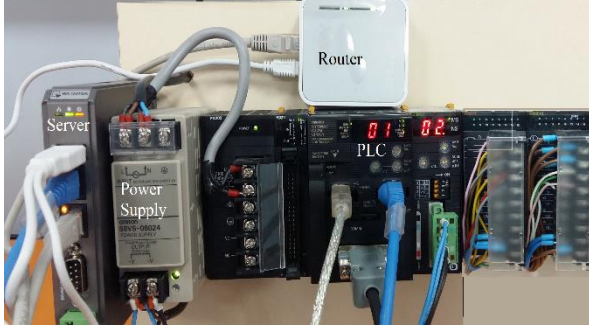


Şekil 3. Güneş Panelleri bağlantı blok diyagramı (Connection diagram of the solar panels)

Tasarlanan otomasyon sistemi için kullanılan donanımsal sistemler bir pano içinde toplanmıştır. Kontrol panosuna ait görünüm Şekil 4’de verilmiştir. Pano PLC olarak adlandırılan cihaz üzerinden giriş ve çıkış birimleri için alanlar bulunmaktadır. Giriş birimleri olarak nem sensörlerinin bağlantıları yapılırken çıkış birimlerinde ise pompa ve vanaların açam kapama tertibatları kontrol

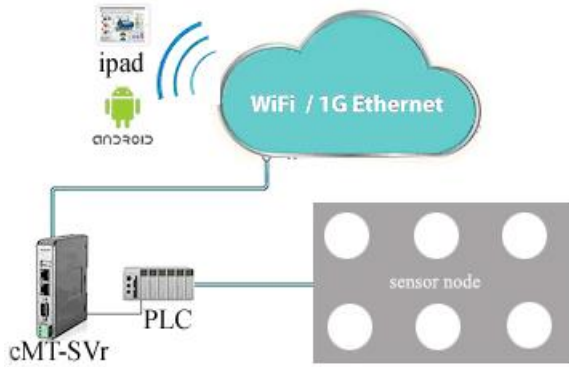


edilmiştir. PLC ve diğer donanımların (Doğru akımda çalışan) enerji ihtiyacını sağlayan power suply (güç kaynağı), mobil aygıtlar için ara yüz sağlayan server ve mobil aygıtların server bağlantısını sağlayan routerdan oluşmaktadır.



Şekil 4. Kontrol Sistemi panosu (Control System Panel)

Geliştirilen sulama sisteminin fonksiyonel çalışma diyagramı Şekil 5' de sunulmuştur.



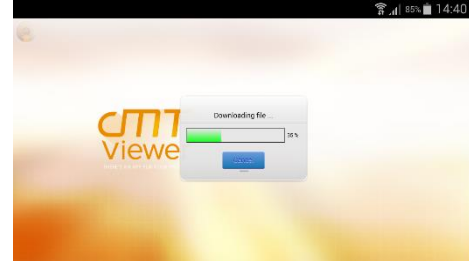
Şekil 5. Sulama Sisteminin Fonksiyonel diyagramı (Functional diagram of irrigation system)

Mobil aygıtlar üzerinden kontrol ve izleme sistemi için IOS/Android kullanan cep telefonlarının mobil veri ya da kablosuz internet aracılığı ile uygulama indirme menüsünden cMT Viewer uygulamasının telefona indirilmesi yeterli olacaktır. İndirilen bu yazılım ile mobil aygıt üzerinden PLC ye doğal olarak kontrolöre bağlanma imkanı sağlanacaktır. Bu durum Şekil 6' da gösterilmiştir. Bu ekran üzerinden bağlanılacak PLC seçilerek geliştirilen yazılıma ulaşma imkanı sağlanacaktır.



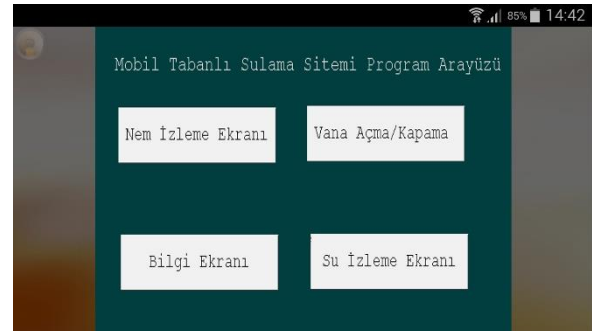
Şekil 6. Uygulama çalışma ekranı (Application work screen)

Seçim ekranından sonra yazılıma ait ekrana otomatik olarak bağlanılabilmektedir. Yazılım yüklemesine ait durum Şekil 7' de gösterilmiştir.



Şekil 7. Yazılım yüklenme ekranı (Software installation screen)

Yazılım yükleme işleminden sonra açılan Şekil 8' deki alandan nem izleme, vana açma/kapama, yazılım hakkında bilgi ya da su izleme alanlarından biri seçilebilmektedir.



Şekil 8. Geliştirilen mobil yazılım ara yüzü (Developed mobile software interface)

### 3. SONUÇ VE TARTIŞMA (RESULT AND DISCUSSION)

Bir bitkinin ihtiyacı olan su miktarının bilinmesi o bitkinin yetiştiği bölgedeki meteorolojik verilerin bilinmesini de gerektirmektedir. Meteorolojik verilerin bilinebilmesi içinde o bölgede istasyonların bulunması zorunludur. Meteoroloji genel müdürlüğünün ülkemizin birçok bölgesinde bu tip istasyonları mevcuttur. Bu istasyonlar sayesinde iklimsel verilere erişerek bu verilere bağlı olarak analizler yapmak mümkündür. Ayrıca Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Organizasyonu bir bitkinin su ihtiyacının meteorolojik verilere bağlı olarak hesaplanmasını da FAO Penman Monteith yöntemini önermektedir [14]. Bu yöntem sayesinde bitki tipine bağlı olarak ihtiyaç duyulan su miktarını hesaplanması mümkün olmaktadır. Bu değerler hesaplanırken iklimsel verilerin güncel olması bitkinin ihtiyaç duyacağı su miktarının belirlenmesinde esas olacaktır.

Bu çalışmada kullanılan bitki tipi elma olarak belirlenmiştir. Buna bağlı olarak bitki katsayısına (kc) bağlı olarak bitki su tüketim değeri  $ET_0$  hesaplanmıştır. İklimsel verilere bağlı olarak hesaplanan  $ET_0$  değeri Çizelge 1' de sunulmuştur.

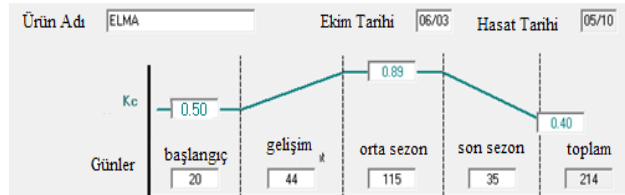
**Çizelge 1.** Çorum/Merkez İklim/ETo verileri

Ay	Min °C	Maks. °C	Nem %	Güneş s	ETo mm/g
Oc.	-4,5	3,9	77	2,5	0,62
Şb.	-3,4	6,1	74	3,6	0,96
Ma.	-0,9	11	68	5,5	1,76
Ni.	3,7	17,3	62	6	2,91
Ma.	7,5	21,9	62	6,7	3,75
Ha.	10,2	25,6	58	9	4,87
Te.	12,4	28,6	54	9,7	5,85
Ağ.	12,4	28,9	54	10	5,67
Ey.	9,1	25	58	9,7	1,15
Ek.	5,1	19,7	63	5,7	2,26
Ka.	1,2	12,9	71	3,5	1,15
Ar.	-2	6,2	78	2,2	0,67
Ort.	4,2	17,3	65	6,2	2,88

Referans bitki olan elma için FAO Penman Monteith metodu ile bitki su tüketim miktarı aşağıdaki formülle hesaplanmıştır [14-15]

$$E_{tc} = k_c * E_{t0}$$

Burada  $k_c$  değeri bitkiden bitkiye değişkenlik gösterir ve bitkinin ihtiyacı olan su tüketiminin referans değeridir.  $k_c$  değeri aynı zamanda bitkinin yetiştirme evresine bağlı olarak değişiklik te göstermektedir. Buna göre bitki yetiştirme evresine bağlı olarak hesaplanan  $k_c$  değeri Şekil 9' da verilmiştir. Buna göre  $k_c$  değeri başlangıçta 0.50, gelişim sürecince 0.50 ile 0.89 arası orta sezon boyunca 0.89, son sezonunda 0.89 ile 0.40 arası olarak hesaplanmıştır. Ürün başlangıç tarihinin 06.03.2015 ürün hasat tarihinin ise 05.10.2015 olduğu görülmektedir. Buna göre toplam 214 günlük bir sulama çizelgesinin oluşturulması gerektiği görülmektedir. Bu 214 sürelik gün içinde ilk 20 günün başlangıç evresi, 44 günün gelişim evresi, 115 günün orta sezon evresi ve 35 günün ise bitkinin son sezon evresi olarak hesaplandığı anlaşılmaktadır. Bu günlük değerler geliştirilen yazılımdaki sulama sistemi çizelgelemenin koşul şartlarını belirlemesi için önemli değerlerdir.

