

	Sayfa No
Necati YALÇIN, Yunus KAYIR, Sibel ERKAL Aa2024 Alüminyum Alaşımına Uygulanan Yaşlandırma Yöntemlerinin İşlenebilirliği Etkisinin Taguchi ve Anova ile Araştırılması Investigation of Effects of The Aging Methods Applied on Aa2024 Aluminum Alloys on Machinability With Taguchi and Anova.....	743-751
ABATES Gölyaka (Düzce) İmarata Esas Yerleşim Alanındaki Zeminlerin SPT ve Sismik Hız Verileriyle Sıvılaşma Riskinin Araştırılması Assesment of Liquefaction Potential of Düzce (Gölyaka) Soils Using SPT and Shear Wave Velocity Under The Effect of Prospective Earthquake.....	753-763
Kemal YAMAN, Nuri BIÇAKCI, Ali ÖZGEDİK Matkap Boyunun Delik Toleranslarına Etkisinin İncelenmesi Investigation of The Drill Length Effect on Hole Tolerances.....	765-775
Özlem Sağı BİDECI, Rasim Cem SAKA, Alper BİDECI Fiziksel Karakteristiklerin Ruberize Beton İçerisinde Granülatlı Atık Agregatın Etkisi Physical Characteristics of Rubberized Concrete Including Granulated Waste Tire Aggregate.....	771-786
Yücel BÜRHAN, Resul DAS Akademik Ağlarda Yazar-Makale Bağlantı Tahmini Co-Author Link Prediction in Academic Networks.....	787-800
Gökhan SÜRÜCÜ, Hasan Hüseyin GÜLLÜ, Özge BAYRAKLI, Mehmet PARLAK Enhancement in Photovoltaic Characteristics of CdS/CdTe Heterojunction CdS/CdTe Heterojunctionin Fotovoltaik Karakteristiğindeki Artışı.....	801-805
Ulaş MATİK, Kubra TANATTI Sıcak Ekstrüze Edilmiş AA7075-Sic Kompozitlerin Tribolojik Karakteristiklerine Isıl İşlem Etkisi Effect of Heat Treatments on Tribological Characteristics of Hot-Extruded AA7075-SiC ₃ Composites.....	807-814
Oktaç ADIYAMAN, Vedat SAVAS Yeni Bir Tıp Düzlem Yüzey Taşlama Mekanizması ile Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne (Ra) Etkisinin Araştırılması Investigation of The Effect of Cutting Parameters on Surface Roughness by a New Type of Plane Surface Grinding Mechanism (YTM).....	815-825
Metasergül Metinler Metasergül Metinler Kullanılarak Ekonomik Yük Dağıtım Probleminin Çözümü: <i>Grafiksel Kullanıcı Arayüzü Uygulaması</i> Solution of Economic Dispatch Problem Using Metaheuristic Methods: <i>Graphical User Interface Application</i>	827-835
Barış YILMAZ, Kazım ATMACA Etkinliği Sulama Birliklerinin Etkinliği Efficiency of Irrigation Associations in Gediz Basin, Turkey.....	837-842
Zehra URAL BAYRAK, Gökay BAYRAK A Smart Energy Management System Design for Residential Power Plants Evsel Güç Sistemleri için Akıllı Bir Güç Yönetim Sisteminin Tasarımı.....	843-849
Fatih KARİK, Adnan SÖZEN, Muhammed Mustafa İZGEÇ Rüzgâr Gücü Tahminlerinin Önemi: Türkiye Elektrik Piyasasında Bir Uygulama The Importance of Wind Power Forecasts: A Case Study in Turkish Electricity Market.....	851-861
Hüseyin Oktay ERKOL Ters Sarkaç Sisteminin Yapay Arı Kolonisi Algoritması ile Optimizasyonu Optimization of an Inverted Pendulum System by the Artificial Bee Colony Algorithm.....	863-868
Nihat PAMUK Identifikation of Critical Values Based on Natural Ester Oils as Potential Insulating Liquid for High Voltage Power Transformers Yüksek Gerilim Güç Transformatörleri için Potansiyel İzolasyon Sıvısı Olarak Doğal Ester Yağlarının Tespit Edilmesi.....	869-877
Latif Onur GUR Yapı Makinesi Satın Almaında Vikor Çok Kriterli Karar Verme Yönteminin Uygulanması Application of the VIKOR Multi-Criteria Decision Method for Construction Machine Buying.....	879-885
Mustafa Yavuz ÇELİK, Ahmet ŞAHBAZ İlce (Kütahya) Bazaltın Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması Investigation of the Usability of İlce (Kütahya) Basalt as Concrete Aggregate.....	887-898
Hasan OZCAN Comparison of Particle Swarm And Differential Evolution Optimization Algorithms Considering Various Benchmark Functions Parçacık Sürüşü ve Diferansiyel Evrim Optimizasyonu Algoritmalarının Farklı Ölçü Fonksiyonları Kullanılarak Karşılaştırılması.....	899-905
Mesut ABUSKA, Mehmet Bahattin AKGÜL, Volkan ALTINTAŞ Yutucu Plaka Üzerine Konik Yaylar Yerleştirildiği Güneş Enerjili Hava Kollektörünün Bulanık Mantık ile Modellemesi The Fuzzy Logic Modeling of Solar Air Heater Having Conical Springs Attached on the Absorber Plate.....	907-914
Hasan OZCAN, Sertac Samed SEYİTOĞLU Comparative Thermodynamic Assessment of Various Super- and Trans-Critical Working Fluids for Low Temperature Power Generation Applications.....	915-921
Musa ATAR, Davut ŞAKACI, Hakan KESKİN Diyagonal Basma ve Çekme Kuvvetine Farklı Köşe Birleştirme Tekniklerinin Etkileri Impacts of Different Corner Joint Technical on Compression and Tensile Performances.....	923-932
Ayşenur USLU, Kübra KIZILOĞLU, Selçuk Kürşat İŞLİYEN, Erkan KAHYA Okul Yeri Seçiminde Coğrafi Bilgi Sistemine Dayalı AHP-TOPSIS Yaklaşımı: Ankara İli Örneği Geographic Information System-Based AHP-TOPSIS Approach for School Site Selection: A Case Study for Ankara.....	933-943
Bekir CEVİK, Behçet GÜLENC, Ahmet DURGUTLU The Effects Of Critical Welding Parameters On Tensile-Shear Properties Of Friction Stir Spot Welded Polyethylene.....	945-951
Kasım SERBEST, Murat ÇİLLİ, Mustafa Zahid YILDIZ, Osman ELDOĞAN İnme Rehabilitasyonunda Kullanılabilecek Kablo ve Yay Tahrirli Giyilebilir Bir El Bileği Egzersiz Cihazı Tasarımı Design of a Cable and Spring-Driven Wearable Wrist Exercise Device for Stroke Rehabilitation.....	953-959
Mustafa Yavuz ÇELİK A Fiyonkarhisar Yüresi Tüflerinin Fiziko-Mekanik Özelliklerinin Ultrason Dalgası Hızı ile İlişkisinin İncelenmesi The Relationship of Physico-Mechanical Properties with Ultrasonic Wave Velocity of A Fiyonkarhisar Tuffis.....	961-970
M. Bahadır ÖZDEMİR, Tayfun MENLİK, H. İbrahim VARİVENLİ, Levent SEVİN Bir Termik Santralin Performans Analizi ve Rehabilitasyon Metotları A Thermal Power Plant Performance Analysis and Rehabilitation Methods.....	971-978
Timuçin BARDAK, Selahattin BARDAK Prediction of Wood Density by Using Red-Green-Blue (RGB) Color and Fuzzy Logic Techniques Kırmızı-Yeşil-Mavi (KYM) Renk ve Bulanık Mantık Teknikleri Kullanılarak Odun Yoğunluğu Tahmini.....	979-984
Sinan SÖNMEZ Ultraviyole Flekso Mürekkeplerin Karboksümetil Selüloz ve Polivinil Alkol ile Kaplanmış Kartonların Basılabilirlikleri Üzerindeki Etkilerinin Karşılaştırılması Comparison of into the Effects of Ultraviolet Flexo Ink on Printability of The Paperboards Coated With Carboxymethyl Cellulose and Polyvinyl Alcohol.....	985-991
İbrahim AYDIN, Ferdi ENGİN Hydroxyapatite Coating on Ti6Al4V Alloy Surface Through Biomimetic Method Using Glycolic Acid - Sodium Gluconate Buffer System and Examination of Properties of the Coating Ti6Al4V Alaşımı Üzerine Biyomimetik Yöntemle Glikolik Asit - Sodyum Glukonat Tampon Sistemi Kullanılarak Hidroksiapatit Kaplanması ve Kaplama Özelliklerinin İncelenmesi.....	993-1001
Perihan DURMUS, Çiğdem BILKAN, Mert YILDIRIM Effects of Frequency and Bias Voltage on Dielectric Properties and Electric Modulus of Au/Bi4Ti3O12/n-Si (MFS) Capacitors.....	1003-1008
Barış SİMSEK, Tayfun UYGUNOĞLU Polimerik Atıklar İçeren Betonun Ultrason Hızının ve Dinamik Elastisite Modülünün Çok Yanıtlı Eniyilemesi Multi-Response Optimization of Ultrasonic Pulse Velocity and the Modulus of Elasticity of Concrete Containing Polymeric Wastes.....	1009-1017

POLİTEKNİK DERGİSİ

Journal of Polytechnic

POLİTEKNİK DERGİSİ

VOLUME / CİLT 20 NUMBER / SAYI 4 DECEMBER / ARAKLIK 2017



GAZİ ÜNİVERSİTESİ / POLİTEKNİK DERGİSİ

GAZI UNİVERSTY / 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

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

Cilt /volume : 20	Sayı / number : 4	Aralık/ December : 2017
<p>Politeknik Dergisi Gazi Üniversitesi tarafından yılda dört sayı olarak yayınlanmaktadır / Journal of Polytechnic has been published four issues per year by Gazi University</p>		

BU SAYIYA (CİLT 20 SAYI 4) KATKI VEREN HAKEMLER	
Abdulkadir GÜLLÜ	İhsan TOKTAŞ (2 kez)
Ahmet DEMİR	İlhami DEMİR
Ahmet ÖZDEMİR	Kıvanç BAŞARAN
Alperen TOZLU	Kürşad SEZER
Ayhan ÖZÇİFTÇİ	M. Tolga ÖZKAN
Bahar ASLAN	Mahmut İZCİLER
Diyar AKAY (2 kez)	Mehmet AKCAYOL
Erdal IRMAK	Mehmet ATAK
Erdoğan KÖSE	Muhammet YILDIRIM
Ermedin TOTİÇ	Mustafa ALTINOK
Erol KURT	Mustafa BİLİCİ
Fatih Emre BORAN (2 kez)	Mustafa BOZ
Fatih YAPICI	Mustafa BURUNKAYA
Fethi DAĞDELEN	Mustafa GÜNAY
Fırat KAFKAS	Mustafa İLBAŞ (3 kez)
Fulya ASLAY	Mürsel ERDAL
Gökhan GÖKMEN	Necmi ALTIN (2 kez)
Gülser ACAR DONDURMACI	Nihat IŞIK
H. Mehmet ŞAHİN	Nursel ALTAN ÖZBEK
Hakan ALTUNAY	Osman ŞİMŞEK
Hakan KESKİN	Ramazan BAYINDIR
Hakan YAVUZ	Recep BİRGÜL
Halil DEMİR (2 kez)	Salih YAZICIOĞLU (2 kez)
Halil KIRNAK	Suat CANBAZOĞLU
Hanifi ÇİNİCİ	Tayfun MENLİK
Hasan YILDIZ	Volkan KILIÇLI
İbrahim ATILGAN (2 kez)	Yılmaz ARUNTAŞ
İbrahim ÇİFTÇİ	Yusuf BİÇER
İhsan ALP (2 kez)	Zafer TEKİNER

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>

AA2024 alüminyum alaşımına uygulanan yaşlandırma yöntemlerinin işlenebilirliğe etkisinin taguchi ve anova ile araştırılması

Investgation of effects of the aging methods applied on AA2024 aluminum alloys on machinability with taguchi ond anova

Yazar(lar) (Author(s)): Necati YALÇIN, Yunus KAYIR, Sibel ERKAL

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Yalçın N., Kayır Y. ve Erkal S., "AA2024 alüminyum alaşımına uygulanan yaşlandırma yöntemlerinin işlenebilirliğe etkisinin taguchi ve anova ile araştırılması", *Politeknik Dergisi*, 20(4): 743-751, (2017).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.368552

AA2024 Alüminyum Alaşımına Uygulanan Yaşlandırma Yöntemlerinin İşlenebilirliğe Etkisinin Taguchi ve Anova ile Araştırılması

Araştırma Makalesi / Research Article

Necati YALÇIN¹, Yunus KAYIR^{2*}, Sibel ERKAL¹

¹Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalürji Mühendisliği Bölümü

²Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü

(Geliş/Received : 12.06.2017 ; Kabul/Accepted : 26.07.2017)

ÖZ

Bu çalışmada, işlenebilirlik deneyleri yapılmıştır. Deneylerde malzeme olarak, havacılık ve otomotiv sanayisinde kullanımı yaygın olan AA2024 alüminyum alaşımı tercih edilmiştir. AA2024 malzemesine uygulanan yaşlandırma ısıl işlemlerinin talaş kaldırarak şekillendirilmesine etkisi araştırılmıştır. Hazırlanan T3 ve T6 yaşlandırılmış deney numuneleri farklı kesme parametreleri (V: 150 m/dak, 200 m/dak, 250 m/dak; f: 0.1 mm/diş, 0.2 mm/diş, 0.4 mm/diş) ile frezelenmiştir. Deneyler, Taguchi L18 karma modeli kullanılarak CNC Freze tezgâhında yapılmıştır. Kesme kuvvetleri (Fx, Fy, Fz) ve yüzey pürüzlülüğü (Ra) ölçülmüştür. Elde edilen deney sonuçları için Taguchi ve ANOVA analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, kesme kuvvetlerine ve yüzey pürüzlülüğüne en etkili faktörlerin, ilerleme ve kesme hızı olduğunu göstermiştir. Yaşlandırma etkisinin ise çok az olduğu görülmüştür. T3 yaşlandırmanın kesme kuvvetleri açısından, T6 yaşlandırmanın ise yüzey pürüzlülüğü açısından, daha uygun olduğu belirlenmiştir. **Anahtar Kelimeler:** AA2024, ısıl işlem, yaşlandırma, işlenebilirlik, Taguchi, ANOVA.

Investigation of Effects of The Aging Methods Applied on Aa2024 Aluminum Alloys on Machinability With Taguchi and Anova

ABSTRACT

In this study, machinability tests were executed. AA2024 aluminum alloy that are used in field of automotive and aero industries widely was preferred material in the experimental works. Effects of aging methods that were applied to AA2024 aluminum alloy on machinability were investigated. Test specimens obtained from T3 and T6 that are used methods for aging of AA20024 aluminum alloy, were machined with various cutting parameters (V: 150 m/min, 200 m/min, 250 m/min; F: 0.1 mm/tooth, 0.2 mm/tooth, 0.4 mm/tooth). The test specimens were machined on a CNC milling machine by using the L18 mixed model of Taguchi. Cutting forces (Fx, Fy, Fz) and surface roughness (Ra) were measured. Analysis of Taguchi and ANOVA were done for the results of test. The results showed that main effect factors of the cutting forces and surface roughness were federate and cutting speed. In addition, it was seen that the aging types caused a little effect on the cutting forces and surface roughness. It was determined that the T3 for cutting forces and T6 for surface roughness were very well.

Keywords : AA2024, heat treatment, aging, machinability, Taguchi, ANOVA.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Mühendislik alanında çelik ve dökme demirden sonra en fazla kullanılan malzemelerden biri de alüminyumdur. Özellikle de Al-Cu alaşımları, düşük yoğunluğu (2,7 gr/cm³), sebebiyle diğer Al alaşımlarına göre yüksek dayanımı (18-26 kg/mm²) ve ısıl işlem uygulanabilirliği nedeni ile uçak ve otomotiv sanayisinde kullanımı sürekli artan bir malzemedir [1-3].

Genelde metal malzemeler, doğadan elde edildiği gibi pek kullanılmaz. Saf alüminyum malzemesin de olduğu gibi düşük mekanik özelliklere (sertlik, kopma, aşınma, vb.) sahiptirler [4]. Malzemelerin mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi için değişik yöntemler uygulanmaktadır.

Alaşımlama ve ısıl işlem, uygulanan yöntemlerden bazılarıdır. AA2024, normal alüminyum malzemesinin alaşım elementlerinin ilave edilmiş halidir.

Isıl işlem genelde, malzemelerin belirli sıcaklıklarda ve belirli sürelerde ısıtılması ve soğutulması şeklinde yapılmaktadır. Bu yöntemle, yumuşak olan bir alaşım malzeme, ısıtılıp hızlı bir şekilde soğutulduğunda sertleşebilmektedir. Alüminyum alaşımlarına uygulanan ısıl işlemleri (T3, T4, T5, T6, vb.), yaşlandırma ısıl işlemleri olarak da adlandırılmaktadır [4-6]. Yaşlandırma işlemi, uygulanış şekline göre doğal yaşlandırma ve suni yaşlandırma olarak ikiye ayrılmaktadır. Yaşlandırma işlemi tümüyle laboratuvar şartlarında gerçekleştirilirse (süreç daha hızlı gerçekleşmektedir) bu yöntem suni yaşlandırma, doğal şartlarda (oda sıcaklığında) yapılıyorsa doğal yaşlandırma adını almaktadır. Piyasada hazır

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta: ykayir@gazi.edu.tr

olarak satılan AA2024 alaşımları, genelde T3 doğal yaşlandırma ısıl işlemlerine tabi tutulmaktadır.