**Şekil 9.** Çorum/Merkez Elma bitkisi  $k_c$  değerleri ve yetiştirme evresi (Çorum / Merkez Apple plant  $k_c$  values and growth phase)

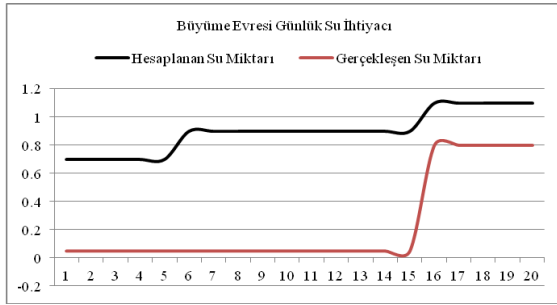
Bitki yetiştirme evresine bağlı olarak elde edilen veriler ışığında elmaya ait başlangıç, gelişim, orta ve son sezonuna ait ihtiyaç duyduğu su ihtiyacı belirlenmiştir. Buna göre bitkinin ihtiyaç duyduğu toplam su miktarı Çizelge 2' de gösterilmiştir. Çizelge 2'de ürün için başlangıç ayı Mart ayı olarak belirlendiği için aylara bağlı olarak bitkinin evresi 1,2 ya da 3 olmakta ayrıca yetiştirme durumuna göre başlangıç, gelişim, orta sezon ve son sezon evreleri de görülmektedir. Elde edilen iklimsel verilere göre bitkinin ihtiyaç duyacağı net günlük su değerleri ortaya çıkmıştır. Bu değerler bitkinin kök kısımlarına yerleştirilen sensörlerden alınan verilere göre kıyaslanacağından sulama sisteminde bitkiye verilecek su miktarının belirlenmesini sağlamaktadır. Çizelge 2' ye göre bitkinin tüm evrelerinde ihtiyaç duyacağı toplam su miktarı 538,5 mm/dec olarak ortaya çıkmıştır.

**Çizelge 2.** Ürünün yetiştirme evresine bağlı su ihtiyacı (Depending on the product's growing need for water phase)

Ay	Evre	Durum	$k_c$	ETc /g	ETc /d	Su İht. mm/d
Mrt.	1	Başl.	0,5	0,74	3,7	0
Mrt.	2	Başl.	0,5	0,88	8,8	0
Mrt.	3	Geliş.	0,52	1,11	12,2	0
Ni.	1	Geliş.	0,61	1,55	15,5	2,3
Ni.	2	Geliş.	0,71	2,08	20,8	6,8
Ni.	3	Geliş.	0,81	2,6	26	10,5
May.	1	Orta	0,91	3,16	31,6	14
May.	2	Orta	0,94	3,52	35,2	15,9
May.	3	Orta	0,94	3,87	42,5	24,6
Haz.	1	Orta	0,94	4,21	42,1	25,4
Haz.	2	Orta	0,94	4,56	45,6	29,7
Haz.	3	Orta	0,94	4,87	48,7	36,2
Te.	1	Orta	0,94	5,24	52,4	44,3
Te.	2	Orta	0,94	5,58	55,8	51,2
Te.	3	Orta	0,94	5,49	60,4	56
Ağ.	1	Orta	0,94	5,44	54,4	50,3
Ağ.	2	Orta	0,94	5,41	54,1	50,9
Ağ.	3	Orta	0,94	4,91	54	49,6
Ey.	1	Son	0,85	3,98	39,8	34
Ey.	2	Son	0,7	2,9	29	22,3
Ey.	3	Son	0,55	1,92	19,2	12,1
Ek.	1	Son	0,43	1,24	6,2	2,5
Toplam					758	538,5

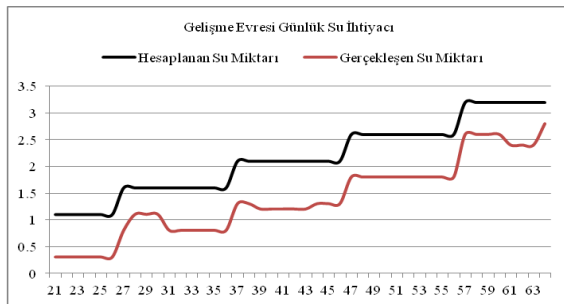
Yapılan otomatik sulama sisteminin temelinde yer alan bitki yetiştirme evresine bağlı değerlere göre ve bunun yanında toprak içindeki nem değerine göre elde edilen sonuçlar bu bölümde açıklanmış ve yorumlanmıştır.

06 Mart 2015-25 Mart 2015 tarihleri arasında 20 günlük tüketim dikkate alındığında büyüme evresi günlük su ihtiyacı belirlenmiş ve toprak nemine bağlı olarak bitkiye verilen su miktarı ölçüldü ve hesaplama yapılmıştır. Şekil 10'a göre hesaplanan değer büyüme evresinde toplam su ihtiyacının 18 mm/day olarak olması gerektiğini gösterirken topraktaki nem oranı da dikkate alındığında gerçekleşen tüketim 4,75 mm/g olarak gerçekleşmiştir.



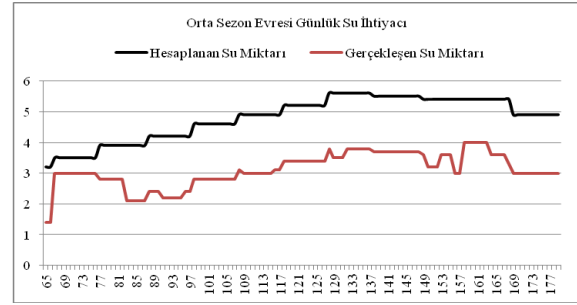
Şekil 10. Büyüme Evresi Günlük Su İhtiyacı Eta (mm/g)  
(Growth Stage Daily Water Needer Eta mm/day)

26 Mart 2015-08 Mayıs 2015 tarihleri arasında 44 günlük tüketim dikkate alındığında gelişme evresi günlük su ihtiyacı belirlenmiş ve toprak nemine bağlı olarak bitkiye verilen su miktarı ölçülmüş bu durum Şekil 11'de sunulmuştur. Buna göre hesaplanan değer, gelişme evresinde toplam su ihtiyacının 95,2 mm/day olarak olması gerektiğini gösterirken topraktaki nem oranı da dikkate alındığında gerçekleşen tüketim 61,6 mm/day olarak ölçülmüştür durum topraktaki nem değerinden kaynaklanmakta olduğu anlaşılmaktadır.



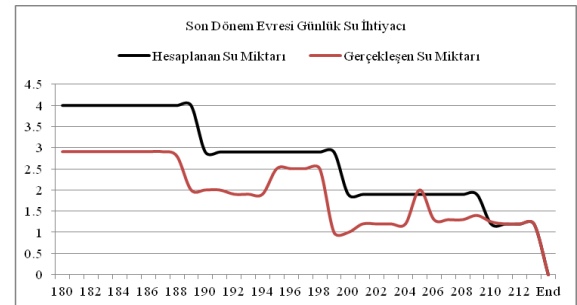
Şekil 11. Gelişme evresi günlük su ihtiyaç grafiği Eta (mm/day) (Daily water demand graph Eta (mm/day))

09 Mayıs 2015-31 Ağustos 2015 tarihleri arasında 115 günlük tüketim dikkate alındığında orta sezon evresi günlük su ihtiyacı belirlenmiş ve toprak nemine bağlı olarak bitkiye verilen su miktarı ölçülmüş bu durum Şekil 12'de sunulmuştur. Buna göre hesaplanan değer, orta sezon evresi için toplam su ihtiyacının 551,7 mm/day olarak olması gerektiğini gösterirken topraktaki nem oranı da dikkate alındığında gerçekleşen tüketim 357,9 mm/day olarak ölçülmüştür.



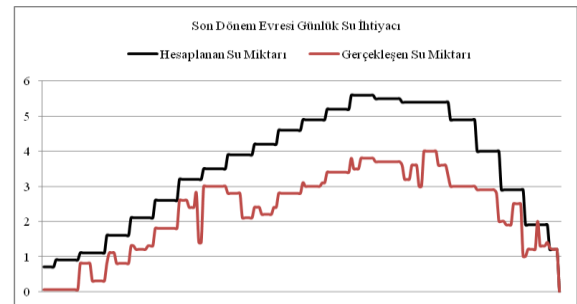
Şekil 12. Orta sezon evresi günlük su ihtiyaç grafiği  
(Mid-seas daytime daily water requirement chart)

01 Eylül 2015-5 Kasım 2015 tarihleri arasında 35 günlük tüketim dikkate alındığında son dönem sezon evresi günlük su ihtiyacı belirlenmiş ve toprak nemine bağlı olarak bitkiye verilen su miktarı ölçülmüş bu durum Şekil 13'de sunulmuştur. Buna göre hesaplanan değer, orta sezon evresi için toplam su ihtiyacının 92,8 mm/day olarak olması gerektiğini gösterirken topraktaki nem oranı da dikkate alındığında gerçekleşen tüketim 66,65 mm/day olarak ölçülmüştür. Hesaplanan ve gerçekleşen değerler kıyaslandığında bu dönemde topraktaki nem seviyesinin yüksek olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 13. Son dönem sezon evresi günlük su ihtiyaç grafiği  
(Daily water demand graph of last season season)

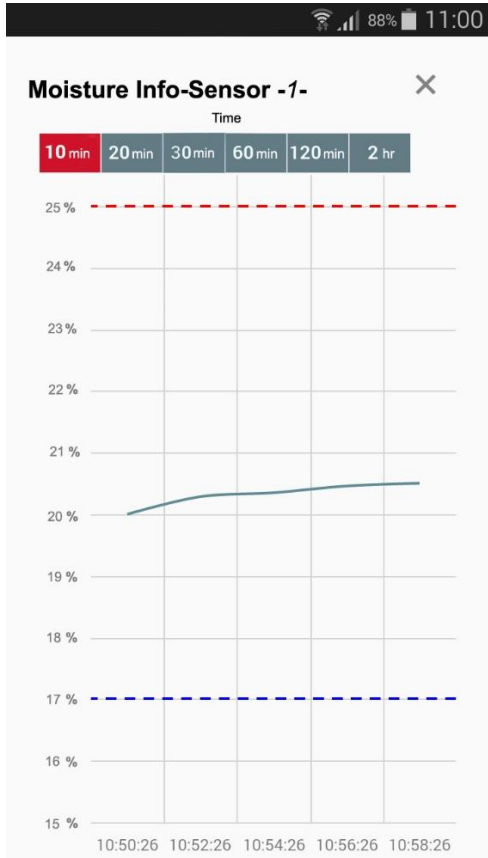
Sonuç olarak, ürünün toplam su ihtiyacı 757,7 mm/day olarak gerçekleşmiştir. Ancak bu değer 490,9' u net sulama olarak değerlendirilirken, 266,8 mm/day'lik bir kısmı yağışlardan karşılanmıştır. Tüm dönemlerin birleştirildiği durum Şekil 14'te sunulmuştur. Şekil 14'e göre bütün evrelerde su tasarrufunun sağlandığı açıkça görülmektedir.