Malzemelerin değişen mekanik özelliklerinin olumlu yanları dışında olumsuz yanları da bulunmaktadır. Özellikle de, malzemenin şekillendirilmesinde (talaşlı imalat, kesme, bükme, vb.) mekanik özellikler doğrudan etkili olmaktadır [7-9]. Talaş kaldırılarak (tornalama, frezeleme, delik delme, vb.) malzemelerin şekillendirilmesi, imalat sanayisinde önemli bir paya sahiptir [10]. Malzemelerin işlenebilirliği, kesici takım, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü açısından önemi büyüktür. Yapılan çalışmalarda malzemeler, işlenebilirliği kolay ve işlenebilirliği zor olanlar diye ikiye ayrılmıştır [11]. İşlenebilirliğinin kolay ve zor oluşu, malzemenin mekanik özelliklerine (akma, kopma, sertlik, vb.) ve kullanılan kesme parametrelerine doğrudan bağlıdır. Mekanik özellikleri (örneğin, sertlik) yüksek olan malzemelerin işlenebilirliği zor olurken, mekanik özellikleri düşük olan malzemelerin işlenebilirliği ise daha kolay olabilmektedir. Mekanik özellikleri yüksek olan malzemelerin işlenmesinde, daha yüksek kesme kuvvetleri ve buna bağlı

Bu çalışmada, T3 doğal yaşlandırılmış ve T6 suni yaşlandırılmış AA2024 alaşımına yönelik CNC freze tezgahında işlenebilirlik deneyleri yapılmıştır. Deneylerde, kaplamalı karbür kesici uçlar, farklı kesme parametreleri ile kullanılmıştır. Deneylerde, yaşlandırma ısıl işlem tipinin işlenebilirliği etkisi araştırılmıştır. İşlenebilirlik sırasında kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülükleri ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar Taguchi ve ANOVA analizleri ile değerlendirilmeye çalışılmıştır.

2. MALZEME VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

2.1. Malzeme (Material)

Deneylerde, haddelenmiş AA2024 alüminyum alaşımının T3 ve T6 yaşlandırılmış iki türü kullanılmıştır. Öncelikle, haddelenmiş ve T3 doğal yaşlandırılmış AA2024 alüminyum alaşımı, 350x220x50 mm boyutlarında piyasadan hazır olarak temin edilmiştir (T3'ün kimyasal bileşimi Çizelge 1'de verilmiştir). Piyasadan temin edilen AA2024 malzemesinin T3 doğal yaşlandırma şartları

Çizelge 1. AA2024-T3 Kimyasal bileşimi (Chemical composition of AA2024-T3 alloy)

Element	Cu	Mg	Mn	Fe	Si	Zn	Al
%Ağırlık	4.3	1.5	0.48	0.23	0.08	0.05	Kalanı

Çizelge 2. Numuneler için ısıl işlem şartları (Heat treatment conditions of the specimens)

Malzeme	Çözeltiyeye alma sıcaklığı (°C)	Çözeltiyeye alma süresi (saat)	Soğutma ortamı	Yaşlandırma sıcaklığı (°C)	Yaşlandırma süresi
AA2024-T6	505	3	Su	190	8.5 saat
AA2024-T3	505	3	Su	Oda sıcaklığı	1 Ay

Çizelge 3. Numunelerin mekanik özellikleri (Mechanical properties of the specimens)

Yaşlandırma	Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Dayanımı (MPa)	Uzama %	Sertlik HV
T3	455.54	369.31	24.2	158
T6	403.78	263.21	25.9	132

olarak yüksek sıcaklıklar da ortaya çıkabilmektedir [12]. Mekanik özellikleri düşük olan malzemelerinin işlenmesi, kesme kuvvetleri ve kesici açısından problemsiz gibi görünse de bazı malzemelerde, kesici üzerinde talaş yapışmaları (BUE), yüzeyin kötüleşmesi (pürüzlülüğü) gibi olumsuzlukları da beraberinde getirebilmektedir. Özellikle alüminyum alaşımlarının kuru kesme şartlarında işlenmesinde, BUE oluşumlarına bağlı işlenen yüzeyin kötüleşmesi, kesme kuvvetlerinin artması gibi olumsuzluklar çok fazla görülmektedir [13]. Malzemelerin mekanik özellikleri dışında, uygun seçilmeyen kesme parametreleri de (kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği, vb.), kesme kuvvetlerinin artmasına, düşük takım ömrü, kötü yüzey pürüzlülüğü, gibi olumsuzluklara da sebep olabilmektedir [14-15].

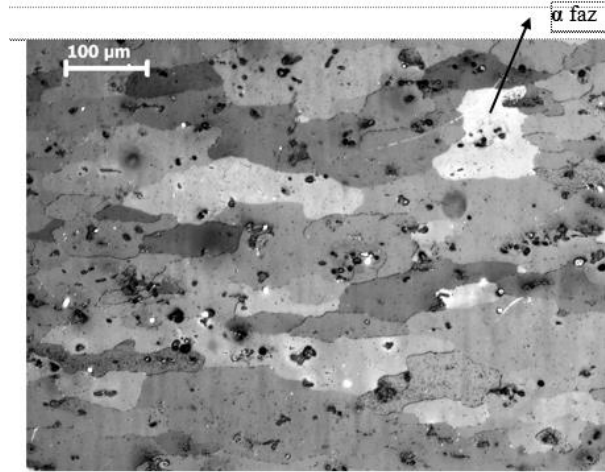
(firma tarafından verilen malzeme sertifikasyonundan alınmıştır) Çizelge 2'de verilmiştir.

Piyasadan hazır alınan AA2024 malzemelerinin bir kısmına (numunelerin yaklaşık yarısı) laboratuvar şartlarında T6 suni yaşlandırma yapılmıştır. (T6 yaşlandırma şartları Çizelge 2'de verilmiştir). Geri kalan numunelere ise (Piyasadan hazır alınan T3 numuneleri) hiçbir işleme tabii tutulmamıştır.

Elde edilen numuneler üzerinde sertlik ve çekme deneyleri yapılmıştır. Sertlik ölçümlerinde Vickers yöntemi kullanılmıştır. Çekme testleri için, TS 138 EN 10002-1 standardına uygun olarak numuneler hazırlanmıştır. Suni yaşlandırılmış T6 numuneleri ile doğal yaşlandırılmış T3 numunelerinden elde edilen çekme, akma dayanımı ve % uzama değerleri Çizelge 3'te verilmiştir. T6 suni yaşlandırma sonucu malzemenin

sertliği, çekme ve akma dayanımı gibi mekanik özellikleri düşmüştür.

Yapılan mikro yapı incelemelerinde (Şekil 1’de T3 için mikro yapı görüntüsü verilmiştir), T6 yaşlandırma işlemi uygulanmış numunelerde malzeme yapısında bulunan Cu atomlarının dağınık (homojen olmayan) ve daha iri taneli $CuAl_2$ çökeltileri meydana getirmiştir. AA2024’ün α fazı içerisinde çökelen $CuAl_2$ bileşiğinin, malzemenin sertlik, akma ve çekme dayanımını düşürdüğü, küçük boyutlu ve homojen dağılımlı $CuAl_2$ bileşiklerin ise malzemenin mekanik özelliklerini arttırdığı, bilinmektedir [4-7].



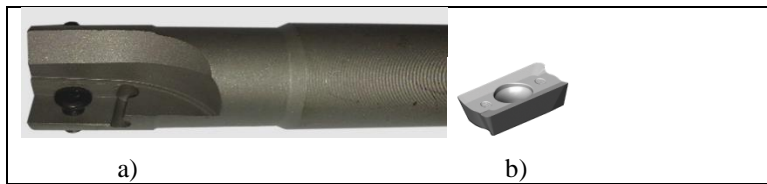
Şekil 1. A224-T3 numunenin mikro yapısı (View of microstructure of the A224-T3)

2.2. İşlenebilirlik (Machinability)

İşlenebilirlik deneyleri, CNC freze tezgâhında Çizelge 4’te verilen kesme parametreleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Numunelerin işlenmesinde kaplamalı (Al_2O_3) karbür uçlar ve uçlara uygun bir takım tutucu kullanılmıştır (Şekil 2). Deneyler için 20x50x50 mm ebatlarında numuneler hazırlanmıştır (Şekil 3). Her bir numunenin üzerinde elde edilen iki adet yüzeyi üzerinde, iki farklı deneyin yapılabilmesi sağlanmıştır. Deneylerde

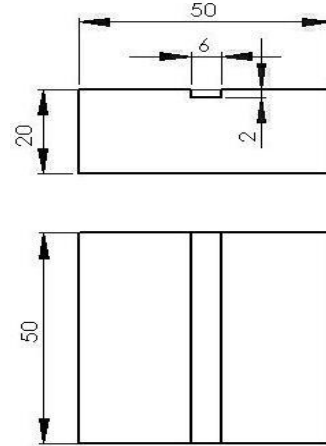
Çizelge 4. Kesme şartları ve kesici (Cutting condition and tools in the experimental works)

Deney Şartları				Kesici takım		
Kesme Hızı (V:m/dak)	İlerleme (F:mm/diş)	Talaş derinliği (ap:mm)	Kesme Şartı	Ağız sayısı	Uç tipi	Ø (mm)
150	0.1	1	Kuru kesme	2	Al_2O_3 Kaplama Karbür	25
200	0.2					
250	0.3					

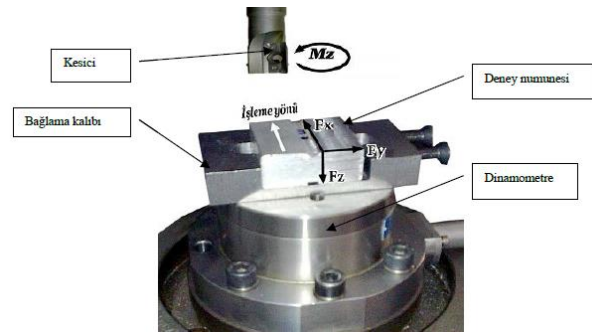


Şekil 2. Kesici takım: a) Takım tutucu, b) Kesici uç (a)Tool holder, b) Cutting tool)

kesme kuvvetleri (F_x , F_y ve F_z) ve yüzey pürüzlülük değerleri (R_a) ölçülmüştür. Kesme kuvvetlerinin ölçülmesinde standart bir dinamometre (Kistler 9272) kullanılmıştır (Şekil 4’te kullanılan deney seti üzerinde işleme yönüne göre kesme kuvvetleri verilmiştir).



Şekil 3. Deney numunesi ölçüleri (Machining the test specimen dimensions)



2.3. Taguchi Metodu ve ANOVA Analizi (Taguchi and ANOVA Method)

İşlenebilirlik alanında yapılan çalışmalarda, kullanılan kesme parametrelerinin (ilerleme, kesme hızı, kesme

derinliği, vb.), elde edilen sonuçlara olan etkisinin belirlenmesi ve optimize edilmesi edilmesinde değişik

3. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA (EXPERIMENTAL RESULTS AND DISCUSSION)

Çizelge 6. Taguchi L18 için deney sonuçları (Experimental results for L18 model of Taguchi)

Deney No	Malzeme	Kesme Hızı V(m/min)	İlerleme F(mm/dış)	Fx (N)	Fy (N)	Fz (N)	Ra (µm)
1	T3	150	0.1	61	36	28	0.82
2	T3	150	0.2	99	45	38	1.25
3	T3	150	0.3	124	57	49	1.95
4	T3	200	0.1	50	32	24	0.52
5	T3	200	0.2	88	43	34	0.66
6	T3	200	0.3	122	53	48	1.45
7	T3	250	0.1	44	14	23	0.41
8	T3	250	0.2	76	40	26	0.52
9	T3	250	0.3	118	44	46	0.81
10	T6	150	0.1	63	42	30	0.87
11	T6	150	0.2	107	58	45	0.79
12	T6	150	0.3	164	86	76	1.10
13	T6	200	0.1	51	29	21	0.51
14	T6	200	0.2	95	44	41	0.66
15	T6	200	0.3	132	58	47	1.45
16	T6	250	0.1	48	28	20	0.50
17	T6	250	0.2	87	42	31	0.83
18	T6	250	0.3	115	47	38	0.97

istatistiki analiz yöntemleri kullanılmaktadır. Bunlardan en yaygın olanları ise Taguchi ve ANOVA analizleridir [16-20]. Taguchi, deneysel çalışmalarda, oldukça kolaylık sağlamaktadır. Kullanılacak olan parametreler ile deneylerin planlanması, elde edilen deney sonuçlarına deney parametrelerinin etki düzeylerinin tespiti ve optimum deney parametrelerinin belirlenmesi Taguchi metodu ile yapılabilmektedir. ANOVA (Analysis of Variance), girdiler ile çıktılar arasında olası ilişkilerin ve ilişki şiddetinin belirlenmesinde kullanılan bir yöntemdir. Özellikle deneysel çalışmalarda, kullanılan deney parametreleri ile elde edilen deney sonuçları arasında bir ilişkinin olup olmadığının belirlenmesi, deney sonuçlarının yorumlanmasında oldukça önemlidir. Bu çalışmada, T3 ve T6 yaşlandırılmış AA2024 alaşımının farklı kesme parametreleri (Çizelge 4) ile frezelenmesinde Taguchi metodundan faydalanılmıştır. Deneyler, Taguchi L18 karma (mixed) modeli ile planlanmıştır. L18 karma deney tasarımı, 3 faktör (faktörler için M, V ve F sembolleri tercih edilmiştir) ve seviyelerden (1,2 ve 3) oluşmaktadır. İki değeri (seviye 1 ve 2) olan bir adet (M) faktör (2¹) ve üç değeri (seviye 1, 2 ve 3) olan iki adet (V ve F) faktörlerinden (2*2³) oluşmaktadır (Çizelge 5).

Çizelge 5. Taguchi L18 karma modeli (L18 mixed model of Taguchi)

Faktör	Sembol	Birim	Seviye		
			1	2	3
Malzeme	M		T3	T6	-
Kesme Hızı	V	m/dak	150	200	250
İlerleme	F	mm/dış	0.1	0.2	0.3

Kesme kuvvetlerin ve yüzey pürüzlülüklerinin minimum düzeyde olması imalat için önemi büyüktür. Normal şartlarda, kullanılan deney parametrelerinin kesme kuvvetleri ve elde edilen yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerinin belirlenmesinde ise çok sayıda deney yapılması gerekmektedir. Burada, Taguchi yöntemi tercih edilerek deney sayısı azaltılmıştır. Taguchi L18 karma modeline göre yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar Çizelge 6’da verilmiştir

Elde edilen deney sonuçlarının Taguchi ile değerlendirilmesinde belli başlı teknikler bulunmaktadır. Bu tekniklerden biri olan “Smaller is better” (en küçük daha iyidir) bu çalışma için tercih edilmiştir. Çünkü talaş kaldırma sırasında kesme kuvvetlerinin düşük, yüzey pürüzlülüğünün küçük elde edilmesi, yapılan işlenebilirlik çalışmalarında olduğu gibi bu çalışma için de önemli bir kriter olarak belirlenmiştir. Taguchi metodunda “Smaller is better” için aşağıda verilen Eş. 1 kullanılmaktadır [16-20].

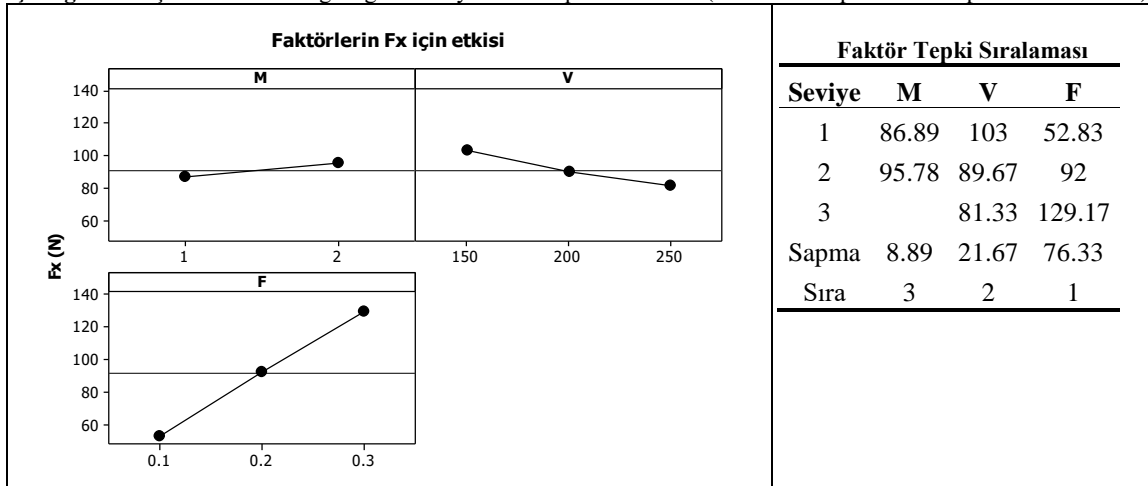
$$\eta = -10 \log_{10} \left(\frac{1}{r} \sum_{i=1}^r \frac{1}{R_{ij}^2} \right) \quad (1)$$

Deneylerde ölçülen, Fx, Fy ve Fz kuvvetlerine yönelik elde edilen Taguchi analiz sonuçları Çizelge 7-9 arasında verilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü için Taguchi analiz sonuçları ise Çizelge 10’ da verilmiştir. Verilen Çizelgelarda: faktörün etki grafikleri (Main Effects plot) ve bu faktöre ait tepki sıralaması (Response Table) birlikte verilmiştir.

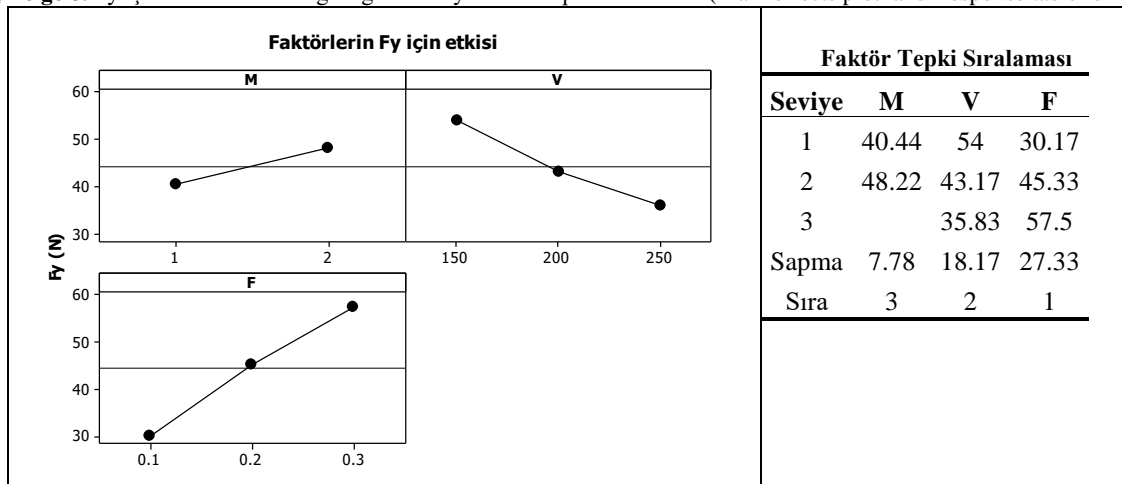
Çizelge 7-9 arasında verilen grafiklerde (Main Effects graph), Fx, Fy ve Fz kesme kuvvetlerinin minimum oluşmasında en etkili faktörlerin sırası ile F (ilerleme), V (kesme hızı) ve M (yaşlandırma tipi) olduğu

görülmektedir. Bu durum, Çizelgelarda verilen önem sırası (1-2-3): F-V-M şeklinde olduğu kesin olarak “Faktörlerin Tepki Sıralaması” (Response Table) ortaya çıkmaktadır.

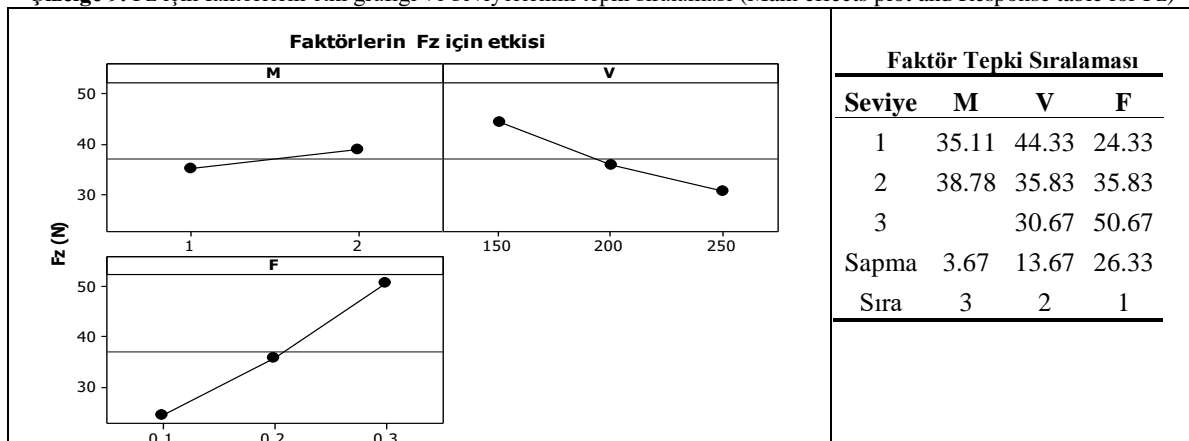
Çizelge 7. Fx için faktörün etki grafiği ve seviyelerinin tepki sıralaması (Main effects plot and Response table for Fx)



Çizelge 8. Fy için faktörlerin etki grafiği ve seviyelerinin tepki sıralaması (Main effects plot and Response table for Fy)



Çizelge 9. Fz için faktörlerin etki grafiği ve seviyelerinin tepki sıralaması (Main effects plot and Response table for Fz)



değerleri ile de kesinleşmektedir. “Sıra” (Rank) için verilen değerler bu sıralamayı ortaya koymaktadır. Diğer bir deyişle “Sıra” değerleri faktörlerin önem sıralamasını belirtmektedir. Değerler, 1’den başlayarak 2,3,..n şeklinde devam etmektedir. Taguchi analizinde, sıralama değerleri, faktör seviyeleri arasındaki en büyük “Sapma” (Delta) değerleri ile belirlenmektedir. Sonuç olarak, Fx, Fy ve Fz kesme kuvvetleri için kullanılan faktörlerin,

Deneylerde kesme kuvvetlerinin en düşük kalmasında kullanılan 3 faktöre (F, V, M) ait her bir seviyenin (Level) etkisi de yine verilen grafiklerden belirlenebilmektedir. Çizelge 7-9 arasında verilen grafiklerden en düşük kesme kuvveti değerleri: F faktörü için 1. Seviye (0.1 mm/diş), V için 3. Seviye (250 m/dak) ve M faktörü için 1. Seviye (T3) olmaktadır. Dolayısı ile kesme kuvvetlerinin (Fx, Fy, Fz) düşürülmesi için,

öncelikle ilerlemenin azaltılması (F1), kesme hızının artırılması (V3) ve yaşlandırma olarak da T3'ün (M1) kullanılması gerektiği anlaşılmaktadır.

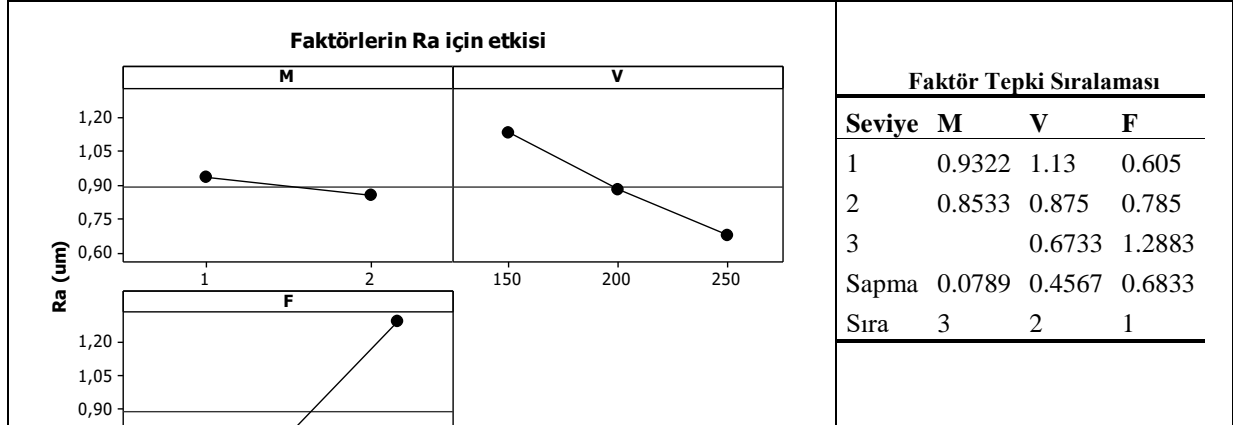
Yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerlerine yönelik yapılan Taguchi analizi sonuçlarında ise, en etkili faktörlerin sırası ile F, V ve M olduğu Çizelge 10'da verilen grafikte görülmektedir. Faktörlerin önem sıralaması için "Faktör Tepki sıralaması" değerleri incelendiğinde "Sıra" için: 3-2-1 (soldan sağa) rakamları görülmektedir. Bu sıralama, yüzey pürüzlülüğünün minimum düzeyde kalabilmesinde faktörlerin önem sıralamasını göstermektedir. 1: F faktörü, 2: V faktörü ve 3: M faktörünü ifade etmektedir.

Kesme kuvvetlerinde olduğu gibi Ra değerlerinin de en düşük kalmasında kullanılan 3 faktöre (F, V, M) ait her bir seviyenin etkisi de yine verilen grafiklerden belirlenebilmektedir. Çizelge 10'da verilen grafikte en düşük yüzey pürüzlülüğü değerleri: F faktörü için 1. Seviye (0.1 mm/diş), V faktörü için 3. Seviye (250 m/dak) ve M faktörü için 2. Seviye (T6) olmaktadır. Dolayısı ile Ra düşürülmesi için, öncelikle ilerlemenin düşürülmesi (F1), kesme hızının artırılması (V3) ve yaşlandırma olarak da T6'ün (M2) kullanılması gerektiği anlaşılmaktadır.

Taguchi analizleri sonucunda: kesme kuvvetlerini minimum yapan en etkili faktörler ve seviyelerinin: F1, V3 ve M1 olduğu, yüzey pürüzlülüğünde ise: F1, V3 ve M2 olduğu kesinleşmiştir. Fakat bu bilgi tek başına yeterli değildir. Buna ilaveten her bir Faktörün kendi başına veya birlikte deney sonuçlarına olan katkılarının (%) bilinmesi de gerekmektedir. Bu nedenle de, faktörlerin kesme kuvvetlerine ve yüzey pürüzlülüğüne % olarak katkıları için ANOVA analizleri yapılmıştır. Kesme kuvvetlerine faktör katkıları, Çizelge 11- 13 arasında ve yüzey pürüzlülüğüne olan katkısı ise Çizelge 14'te verilmiştir.

Elde edilen Çizelgeler incelendiğinde, Fx kuvvetine yönelik olarak ilerlemenin katkısı %87.54 çıkarken kesme hızının katkısı %7,18 düzeyinde kalmıştır (Çizelge 11). Fy kuvvetine ilerlemenin katkısı %55.87 ve kesme hızının katkısı %24.88 olduğu belirlenmiştir (Çizelge 12). Fz kuvvetinde ise, ilerleme katkısı %64.25, kesme hızının katkısı da %17.56 olarak gerçekleşmiştir (Çizelge 13). Kesme kuvvetlerine yaşlandırma yönteminin (T3 ve T6) katkısına bakıldığında ise, Fy kuvvetine yaşlandırmanın katkısı %6.76 olurken Fx ve

Çizelge 10. Ra için faktörlerin etki grafiği ve seviyelerinin tepki sıralaması (Main effects plot and Response table for Ra)



Çizelge 11. Fx için ANOVA sonuçları (Analysis of Variance for Fx)

Kaynak	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	Katkı (%)
M	1	355.6	355.6	355.6	4.02	0.115	1.78
V	2	1433.3	1433.3	716.7	8.1	0.039	7.18
F	2	17484.3	17484.3	8742.2	98.81	0	87.54
M*V	2	139.1	139.1	69.6	0.79	0.515	0.70
V*F	4	72.3	72.3	18.1	0.2	0.923	0.36
M*F	2	133.4	133.4	66.7	0.75	0.527	0.67
Hata	4	353.9	353.9	88.5			1.77
Toplam	17	19972					100.00

$$S = 9.40597 \quad R\text{-Sq} = 98.23\% \quad R\text{-Sq(adj)} = 92.47\%$$

Fz kuvvetlerine olan katkısı yaklaşık aynı olup %1.80 düzeylerinde kalmıştır.

Genel olarak, Taguchi ve ANOVA analizlerinden anlaşıldığı gibi kesme kuvvetlerinin düşürülmesi ve yüzey pürüzlülüğünün iyileştirmesi için kesme hızının

Çizelge 12. Fy için ANOVA sonuçları (Analysis of Variance for Fy)

Kaynak	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	Katkı (%)
M	1	272.22	272.22	272.22	7.14	0.056	6.76
V	2	1002.33	1002.33	501.17	13.14	0.017	24.88
F	2	2250.33	2250.33	1125.17	29.5	0.004	55.87
M*V	2	173.44	173.44	86.72	2.27	0.219	4.31
V*F	4	130.33	130.33	32.58	0.85	0.559	3.24
M*F	2	46.78	46.78	23.39	0.61	0.586	1.16
Hata	4	152.56	152.56	38.14			3.79
Toplam	17	4028					100.00

S = 6.17567 R-Sq = 96.21% R-Sq(adj) = 83.90%

Çizelge 13. Fz için ANOVA sonuçları (Analysis of Variance for Fz)

Kaynak	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	Katkı (%)
M	1	60.5	60.5	60.5	1.28	0.322	1.86
V	2	571.44	571.44	285.72	6.03	0.062	17.56
F	2	2091.44	2091.44	1045.72	22.05	0.007	64.25
M*V	2	163	163	81.5	1.72	0.289	5.01
V*F	4	122.56	122.56	30.64	0.65	0.659	3.77
M*F	2	56.33	56.33	28.17	0.59	0.594	1.73
Error	4	189.67	189.67	47.42			5.83
Total	17	3254.94					100.00

S = 6.88598 R-Sq = 94.17% R-Sq(adj) = 75.24%

Çizelge 14'te verilen Ra için ise: F faktörünün katkısı: %52.59, V faktörünün katkısı: %21.96 ve M faktörünün katkısı ise %0.98 olduğu ortaya çıkmıştır. Ra için yaşlandırmanın katkısı çok düşük olurken, yaşlandırma ve kesme hızının birlikte (M*V) katkısı: %10'a çıkmaktadır. Bu durum, yüzey pürüzlülüğü için, malzemenin kesme hızı ile birlikte değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

arttırılması ve ilerlemenin düşürülmesi gerektiği ortaya çıkmaktadır.

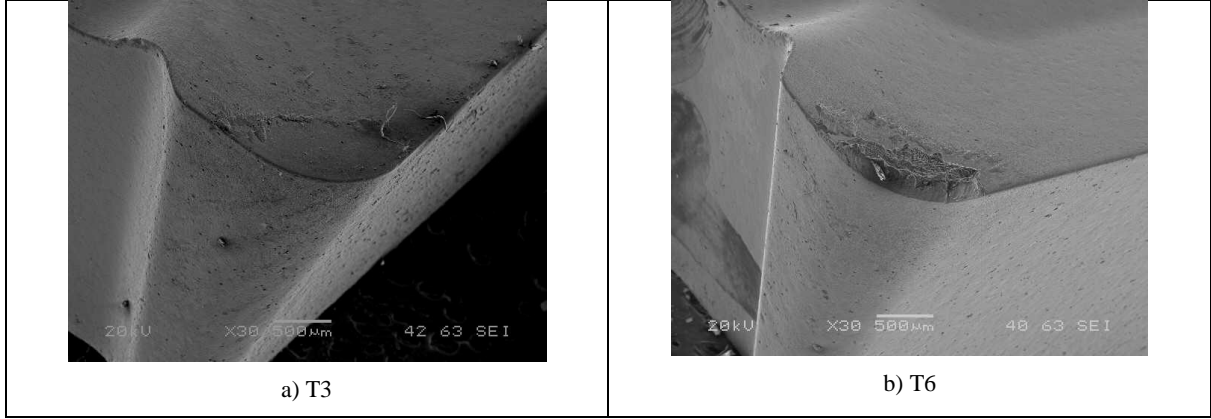
Uygulanan T6 ısıl işlemi ile malzeme sertliğinin düşmesine karşılık, talaş kaldırma (frezeleme) sırasında kesme kuvvetlerinde T3'e nazaran küçük artışlar meydana gelmiştir. Kesme kuvvetlerindeki artış, takım yüzeyinde oluşan talaş yapışmasından (BUE) kaynaklandığı düşünülmektedir. Çünkü kullanılan kesici takıma yönelik yapılan incelemelerde (SEM), BUE

Çizelge 14. Ra için ANOVA sonuçları (Analysis of Variance for Ra)

Kaynak	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	Katkı (%)
M	1	0.02801	0.02801	0.02801	0.71	0.448	0.98
V	2	0.62848	0.62848	0.31424	7.93	0.041	21.96
F	2	1.50538	1.50538	0.75269	19	0.009	52.59
M*V	2	0.28888	0.28888	0.14444	3.65	0.125	10.09
V*F	4	0.19546	0.19546	0.04886	1.23	0.422	6.83
M*F	2	0.05791	0.05791	0.02896	0.73	0.536	2.02
Error	4	0.15846	0.15846	0.03961			5.54
Total	17	2.86256					100.00

S = 0.199032 R-Sq = 94.46% R-Sq(adj) = 76.47%

talaşlarına rastlamıştır (Şekil 5). Kesici takım yüzeyinde meydana gelen talaş yapışması artan sertlikle (T3) azalmaktadır (Şekil 5.a). Bu azalma kesme kuvvetlerinde düşüşü beraberinde getirmiştir. T3 ve T6 numunelerin frezeleme işleminde artan kesme hızlarıyla kesme kuvvetlerinde meydana gelen azalmada sıcaklığın etkin bir rol oynadığı düşünülmektedir. Çünkü artan kesme hızıyla birlikte artan sıcaklığın malzemenin talaş kaldırılan bölgesindeki akma dayanımını düşürdüğü ve böylece kesme kuvvetlerini azalttığı, artan ilerleme ile artan talaş kesitinin de kesme kuvvetlerini artırdığı bilinmektedir [8-10].



Şekil 5. 200 m/dak ve 0.2 mm/dev ile kullanılan kesicinin SEM görüntüleri a) T3 ve b) T6 (SEM images of cutter used for milling at 200 m/min and 0.2 mm/rev: a) T3 ve b) T6)

Düşük kesme hızlarında ve özellikle de T6 yaşlandırılmış AA2024 malzemesinin işlenmesinde kesici uçta BUE meydana geldiği görülmüştür. Düşük kesme hızlarında meydana gelen BUE'nin yüzey kalitesinin kötüleşmesine neden olduğu bilinmektedir [10]. İşlenebilirlik sırasında meydana gelen BUE, kesici kenar gibi davranarak yüzeyden düzensiz talaş kaldırılmasına sebep olmakta ve yüzey pürüzlülüğünü artmaktadır [13]. T3 ve T6 aşlandırılmış AA2024 numunelerinin işlenmesinde ölçülen Ra değerleri birbirine çok yakındır (Çizelge 4). Bununla birlikte Taguchi ve ANOVA analiz sonuçlarında, T6'nın en düşük yüzey pürüzlülüklerinin elde edilmesinde daha uygun olduğu belirlenmiştir.

4. SONUÇ (CONCLUSION)

AA2024 alüminyum alaşımının T3 ve T6 yaşlandırma ısıl işlemi ile mikroyapı ve mekanik özelliklerinde meydana gelen değişimin işlenebilirlik üzerindeki etkisinin belirlenmesine yönelik elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

AA2024 malzemesinin işlenebilirliğine etkisinin diğer faktörlere göre oldukça düşük olduğu ortaya çıkmıştır. Yaşlandırmanın katkısı, kesme kuvvetlerine yaklaşık %1.78 - 7 arasında ve yüzey pürüzlülüğüne ise yaklaşık %1 olmuştur. Bununla birlikte, T3 yaşlandırılmış malzemenin T6'ya oranla daha rahat işlenebildiği, kesici takım üzerinde talaş yapışmalarının (BUE) meydana gelmediği görülmüştür. Yapılan analizlerde, en düşük kesme kuvvetlerinin elde edilmesinde T3 (M1) doğal yaşlandırmanın, yüzey pürüzlülüğü açısından ise T6

(M2)'nin daha uygun olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte, yapılan deneylerin genelinde ölçülen kesme kuvvetleri, artan ilerleme ile artmış, kesme hızının artması ile de azalmıştır.

Kesme kuvvetlerini en çok etkileyen faktörlerin: ilerleme (yaklaşık katkı: %55-88) ve kesme hızı (yaklaşık katkı: %7-25) olduğu belirlenmiştir. Kesme kuvvetlerinin azaltılmasında faktörlerin en etkili seviyeleri ise: 0.1 mm/dev ilerleme (F1) ve 250 m/min kesme hızı (V3) olduğu tespit edilmiştir.