Şekil 14. Tüm dönemlere ait su tüketim grafiği (Water consumption chart for all periods)

Elde edilen su tüketim miktarları dikkate alındığında bitkinin başlangıç evresinde %26,4, gelişme evresinde %64,7, orta sezon evresinde %64,8 ve son dönem evresinde %71,8' lik bir olumlu bir gerçekleşme meydana gelmiştir. Elbette bu durum yağışlardan karşılanmıştır. Ancak geliştirilen yazılım sayesinde oluşturulan çizelgeleme sistemi bitkinin yetiştirme evresine bağlı olarak tüketilen su miktarını referans aldığından klasik sulama sistemlerine oranlar çok daha başarılı ve verimli bir uygulama gerçekleştirilmiştir.

Çalışmanın teknolojik boyutu göz önüne alındığında günümüzün vazgeçilmez cihazları olan akıllı telefonlarla da bütünleşmiş bir sistem olarak ön plana çıkmaktadır. Bu sayede akıllı telefon üzerinden sisteme ait bütün kontroller yapılabildiği gibi izleme sistemi de oluşturulmuştur. Çiftçi tarlaya gitmeksizin uzaktan kontrollü bir şekilde veri analizi yapma imkanına kavuşmuştur. Mobil aygıt üzerinden istenilen herhangi bir bitkiye ait çizelgeleme de oluşturularak diğer bitkiler için de aktif hale getirilebilmektedir. Akıllı telefonların yaygın olarak kullanılıyor olması sistemin kolay kurulum ve kullanılabilirliğini artırmaktadır. Akıllı telefon üzerinden sensör hatlarına ait nem değerleri kolayca görülebilmektedir. Sensör 1'e ait mobil tabanlı izleme sistemi ekran görüntüsü Şekil 15'de gösterilmiştir. Mobil aygıt üzerinden istenilen süreler aralığında nem değerleri elde edilebilmektedir.



Şekil 15. Orta sezon sensör 1 nem ölçme ekran görüntüsü (%) (Mid-season Sensor 1 humidity measurement screen display (%))

#### 4. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışma göstermiştir ki, sulama sistemlerinde topraktaki nem değerinin bilinmesi ile yapılacak olan çalışmalarda su kullanımının verimli olduğu açıkça görülmüştür. Bunun yanı sıra geliştirilen çizelgeleme ile topraktaki su miktarının bitkinin yetiştirme evresine bağlı olarak belirlenmesi de önemli avantajlar sunmuştur. Klasik damlama sulama sistemlerinde toprak nemine bağlı olarak sürekli olarak akan su yerine bitkinin yetiştirme evresi ve toprak içindeki nem durumuna bağlı olarak açma ya da kapama işlemi yapması da bu çalışmanın önemini artırmıştır. Enerji ihtiyacına göre de kurulan güneş panelleri ile bu sorun aşılmıştır.

Çalışmanın mobil aygıtlar üzerinden izlenebilmesi ve kontrol edilebilmesi için bir kontrol panosu oluşturulmuştur. Bu proje, IOS ya da Android tabanlı akıllı telefonlar ile bütünleşik bir sistem olarak ön plana çıkmaktadır.

#### TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENTS)

Yazarlar, bu çalışmayı "Mobil tabanlı hassas sulama sistemi" isimli projeye teknik olarak destekleyen Çorum İl Özel İdaresi'ne teşekkür eder

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- 1) Weng, Q., ed., "Advances in environmental remote sensing: sensors, algorithms, and applications," *CRC Press*, (2011).
- 2) Guochang, Xu, "GPS", *Springer-Verlag Berlin Heidelberg*, (2007).
- 3) Pierce, Francis J., and David C., eds., "GIS applications in Agriculture", *CRC Press*, (2007).
- 4) El-Kader, Sherine M. Abd, and Basma M. Mohammad El-Basioni. "Precision farming solution in Egypt using the wireless sensor network technology", *Egyptian Informatics Journal*, 14(3): 221-233, (2013).
- 5) J. Broeders et al., "Mobile application for impedance-based biomimetic sensor readout", *IEEE Sensors J.*, 13(7): 2659-2665, (2013).
- 6) B.-G. Lee and W.-Y. Chung, "Driver alertness monitoring using fusion of facial features and bio-signals", *IEEE Sensors J.*, 12(7): 2416-2422, (2012).
- 7) Y. Ishigaki, Y. Matsumoto, R. Ichimiya, and K. Tanaka, "Development of mobile radiation monitoring system utilizing smartphone and its field tests in Fukushima", *IEEE Sensors J.*, 13(10): 3520-3526, (2013).
- 8) C. Qin, X. Bao, R. R. Choudhury, and S. Nelakuditi, "TagSense: Leveraging smartphones for automatic image tagging", *IEEE Trans. Mobile Comput.*, 13(1): 61-74, (2014).
- 9) N. J. Car, E. W. Christen, J. W. Hornbuckle, and G. A. Moore, "Using a mobile phone short messaging service (SMS) for irrigation scheduling in Australia—Farmers' participation and utility evaluation", *Comput. Electron. Agricult.*, 84: 132-143, (2012).

- 10) Sumriddetchkajorn, S., Armote S., and Sataporn C., "Mobile device-based digital microscopy for education, healthcare, and agriculture." *ElectricalEngineering/ Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON)*, (2012).
- 11) Dursun, M., and Özden S., "Control of soil moisture with radio frequency in a photovoltaic-powered drip irrigation system", *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 23(2): 447-458, (2015).
- 12) Lajara, R., Jorge A., and José P.S., "A solar energy powered autonomous wireless actuator node for irrigation systems", *Sensors*, 11(1): 329-340, (2010).
- 13) Sudha, M. N., Valarmathi M.L., and Anni S. B., "Energy efficient data transmission in automatic irrigation system using wireless sensor networks", *Computers and Electronics in Agriculture*, 78(2): 215-221, (2011).
- 14) Tahmiscioğlu, M. S., T.C. orman ve su işleri bakanlığı devlet su işleri genel müdürlüğü, Türkiye' de bitki su tüketimi çalışmaları, *Etüt, Planlama ve Tahsisler Dairesi Başkanlığı*, İstanbul, (2015).
- 15) Uytum A., Pekey B., Kalemci, M., Toprak Nem\_ Ölçümleri, *VIII. Ulusal Ölçüm bilim Kongresi*, 1-9, Gebze-Kocaeli, (2013).



# POLİTEKNİK DERGİSİ

## JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://www.politeknik.gazi.edu.tr/index.php/PLT/index>

## Ekolojik yalıtım malzemesi üretiminin analitik hiyerarşi prosesi ile değerlendirilmesi

### *Evaluation of ecological insulation material manufacturing with analytical hierarchy process*

Yazar(lar) (Author(s)): Figen BALO

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz:** Balo F., “Ekolojik yalıtım malzemesi üretiminin analitik hiyerarşi prosesi ile değerlendirilmesi”, *Politeknik Dergisi*, 20(3): 733-742, (2017).

**To cite this article:** Balo F., “Ekolojik yalıtım malzemesi üretiminin analitik hiyerarşi prosesi ile değerlendirilmesi”, *Journal of Polytechnic*, 20(3): 733-742, (2017).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://www.politeknik.gazi.edu.tr/index.php/PLT/issue/archive>

**DOI:** [10.2339/politeknik.338918](https://doi.org/10.2339/politeknik.338918)



# Ekolojik Yalıtım Malzemesi Üretimini Analitik Hiyerarşi Prosesi ile Değerlendirilmesi

Figen BALO\*

Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Elazığ/Türkiye

(Geliş/Received : 16.02.2017 ; Kabul/Accepted : 31.05.2017)

## ÖZ

Son yıllarda fosil kaynakların hızla tükenmesine bağlı olarak, enerji tasarrufu açısından en büyük kayıpların söz konusu olduğu yapı sektöründe enerji verimliliğini sağlamak amacıyla yalıtım malzemelerinin kullanımı gitgide artmaktadır. Yalıtım malzemeleri enerji verimliliği açısından çok olumlu katkılar sağlasa da gerek üretimi gerekse kullanımı esnasında ve hatta kullanımı sonrasında çevresel açıdan olumsuz etkileri de mevcuttur. Bu yüzden yalıtım malzemelerinin teknik özelliklerinin yanı sıra, özellikle üretimi esnasında harcanan enerji ile birlikte, üretiminde kullanılan malzemelerin çevreye olan zararlı etkileri de değerlendirilmelidir. Çünkü yalıtımın bir amacı da konfor şartlarını daha az enerji kullanarak sağlamak ve bununla beraber çevreye atılan emisyonları azaltarak ekolojik dengenin korunmasına destek olmaktadır.