Yüzey pürüzlülüğü açısından elde edilen sonuçlara bakıldığında, en etkili faktörler sırası ile ilerleme (yaklaşık katkı: %53) ve kesme hızı (yaklaşık katkı: %22) olmuştur. Yüzey pürüzlülüğünün düşürülmesinde faktörlerin en etkili seviyeleri ise, kesme kuvvetlerinde olduğu gibi ilerleme 1 (F1) ve kesme hızı 3 (V3) olmuştur.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Sanchez M., Sanchez-Sola J.M., Gonzalez J.M., Contreras J.P. and Macros M., "Cutting forces compatibility based on plastic model: Application to the oblique cutting of the AA2024", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 42: 559-565, (2002).
2. List G., Nouari M., Gehin D., Gomez S., Manaud J.P., Girot F., "Wear behavior of cemented carbide tools in dry machining aluminum alloy", *Journal of Wear*, 259: 1177-1189, (2005).
3. Rubio EM., Camacho AM., Sanches-Sola J.M. and Marcos M., "Chip arrangement in the dry cutting of aluminum alloys", *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 16: 164-170 (2006).
4. Doğan M., "Alüminyum alaşımlarının ısıl işlemi", Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (1989).
5. Kaya I., "Al7075 alaşımının şekillenme ve ısıl işleme özelliklerinin iyileştirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2005).
6. Meyveci A., "Yaşlandırılmış 2XXX ve 6XXX serisi alüminyum alaşımlarının aşınma davranışlarının

- incelenmesi”, Bilim Uzmanlığı Tezi, **Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi**, Karabük, (2007).
7. Özgürler M., Sönmez N., “Alüminyum alaşımlarının talaşlı işlenebilirliği”, **Mühendis ve Makine**, İstanbul, 30: 12-45, (1989).
 8. Aydın B., “AA2014 Alaşımında yaşlandırma ısıl işlemleri ile değiştirilen işlenebilirlik özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, (2002).
 9. Özçatalbaş Y. ve Aydın B., “Mekanik özellik ve kesme geometrisinin AA2014 Alaşımının işlenebilirlik özelliklerine etkileri”, **Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.** 21: 21-27, (2006).
 10. Kurt M., Kaynak Y. ve Bağcı E., “Evaluation of drilled hole quality in Al 2024 alloy”, **International journal of Advance Manufacturing Technology**, 37: 1051-1060, (2008).
 11. Shokroni A., Dhokia V. and Newman S.T., “Environmentally conscious machining of difficult-to-machine materials with regard to cutting fluids”, **International Journal of Machine Tools & Manufacture**, 57: 83-101, (2012).
 12. Suna S., Brand M. and Dargusch M.S., “Thermally enhanced machining of hard-to-machine materials-A review”, **International Journal of Machine Tools & Manufacture**, 50: 663-680, (2010).
 13. Carrilero M.S., Bienvenido R., Sanchez M., Alveraz A., and Macros M., “A SEM and EDS insight into the BUL and BUE differences in the turning process of AA2024 AL-Cu alloy”, **International Journal of Machine Tools & Manufacture**, 42: 215-220, (2002).
 14. Puertas, I. and Luis Perez, C.J., “Surface roughness prediction by factorial desing of experiments in turning processes”, **Journal of Materials Processing Technology** 143: 390-396, (2003).
 15. Nouari M., List G., Girot F. and Gehin D., “Effect of machining and coating on wear mechanisms in dry drilling of aluminum alloys”, **International Journal of Machine Tools & Manufacture**, 45: 14436-1442, (2005).
 16. Nian C.Y., Yang W.H., Tang Y.S., “Optimization of turning operations with multiple performance characteristics”, **Journal of Materials processing Technology**, 95: 90-96, (1999).
 17. Davim J. Paule, “Study of drilling metal-matrix compsites based on the Taguchi techincues”, **Journal of Materials processing Technology**, 132: 250-254, 2003.
 18. Savaşkan M., Taptık Y. ve Ürgen M., “Deney tasarımı yöntemi ile matkap uçlarının performans optimizasyonu”, **İ.T.Ü. Dergisi**, 3: 117-128, (2004).
 19. Manna A. and Salodkar S., “Optimization of machining conditions for effective turning of E0300 alloy steel”, **Journal of Materials processing Technology**, 203: 147-153, (2008).
 20. Gologlu C. and Sakarya N., “The effect of cutter path strategies on surface roughness of pocket milling of 1.2738 steel based on Taguchi method”, **Journal of .material processing Technology**, 206: 7-15, (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>

Gölyaka (Düzce) imara esas yerleşim alanındaki zeminlerin spt ve sismik hız verileriyle sıvılaşma riskinin araştırılması

Assesment of liquefaction potential of Düzce (Gölyaka) soils using spt and shear wave velocity under the effect of prospective eartquake

Yazar(lar) (Author(s)): Ali ATEŞ

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Ateş A., " Gölyaka (Düzce) imara esas yerleşim alanındaki zeminlerin spt ve sismik hız verileriyle sıvılaşma riskinin araştırılması, *Politeknik Dergisi*, 20(4): 753-763, (2017).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.368977

Gölyaka (Düzce) İmara Esas Yerleşim Alanındaki Zeminlerin SPT ve Sismik Hız Verileriyle Sıvılaşma Riskinin Araştırılması

Araştırma Makalesi / Research Article

Ali ATEŞ*

Düzce Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İnşaat Müh. Bölümü Konuralp, DÜZCE

(Geliş/Received : 03.04.2017; Kabul/Accepted : 06.07.2017)

ÖZ

Düzce konum itibarı ile dünyanın ve ülkemizin sismik olarak en aktif kuşağı üzerindedir. Güneyden Arap plakasının Anadolu plakasını altına dalma batma şeklinde hareket ettirmesiyle saatin tersine yönüne hareket ettirerek bölgeyi sismik olarak tetikleemektedir. Sıvılaşma olgusu ülkemizde Erzincan depremiyle literatürümüze girmiştir. 1999 depreminden sonra Düzce özellikle de Sakarya ve Kocaeli zeminlerinde oldukça fazla sıvılaşma vakalarına rastlanılmıştır. Bu çalışmada Düzce ili Gölyaka ilçesi yerleşim alanında 35 noktada SPT (Standard Penetrasyon Test) ve Vs (Kayma dalgası hızları) kaydedilmiştir. Çalışma alanında SPT ve sismik deney noktaları çakıştırılmaya çalışarak sonuçların uyumlu olması sağlanmıştır. Düzce fay zonunun gelecek depremde kırılması halinde üretebileceği deprem moment büyüklüğü $M_w=7.2$ ve yatay deprem ivmesinin ise $a_{maks}=0.53$ olması şartlarında sıvılaşma analizleri yapılmıştır. Sıvılaşma analizleri sonucunda elde edilen sıvılaşma indeksi sonuçlarına göre sıvılaşma haritaları hazırlanmıştır. Bu çalışmanın sonucunda ilçenin büyük bölümünde sıvılaşma olabileceği ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Gölyaka, sıvılaşma, kayma dalgası hızı, SPT.

Assesment of Liquefaction Potential of Düzce (Gölyaka) Soils Using SPT and Shear Wave Velocity Under The Effect of Prospective Eartquake

ABSTRACT

Duzce city is on the most active and seismic area of Turkey and World as a location. Arap plate triggers the area seismically diving under the Anatolian plate in the form of moving in the direction of anticlockwise. Soil liquefaction has been an attractive research topic in Turkey after 1992 Erzincan Earthquake where liquefaction occurred. A lot of widespread liquefaction phenomenon and liquefaction induced damages were observed in the soils Duzce and more over in Adapazarı soils after 1999 earthquake. A total of 443m drilling was carried out where SPT and Seismic shear waves were performed at 35 points in study area in Gölyaka district. It is tried to intersect the points where the SPT and Vs were performed on the same points so that the results should be compatibility. The liquefaction analysis was done taking into account the moment magnitude $M_w=6.98$ and maximum horizontal acceleration $a_{maks}=0.53$ in the case of the Duzce fault crack at the rate of $\frac{1}{2}$ length. At the end of the analysis the liquefaction map was prepared according to the results of the liquefaction severity indexes obtained in this study. In the end, it was revealed that the liquefaction was observed about %80 in the wide area of Gölyaka district.

Keywords: Gölyaka, liquefaction, shear wave velocity, SPT.

1.GİRİŞ (INTRODUCTION)

Sıvılaşma olayı genellikle alüvyal zeminlerde ve suya doymun, yer altı su seviyesinin yüksek olduğu zemin ortamlarda meydana gelmektedir. Depremlerde oluşan yatay makaslama dalgalarının indüklemesi sonucunda oluşan zeminlerin drenajsız şartlarında boşluk suyu basıncındaki ani artış ve net gerilmenin ani düşüşüyle meydana gelmektedir. Dolayısı ile depremlerin olması esnasında zemin katmanlarında meydana gelen sıvılaşma durumlarında alt yapı sistemlerine, doğal gaz boruları, su şebekesi, bina temellerine zarar vermekte hatta kullanıla-

maz hale gelebilmektedir. Bundan dolayı geoteknik deprem mühendisliği konularına ilgi duyan bilim adamları sıvılaşmaya neden olan değişik faktörleri ve sıvılaşmanın olabilirliğini, sıvılaşma potansiyelini ayrıca olması beklenen yapısal hasarları önlemek üzere çözüm üretmek amacıyla ilgi duyarak araştırmalarını bu konulara çevirmiş bulunmaktadır. Sıvılaşma olgusu depremin büyüklüğüne odak merkezine yakınlığına, zeminlerin tane boyu dağılımına, zeminlerin kompozisyonuna diğer bir ifade ile ince tane oranına, yer altı su seviyesine, geçmiş jeolojik yaş ve zeminlerin geçirdiği evrelere bağlı olarak meydana gelmektedir. Sıvılaşma olayı ilk kez 1964 Niigata ve Alaskada meydana gelen depremlerde gözlenmiştir. Bu tarihten sonra değişik ülkelerde değişik depremlerde bu tür sıvılaşma olgusu meydana gelmiş ve

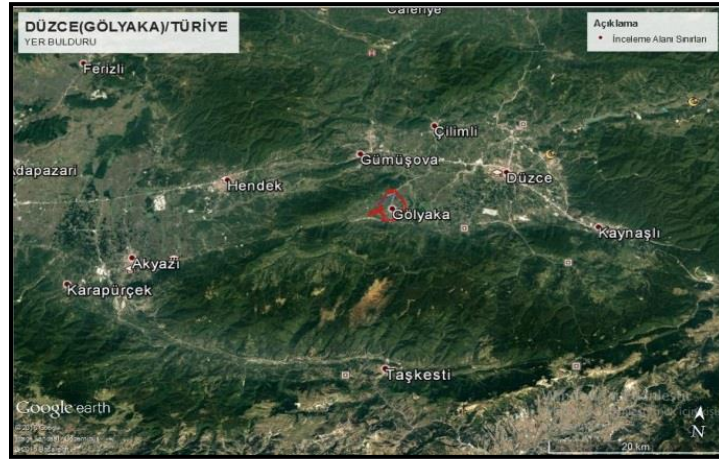
*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta: aliates@duzce.edu.tr

bilim adamlarının dikkatini çekmiştir. Yine meydana gelen depremlerde sıvılaşma olgusu merak uyandırmış ve bilim adamları bu konuda gerekli araştırma ve gözlemlerde bulunarak fiziksel, matematiksel modelini tanımlamaya çalışmışlardır. Ayrıca bilim insanları sıvılaşma olayını ampirik olarak da ifade etmeye çaba göstermişlerdir [1].

Genel olarak arazi ve laboratuvar çalışmalarına dayanan

2. İNCELEME ALANININ TANITILMASI (DESCRIPTION OF STUDY AREA)

Çalışma alanı, İstanbul(225km) –Ankara(252km) arasında, Düzce ili sınırları içerisinde yer almaktadır. Çalışma alanında Karadeniz iklimi hâkimdir. Türkiye'nin en zengin bitki örtüsüne sahip yörelerinden olan bölgenin güney kesimi sık ormanlarla kaplıdır. Bölgenin kuzeyi Karadeniz'dir. Orman alanı 20 77.77 hektardır, (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışma alanının konum haritası (The map of study area)

bu yöntemler sıvılaşma potansiyelinin analizinde kullanılmaktadır. Sıvılaşma potansiyeli, laboratuvar ortamında dinamik üç eksenli, dinamik kesme, sarsma tablası ve sentrütüj deneyleri ile araştırılabilmektedir [2-8]. Arazi yapılan deneylerden ise Standard Penetrasyon Deneyi (SPT), Koni Penetrasyon Deneyi (CPT), sismik deneyler ile kayma dalgası hızına bağlı (Vs) olarak bulunabilmektedir [9-15].

Bu çalışmada Düzce İli, Gölyaka İlçesi, zeminlerinin jeolojik, geoteknik, jeofizik özelliklerinin ortaya konularak, gelecekte olması beklenen depremlerde sıvılaşma tehlikesinin araştırılması amacıyla SPT ve kayma dalgası hızı (Vs) deneyleri arazide gerçekleştirilmiştir. Gölyaka ilçesi mücavir alan sınırları 1.04ha(10404m²)'lik bir alandır.

Araziden örselenmiş ve örselenmemiş numuneler alınmış ve bu numunelerin fiziksel ve geoteknik özellikleri laboratuvarda araştırılmıştır. Sıvılaşma analizlerinin araştırılmasında SPT testi verileri ile yapılan analizlerde Seed ve Idriss [9] tarafından önerilen basitleştirilmiş yöntem, sismik deney verileri ile ise Andrus ve Stoke [14] tarafından önerilen eşitlikler kullanılmaktadır. Ancak yapılan çalışmalarda güvenlik faktörüne bağlı yapılan hesaplamaların (FS) literatürde yeterli olmadığı görülmüştür [11,16, 17] ve bu bağlamda sıvılaşma risk indeksi kat sayısı (Ls) parametresi bulunarak ilçenin sıvılaşma potansiyeli risk haritası ortaya konmuştur. Sıvılaşma risk indeksi Düzce ilinde etkin ve dominant olan Düzce Fayının beklenen depremde kırılması sonucu üretmesi beklenen deprem büyüklüğü Mw=7.2 ve yatay deprem ivmesi a_{maks}=0,51 olması deprem senaryosu şartlarında sıvılaşma haritası hazırlanarak ortaya konulmuştur [17].

3. ÇALIŞMA ALANININ JEOLJİSİM (GEOLOGY OF THE STUDY AREA)

3.1. Genel Jeoloji (General Geology)

Pontidler'in batı bölümünde; Düzce, Yığılca, Almacık Dağı ve çevresi içinde yer alan çalışma alanında, Batı Pontid zonu, Armutlu-Almacık-Arkotdağı zonu ve Sakarya zonuna ait birimler tektonik ilişki içinde birlikte bulunurlar.

Bölgede Batı Pontid zonuna ait amfibolit, gnays gibi yüksek dereceli metamorfizmlerden oluşan Prekambriyen yaşta Yedigöller Formasyonu ve bunları kesen aynı yaşta Bolu granitoidi; bunların üzerine uyumsuz olarak şeyl, çamurtaşı ve kumtaşıdan oluşan Alt Ordovisiyen yaşta Kocatöngel formasyonu ile başlayan "İstanbul Paleozoyik istifi" gelir. İstifin diğer birimleri yaşlıdan gence doğru sırasıyla kumtaşı, çamurtaşı ve konglomeradan oluşan Alt Ordovisiyen yaşta Kurtköy Formasyonu, şeyl, kumtaşı ve kireçtaşlarından oluşan Orta Ordovisiyen-Alt Devoniyen yaşta Ereğli Formasyonu; kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı ve dolomitten oluşan Orta Devoniyen-Alt Karbonifer yaşta Yılanlı formasyonudur. Birbirleriyle uyumlu görülen istife ait birimler içerisinde Kurtköy ve Ereğli Formasyonları arasında olması beklenen (çalışma alanı dışında var olan) Alt Ordovisiyen yaşta kuarstik kumtaşı, konglomera ve çamurtaşından oluşan Aydos Formasyonu çalışma alanında gözlenmemiştir. İstanbul Paleozoyik istifi üzerine açılmal uyumsuzlukla karasal çamurtaşı, kumtaşı ve konglomeradan oluşan Permiyen-Triyas yaşta Çakraz formasyonu gelir. Pontidler'de yaygın olarak görülen Üst Kretase yaşta ada yayı volkanizması ürünleri ile temsil edilen Yemişliçay Formasyonu, pelajik kireçtaşı ile çamurtaşından oluşan Kapanboğazı

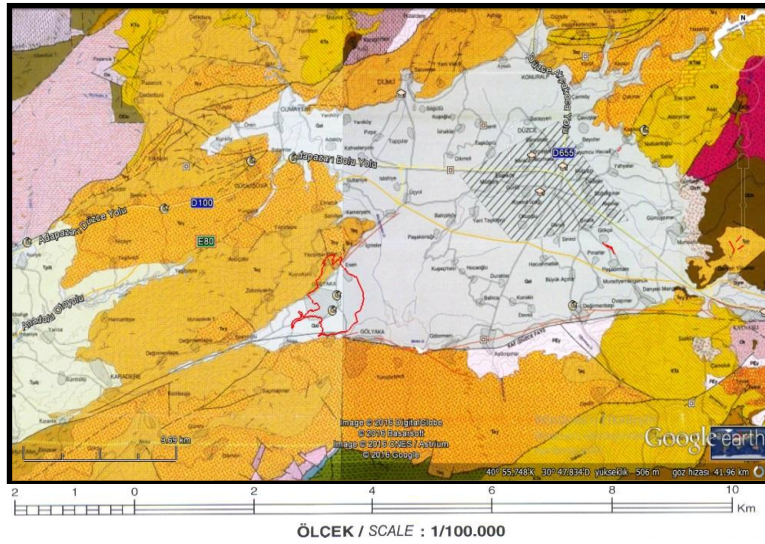
Üyesiyle (Santaniyen-Kampaniyen) birlikte açılmal uyumsuzlukla yaşlı birimler üzerine gelir. Geçişli olarak Üst Kampaniyen-Alt Eosen yaşta kireçtaşı fliş karakterindeki Akveren Formasyonu, Sermi Kireçtaşı üyesi (Maastrichtiyen-Paleosen) ve Çangaza Volkanit Üyesi ile birlikte devam eder. Almacık dağı'nın içinde bulunan zonda (Armutlu-Almacık-Arkotdağı zonu) ise Akveren formasyonu alttaki birimler üzerinde açılmal uyumsuzlukla bulunur. Kumtaşı, silttaşı ve kıltaşı aralanmaları Alt-Orta Eosen yaşta Çaycuma Formasyonu (Kaynarca Üyesi'yle birlikte) ile aynı yaşta volkanit ve Piroklastiklerden oluşan Yığılca Formasyonu da Akveren formasyonu ile geçişli; Akveren Formasyonunun bulunmadığı yörelerde alttaki birimler üzerinde uyumsuz olarak yer alır. Armutlu-Almacık-Arkotdağı zonunda Üst Kretase yaşta Almacık ofiyolitik melanjı ve bu melanjla tektonik ilişki, İstanbul Paleozoyik istifine ait birimler ile bunların üzerine açılmal uyumsuzlukla gelen Üst Kampaniyen-Alt Eosen yaştaolistostromlu-türbiditik karakterdeki Abant Formasyonu yer alır. Dağlar arası sığ denizi temsil eden Safranbolu

Volkaniti ise Pliyosen yaşta karasal kırıntılardan oluşan Örencik formasyonu ve Kvarterner yaşta çökeller genç birimler olarak görülür.

Üst Kampaniyen -Maastrichtiyen öncesi İstanbul Paleozoyik istifi, Almacık ofiyolitik melanjı üzerine yerleşmiş olmalıdır. Bölgede Miyosen ve sonrası neotektonik hareketler günümüze kadar devam etmektedir [18].

3.2. Stratigrafi (Strigraphy)

Çalışma bölgesi üç zon halinde kabul edilerek, stratigrafi bu doğrultuda oluşturulmuştur. Bu zonlar: 1) Batı Pontid zonu (Üst Kretase-Tersiyer yaşta birimler ile İstanbul Paleozoyik istifine ait birimler). 2) Armutlu-Almacık-Arkot dağı zonu (Üst Kretase yaşta tektonik ve sedimentler melanjlı). 3) Sakarya zonu (Jura-Kretase-Tersiyer yaşta birimler) olup aynı yaşta farklı sedimentler ve tektonik özellikte birimlerin varlığı böyle bir ayırımı neden olmuştur. Çalışma alanımız Batı Pontid Zonun da yer aldığından bu zonun detayı aşağıda sunulmuştur, (Şekil 2).



Şekil 2. Çalışma alanı ve çevresinin genel jeoloji haritası (MTA 2002, Adapazarı - G25-G26 Paftaları) [18] (General geology map of province of Duzce and study area)

havzasının batıya uzanımında ise çakıl taşı, kumtaşı ve çamurtaşından oluşan Üst Daniyen-Tanesiyen yaşta Kışlaköy Formasyonuna ait Doğanlar Volkanit Üyesi üzerine uyumlu olarak Alt-Orta Eosen yaşta kireçtaşından oluşan Safranbolu Formasyonu gelir. Çalışma alanı güneyinde Sakarya zonuna ait birimler, sırayla, Alt-Orta Jura yaşta volkanit-çökel kaya aralanmalı Mudurnu Formasyonu, bunun üzerinde geçişli olarak kireçtaşından oluşan Kalloviyen-Apsiyen yaşta Soğukçam Formasyonu, üzerinde uyumlu olarak türbiditik karakterdeki Albiyen-Maastrichtiyen yaşta Yenipazar Formasyonu (Değirmenözü Üyesi ve Taraklı Üyesi ile birlikte) ve bu formasyonu kesen Üst Paleosen-Alt Eosen yaşta Meyildere volkaniti ile temsil edilir. Volkanik kayalardan oluşan Alt-Orta Miyosen yaşta Kirazdağı Volkaniti, Ilıcadere Volkaniti ve Bakacaktepe

3.3 Yapısal Jeoloji (Structural Geology)

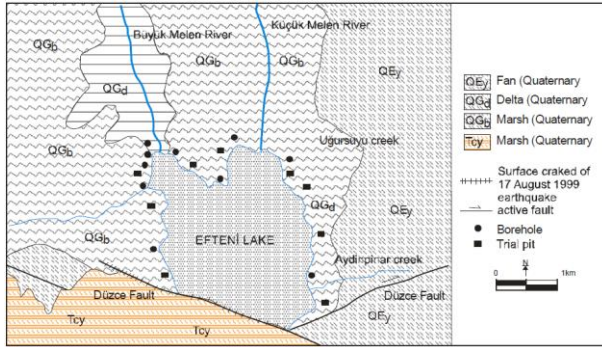
Arabistan ve Avrasya levhaları arasındaki yaklaşık kuzey-güney doğrultusunda yaklaşım sebebiyle, günümüz Akdeniz'ini Basra Körfezine bağlayan Bitlis Okyanusu 14 milyon yıl önce kapanarak kara haline gelmiş, ancak Arabistan levhasının kuzeye doğru hareketi devam etmiştir. Bu hareket sonucunda Avrasya levhasının güney kesimi daralıp yükselerek Doğu Anadolu platosunu oluşturmuştur. Bu süreç yaklaşık 10 Milyon yıl devam ederek Kızıl Deniz'in açılmasına sebep olmuştur. Kızıl Deniz'in açılması ile Arabistan levhasının kuzeye olan hareketi hızlanmış ve bu etkiye daha fazla dayanamayan Avrasya levhasının güneyinde iki büyük kırık kuşağı gelişmiştir. Bunlar yanal atımlı ve sol yönlü Doğu Anadolu Fay kuşağı ve yine yanal atımlı fakat sağ yönlü Kuzey Anadolu Fay Kuşağı'dır (KAF).

Günümüzden yaklaşık 4 Milyon yıl önce meydana gelen bu iki kırık kuşağı ile Anadolu levhacığı oluşmuştur. Bu levhacık 4 milyon yıldan beri batı-güneybatı yönünde yılda 1-3 cm'lik bir hızla hareket etmektedir ve toplam atım (yer değiştirme) 40 km'ye yaklaşmıştır.

KAF doğuda Varto civarından başlar, batıya doğru Karlıova, Erzincan, Lâdik, Ilgaz, Gerede, Bolu ve Mudurnu Suyu vadisi boyunca Dokurcuna kadar tek hat halinde uzanır. Dokurcundan sonra iki ana kola ayrılan bu kuşak güneyde Geyve, Pamukova, İznik, Gemlik, Bursa, Manyas, Yenice, Gönen üzerinden Ege Denizi'ne; kuzeyde ise Arifiye, Sapanca, İzmit Körfezi, Marmara Denizi ve Tekirdağ üzerinden Saros körfezine (Ege Denizi) ulaşır. Bu hat doğu-batı doğrultusunda Varto'dan Saros körfezine kadar 1400 km uzunluğunda ve 0.3-40 km genişliğindedir [18].

3.4. Çalışma Alanı Jeolojisi (Geology of Study Area)

Çalışma alanında yer alan jeolojik birim, ovada, pliyo-kuaterner yaşta Qal(Alüvyon yelpazesi) kuzeyinde ise Çaycuma Formasyonu (Teç);Kireçtaşı aglomera tüfit ve marn seviyeli kumtaşı, siltaşı ve kiltası ardalanmasından oluşan birimlerden oluşmaktadır [18], (Şekil 3).



Şekil 3. Çalışma alanının jeoloji haritası (The geology map of study area)

3.5. Depremsellik (Tectonic Setting)

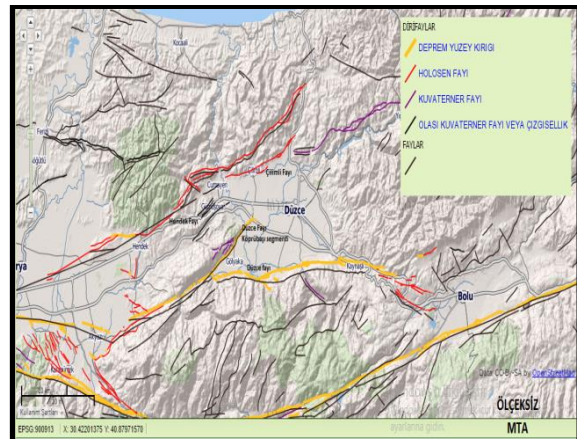
İnceleme alanı depremsellik açısından ülkemizin ve Dünyanın en hareketli ve en tehlikeli bir kuşağı üzerindedir. Ve çalışma alanı Kuzey Anadolu Fay Zonunun etkisi altındadır. Anadolu levhası, Avrasya ve Arap levhasının etkisi ile Helenik Yay tarafına doğru saatin tersi yönde ve Afrika Levhası ise Helenik Yay ve Kıbrıs Yayı boyunca Anadolu levhasının altına doğru ilerlemektedir [19]. Türkiye için oluşturulan Diri Fay Haritasında çalışma alanı ve çevresinde bölgeyi etkileyebileceği düşünülen 3 adet diri fayın mevcut olduğu bilinmektedir [18]. Bunlar;

Asya-Avrupa levhası ile güneyde Anadolu levhacığını birbirinden ayıran Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ), yaklaşık uzunluğu 1200 km. olan doğrultu atımlı bir fay sistemi olup ülkemizin en önemli tektonik yapılarından biridir ve bu fay sisteminin çalışma alanını da etkileyeceği bu çalışmanın bir deprem gerçeği olarak bilinmektedir.. 17 Ağustos ve 12 Kasım 1999 depremlerinin bu zon üzerinde meydana gelmesi aktivitenin devam ettiğinin açık bir işaretidir. Çalışma

alanının depremselliğini bu zon belirlemektedir, bu fayın üreteceği deprem parametrelerine göre risk analizi gerçekleştirilmiştir [18].

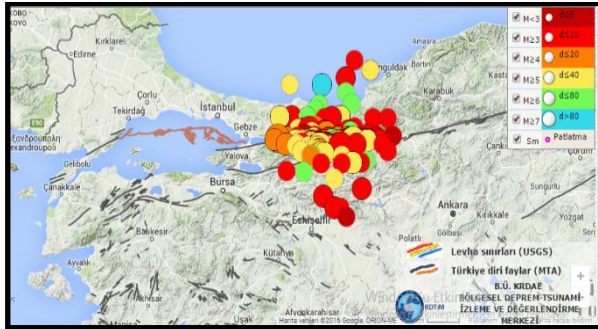
Düzce Fayı ise; Düzce Havzasını morfolojik olarak Düzce ilini Güneyden sınırlandıran bu fay, Akyazı, Düzce arasında toplam 70 km uzunluğundadır. Birbirini bütünleyen üç alt parçadan (segment) oluşan Düzce Fayı sağ yönlü doğrultu atımlı sismik olarak aktif bir faydır. Akyazı bölümünde Kuvaterner öncesi temel kayalar içerisinde izlenmektedir. Bu fay sistemi aktivitesini 17 Ağustos ve 12 Kasım depremleriyle de göstermiştir. 17 Ağustos depreminde (M=7.4) gelişmiş olan 130 km. uzunluğundaki yüzey kırığının 30 km'lik doğu bölümü Düzce Fayı üzerinde yer almaktadır.

Hendek Çilimli Fayı Düzce Havzası batısında Sapanca Gölü- Hendek-Cumayeri arasında uzanan D-GB uzanımlı fay Hendek Fayı olarak bilinmektedir. Sağ yönlü doğrultu atımlı olan bu fay yaklaşık 50 km. uzunluğundadır. Adapazarı Ovasında olası olarak haritalanmış olan bu fay Hendek-Cumayeri arasında 25 km'lik bölümünde morfolojik olarak çok belirgin olarak mostra vermektedir. Morfolojide sağ yönde ötelenmeler ve büyük boyutlu basınç sırtlarının gelişmiş olduğu zonda Pliyo-Kuvaterner yaşlı Karapürçek formasyonu fay tarafından kesilmekte, fay bu formasyonla temel kayalar arasında dokanak oluşturmakta, doğu bölümünde ise temel kayalar içerisinde yer almaktadır. 1994 Düzce-Hendek depremi (M=6.5) olasılıkla bu fay üzerinde gerçekleşmiş olduğu bilinmektedir. Fay üzerinde son depremlerde Hendek'in kuzeybatısında yüzey kırığı tespit edilmiş ve gözlenmiştir. Oluşan bu kırık sağ yönlü doğrultu atımlıdır. Kırık boyunca küçük boyutlu deformasyonlar, 2-5 cm. arasında sağ yönlü ötelenmeler gelişmiştir. Fay üzerinde tespit edilen ve boyutu ile oransız olan bu yüzey kırılması 17.08.1999 depremiyle Hendek fayı üzerinde aşırı stres birikiminin olduğunu gösteren bir veri olarak düşünülmektedir [18]. Çalışma alanının etkisi altında olduğu tektonik yapı ve canlı faylar Şekil 4'de sunulmuştur.



Şekil 4. Çalışma alanı tektonik yapı ve Düzce Fayının kolları [18] (The tectonic structure and segments of Duzce Fault)

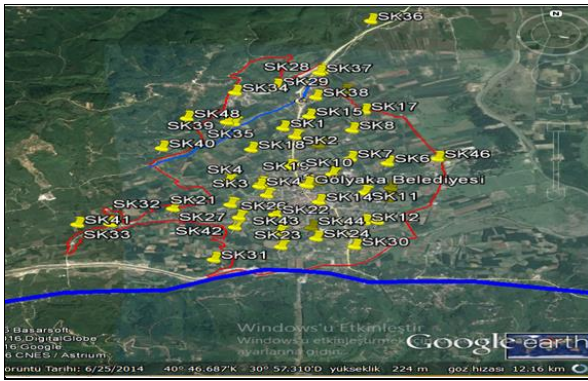
KAF ve etkisi altında olan çalışma alanında geçmişten günümüze kadar tarihsel ve aletsel kayıtlarda bir çok deprem kaydı mevcuttur, (Şekil 5). Bunlardan en önemlileri ve son depremler 17 Ağustos 1999 (Mw=7.4) ve 12 Kasım 1999 (Mw=7.2) depremleridir.



Şekil 5. Düzce bölgesi aletsel ve tarihi deprem kayıtları [20] (The log of instrumental and historical earthquake data)

4. ARAZİ ÇALIŞMALARI (FIELD WORKS)

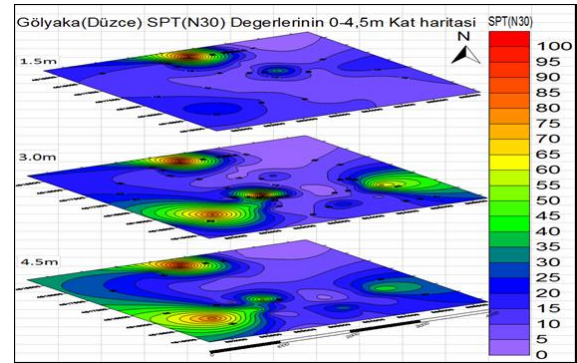
Çalışma alanı Gölyaka ilçesidir, ilçenin zemin özelliklerinin belirlenmesi amacıyla 35 farklı noktada (15,45m-18,45m) değişen metrajlarda ve toplam derinliği 443,30 metre olan 35 adet sondaj çalışması ve sismik kırılma deneyleri kaydedilmiştir, (Şekil 6). İlçenin imar sınırları içinde yapılan sondaj çalışmalarında her 1.5 m.de Standard Penetrasyon Test (SPT) kayıtları alınmıştır ve darbe sayılarının derinlikle değişimi izlenmiştir.



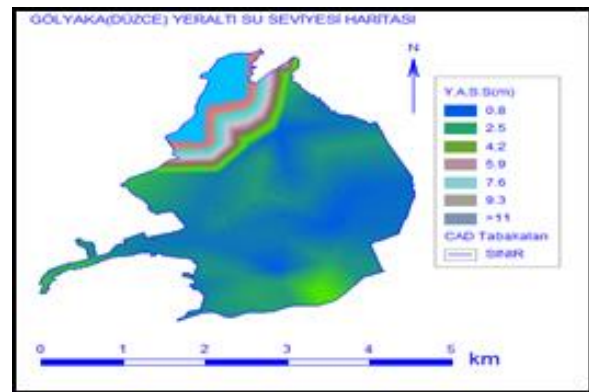
Şekil 6. Arazide sondaj noktalarına ait uydu görüntüsü (The view of satellite belongs to boring locations in study area)

Çalışma alanının genelinde SPT(N30) değerlerinin 3 ila 25 aralığında değiştiği görülmektedir, (Şekil 7). Araziden alınan örselenmiş ve örselenmemiş numuneler üzerinde laboratuvarında zemin indeks deneyleri yapılmış ve numunelerin doğal biirrm ahcim ağırlıkları, tane dağılımı buna bağlı olarak zemin sınıflandırılması yapılmıştır. Buradaki zeminlerin Birleştirilmiş Zemin Sınıflama sistemine göre dağılımları genel olarak siltli-killi kum (SM-SC) ve siltli kum (SM) olarak bulunmuştur. Çalışma alanı yeraltı su seviyesi yüzeye çok yakın olarak seyretmektedir. Bu bölge Efteni Gölü ve Asarsuyu havzası etki alanı içerisinde bulunmaktadır. Yeraltı su seviyesi yüzeyden itibaren 0.8 m ila 11 m arasında

değişmektedir, (Şekil 8).

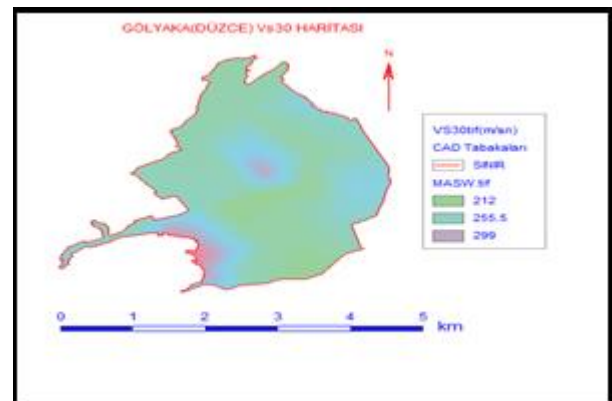


Şekil 7. Gölyaka ilçesi zeminlerinde SPT değerleri (The SPT values in study area)



Şekil 8. Gölyaka ilçesi yeraltı su seviyesi haritası (The map of the water level of underground water in study area)

Ayrıca Gölyaka ilçesi imar sınırları içerisinde jeofon aralıkları 2 ila 8m arasında değişen 25 adet serimle sismik kırılma deneyleri yapılarak kayma dalgası hızları (Vs) kaydedilmiştir, (Şekil 9). Sondaj noktalarından yapılan deneyler ve alınan numunelerden zeminlere ait SPT-N değerleri, kayma dalgası hızları, yeraltı su seviyesi, zemin sınıfı ve ince tane oranları aşağıda Çizelgede verilmiştir (Çizelge 1). Çalışma alanında her iki deneye ait; SPT ve kayma dalgası hız lokasyonlarının aynı noktalarda çakışması amaçlanmıştır. Böyle bir çalışma ile her iki deney yöntemine göre elde edilen veriler ile yapılan analiz ve hesaplamalar karşılaştırılmıştır.