Bu çalışmada yapı sektöründe yaygın olarak kullanılan yalıtım malzemelerinin üretimleri sırasında ortaya çıkan ekolojik açıdan olumsuz etkiler kullanımı ömrü de dikkate alınarak çok kriterli karar verme tekniklerinden biri olan Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ile analiz edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Yalıtım malzemesi, ekoloji, AHP, enerji, çevresel etki.

## Evaluation of Ecological Insulation Material Manufacturing with Analytical Hierarchy Process

### ABSTRACT

Utilization of insulation materials is ever increasing recently in order to achieve energy efficiency in the building industry where significant losses occur in terms of energy savings in relation with rapid consumption of fossil resources recently. Although insulation materials provide significant value in terms of energy efficiency, negative effects exist while they are being manufactured, used, and even after they are being used. Thus, along with the technical characteristics of the insulation materials, the energy consumption during the manufacturing process and the negative effects of the materials used in their production should also be evaluated. Because one of the aims of insulation is providing conformity while using less energy and reducing emission meanwhile, thus supporting the efforts of maintaining ecological balance.

In this study, negative ecological effects that occur during the manufacturing process of insulation materials being widely used in construction industry are analyzed with Analytical Hierarchy Process (AHP) which one of the multi-criteria decision making methods.

**Keywords:** Insulation materials, ecology, AHP, energy, environmental impact.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Dünyada yıllık olarak yaklaşık 12.5 milyar TEP (Tona Eşdeğer Petrol) enerji tüketiminin 3.5 milyar TEP kadarının soğutma ve ısıtma amaçlı kullanıldığı bilinmektedir. Yapılan araştırmalar iyi bir yalıtım ile yaklaşık 3 milyar TEP/yıl civarında bir tasarrufun mümkün olduğunu göstermektedir [1]. Yalıtım malzemeleri genellikle enerji tasarrufuna olan katkısıyla dikkat çekmektedir. Bu nedenle kullanıcılar tarafından yalıtım malzemesi seçilirken genellikle elde edilen enerji kazancı, geri ödeme süresi ve ekonomik olarak maliyeti araştırılarak bir tercih yapılmaktadır. Oysa yalıtım malzemeleri olumlu katkılarıyla sürdürülebilir bir geleceğin sağlanması açısından da pozitif yönde insanoğluna ciddi destek sağlamaktadır. Dünya'nın en

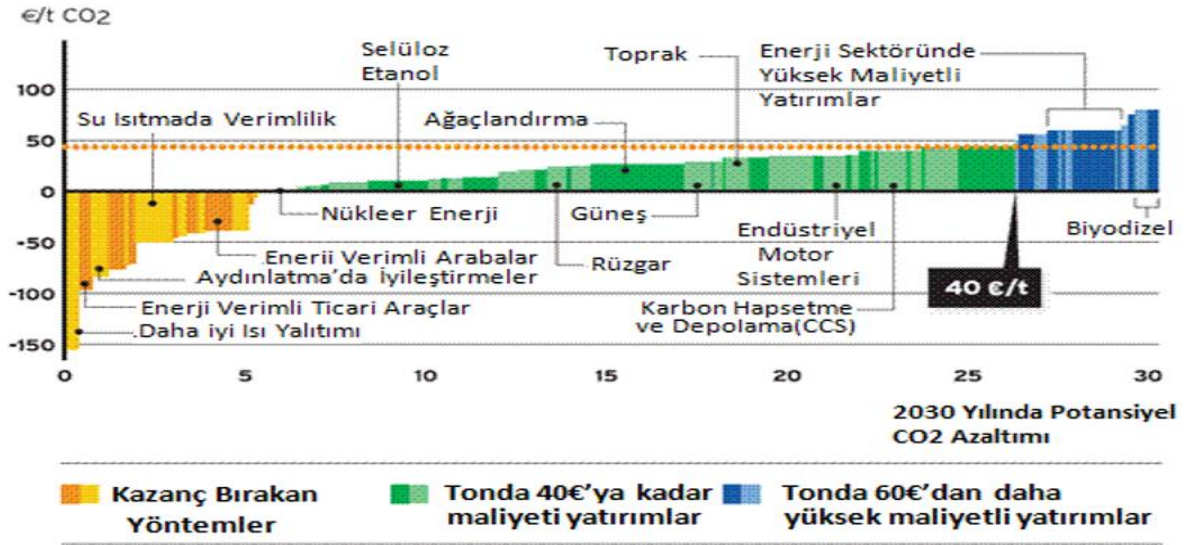
önemli enerji şirketlerinden Vattenfall ve McKinsey birlikte yürüttükleri araştırmanın neticesinde özellikle CO<sub>2</sub> emisyonunun azaltılmasının 27 farklı yöntem ile gerçekleştirilebileceğini ve bu yöntemlerden her birinin tek başına kullanımı ile elde edilebilecek azalma miktarlarını belirlemiştir. Yapılan bu araştırma sonucunda CO<sub>2</sub> emisyonunu azaltmada ısı yalıtımı 1.7 Milyar Ton/yıl ile en iyi yöntemlerden biri olarak tespit edilmiştir. Ayrıca ton başına 150€ kazanç elde edilmesi bakımından ele alındığında Dünya ekonomisine yüksek katkı sağlayan yöntemlerden biri olduğu da görülmüştür [2],[3].

Ancak yalıtım malzemelerinin kullanımıyla sağlanan bu olumlu etkiler, bu tür malzemelerin üretimi esnasında ortaya çıkabilecek olumsuz etkilerle birlikte değerlendirilmek zorundadır. Çünkü Dünya için gelecekte en büyük tehditlerden biri küresel iklim değişikliğidir. Bu tehlikeleri azaltmak veya yok etmek ancak ekolojik açıdan zararlı emisyonların azaltılmasıyla

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: fbalo@firat.edu.tr

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/politeknik.338918



Şekil 1. CO<sub>2</sub> emisyonlarını azaltma amacıyla kullanılan yöntemlerin marjinal maliyetleri [2] (The marginal cost of the method used in order to reduce CO<sub>2</sub> emissions)

mümkün olacaktır. Son yıllarda yalıtım malzemelerinin Montreal ve Kyoto protokollerine göre üretimi ve kullanımı açısından çevreye uyumlu olması birçok ülke tarafından zorunlu hale getirilmiştir [4]. Bir yalıtım malzemesi üretilirken, mineral kaynak tüketimi, kullanılan su, stratosferik ozon azaltma oranı, çevresel zehirlilik, insanlardan kaynaklanan zehirlilik, nükleer atık, fosil yakıt kullanımı, çöp depolanması, asidifikasyon miktarı, ötrofikasyon oranı gibi ekolojik açıdan istenmeyen birçok etmen dikkate alınmak zorundadır. Ancak yalıtım malzemelerinin üretimi aşamasında kullanılan ve daha sonrada bünyelerinde bulunan Formaldehid, Hidrokloroflorokarbon (HCFC) ve Kloroflorokarbon (CFC) gibi maddeler hem insan sağlığı hem de çevre açısından en zararlı etkilere sahiptir. Daha önce CFC kullanılarak üretimi yapılan birçok ısı yalıtım malzemesi, yoğun zararlı etkilerinin farkına varılmasıyla son 20 yıldan beri CFC'ye göre daha az zararlı HCFC kullanılarak üretilmeye başlanmıştır. Ancak HCFC de ozon tabakasına zarar veren ve küresel ısınmaya katkıda bulunan bir kimyasaldır. Aynı şekilde yalıtım malzemesi üretiminde kullanılan cam yünü, lif ve sentetik mineral gibi maddelere temas edilmesinin bile sağlık için olumsuz etkilere sahip olduğu araştırmalarda belirtilmiştir [5]. Doğal içerikli maddelerle üretilen yalıtım malzemeleri daima çevresel bakımdan daha az zararlıdır. Ama doğal olmayan maddelerle yapılan ısı yalıtım malzemesi üretiminde; yalıtım malzemelerinin önemli üretim özellikleri, üretimde kullanılan malzemelerin farklı çevresel etkileri ve yalıtım malzemesinin kullanım ömrü hep birlikte değerlendirilmelidir. Değerlendirmelerle elde edilen sonuçlara göre karar vererek bir yapı için kullanılacak ısı yalıtım malzemesini belirlemek ekolojiye ve insan sağlığına destek olacaktır. Isı yalıtım malzemesi üretimi için kullanılan bazı maddeler, yüksek oranda geri dönüştürülebilir. Bu tarz maddelerle üretilen ısı yalıtım malzemeleri, daha az tehlikeli olarak değerlendirildiğin-