Şekil 9. Kayma dalgası hızı (Shear wave velocity)

Çizelge 1. Arazi ve laboratuvar verileri (Field and laboratory data)

Sondaj No	Derinlik (m)	Yeraltı Su Seviyesi (m)	Doğal Birim Hacim Ağırlık	Ortalama SPT-N	Ortalama Kayma Dalgası Hızı	İnce Tane Oranı	Zemin sınıfı (USCS)
SK-1	1.0-1.5	1.1	18.31	9	169	68.99	CL
SK-2	1.0-1.5	1.6	18.07	7	162	83.81	CH
SK-3	1.0-1.95	1.4	18.07	14	162	77.5	MH
SK-4	1.5-1.95	1.2	18.10	10	169	76.5	CL
SK-5	1.5-1.95	1.2	18.2	8	171	46.8	SM
SK-6	1.5-1.95	1.1	18.3	18	130	57.8	CL
SK-7	1.5-1.95	1.2	18.3	6	169	89.4	MH
SK-8	1.5-1.95	1.4	18.3	6	190	85.1	CH
SK-9	1.5-1.95	1.1	18.3	37	274	74.9	CL
SK-10	1.5-1.95	1.2	18.3	9	188	76.1	CL
SK-11	1.5-1.95	1.9	18.0	9	182	86.1	CH
SK-12	1.5-1.95	0.90	18.2	10	194	66.1	ML
SK-13	1.5-1.95	1.1	18.2	7	153	36.7	SM
SK-14	1.5-1.95	1.3	18.3	6	210	62.4	ML
SK-15	1.5-1.97	1.1	18.3	7	200	75.2	ML
SK-16	1.5-1.95	1.3	18.0	7	187	74.3	CH
SK-17	1.5-1.95	0.60	-	6	162	83.4	ML
SK-18	1.5-1.95	0.90	18.2	8	147	70.0	CL
SK-19	1.5-1.95	1.1	18.0	9	200	82.2	CL
SK-20	1.5-1.95	1.2	18.2	9	180	77.2	ML
SK-21	1.5-1.95	1.3	18.1	7	251	40.2	GM
SK-22	1.5-1.95	1.2	18.1	10	169	89.3	ML
SK-23	1.5-1.95	1.3	18.0	11	157	42.8	GM
SK-24	1.5-1.95	1.2	-	11	201	86.5	ML
SK-25	1.5-1.95	1.1	18.2	8	247	79.8	GM
SK-26	1.5-1.95	1.1	18.3	10	180	65.8	ML
SK-27	1.5-1.95	1.3	-	11	251	71.4	ML
SK-28	1.5-1.95	1.4	-	8	169	71.4	ML
SK-29	1.5-1.95	0.90	-	8	157	-	-
SK-30	1.51.95	1.60	18.3	8	201	70.1	ML
SK-31	1.5-1.95	1.30	18.2	25	178	65.8	ML
SK-32	1.5-.195	1.3	-	-	-	41.7	GM
SK-33	1.5-1.95	1.3	18.3	19	254	75.8	ML
SK-34	1.5-1.95	1.2	18.2	12	235	70.8	CH
SK-35	1.5-1.95	1.1	18.0	12	189	76.9	CH

5. SIVILAŞMA POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ (ASSESSMENT OF LIQUEFACTION POTENTIAL)

Zeminlerin sıvılaşma potansiyeli ile ilgili yapılmış yerli ve yabancı bir çok çalışma mevcuttur. Ancak daha çok bu konuda Seed ve Idriss [9] tarafından önerilen "basitleştirilmiş yöntem" olarak bilinen yaklaşım yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yaklaşımda zeminlerin sıvılaşma potansiyeli iki parametreyle açıklanabilmektedir. İlk parametre depremlerin kesme kuvvetine bağlı oluşan dinamik yüklemenin düzeyini gösteren çevrimsel gerilme oranı (CSR) ve diğer parametre ise, zeminlerin deprem yüküne karşı sıvılaşma direncini ifade eden çevrimsel direnç oranıdır (CRR).

Basitleştirilmiş yöntem olarak bilinen deprem esnasında yatay deprem kuvvetinin neden olduğu çevrimsel gerilme

oranı olarak bilinen CSR değeri diğer bir ifade ile depremin oluşturduğu talep oranı aşağıda verilen Eş.1'den hesaplanabilmektedir [9].

$$CSR=0,65 (a_{maks}/g) (\sigma_v/\sigma'_v)r_d \quad (1)$$

Burada;

a_{maks} :deprem kuvveti tarafından oluşturulan ve yüzeyde etkileyen en büyük yatay yer ivmesini, g :yer çekimi ivmesini, (σ_{vo}) : toplam düşey gerilmeyi (kN/m²), (σ'_{vo}) : efektif düşey gerilmeyi (kN/m²), (τ_{ave}) : ortalama çevrimsel gerilme dayanımını (kN/m²), (r_d) gerilme azaltma katsayısını ifade etmektedir.

Efektif Gerilme azaltma katsayısı, Liao ve Whitman [21]'e göre aşağıdaki şekilde belirlenebilmektedir (Eş.2, Eş.3);

$$r_d = 1 - 0,00765z \quad z \leq 9,15 \text{ m} \quad (2)$$

$$r_d = 1,174 - 0,0267z \quad 9,15 < z \leq 23 \quad (3)$$

Burada; (z) metre cinsinden derinliktir.

Çalışma alanı sismik olarak aktif bir bölgedir ve KAF zonu içinde yer almaktadır, hem tarihi kayıtlar hemde aletsel kayıtlar bu bölgenin aktivitesini ortaya koymaktadır. Çalışma alanında etkin olan Düzce Fayı 17 Ağustos 1999 ve 12 Kasım 1999 depremlerinde 7,4 ve 7,2 büyüklüğünde iki büyük deprem üretmiştir. Muhtemel olası deprem yine Düzce Fayının doğu segmentinin kırılmasıyla gerçekleşeceği tahmin edilmektedir, (Şekil 10). Dünyada olmuş depremlere bakıldığında ilgili fayın segment çalışması yapılmışsa yaklaşık olarak fayın segment uzunluğunun 1/3 oranında kırıldığı tespit edilmiştir. Bu bilgiler ışığında Düzce'de olabilecek deprem içinde Düzce Fayının 1/3 oranında kırılacağı tahmin edilmektedir [22].

Çalışma alanında Düzce fayı üzerinde oluşması beklenen depremin moment büyüklüğü Wells ve Coopersmith [23]'in yaklaşımına göre aşağıdaki gibi elde edilmiştir.

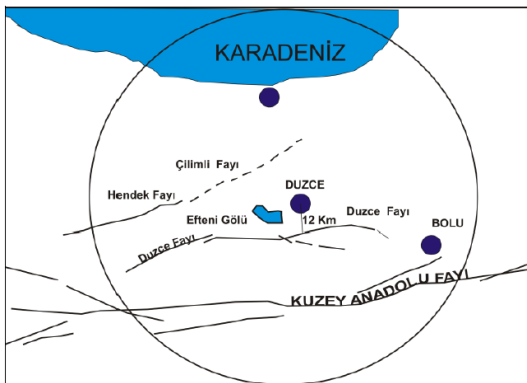
$$M = 4,86 + 1,32 \text{ Log } L \quad (4)$$

Burada; M: Moment büyüklüğü, L: Fay uzunluğu (km).

Buradan tasarım deprem büyüklüğü $M_w = 6,89$ olarak kabul edilmiş ve maksimum tasarım ivmesi (a_{maks}) Ulusay vd., [24] yaklaşımı ile Türkiye'de olabilecek depremler için önerilen Eş.5 ile 0,51g olarak hesaplanmıştır.

$$PGA = 2,18^{0,0218(33,3 M_w - R_e + 7,84275 A + 18,9282 S_B)} \quad (5)$$

Burada; yumuşak zeminler için $S_A = 0$, $S_B = 1$ alınır, R_e yerleşim merkezinden ilgili fay zonuna en yakın dikey mesafedir, burada deprem odak merkezi uzaklığı 7 km alınmıştır, M_w Deprem büyüklüğüdür.



Şekil 10. Çalışma alanında 100 km çapında bulunan fayların konumu (The map of fault segments in study area in radius of 100 km)

Buna göre, sıvılaşma analizi hesaplanması amacıyla senaryo depreminin meydana getirebileceği yatay deprem ivmesi 0,51g olarak bulunmuştur. Gölyaka ilçesinin sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesi amacıyla ilçe imar sınırları içinde kaydedilen sondaj ve sismik veriler kullanılmasıyla çevrimsel direnç oranı (CRR), her iki deney verileri için hem Standard Penetrasyon Testi (SPT) verilerinden elde edilen $(N_1)_{60}$ ayrıca sismik

kayma dalgası hızı verileri ile (V_s) hesaplanmıştır.

CRR hesaplanmasında ilk olarak SPT verileri için düzeltilmiş vuruş sayıları $(N_1)_{60}$ sırasıyla C_N , örtü yükü, C_R , sondaj çubuğu uzunluğu, C_S , kılıf, C_B , sondaj çapı ve C_E ise enerji düzeltme katsayılarına bağlı olarak aşağıdaki eşitlikte verilmiştir (Eş.6). Bu durumda $(N_1)_{60}$:

$$(N_1)_{60} = N_{arazi} C_N C_R C_S C_B C_E \quad (6)$$

C_N örtü yükü düzeltme faktörü Liao ve Whitman [21] tarafından önerilen Eş. 7 ile hesaplanabilmektedir.

$$C_N = \sqrt{\frac{100}{\sigma_p'}} \quad (7)$$

İnce tane oranını etkisinin göz önünde alınması amacıyla SPT vuruş sayılarının zeminin ince tane oranına (FC) etkisinin göz önüne alınması için aşağıda verilen eşitlik, (Eş.8), (Eş.9, Eş.12) ile düzeltilmesi önerilmiştir [25].

$$N_{1,60,C_S} = \alpha + \beta N_{1,60} \quad (8)$$

Burada;

$$FC \leq \%5 \text{ için } \alpha = 0 \text{ ve } \beta = 1 \quad (9)$$

$$\%5 < FC < \%35 \text{ için } \alpha = \exp\left(1,76 - \frac{190}{(FC)^2}\right) \quad (10)$$

$$\beta = \left[0,99 + \left(\frac{FC}{1000}\right)^{1,5}\right] \quad (11)$$

$$FC \geq \%35 \text{ için } \alpha = 1 \text{ ve } \beta = 1,2 \quad (12)$$

Olarak alınır.

Zeminlerin sıvılaşma dirençlerini gösteren ve moment büyüklüğü $M_w = 7,5$ olan bir deprem için çevrimsel direnç oranını CRR Seed ve Idriss [9] $(N_1)_{60,C_S}$ değerine göre aşağıdaki eşitlikteki (Eş.13) gibi önermiştir.

$$CRR = \frac{1}{34 - (N_1)_{60,C_S}} + \frac{(N_1)_{60,C_S}}{135} + \frac{50}{[10(N_1)_{60,C_S} + 45]^2} - \frac{1}{200} \quad (13)$$

Burada; σ'_v , efektif düşey gerilme olup birimi kPa ile edilir. Youd ve Idriss [26] C_E , C_R ve C_S düzeltme katsayıları bu makalede sırasıyla güvenli bir şahmerdan tipi için enerji düzeltme katsayısı, $C_E = 0,75$, tij uzunluğu düzeltme katsayısı (C_R) tijin uzunluğuna göre sırasıyla 0,75, 0,85, 0,95, ve 1,00 kılıf düzeltme katsayısı standard tip örnek alıcısı için $C_S = 1,0$ olarak verilmiştir. Yine Skempton [27] sondaj çapı düzeltme katsayısı $C_B = 1,0$ olarak kabul edilmiştir.

Bu çalışmalara ilaveten sismik kayma dalgası hızları ile zeminlerin sıvılaşma analizi araştırılmıştır. Andrus ve Stoke [28] araziden elde edilen kayma dalgası hızları ile zeminlerin sıvılaşma direncini ampirik olarak Eş.14 kullanılarak hesaplanabileceğini ifade etmiştir. Bu durumda sıvılaşma direnci;

$$CRR = a \left(\frac{V_{s1}}{1000}\right)^2 + b \left(\frac{1}{V_{s1}^* - V_{s1}} - \frac{1}{V_{s1}^*}\right) \quad (14)$$

Burada; V_{s1} , düşey efektif gerilmeye göre düzeltilmiş kayma dalgası hızını göstermektedir ve Eş.15 ile hesaplanabilmektedir.

$$V_{s1} = V_{s1}^* \left(\frac{p_a}{\sigma_p'}\right)^{0,25} \quad (15)$$

Burada; p_a , 100 kpa karşığına denk gelen atmosferik basınç, σ_p' ise düşey efektif gerilmedir ve birimi kPa olarak gösterilir. V_{s1}^* , ince tane oranı bağlı olarak

sıvılaşmanın oluştuğu kayma dalgası hızıdır. Kumsal zeminlerde önerilen eşitlik için V_{S1}^* ; aşağıdaki eşitliklerde (16-18) verilmiştir.

İnce tane oranı (FC) ≤ 5 için;

$$V_{S1}^* = 215 \text{ m/s} \quad (16)$$

$5 < FC < 35$ için;

$$V_{S1}^* = 215 - 0,5(FC - 5) \quad (17)$$

$FC > 35$ için;

$$V_{S1}^* = 200 \text{ m/s} \quad (18)$$

Burada eşitlikte geçen a ve b sabit kat sayılar sırasıyla 0.022 ve 2.8 olarak verilmiştir.

Bu analizlerin sonunda sıvılaşmanın belirlenebilmesi için sıvılaşma güvenlik faktörünün bulunması gerekmektedir (FS) ve Eşitlik 19 kullanılarak bulunabilmektedir. Bu eşitlikten elde edilen güvenlik faktörü; $FS > 1$ olması halinde sıvılaşmanın oluşmayacağı, $FS \leq 1$ ise sıvılaşmanın meydana geleceği beklenmektedir.

$$FS = \frac{CRR}{CSR} MSF \quad (19)$$

Eşitlik 19' da verilen MSF, deprem moment büyüklüğü düzeltme katsayısıdır ve Idriss [28] tarafından önerilen eşitlik kullanılarak hesaplanabilmektedir (Eş.20,21).

Deprem büyüklüğü (M_w) $> 5,2$ için;

$$MSF = 6.9 \exp\left(\frac{-M_w}{4}\right) - 0.06 \quad (20)$$

$M_w \leq 5.2$ için;

$$MSF = 1.82 \quad (21)$$

Sıvılaşma analizlerinde bulunan güvenlik faktörleri tek başına sıvılaşmanın belirlenmesinde yeterli olmamaktadır. Sıvılaşma potansiyeli tabakalarının kalınlığını, kütle ağırlığını ve derinliğini analizine dahil edecek bir parametreye göre değerlendirilmesi gerekmektedir. Ancak zemin katmanlarında her hangi bir noktada sıvılaşmanın meydana gelmesi ve yüzeye yansması halinde sıvılaşmanın bir anamolisi ortaya çıkabilecektir ve sıvılaşma anlaşılabilir. Bu amaçla her hangi bir noktadaki zeminlerin sıvılaşma potansiyelini daha somut olarak tahmin edebilmek için güvenlik faktörleri ve zeminlerin tabaka kalınlıklarını göz önüne alarak bu zemin profilinin sıvılaşma potansiyeli risk indeksinin (L_s) bulunmasıyla ancak tahmin edilebilecektir. Bu konuda Iwasaki vd. [29] sıvılaşma potansiyelini baz alarak ilk defa zemin katmanlarında olabilecek sıvılaşmanın yüzeye yansmasını sıvılaşma risk potansiyelinin hesaplanmasında işin içine dahil ederek çok düşük, düşük, yüksek ve çok yüksek olarak katagorilere ayırmıştır. Daha sonraki sıvılaşma olgusunun tanınmasından ve gözlenmesinden sonra kazanılmış tecrübeler göre ve Iwasaki vd.[29]'in sınıflandırma ölçeğinde "yok ve orta dereceli sıvılaşma" katagorilerinin olmamasından dolayı sonraki bilim insanları önceki çalışmalarını yeniden düzenlemişlerdir [17] (Çizelge 2).

Çizelge 2. Sıvılaşma risk indeksi sınıflandırması [17] (Liquefaction severity index classification)

L_s	Sıvılaşma Potansiyeli
$85 \leq L_s < 100$	Çok yüksek
$65 \leq L_s < 85$	Yüksek
$35 \leq L_s < 65$	Orta
$15 \leq L_s < 35$	Düşük
$0 < L_s < 15$	Çok düşük
$L_s = 0$	Sıvılaşma yok

Bu konuda Sönmez [16] yaptığı ilk çalışmalarda bir zemin tabakasında 20 m derinlik boyunca $FS > 1.2$ 'den büyük olması şartlarında zeminin sıvılaşmayacağı ortaya koymuştur. Ancak bu nokta tartışmaya açık olması nedeniyle Sönmez ve Gökçeoğlu [17] diğer bir çalışmada sıvılaşma risk indeksi (L_s) parametresini hesaplamak amacıyla Eş.22'de sunulan eşitliği teklif etmişlerdir. Bu durumda L_s ;

$$L_s = \int_0^{20} P_L(z) W(z) dz \quad (22)$$

Burada P_L sıvılaşma olasılığını veren bir parametredir. P_L sıfır ile bir arasında değişiklik gösteren ve güvenlik faktörünün bir fonksiyonudur ve Eş.23'de sunulmuştur. Bu durumda P_L ;

$FS \leq 1.411$ için;

$$P_L = \frac{1}{1 + \left(\frac{FS}{0.96}\right)^{4.5}} \quad (23)$$

$FS \geq 1.411$ için; (Eş.24,25),

$P_L = 0$

$$z < 20 \quad \text{için;} \quad W(z) = 10 - 0,5z \quad (24)$$

$$z \geq 20 \quad \text{için;} \quad W(z) = 0 \quad (25)$$

Burada; (L_s) sıvılaşma tehlikesi risk indeksi, (z) yüzeyden zemin tabakasının orta noktasına olan mesafe (m), (FS) sıvılaşmayı belirten bir güvenlik faktörüdür.

6. GÖLYAKA İLÇESİ YERLEŞİM ALANINDA SIVILAŞMA RİSK HARİTASININ HAZIRLANMASI (LIQUEFACTION SEVERITY MAP OF THE GÖLYAKA DISTRICT)

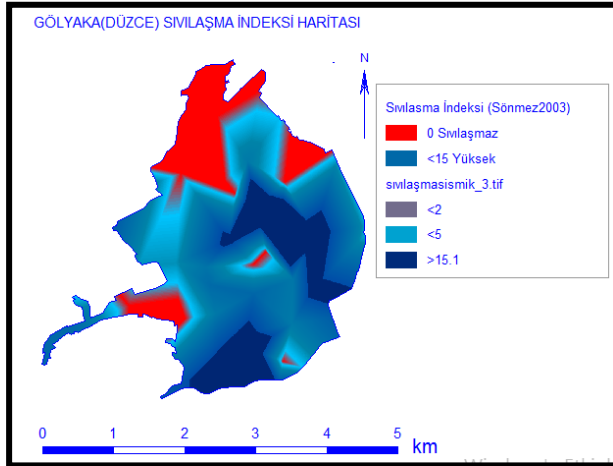
Gölyaka ilçesinde imara açılması planlanan alanda SPT ve sismik kırılmaya bağlı deneyler yapılmış ve deneyler sonucunda araziden elde edilen veriler ışığında Gölyaka (Düzce) ilçesini etkilemesi düşünülen Düzce Fayının deterministik yaklaşımla $M_w = 6.98$ moment büyüklüğünde bir depremi üretmesi halinde sıvılaşma risk haritası hazırlanmıştır. Çalışma alanında sıvılaşma potansiyeli risk haritası oluşturulurken sıvılaşma indeksi 35 ayrı nokta için hesaplanmıştır ve aşağıdaki Çizelgede verilmiştir (Çizelge 3). Çizelge 3'de verilen bilgiler baz alınarak Şekil 11 ve Şekil 12'de sıvılaşma potansiyeli risk haritası hem SPT ve hem de sismik kayma dalgası hız verilerine göre hazırlanmıştır.

Aşağıdaki Çizelgeye (Çizelge 3) ve Şekil 11 ve Şekil 12'e bakıldığında çalışma alanında $M_w=6.98$ moment büyüklüğünde ve $a_{maks}=0.51g$ şartlarında bir depremin

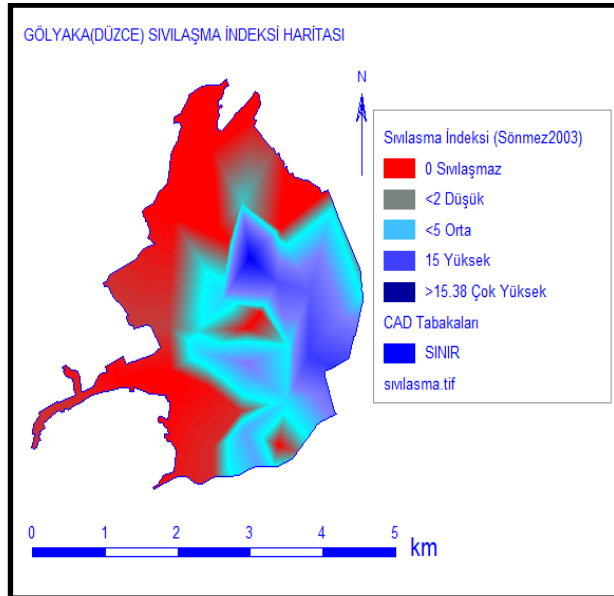
olması durumunda sıvılaşma riski her iki deney verilerine göre yapılan analizler sonucunda sıvılaşma riskinin yüksek düzeyde meydana geleceği beklenmektedir.

Çizelge 3. Gölyaka ilçesi için sıvılaşma risk indeksi değerleri (The values of liquefaction risk index for Gölyaka district)

Sondaj Lokasyonu No	Yeraltı Su Seviyesi	Sıvılaşma			
		SPT Deneyi		Kayma Dalgası Hızı	
		Ls	Sonuç	Ls	Sonuç
SK-1	1.1	0	Yok	0	Yok
SK-2	1.6	0	Yok	0	Yok
SK-3	1.4	33.72	Düşük	43.84	Düşük
SK-4	1.2	46.02	Orta	40.53	Orta
SK-5	1.2	28.53	Düşük	15.54	Düşük
SK-6	1.1	20.08	Düşük	20.38	Düşük
SK-7	1.2	35.21	Orta	40.02	Orta
SK-8	1.4	0	Yok	0	Yok
SK-9	1.1	32.26	Düşük	28.33	Düşük
SK-10	1.2	0	Yok	0	Yok
SK-11	1.9	6.12	Çok Düşük	7.29	Çok Düşük
SK-12	0.90	14.89	Çok Düşük	12.54	Çok Düşük
SK-13	1.1	23.34	Düşük	17.66	Düşük
SK-14	1.3	51.75	Orta	54.8	Orta
SK-15	1.1	53.7	Orta	64.91	Orta
SK-16	1.3	0	Yok	0	Yok
SK-17	0.60	0	Yok	0	Yok
SK-18	0.90	46.31	Orta	44.90	Orta
SK-19	1.1	54.91	Orta	64.68	Orta
SK-20	1.2	57.35	Orta	64.68	Orta
SK-21	1.3	0	Yok	0	Yok
SK-22	1.2	33.99	Düşük	52.52	Orta
SK-23	1.3	38.61	Düşük	36.01	Orta
SK-24	1.2	17.7	Düşük	23.75	Düşük
SK-25	1.1	0	Yok	0	Yok
SK-26	1.1	22.44	Düşük	32.1	Düşük
SK-27	1.3	0	Yok	0	Yok
SK-28	1.4	0	Yok	0	Yok
SK-29	0.90	0	Yok	0	Yok
SK-30	1.60	0	Yok	0	Yok
SK-31	1.30	30.87	Düşük	33.81	Düşük
SK-32	1.3	0	Yok	0	Yok
SK-33	1.3	18.99	Düşük	18.99	Düşük
SK-34	1.2	0	Yok	0	Yok
SK-35	1.1	0	Yok	0	Yok



Şekil 11. SPT verileri ile sıvılaşma risk haritası (SPT) (Liquefaction severity map with SPT data)



Şekil 12. Kayma dalgası verileri ile sıvılaşma risk haritası (Vs) (Liquefaction severity map with shear wave velocity data)

7. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Çalışma alanı ülkemizin Kuzey Batı diğer bir ifadeyle Doğu Marmara bölgesinde yer almaktadır. Bu bölge sismik olarak aktif bir bölgedir. 17 Ağustos ve 12 Kasım 1999 depremleri Düzce Fayı üzerinde gerçekleşmiştir. Gölyaka (Düzce) ilçesinde imar çalışmaları kapsamında yerleşime açılması planlanan 10404 m² alanda sıvılaşma potansiyel riski araştırılmış ve bu çalışma kapsamında elde edilen bulgular aşağıda verilmiştir.

1. Muhtemel bir depremin meydana gelmesi yine Düzce Fayının doğu segmenti üzerinde olacağı tahmin edilmektedir.

2. Düzce Fayının kırılacağı ve bu fayın $M_w=6.98$ ve $a_{maks}=0.51$ g büyüklüğünde gerçekleşeceği beklenmektedir.

3. Çalışma alanında imara açılması planlanan alan için SPT ve sismik hız verilerine göre ayrı ayrı sıvılaşma analizleri yapılmıştır.

4. Beklenen depremde Düzce Fayının üreteceği deprem büyüklüğü parametreleri göz önüne alınarak sıvılaşma risk indeksleri hesaplanmış ve ilçe yerleşim alanında yüksek düzeyde sıvılaşmanın gerçekleşeceği ortaya konulmuştur.

5. Çalışma alanında hem SPT hemde kayma dalgası hız verileri ile elde edilen sıvılaşma risk indekslerinin birbirleriyle uyumlu olduğu görülmüştür.

Bu araştırmanın imar çalışmaları kapsamında çalışma alanının yerleşime açılması konusunda uygulama alanında çalışan mimar ve mühendislere ve Belediye imar çalışmalarına ve depreme dayanıklı konut tasarlama ve inşaa etme konularında yarar sağlayacağı beklenmektedir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışmada katkılarından dolayı Gölyaka Belediyesi Başkanlığı'na ve İmar ve Şehircilik Müdürlüğü yetkililerine teşekkür ederim.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Youd T.L. and Perkins D.M., "Mapping liquefaction- induced ground failure potential", *Journal of Geotech Eng Div.*, 104(4): 443-446, (1978).
2. Kramer S.L. and Mayfield R.T., "Return period of soil liquefaction", *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Eng.*, 133(7): 802-813, (2007).
3. Kramer S.L., "Geotechnical earthquake engineering", *Prentice-Hall Civil Engineering and Engineering Mechanics*, (1996).
4. Ishihara K., "Soil behaviour in earthquake geotechnics", *The Oxford Engineering Science Series, Oxford*, (1996).
5. Liu H. and Qiao T., "Liquefaction potential of saturated sand deposits underlying foundation of structure", *Proceeding of 8th World Conference on Earthquake Engineering*, San Francisco, 3: 199-206, (1984).
6. Elgarnal A.W., Dobry R. and Adalier K., "Small-scale Shaking Table Tests of Sturated Layered Sand-Silt Deposits", *2nd U.S.-Japan Workshop on Soil Liquefaction*, Buffalo, N.Y., *NCEER Rep.* No. 890032, 233-245, (1989).
7. Lambe P.C., "Dynamic Centrifuge Modelling of a Horizontal Sand Stratum", *M. Sc. D Thesis*, Dept. Of Civil Engineering, Mass. Inst. Technology, Cambridge, Mass. USA, (1981).
8. Husmand B., Scott F. and Crouse C.B., "Centrifuge Liquefaction Tests in a Laminar Box", *Geotechnique*, 38 (2): 253-262, (1988).
9. Seed H.B. and Idriss I.M., "Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential", *Journal of Soil Mech. Foundation Div., ASCE*, 97 (9): 1249-73, (1971).
10. Tokimatsu K. and Yoshimi Y., "Empirical correlation of soil liquefaction based on SPT N-value and fines content", *Soils and Foundations*, 23(4): 56-74, (1983).

11. Iwasaki T., Tokida K. and Tatsuoka F., "Soil liquefaction potential evaluation with use of the simplified procedure", *International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics*, St. Louis, 209–214, (1981).
12. Suzuki Y., Koyamada K. and Tokimatsu K., "Prediction of liquefaction resistance based on CPT tip resistance and sleeve friction", *Proceedings XIV International Conference of Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Hamburg, Germany, 603–606, (1997).
13. Stokoe K.H., Roesset J.M., Bierschwale J.G. and Aouad M., "Liquefaction Potential of Sands from Shear wave Velocity", *Proceedings of Ninth World Conference on Earthquake Engineering*, Tokyo, Japan, 3: 213-218, (1988).
14. Andrus R.D., Stokoe II K.H., "Liquefaction resistance of soils from shear wave velocity", *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Eng.*, 126 (11): 1015–1025, (2000).
15. Işık, A., Ünsal N., Gürbüz, A. Ve Şişman E. " Fethiye yerleşim alanındaki zeminlerin SPT ve kayma dalga hızı verileriyle sıvılaşma potansiyelinin değerlendirilmesi", *Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 31(4): 1027-1037, (2016).
16. Sönmez H., "Modification to the liquefaction potential index and liquefaction susceptibility mapping for a liquefaction-prone area (Inegol-Turkey)", *Environmental Geology*, 44 (7): 862–871, (2003).
17. Sönmez H. ve Gökçeoğlu C., "A liquefaction severity index suggested for engineering practice", *Environmental Geology*, 48, 81–91, (2005).
18. M.T.A, Genel Müdürlüğü ve Ankara Üniversitesi (A.U), "17 ağustos 1999 depremi sonrası düzce (bolu) ilçesi alternatif yerleşim alanlarının jeolojik incelenmesi", *TÜBİTAK Yer Deniz Atmosfer Bilimleri ve Çevre Araştırma Grubu Raporu*, Ankara, (1999).
19. Şengör A.M.C., Yılmaz Y., "Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach", *Tectonophysics*, 75: 181-241, (1981).
20. Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Bölgesel Deprem –Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi
<http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/tr/>, (2016).
21. Liao, S.S.C. and Whitman, R.V., "Overburden correction factors for SPT in sand", *Journal Of Geotechnical Engineering, ASCE*, 112 (3): 373-377, (1986).
22. Mark R. K. , "Application of linear statistical model of earthquake magnitude versus fault length in estimating maximum expectable earthquakes", *Geology*, 5: 464- 466, (1977).
23. Wells, D.L. and K.J., "Coppersmith, New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement", *Bull, Seismol. Soc.*, 84: 974-1002, (1984).
24. Ulusay R., Tuncay E., Sonmez H. and Gokceoglu C., "An attenuation relationship based on Turkish strong motion data and iso-acceleration map of Turkey", *Engineering Geology*, 74: 265–291, (2004).
25. Youd T.L., Idriss I.M., Andrus R.D., Arango I., Castro G., Christian J.T., Dobry R., Liam Finn W.D., Harder L.F.Jr., Hynes M.E., Ishihara K., Koester J.P., Laio S.S.C., Marcuson WF III., Martin G.R., Mitchell J.K., Moriwaki Y., Power M.S., Robertson P.K., Seed R.B. and Stokoe K.H., "Liquefaction resistance of soils: summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF workshops on evaluation of liquefaction resistance of soils", *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Eng.*, 127 (10): 817–833, (2001).
26. Youd T.L. and Idriss I.M., "Summary Report, Proc. of the NCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils", *NCEER Report No 97-0022*, (1997).
27. Skempton A.W., "Standard penetration test procedures and the effects in sands of overburden pressure, relative density, particle size, aging and overconsolidation", *Geotechnique*, 36 (3): 425-447, (1986).
28. Idriss I.M., "Presentation notes: An update of the Seed-Idriss simplified procedure for evaluating liquefaction potential, TRB Workshop on New Approaches to Liquefaction Anal", *Publ. No FHWARD- 99-165*, Federal Highway Administration, Washington, D.C., (1999).
29. Iwasaki T., Tokida K., Tatsuoka F., Watanabe S., Yasuda S. and Sato H., "Microzonation for soil liquefaction potential using simplified methods", *Proceedings of the 3rd International Conference on Microzonation*, Seattle, 3: 1319–1330, (1982).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

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

Matkap boyunun delik toleranslarına etkisinin incelenmesi

Investigation of the drill length effect on hole tolerances

Yazar(lar) (Author(s)): Kemal YAMAN, Nuri BIÇAKÇI, Ali ÖZGEDİK

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Yaman K., Bıçakçı N. ve Özgedik A., “Matkap boyunun delik toleranslarına etkisinin incelenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 20(4): 765-775, (2017).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.368982

Matkap Boyunun Delik Toleranslarına Etkisinin İncelenmesi

Araştırma Makalesi / Research Article

Kemal YAMAN^{1*}, Nuri BIÇAKÇI¹, Ali ÖZGEDİK²

¹Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu, Savunma Araştırma Geliştirme Enstitüsü (TÜBİTAK SAGE), Ankara, Türkiye

²Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Bölümü, 06500, Beşevler, Ankara, Türkiye

(Geliş/Received : 21.06.2017 ; Kabul/Accepted : 21.07.2017)

ÖZ

Bu çalışmada, Ti6Al4V alaşımının, daha önce yapılan deneyler sonucunda belirlenen en uygun kesme parametrelerine göre uzun ve kısa HSS matkap ile delinerek takım boyunun delik toleranslarına olan etkisi incelenmiştir. Bu amaçla, 8 mm çapında kaplamasız kısa ve uzun HSS matkaplar kullanılarak 3 eksen CNC freze tezgâhında 25.40 mm kalınlığında Ti6Al4V alaşım plakaya delikler delinmiştir. Nominal delik çapları ile ortalama eşeksensellikten, diklikten ve dairesellikten sapma değerleri ölçülmüştür. Matkaplardaki takım aşınma görüntüleri dijital mikroskop ile incelenmiştir. Kısa ve uzun HSS takımlarda aynı kesme şartlarında uygulanan delme operasyonları sonucunda, uzun takımındaki takım aşınmasının kısa takıma göre daha az olduğu, buna karşın uzun matkap tarafından delinen deliklerin çap boyutsal ve geometrik tolerans değerlerinin kısa takıma göre daha kötü olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Ti6Al4V, takım boyu, takım aşınması, delik çapı, geometrik tolerans.

Investigation of The Drill Length Effect on Hole Tolerances

ABSTRACT

In this study, the effect of tool length on hole tolerance of Ti6Al4V alloy was examined by drilling with long and short HSS drill according to the most suitable cutting parameters determined by previous experiments. For this purpose, holes were drilled in a Ti6Al4V alloy plate with a thickness of 25.40 mm in a 3-axis CNC milling machine using 8 mm diameter uncoated short and long HSS drills. Nominal hole diameters and deviations from the mean concentricity, perpendicularity and circularity are measured. Tool wear images on drills were investigated with a digital microscope. As a result of the drilling operations applied with short and long HSS tools under the same cutting conditions, it was found that the tool wear in the long tool was less than that in the short one, whereas the dimensional and geometric tolerances of the holes drilled by the long drill were worse than the short tool.

Keywords: Ti6Al4V, drilling, tool wear, hole diameter, geometric tolerance.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Talaşlı imalatta takım ve tezgâh titreşimleri, imal edilen parçanın boyutsal tamlığını ve yüzey kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir. Delik delme işleminde, matkap üzerinde meydana gelen titreşimler istenmeyen delik şekil hataları ve boyutsal toleranslara sebep olmaktadır. Hassas üretim, yüksek yüzey kalitesi ve uzun takım ömrü için delme operasyonu konusunda onlarca çalışma yapılmış ve hala da yapılmaktadır. Günümüzde, yüksek hızlı işleme ve hassasiyet gereksinimleri araştırmacıları bu olayın arka planını anlamaya zorlamaktadır. Bu çalışmada, helisel matkap ile delme operasyonunu etkileyen parametreler içerisinde önemli bir etkiye sahip olan matkap bağlama boyunun delik toleranslarına olan etkisi diğer işleme parametreleri sabit tutularak incelenmiştir. Bu konuda, literatürde yapılmış benzer bazı çalışmalara, özet olarak, aşağıda yer verilmiştir.