den ekolojik açıdan analiz yapan bu çalışmada dikkate alınmamıştır. Mesela; taşıyıcı içerisinde yaklaşık %75 oranında geri dönüştürülen çürük, camyününde yaklaşık %25 oranında geri dönüştürülen cam, selüloz içinde yaklaşık %75 oranında kullanılmış kağıt ve yine perlitle üretilen kompozit yalıtım levhalarında yaklaşık %23 oranında kullanılmış kağıt kullanımı söz konusudur [5],[6]. Yalıtım malzemelerinin ömrü süresince kirleticiliği de düşünüldüğünde geri kazanımlı zararsız maddelerden üretilmeyen ve fosil kökenli maddelerden üretilen yalıtım malzemelerinin içeriğinde kullanılan maddelerin ve etkilerinin de araştırılması önemlidir. Bu tip maddelere ekolojik açıdan göz atacak olursak en önemli ölçüde zarar veren maddeler fosil yakıtlardan üretilen etilen polistren (stiren monomerinin polimerizesi), poliyol, polimerik metilen diizosiyanat, polisosiyanurat ve poliüretandır. Polistren, püskürtülmüş (extruded) veya şişirilmiş (expanded) olarak EPS (Genleştirilmiş Polistiren) ve XPS üretiminde kullanılır. Ama sadece kullanılan hammaddeler değil ısı yalıtım malzemesi üretiminde kullanılan farklı maddelerde ekoloji açısından önemlidir. Örneğin, EPS üretilirken kullanılan hammadde içine eklenen porozitelendirme (şişirme) ajanı, buhar yardımıyla belli bir kalıp içerisinde genleştirilir bu sayede hammadde kalıbın şeklini alır. Bu porozitelendirme ajanı EPS için genellikle Pentan gazı olup, ozon tabakasına olumsuz yönde çok büyük oranda zararı bulunmamaktadır. Pentan gazı, atmosfer şartlarında sekiz günde parçalanmaktadır. EPS'nin yaklaşık %1-2'si katı madde, % 98-99 'u havadan meydana gelir. Ama EPS'nin ana hammaddesi polistren çevre ve insan sağlığı açısından zararlıdır. Çünkü polistrenin üretimi için kullanılan stiren canlılarda tür dönüştürücü, zehirli, kanser yapıcı ve ekolojik açıdan oldukça zararlı bir maddedir. Yine EPS üretiminde kullanılan benzen maddesi de çevre ve insan sağlığı için zararlıdır [4], [7]. Poliyol, polimerik metilen diizosiyanat ve polisosiyanurat gibi maddeler poliüretan köpüğün

temel bileşenlerinden biri olan izosiyanatın farklı izosiyonat molekülleri ile reaksiyonu sonucu oluşan yeni makro moleküler yapılarıdır. Bu nedenle, bu çalışmada temel madde olarak poliüretan ile üretilmiş ısı yalıtım maddeleri dikkate alınmıştır. Çünkü ekolojik açıdan, poliüretanla elde edilen sonuçlar bahsedilen maddelerle elde edilen sonuçlarla karşılaştırıldığında birbirine yakın değerlere sahiptir [8], [9]. Poliüretan, izosiyanat ve polioliün kimyasal olarak tepkimeye girmesi ile elde edilir. Poliüretan köpüğü farklı katkı maddeleri ile istenilen özelliklerde elde edilebilir. Bu katkı maddeleri farklı katalizörler, renklendiriciler, alev geciktiriciler, yüzey aktifleştirici maddeler ve şişirici gazlar gibi birçok özellikte maddeyi içerir. Bu maddelerin ekolojik olabilen türleri olduğu gibi çevre ve insan sağlığına oldukça zararlı olanları da mevcuttur. Üretici şirketin üretim için kullandığı maddeler bu çerçeveden bakıldığında ısı yalıtım malzemesinin ekolojik açıdan etkilerini küçük veya büyük çaplı olarak değiştirebilir. Örneğin, Poliüretan köpük alan bir kullanıcının aldığı iki parçalı paket bir polioli reçine ve bir izosiyanatdan oluşur. Ama içerisindeki porozitelendirici bir başka deyişle şişirici ajanın yapısına göre söz konusu yalıtım ekolojik olarak daha çok veya daha az zararlı olabilir [10]. Günümüzde poliüretan köpüğün porozitelendirilmesini sağlayan şişirici (porozitelendirici) başlıca ajanlar; izosiyanatın asetonla reaksiyona girmesiyle CO<sub>2</sub> oluşturan porozitelendirici en zararsız ajan olan saf su, su, sıvı karbondioksit (CO<sub>2</sub>), hidrokarbonlar (pentane), hidroflorokarbonlar (HFC), hidrokloroflorokarbonlar (HCFC)'dir. Porozitelendirme amaçlı kullanılan birçok ajan, yüksek konsantrasyonlarında havadan daha ağır olup, gerekli O<sub>2</sub>'nin yerini alabilir. Bu maddelerin her birinin kendine özgü zararları mevcuttur. Örneğin, hidrokarbonlar yanıcıdır, HCFC ve HFC'ler kendi başına cilt ve göz için tahriş edicidir ve çevre açısından zararlıdır [3]. Yalıtımda geri dönüşümlü malzeme kullanımlarına baktığımızda en ekolojik malzemenin selüloz olduğu görülmektedir. %70 oranında kullanılmış kağıt, bağlayıcı ve yangın önleyici maddelerden üretilen selülozun, R değerinin yüksek, az tozlu ve uzun ömürlü bir yalıtım malzemesi olması nedeniyle son dönemlerde çatı yalıtımı için stabilize haliyle kullanılması yaygınlaşmıştır. Mineral yün piyasada yaklaşık %80 taş yünü ve %20 cüruf olmak üzere iki şekilde üretilerek kullanılır. Taş yünü doğal kayalardan elde edilen bir malzemedir. Cüruf ise demir üretiminden çıkan atık bir üründür. Bu malzemelerin üretimleri esnasındaki aşamalar ekolojik açıdan kıyaslandığında, birçok malzemeye göre daha olumlu özellikleri olduğu bilinmektedir. Fiber glass (cam elyafı), silis kumunun içine değişik katkı malzemeleri ekleyerek, farklı özelliklerde ve çok ince biçimli cam telcikleri şeklinde üretilmektedir. İçeriğinde genel olarak kireçtaşı, alüminyum, borik asit, magnezyum, kolemanit ve silisli kum bulunmaktadır. Bu malzemenin ekolojiye olan etkileri diğer yalıtım malzemeleriyle kıyaslandığında, üretimi sırasında içerdiği maddeler sebebiyle bazı malzeme üretimlerinde beklenenden daha olumlu etkiler

göstermiştir [5]-[8]. Yalıtım malzemelerinin içeriklerinde en yoğun kullanılan maddelerin yanında içeriklerine belli amaçlar için (yanmayı önleme, akustik etki, mukavemetlendirme vb.) eklenen birçok hammadde de yalıtım malzemelerinin üretimleri sırasında çevreyi kirletici etkilere sebep olabilmektedir. Örneğin, selülozik yalıtım malzemeleri ve cam yünü üretiminde yanmazlık özelliğini aktive etmek için bor oksit kullanılır. Bunun gibi kullanılan her maddenin diğer maddelerle kimyasal olarak birleştiğinde ekolojiye farklı etkilerinin olabileceği açıktır.

Yine son yıllarda çevresel açıdan daha olumlu etkilere sahip olması sebebiyle, geri dönüşümlü içeriğe sahip ısı yalıtım malzemelerin üretimi, düzenlenen yasalarla bazı ülkeler tarafından teşvik edilmektedir ve bu tip üretim yapan işletmelere belli oranda devlet desteği verilmektedir. Bu tür teşvik kapsamına giren yalıtım malzemesi üretiminde, daha fazla doğal malzeme kullanılması, katı atıkların kirletici değil üretim maddesi konumuna geçirilmesi ve malzeme üretimi sırasında nispeten daha az enerji kullanılması dikkate alınmaktadır. Örneğin, cam yünü üreten firmalar yaklaşık %8 endüstriyel atık cam ve %17 kullanılmış cam kullanabilmektedir. Dolayısıyla atık cam %1 oranında kullanılıyorsa kum kullanılması durumunda gereken enerjiden %1 daha az enerji kullanılmış olacaktır. Özellikle yalıtım malzemesinin üretiminde kimyasalların yoğun kullanımını azaltmaya yönelik atık kullanımı yada daha az zararlı kimyasalların kullanımı ekolojik açıdan daha fazla önem arz etmektedir. Örneğin cam yünü üretiminde lifleri bir arada tutmak için kullanılan fenol formaldehit ekolojik olarak zararlı bir maddedir. Ama bu malzeme klor türevli bir maddeyle üretildiğinde ozon tabakasına olan zararı çok daha büyüktür [6]-[9].

Gerek atık-doğal maddelerle gerekse fosil kaynaklarla üretilen yalıtım malzemelerinin çevresel etkileri konusunda birçok literatür çalışması mevcuttur. Farklı duvar tiplerine farklı yalıtım malzemelerinin optimum kalınlığında kullanılması durumunda bölgesel olarak elde edilen enerji kazançları, kullanılan enerji kaynağının tipine göre çevreye salınan CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> gibi sera gazlarının miktarı ve yalıtım kullanılması durumunda bu emisyonların oranlarında sağlanabilecek azalma dolayısıyla küresel ısınmanın önlenmesi konusunda bu yalıtım malzemelerinin etkinliği, yalıtıma yapılan harcamanın geri ödeme süreleri konusunda birçok araştırma yapılmıştır [11]-[14]. Shrestha ve arkadaşları bina yalıtım malzemelerinin çevresel etkileri ve enerji kullanımındaki pozitif etkileri üzerine çalışmıştır [15]. Fischer ve arkadaşları ile Kosny ve arkadaşları köpük yalıtım malzemelerinin ömrü süresince elde edilen enerji kazancı ve sera gazı emisyonlarında elde edilen azalmayı dolayısıyla küresel ısınmayı önlemeye ne kadar katkı sağlayabileceği konusunda çalışmışlardır. Bu çalışmalarda üretim, taşıma ve atık etkileri toplu olarak değerlendirilerek çalışma sonuçları irdelenmiştir [16], [17]. Pargana ve arkadaşları binalarda kullanılan farklı yapı yalıtım malzemelerinin (genleştirilmiş polistren, poliüretan, genleştirilmiş mantar, genleştirilmiş killi hafif

agregalar) çevresel olarak ömürlerini kıyaslamalı olarak değerlendirmiştir. Her yalıtım malzemesinin çevresel etkisini kullanım açısından kıyaslamışlardır [18]. Bribián ve arkadaşları farklı yapı malzemelerinin ömrünü ve çevresel etkilerini ve bu malzemelerin daha eco-verimli olması için üretimlerinde yapılabilecek düzenlemeleri araştırmıştır. Kullanılabilecek geri dönüştürülmüş malzemeler ve eco verimli malzemeler ile elde edilebilecek kazanımları ifade etmişlerdir [19]. Tetey ve arkadaşları çok katlı binalarda kullanılan farklı yalıtım malzemelerinin üretimi esnasında kullanılan farklı enerji kaynakları ile sarf edilen enerji miktarı ve CO<sub>2</sub> emisyonu miktarını araştırmışlardır [20]. Literatür araştırmalarından da görüldüğü gibi fosil enerji kaynaklarının azalması ile birlikte kitlesel enerji yani malzeme taşınması ve üretilmesi için kullanılan enerjinin azaltılması önem arz etmektedir. Bu amaçla yalıtım malzemelerinin teknik özellikleri, atık özellikleri ve kullanım ömrü yanında kitlesel enerjisi de değerlendirilerek yapılan yalıtım malzemesi seçimiyle daha ekolojik ve az enerji harcayarak üretilen malzemelerin kullanılması gelecek nesillere daha az tüketilmiş enerji kaynaklarıyla birlikte daha ekolojik bir çevre bırakmamızı sağlayacaktır.

Bu amaçla yapılan çalışmada, ekolojik olarak belirlenmiş altı bağımsız kriter eşliğinde çevresel etkiler açısından en sıkıntılı ve en yoğun kullanılan dokuz yalıtım malzemesi çok kriterli karar verme tekniklerinden AHP ile analiz edilmiştir. Sonuç olarak kitlesel enerji, teknik özellikler, kullanım ömrü ve çevreye atılan zararlı atıklar gibi özellikleri birlikte değerlendirmek suretiyle ekolojik olarak en iyi yalıtım malzemesi tespit edilmiştir.

## 2. AHP METODU(AHP METHOD)

AHP, Saaty tarafından geliştirilmiş bir model olup çok kriterli karar verme problemleri için çözümleme yapmak amacıyla kullanılan bir metottur. Genel olarak karar verme için bir hiyerarşinin oluşturulması gerekir. AHP, kararı etkileyen her bir faktör açısından belirlenen karar noktalarının belli bir yüzde ile dağılımlarını veren tahminleme ve karar verme yöntemidir. Belirlenen karar hiyerarşisi yardımıyla, önceden tanımlanmış seçeneklerle oluşturulan karşılaştırma skalası sayesinde, hem kararı etkileyen belli faktörler hem de söz konusu faktörlere göre karar noktalarının öncelikli olarak önem değerlerine göre, birebir karşılaştırma yapılmasına dayanır. Sonuç olarak önem farklılıkları yardımıyla, karar noktaları temel alınarak yüzde dağılım şeklinde dönüşüm yapılır. Kısaca AHP metodu 4 aşamadan oluşur. Öncelikle hiyerarşi modeli oluşturulur. Daha sonra ikili karşılaştırmalar şeklinde tercih matrisleri oluşturulur, buna göre üstünlükler belirlenir, en son sentez yani bütünlleştirme yapılarak sonuç belirlenir [21].

## 3. EKOLOJİK AÇIDAN YALITIM MALZEMESİ SEÇİMİ (INSULATION MATERIAL SELECTION IN TERMS OF ECOLOGICAL)

Yalıtım malzemelerinin çevresel etkileri oldukça karmaşık olduğundan ekolojik açıdan en uygun yalıtım

malzemesinin seçiminde kriterlerin birbirine göre herhangi bir analiz kullanmadan değerlendirilmesi zordur. Bu çalışmada AHP tekniğinin kullanılmış olmasının nedeni, kullandığı sistematik yaklaşımla ana problemi daha küçük ve basit alt problemlere bölmek suretiyle karar vericilere karmaşık karar verme problemlerini analiz etme olanağını sunmasıdır. Bu yaklaşımla çok kriterli karar verme problemleri çözülebilmektedir. Ekolojik açıdan en uygun üretilen yalıtım malzemesinin belirlenmesinde birden fazla kriterin göz önüne alınması gerekli olduğundan AHP tekniği ile tüm bu kriterleri değerlendirerek en uygun yalıtım malzemesinin seçilmesi amacına yönelik gerekli hesaplamalar aşağıda sunulmaktadır. Bu çalışmanın literatüre katkısı, belirlenen amaca yönelik olarak öncelikle ilgili kriter listesinin ve hiyerarşisinin oluşturulmuş olması, ardından bu kriterlerin karşılaştırmalı olarak önceliklerinin belirlenmiş olmasıdır. AHP tekniği kapsamında bu öncelikler uzman görüşlerine başvurularak belirlenmiştir.

Öncelikle yalıtım malzemelerinin ekolojik etkilerini yansıtan kriterler belirlenmiştir. Bu kriterler aynı kategoride değerlendirilebileceğinden ana ve alt kriterler oluşturulmasına gerek duyulmamıştır. Bu açıdan kriter hiyerarşisinde alt-kriter bulunmamaktadır. Çalışma kapsamında dokuz adet yalıtım malzemesi karşılaştırılmıştır.

### 3.1. Ekolojik Yalıtım Malzemeleri Seçim Kriterleri (Ecological Insulation Material Selection Criteria)

AHP yöntemi alternatiflerin, kriterler bazında değerlendirilmesine dayanan, hiyerarşik yapı bir çözüm metodolojisidir. Bu hiyerarşik yapı, amaç, kriter ve alternatiflerden oluşmaktadır. Bu çalışmada ekolojik açıdan en uygun yalıtım malzemesinin seçilmesi amaç olarak belirlenmiştir. Bu amaç doğrultusunda belirlenen kriter ve alternatifler aşağıda ifade edilmiştir.

Çalışma içerisinde ele alınan kriterler:

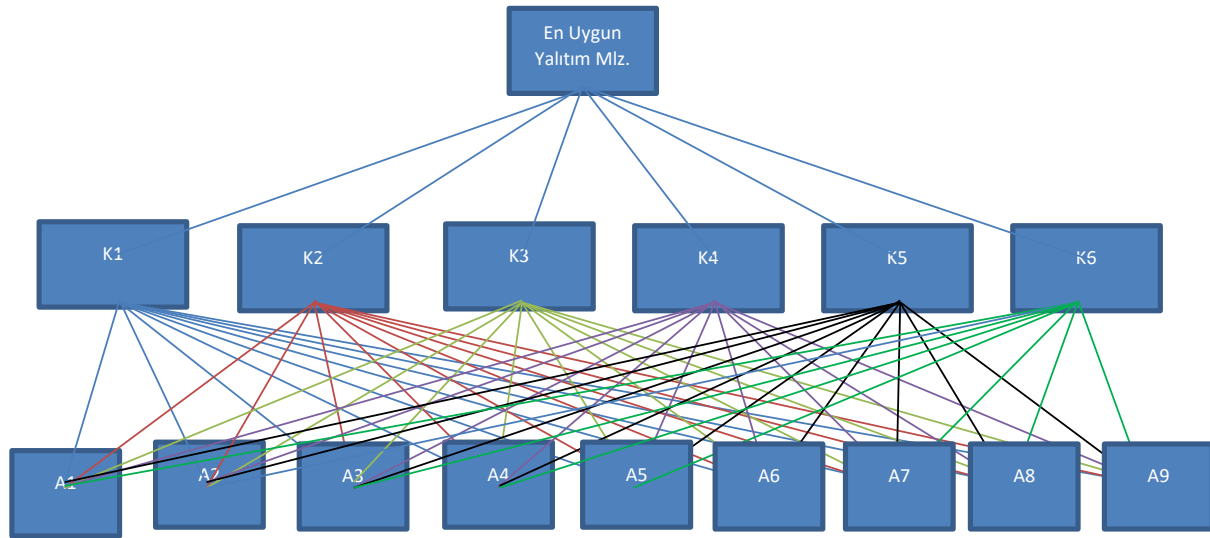
- R değeri (K1)
- Yoğunluk (K2)
- Üretim Enerjisi (K3)
- Üretilen karbon (K4)
- Porozite (K5)
- Ömür (K6)

Bir sistem için ısı yalıtımı yapılırken esas amaç sistemin ısı kayıplarını önlemektir. Bu nedenle sistem için seçilen ısı yalıtım malzemesinin, sistemin bu kayıplarına karşı direnci önemlidir. Bu amaçla ısı yalıtım malzemesinin ısı direnci yani R (m<sup>2</sup> K/W) değeri hem ısı iletkenlik hem de kalınlık değerlerini hesaba katarak malzemenin sağlayabileceği ısı yalıtımını ifade eden kriterlerden biri olarak seçilmiştir. İkinci kriter olarak ısı yalıtım malzemesinin yoğunluğu kullanılmıştır. Kullanım yeri ve fiziksel ölçüm değerleri göz önüne alınarak ısı yalıtım malzemesinin farklı yoğunluklarda üretilebilmesi sağlanabilmektedir. Genel olarak bir ısı yalıtım malzemesinin sisteme kütle olarak olumsuz yük getirmemesi istenmektedir. Düşük yoğunluğa sahip malzemelerin en

önemli avantajlarından biri de bina içerisinde ortaya çıkan atık su buharının dış ortama geçişine destek olmasıdır. Ancak yüke maruz kalmayan alanlarda arzu edilen düşük yoğunluklu ısı yalıtım malzemeleri yerine, şap altına uygulanacak ısı yalıtım malzemelerinde yoğunluğu daha yüksek malzemeler tercih edilmektedir. Bu sayede malzeme kalınlığının zaman içerisinde azalması önlenmektedir. Üretim sırasında harcanan enerji üçüncü kriter olarak kullanılmıştır. Fosil enerji kaynaklarının kullanılmasıyla üretilen yalıtım malzemesi için harcanan enerjinin miktarı önemlidir. Yalıtımla sağlanmak istenen enerji tasarrufunun yanında üretimi için harcanan enerjinin miktarı düşünülerek bu parametre kriterlere dahil edilmiştir. Diğer bir kriter olarak üretilen karbon miktarı

Çalışma içerisinde ele alınan alternatifler:

- Selüloz (yoğun-paketlenmiş) (A1)
- Fiberglass (A2)
- Rijit mineral yün (A3)
- Poliizosiyenürat (A4)
- Spray polyüretan köpük (hidroflorokarb) (A5)
- Spray polyüretan köpük (su ile) (A6)
- Spray polyüretan köpük (saf su ile) (A7)
- EPS (A8)
- XPS (A9)



Şekil 2. Kriter ve alternatiflere ait hiyerarşik model (Hierarchical model of criteria and alternatives)

değerlendirilmiştir. Bu parametre aynı fosil enerji kaynağının kullanılması ile çıkan emisyonları ve yalıtım malzemesinin üretimi esnasında kullanılan ham maddelerin kimyasal reaksiyona girmesiyle ortaya çıkan yaklaşık emisyon miktarını kapsamaktadır. Ekolojik açıdan çevreye salınan emisyonlar hava kirliliğine sebep olan önemli etkenlerden biridir. Beşinci kriter olarak ele alınan porozite yani boşluk oranı arttıkça ısı iletkenlik azalır. Porozite miktarı ve ısı iletim katsayısı arasındaki bu ilişki, boşlukların üretilmesinde kullanılan gazın türüne göre de değişmektedir. Mesela hidrofloro karbonla veya suyla üretilen poliüretan köpük malzemelerin ısı iletim katsayısı değerleri birbirinden oldukça farklıdır. Poroziteli malzemelerde sürekli fazı meydana getiren maddenin kimyasal bileşimi, amorf veya kristal yapıya olması, serbest elektron bulunması, ısı iletimlik değerini de etkiler. Analize dahil edilen son kriter malzeme ömrüdür. Kısa ömürlü ısı yalıtım malzemelerinin çevreye atık olarak dönme süresinde kısa olacağından çevreyi negatif yönde etkileyecektir. Bu nedenle üretilen yalıtım malzemesinin ömrü; malzeme üretim yöntemi, üretimde kullanılan ham malzemelerle yakından alakalıdır.

Bu çalışmada, alternatif olarak ısı yalıtımı amacıyla yapı sektöründe en fazla kullanılan ve üretimi en çok yapılan malzemeler tercih edilmiştir. Belirlenmiş olan alternatif ve kriterler doğrultusunda oluşan hiyerarşik yapı şekil 2'de ifade edilmiştir.

AHP yöntemi kapsamında ilk adım, ikili karşılaştırma matrisinin belirlenmesi ve buna dayanarak kriter önceliklerinin belirlenmesidir. Yapılan uygulama çalışması için ikili karşılaştırma matrisi Çizelge 1'de ifade edilmiştir. Bu değerleri Expert Choice programında kullanarak kriter ağırlıkları elde edilmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken noktalardan biri, matrisin tutarlılık oranının belirlenmesidir. Yapılan analiz çalışması sonucunda matrisin tutarlılığı 0.08 olarak tespit edilmiştir. Bu değer 0.1 den küçük olduğu için matris tutarlı olarak kabul edilmektedir.

**Çizelge 2.** Karar matrisi. (Decision matrix)

	R Değeri	Yoğunluk	Üretim Enerjisi	Üretilen Karbon	Porozite	Ömür
R Değeri		3	5	5	7	9
Yoğunluk			3	3	3	7
Üretim Enerjisi				3	5	9
Üretilen Karbon					3	5
Porozite						3
Ömür						

Çizelge 2 deki karar matrisinden hareketle kriterlerin öncelikleri ise aşağıdaki şekilde belirlenmiştir.

- R değeri = 0.452
- Yoğunluk = 0.222
- Üretim Enerjisi = 0.163
- Üretilen karbon = 0.089
- Porozite = 0.05
- Ömür = 0.024

Kriter ağırlıklarını belirledikten sonra, kriter temelinde alternatiflerin değerlendirilmesi gerekmektedir. Her bir kriter temelinde, alternatiflerin değerlendirilmesi aşağıdaki Çizelgelarda ifade edilmiş ve her bir Çizelgenun tutarlığı Çizelge 3’de belirtilmiştir.

**Çizelge 3.** Tutarlılık oranları (Consistency rates)

Çizelge	Tutarlılık
Çizelge 4	0.09
Çizelge 5	0.08
Çizelge 6	0.04
Çizelge 7	0.03

Priorities with respect to:  
Goal: En uygun yalıtım malzemesi

**Şekil 3.** Kriter ağırlıkları için Expert Choice ekran çıktısı (Expert Choice screen output for criterial weights)**Çizelge 4.** “R değeri”, kriter temelinde alternatif matrisi (Alternative matrix on the basis of "R değeri" criterion)

R Değeri için	Selüloz	Fiberglass	Rijit mineral yün	Poliizosiyandır	Spray polyüretan köpük	Spray polyüretan köpük	Spray polyüretan köpük	EPS	XPS
Selüloz	1	1	1/3	1/7	1/7	1/7	1/3	1/9	1/9
Fiberglass		1	1/3	1/3	1/5	1/5	1/3	1/3	1/5
Rijit mineral yün			1	1/3	1/3	1/3	1	1	1/3
Poliizosiyandır				1	1	2	5	1	1
Spray polyüretan köpük 1					1	1/2	1/3	1/5	1/3
Spray polyüretan köpük 2						1	3	1	1
Spray polyüretan köpük 3							1	1	1/3
EPS								1	1/3
XPS									1



**Çizelge 5.** “Yoğunluk”, kriter temelinde alternatif matrisi (Alternative matrix on the basis of "Yoğunluk" criterion)

Yoğunluk	Selüloz	Fiberglass	Rijit mineral yün	Poliizosiyanürat	Spray polyüretan köpük	Spray polyüretan köpük	Spray polyüretan köpük	EPS	XPS
Selüloz	1	1/5	3	1/3	1/3	1/5	1/3	1/5	1/3
Fiberglass		1	7	5	3	3	3	1	3
Rijit mineral yün			1	1/5	1/3	1/3	1/3	1/5	1/3
Poliizosiyanürat				1	3	3	3	1/5	3
Spray polyüretan köpük 1					1	1	1	1/5	1
Spray polyüretan köpük 2						1	1	1/5	1
Spray polyüretan köpük 3							1	1	5
EPS								1	3
XPS									1

**Çizelge 6.** “Üretim Enerjisi”, kriter temelinde alternatif matrisi (Alternative matrix on the basis of "Üretim Enerjisi" criterion)

Üretim Enerjisi	Selüloz	Fiberglass	Rijit mineral yün	Poliizosiyanürat	Spray polyüretan köpük	Spray polyüretan köpük	Spray polyüretan köpük	EPS	XPS
Selüloz	1	5	3	7	7	7	7	9	9
Fiberglass		1	1/3	5	5	5	5	7	7
Rijit mineral yün			1	7	7	7	7	9	9
Poliizosiyanürat				1	1	1	1	3	3
Spray polyüretan köpük 1					1	1	1	3	3
Spray polyüretan köpük 2						1	1	3	3
Spray polyüretan köpük 3							1	3	3
EPS								1	1
XPS									1

**Çizelge 7.** “Üretilen Karbon”, kriter temelinde alternatif matrisi (Alternative matrix on the basis of "Üretilen Karbon" criterion)

Üretilen Karbon	Selüloz	Fiberglass	Rijit mineral yün	Poliizosiyanürat	Spray polyüretan köpük	Spray polyüretan köpük	Spray polyüretan köpük	EPS	XPS
Selüloz	1	5	3	9	9	9	9	7	7
Fiberglass		1	1/3	5	5	5	5	3	3
Rijit mineral yün			1	7	7	7	7	5	5
Poliizosiyanürat				1	1	1	1	1/3	1/3
Spray polyüretan köpük 1					1	1	1	1/3	1/3
Spray polyüretan köpük 2						1	1	1/3	1/3
Spray polyüretan köpük 3							1	1/3	1/3
EPS								1	1
XPS									1

**Çizelge 8.** “Porozite Ajanı”, kriter temelinde alternatif matrisi (Alternative matrix on the basis of "Porozite Ajanı" criterion)

Porozite ajanı	Selüloz	Fiberglass	Rijit mineral yün	Poliizosiyaniürat	Spray polyüretan köpük	Spray polyüretan köpük	Spray polyüretan köpük	EPS	XPS
Selüloz	1	1	1	3	5	1	1	3	5
Fiberglass		1	1	3	5	1	1	3	5
Rijit mineral yün			1	3	5	1	1	3	5
Poliizosiyaniürat				1	9	1/3	1/3	1	9
Spray polyüretan köpük 1					1	1/9	1/9	1/7	1
Spray polyüretan köpük 2						1	1	3	9
Spray polyüretan köpük 3							1	3	9
EPS								1	7
XPS									1

**Çizelge 9.** “Ömür”, kriter temelinde alternatif matrisi (Alternative matrix on the basis of "Ömür" criterion)

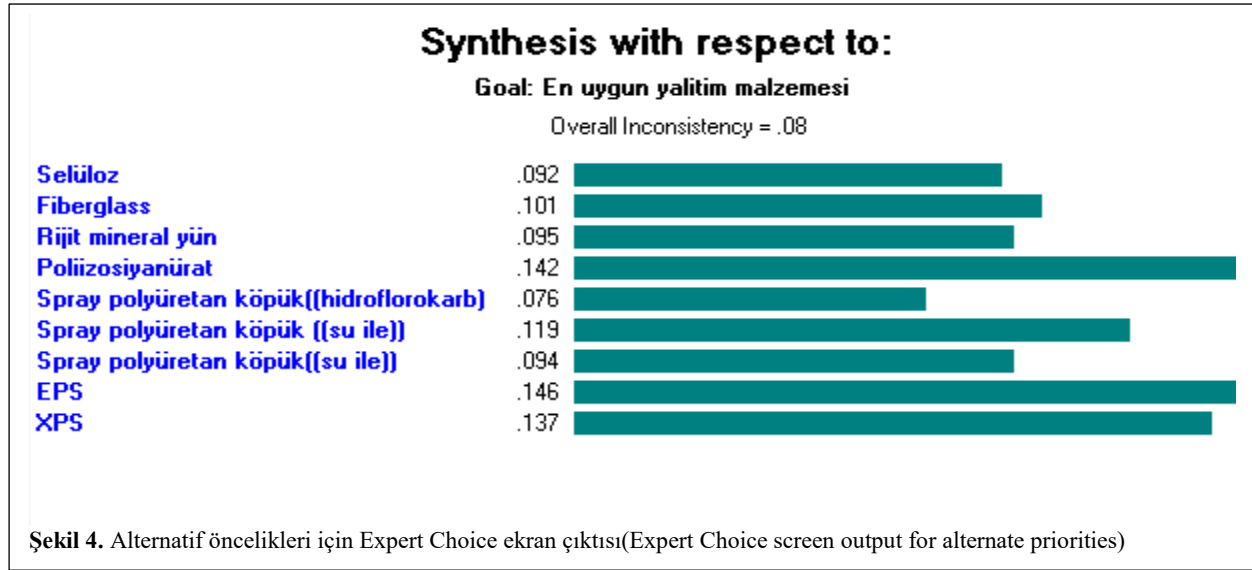
Ömür	Selüloz	Fiberglass	Rijit mineral yün	Poliizosiyaniürat	Spray polyüretan köpük	Spray polyüretan köpük	Spray polyüretan köpük	EPS	XPS
Selüloz	1	1/5	1/5	1	1/3	1/5	1/5	1/5	1/9
Fiberglass		1	1	3	1	1	1/5	1	1/7
Rijit mineral yün			1	3	1	1	1	3	1/3
Poliizosiyaniürat				1	1	1	1/3	1	1/5
Spray polyüretan köpük 1					1	1/3	1	1/3	1/5
Spray polyüretan köpük 2						1	1/3	1/3	1/9
Spray polyüretan köpük 3							1	2	1/3
EPS								1	1/5
XPS									1

Belirtilen işlemlerden sonra, son işlem olarak alternatiflerin önceliklendirilmesi ve uygun yalıtım malzemesinin seçilmesi işlemi gerçekleştirilmiştir. Kriter öncelik matrisi ve kriter temelinde alternatif öncelik matrisi kullanarak, alternatif öncelikleri belirlenmiş ve aşağıda ifade edilmiştir.

Uygun yalıtım malzemeleri

- EPS -- %14,6
- Poliizosiyaniürat -- %14,2
- XPS-- %13,7

- Spray polyüretan (köpük su ile) -- %11,9
- Fiberglass -- %10,1
- Rijit mineral yün = %9,5
- Spray polyüretan (köpük su ile) -- %9,4
- Selüloz -- %9,2
- Spray polyüretan köpül(hidroflorokarb) -- %7,6



Yapılan analiz çalışmasına göre üretim kriterleri dikkate alındığında ekolojik açıdan en uygun yalıtım malzemesinin %14,2 ile EPS yalıtım malzemesi olduğu gözlemlenmiştir.

#### 4. SONUÇ (CONCLUSION)

Yalıtım malzemelerinin çevresel etkileri karmaşıktır. Bu malzemelerin kullanımı sayesinde çevreye sağlanan kazançların yanısıra üretimi sırasında çevreye verdiği zararlı etkilerde değerlendirilmelidir. Bu nedenle üretimi esnasında çevresel açıdan etkileri ile değerlendirilerek yapılan yalıtım malzemesi seçimi önemlidir. Bir yapı için seçilen yalıtım malzemesi, öncelikle istenen ısı yalıtımını tam olarak sağlamalıdır. Yapıda enerji kullanımını azaltmalıdır. Ayrıca yüksek R değerinde üretilen yalıtım malzemesinin kullanım kalınlığı azalmış olacaktır. Dolayısıyla daha az üretilen yalıtım malzemesi hem ekonomiye hem de ekolojiye daha az zarar vermiş olacaktır. Yalıtım malzemelerinin üretiminde kullanılan malzemelerin seçimi yalıtım malzemelerinin çevreye olan etkileriyle doğrudan bağlantılıdır. Üretim sırasında CFC esaslı malzemelerin kullanımı ozon tabakasına en yüksek zararı vermektedir. Aynı şekilde sprey poliüretan ve poliizosiyanür kullanımı da çevresel açıdan oldukça zararlıdır. Son yıllarda bu malzemelerin yerine daha az zararlı HCFC kullanımı yaygınlaşsa da, bu malzemenin de çevresel zararları mevcuttur. Bu nedenle gelecek nesillere daha temiz ve daha yaşanabilir bir çevre bırakmak için üretim aşamasındaki zararlı etkilerini de dikkate alarak hammadde seçimi yapılmalıdır. Geri dönüşümlü, doğal ve ekolojik malzemelerle üretilen yalıtım malzemelerinin üretimi ve kullanımı yaygınlaştırılmalı ve belli oranlarda devlet desteği ile teşvik edilmelidir.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. [www.eps.co.uk/sustainability/sustainability.html](http://www.eps.co.uk/sustainability/sustainability.html)
2. *Vattenfall's Climate Map, 2030.*

3. Enkvist P., Nauclér T. and Rosander J. "A cost curve for greenhouse gas reduction", *McKinsey Quarterly*, 1: 34, (2007).
4. Üstün A. K., Apaydın M., Filik Ü.B. and Kurban M. "Kyoto protokolü kapsamında türkiye'nin yenilenebilir enerji politikalarına genel bir bakış", *Yeksem 2009: Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, 23, 5, Diyarbakır, (2009).
5. "Yapı Yalıtımının Çevresel Değerlendirilmesi". [www.cel-lubor.com.tr/tr/belgeler/1-8.doc](http://www.cel-lubor.com.tr/tr/belgeler/1-8.doc)
6. Koçu N. ve Korkmaz S. Z. "Konya çevresindeki yapılarda ısı yalıtımı uygulamalarının TS 825'e göre değerlendirilmesi ve çevre kirliliğine etkisi". *www.mmo.org*, (2013).
7. Styropor Expanded Polystyrene Technical Bulletin, "Protective packaging properties and design fundamentals", *BASF Corporation, Mt Olive*, New Jersey, (2014).
8. Çomaklı K., Bakırcı K., Erdoğan S. and Sahin B. "Enerji, çevre, sağlık ve güvenlik açısından yalıtım", *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 89: 65-70, (2005).
9. [www.teknopanel.com.tr/sayfalar/658/hammadde-bilgileri/poliizosiyanurat.aspx](http://www.teknopanel.com.tr/sayfalar/658/hammadde-bilgileri/poliizosiyanurat.aspx)
10. Yücedağ F. "Poliol ve izosiyanatın (polimerik Mdı) güvenli kullanımı", *Nuhoil Polimer Ve Kimyasalları San. Tic. A.Ş.*
11. Balo F., "Feasibility study of "green insulation materials including tall oil: environmental, economical and thermal properties", *Energy and Buildings*, 86: 161-175, (2015).
12. Ucar A. and Balo F., "Determination of environmental impact and optimum thickness of insulation for building walls", *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 30(1): 113-122, (2011).
13. Balo F., "energy and economic analyses of insulated exterior walls for four different cities in Turkey", *Energy Education Science and Technology Part A: Energy Science and Research*, 26(2): 175-188, (2011).
14. Balo F., "Characterization of green building materials manufactured from canola oil and natural zeolite", *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 17(2): 336-349, (2015).
15. Shrestha S. S., Biswas K. and Desjarlais A. O. "A protocol for lifetime energy and environmental impact assessment of building insulation materials", *Environmental Impact Assessment Review*, 46: 25-31, (2014).

16. Fischer S. K., Fairchild P. D. and Hughes P. J. “Energy and global warming impacts of CFC alternative technologies for foam building insulations”, *Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Buildings*, (1992), [Clearwater Beach, FL, available online at <http://web.ornl.gov/sci/buildings/2012/1992%20B5%20papers/011.pdf>].
17. Kosny J., Desjarlais A. and Yarbrough D. W. “A procedure for analyzing energy and global warming impacts of foam insulation in u.s. commercial buildings”, *ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, Pacific Grove, CA*, (1998).
18. [available online at <http://www.osti.gov/bridge/servlets/purl/291014-tWcVBF/webviewable/291014.pdf>].
19. Pargana N., Pinheiro M. D., Silvestre J. D. and De Brito J. “Comparative Environmental Life Cycle Assessment of Thermal Insulation Materials of Buildings”, *Energy and Buildings*, 82: 466-481, (2014).
20. Bribián, I. Z., Capilla A. V. and Usón A. A. “Life cycle assessment of building materials: comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential”, *Building and Environment*, 46(5): 1133-1140, (2011).
21. Tettey U. Y. A., Dodoo A. and Gustavsson L. “Effects of different insulation materials on primary energy and co2 emission of a multi-storey residential building”, *Energy and Buildings*, 82: 369-377, (2014).
22. Saaty T.L. “Decision making with the analytic hierarchy process”, *International Journal of Services Sciences*, 1(1): 83-98, (2008).