Helisel matkap ile delme operasyonunda burulma zırlaması (ing. torsional chatter) üzerine literatürde sayısız çalışma yapılmıştır. Delme verimliliğini ve takım ömrünü arttırmak için yapılan bir çalışmada, Abele ve Schafer [1], derin delik delme işleminde burulma zırlamasını önceden tahmin edebilecek bir sayısal model geliştirmişlerdir. Bu süreçte, kesme parametreleri, matkap burulma kayma modülü, dönme atalet momenti ve burulma-eksenel kavrama (ing. torsional-axial coupling) gibi birçok parametrenin etkisini incelemişlerdir. Geliştirdikleri model ile elde ettikleri sonuçları deneysel sonuçlarla karşılaştırmışlar ve derin delik delme işlemini benzeştirmede başarılı olduğunu görmüşlerdir.

Modelde ilerleme hızının dinamik değişimlerinin ve takım-işparçası arasındaki sürtünme değişimlerinin kesme kuvvetini arttırdığını belirtmişlerdir. Abele ve diğerleri [2] yapmış olduğu diğer bir çalışmada matkap boyunun takım aşınmasına olan etkisini incelemiştir. Bu çalışmada takım boyu (boy/çap oranı) arttıkça matkap

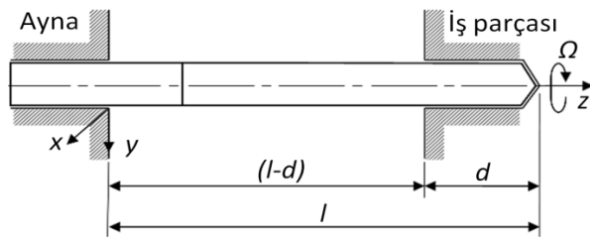
*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta: kemal.yaman@tubitak.gov.tr

burulma titreşimleri doğal frekansı düşmekte buna mukabil takım ömrü azalmaktadır.

Helisel matkap ile işlemede elde edilen deliğin boyutsal tamlığı, daireselliği ve yüzey kalitesi en fazla matkap ucu titreşiminden etkilenir [3]. Delme operasyonunda üç tip titreşim meydana gelir, bunlar: Yanal zırlama (ing. lateral chatter), burulma-eksenel zırlama (ing. torsional-axial chatter) ve eksenel dönme titreşimleri (ing. whirling) olarak belirtilmektedir. Bu titreşim modlarından herhangi en az birinin vuku bulması kararsızlığa yol açar. Oluşan zırlama titreşim frekansı matkap doğal frekansına yaklaştıkça dönel titreşim düzensizliği hemen her iş mili hızında ortaya çıkar. Dönel düzensizlik deliğin her yönünde meydana gelir ve bu düzensizlik yanal ve burulma-eksenel titreşimlerini arttırarak deliğin ölçü tamlığını ve matkap ucunu bozar [3]. Uygun kesme parametrelerinin önceden tahmini hassas ve pürüzsüz işleme, işleme zamanının kısalması ve bunun sonucu olarak işleme maliyetlerinin düşürülmesi anlamlarında büyük önem arz etmektedir.

Ahmedi ve Altıntaş [3] geliştirmiş oldukları model benzeşimi ve yapılan doğrulama deneyleri sonucunda keskin uçlu matkap ile düşük sönümlenmeli proste burulma-eksenel zırlama baskın titreşim modu olduğunu, yüksek sönümlenmeli aşınmış matkap ile proste ise yanal zırlama modunun düzensizliğe sebep olduğunu belirtmişlerdir. Yanal titreşimler deliğin dairesellik (İng. circularity) ve boyutsal tamlığını etkilerken, burulma-eksenel zırlama titreşimleri daha yüksek kesme kuvveti ve momentini (ing. torque) meydana getirerek matkabın ve iş parçasının daha çabuk aşınmasına sebep olmaktadır.

Ulsoy ve Tekinalp [4], matkap ile delme operasyonunu dinamik olarak incelemişler, matkabı modelleyerek teorik ve deneysel olarak dinamik davranışlarını incelemişlerdir. Matkap Şekil 1'de gösterildiği gibi iki ucu tutturulmuş, kütleli bir kiriş ortasında toplanmış noktasal bir kütle olarak modellenmiştir.



Şekil 1. Matkap destek şartları (Drill support conditions) [4]

Birikmiş kütle ifadesi Denklem (1)'de verilmiştir, bu ifadede ρ matkap malzeme yoğunluğu, A ise kesit alanıdır. Teorik çalışmalarda Şekil 1'de gösterilen bağlama şartlarına göre dinamik denklemler çıkarılmıştır. Bu modelleme denklemleri özet olarak aşağıda verilmiştir [4]:

$$m = \rho \cdot A \cdot (l-d) \quad (1)$$

Sistemin hareket denklemi,

$$m\ddot{r} = \sum F = F_e + F_s + F_d \quad (2)$$

Burada $r = x_e \quad y_e$ $[y_e]$ y yoğunlaştırılmış (konstantre) kütlelerin pozisyon vektörü, F_e , F_s ve F_d sırasıyla,

dış, yay ve sönümlenme kuvvetleridir. Denklem (2) matris formda yazıldığında,

$$\begin{bmatrix} m & 0 \\ 0 & m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{y} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} C_1 & -2m\Omega \\ -2m\Omega & C_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} K_x - m\Omega^2 & -2m\Omega \\ -m\Omega - C_2\Omega & K_y - m\Omega^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_x \\ F_y \end{bmatrix} \quad (3)$$

Burada, Ω , C_1 ve C_2 dönme hızları ve sönümlenme katsayılarıdır. K_x , K_y , F_x , F_y ise sırasıyla rijitlik katsayıları ve her iki dik yöndeki dış (ing. External) kuvvetlerdir [4].

Gerekli kabuller ve sadeleştirmeler yapıldığında doğal frekans ω_n ,

$$\omega_n = \left(\frac{\alpha EI}{\rho A (l-d)^4} - \frac{\beta F_z}{\rho A (l-d)^2} \right)^{1/2} \quad (4)$$

Denklem (4)'de α ve β doğal frekans formülasyon katsayıları, E , elastisite modülü ve I yanal (ing. transverse) alan atalet momentidir. Yapılan deneyler ve modelleme çalışmaları benzer sonuçları vermiştir, özetle çok yüksek dönme hızlarında (60 000 dev/dk ve üstü [4]) jiroskop etkisi denilen bu etkinin ciddi anlamda matkap-iş parçası sistemini etkilediği ancak hız azaldıkça bu etkinin de azaldığı gözlemlenmiştir. Matkap boyu arttıkça doğal frekansın hiperbolik olarak azaldığı, matkap çapı arttıkça da yaklaşık lineer olarak arttığı rapor edilmiştir [4].

Tekinalp ve Ulsoy [5], Rincon ve Ulsoy [6] yaptıkları diğer çalışmalarda helisel matkapla delme sırasında meydana gelen eğilme ve burulmanın titreşim özelliklerini sonlu elemanlar yöntemiyle incelemişlerdir.

Rincon ve Ulsoy [6] delme titreşimlerinin kesme kuvvetlerine etkisini teorik olarak incelemişler, analiz yapmamışlardır. Bu çalışmalarında yüksek hız altında jiroskopik etkiyi de incelemişlerdir. Yüksek hızlı (60 000dev/dk ve üstü) işlemede 2 ağızlı matkapların çok (3 ve 4) ağızlı matkaplara oranla daha mukavim ve bunun sonucu olarak yaklaşık %54 oranında daha yüksek doğal frekansa sahip olduğu görülmüştür. Yüksek hızlı delik delme işleminde malzeme özellikleri, duvar konikliği ve soğutma deliklerinin ağız sayısına göre çok daha az etkisi olduğu ifade edilmiştir.

Strenkowski [7] ve diğerleri de Tekinalp ve Ulsoy'un benzeri bir çalışma yaparak delme sırasında oluşan itme kuvveti ve torku sonlu elemanlar metoduyla analitik olarak incelemişler ve deneysel sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Deneysel ölçüm sonuçlarıyla SEM sonuçlarının tutarlı oldukları belirtilmiştir. Delme kuvvetinin matkap çapıyla doğrusal olarak artış gösterdiği de elde edilen diğer önemli sonuçlardan biridir.

Zırlama titreşimleri (ing. Chatter vibration) sırasında, tormalama ve frezelemenin zıttı olarak, delmede daha büyük genlikler izlenir. Bu gerçek "Metal Cutting Tool Handbook" elkitabında da belirtilmiştir [8].

Byly ve diğerleri [9] eksenel-burulma titreşimleri (zırlama) oluşum mekanizmasını kurdukları bir model ile burulmuş kiriş üzerinden açıklamaya çalışmıştır. Stabiliteleri tahmini ve zırlama frekansları frekans domeni analizleriyle elde edilmiş, sayısal simülasyon ve testlerle doğrulanmıştır. Yapılan çalışmaların sonunda, burulma zırlamasının doğal frekansın altında değerlerde meydana

geldiği görülmüştür. Delme sırasında burulma titreşimi doğal frekansında aksel yük altında olduğu için %1 oranında çok küçük bir değişim olduğu deneysel ve sayısal olarak görülmüştür.

Sheth ve George [10] CNC makinede delik delmede silindiriklik (ing. cylindricity) ve diklik (ing. perpendicularity) toleranslarının örnek bir montaja etkisini incelemişlerdir. Silindiriklik ve dikliği tahmin edecek 2. Dereceden bir regresyon modeli geliştirmişlerdir. Kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliğinin delik silindirikliğine ve dikliğine etkileri regresyon modeli ve deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Arvajah ve İsmail [11] eğilmeden kaynaklı enine zırlama titreşimlerini ve burulmadan kaynaklı aksel titreşimleri modelleyen bir model geliştirdiler. Birinci kısımda eğilme titreşimleri başlangıç sınırı tespit edebilen model geliştirilmiş, ikinci kısımda ise hem enine zırlama hem de burulma-aksel titreşimleri zamana bağlı simule eden model geliştirilmiştir. Sistemin hareket denklemleri merkezinde toplanmış noktasal kütle olan ankastre giriş yaklaşımıyla, matkabı ve jiroskopik etkiyi simule edecek şekilde, çıkarılmıştır. Çalışmalar sonunda jiroskopik etkinin ihmal edilecek seviyede düşük olduğu, çok yüksek devirlerde bu etkinin arttığı görülmüştür. Modelde kullanılan kısa ve uzun boylu matkaplara uygulanan devir hızının radyal titreşim genliklerinde nasıl bir etki yaptığı incelenmiş, uzun boylu matkabın kısa boylu matkaba göre daha geniş radyal genlikte titreştiğini göstermişlerdir.

Ema ve Marui [12] derin delik delmede zırlama titreşimlerini teorik olarak incelemişler ve kararlılık tablolarını çıkarmışlardır. Bunun yanı sıra farklı matkap ucu konfigürasyonları ve darbe sönümleyici kullanarak zırlamanın bastırılmasına çalışılmıştır. Sadece karasız bölge değil aynı zamanda takım uçlarının temas zarfı hattının da zırlamada etkili bir gösterge olduğu belirtilmiştir. Darbe sönümleyicinin zırlamanın bastırılmasında etkili olduğu kararlılık tabloları üzerinden gösterilmiştir.

Kaplan ve diğerleri [13], AISI D2 ve AISI D3 soğuk iş takım çeliklerinin sertliğinin, matkap çapı, matkap boyu ve delme kuvveti ve kesme momenti üzerine etkisini, kuru delme şartları altında, araştırmışlardır. Deneysel sonuçlar, delme kuvveti ve kesme momentinin iş parçası malzeme sertliği, matkap çapı, matkap boyu, ilerleme hızı ve delik sayısı ile orantılı olarak arttığını ve kesme hızıyla da azaldıklarını göstermiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR (EXPERIMENTAL STUDIES)

Bu çalışmada, ASTM 136 standardına uygun Ti6Al4V titanyum alaşımı kullanılmıştır. Deney numunesi olarak 150x154x25.4 mm boyutlarında dikdörtgen prizma şekilli iş parçası kullanılmıştır. Deney numunesinin mekanik özellikleri Çizelge 1’de gösterilmiştir.

Delme deneyleri TÜBİTAK-SAGE mekanik üretim alt-yapısında yer alan Mass Tezsan/ TMC V 750 dik işleme merkezinde yapılmıştır. Delme işlemi sonucunda yapılan ölçümler ise TÜBİTAK-SAGE boyutsal kalite kontrol laboratuvarında yer alan DEA PC-DMIS CMM tezgâhında yapılmıştır.

Çizelge 1. Ti6Al4V mekanik özellikleri (Mechanical properties of Ti6Al4V)

Mekanik Özellik	Değeri
Çekme Dayanımı	≥ 895 Mpa
Akma Dayanımı	≥ 828 Mpa
Poisson Oranı	0.31
Elastik Modülü	105-120 Gpa
Kayma Modülü	41-45 Gpa
% Uzama	≥ %10

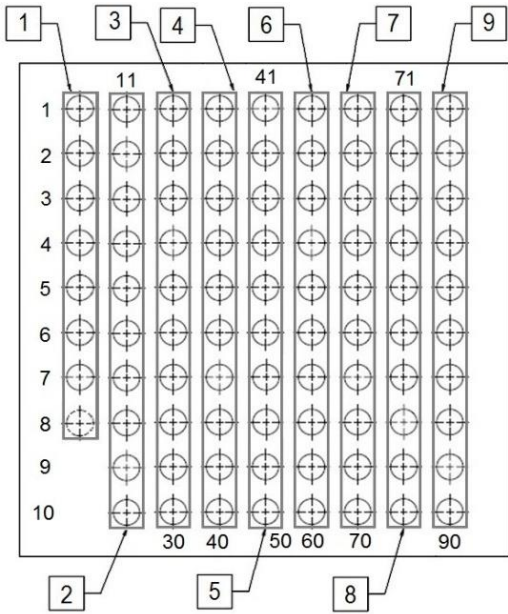
Kullanılan matkaplarda meydana gelen takım aşınması çekilen SEM fotoğraflarıyla detaylı olarak incelenmiştir. Deneysel sonuçlar, HSS olarak MTE marka B000078008000 (TS/ISO 235-DIN1897) ürün kodlu kaplamasız 118° uç açılı ve işleme boyu 37 mm (toplam boyu 76 mm) olan kısa takım ile B000072008000 (TS/ISO 494-DIN340) ürün kodlu kaplamasız 118° uç açılı, işleme boyu 75 mm (toplam boyu 117mm) olan uzun takım kullanılmıştır.

Takımlardan kısa olanlar 43 mm boydan bağlanırken uzun olan takım 76 mm boydan bağlanmıştır. Deneysel sonuçlar, kullanılan kesme parametreleri matkaplara göre Çizelge 2’de gösterilmiştir. Burada uygulanan kesme ve ilerleme hızı değerleri başlangıçta katalogdan alınmış, daha sonra takım aşınması ve delik kalitesine bakılarak en iyi kesme parametresi belirlenmeye çalışılmıştır. Matkaplar iş parçası yüzeyinden sıfırlanarak, 28 mm mesafeye 1’er mm gagalama (ing. Peck drilling) yöntemiyle delme işlemini gerçekleştirmiştir. Şekil 2’de ise kesme parametrelerinin uygulandığı delik grupları gösterilmektedir.

Çizelge 2. Parametre belirleme deneylerinde kullanılan kesme parametreleri (Cutting parameters used in parameter-settings experiments)

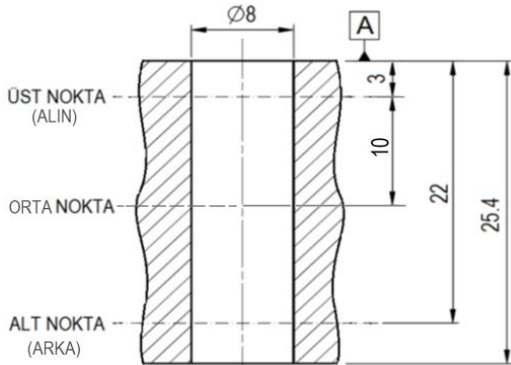
Kesici Takım	Devir hızı [dev/dk]	Kesme Hızı [m/dk]	İlerleme Hızı [mm/dev]	Grup No
Kısa matkap	400	10.0	0.040	1
	300	7.50	0.050	2
	300	7.50	0.065	3
	250	6.00	0.070	4
	300	7.50	0.080	5
Uzun matkap	350	8.50	0.040	6
	300	7.50	0.050	7

	300	7.50	0.065	8
	350	8.50	0.070	9



Şekil 2. Delik grupları (Hole groups)

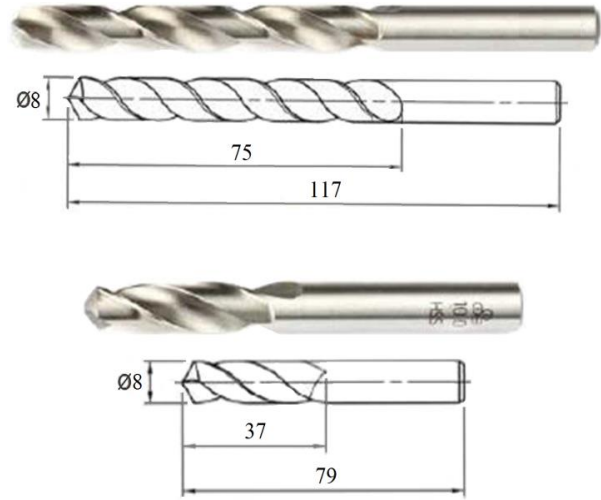
Delik delme işlemi sonucunda CMM tezgâhında deliklerin alt ve üst çap kontrolü, eşeksensellikten (İng. concentricity) sapma, diklikten sapma ile alt ve üst dairesellikten sapma kontrolleri yapılmıştır. Şekil 3’de alt ve üst çap ile dairesellikten sapma kontrollerinin yeri gösterilmektedir. A referans düzleminin (ing. datum) parça üstü olduğu kabul edilirse, bu düzleme göre ölçüm mesafeleri gösterilmiştir. Ölçümlerde her bir delik için dörder adet ölçüm alınarak ortalamaları verilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü her bir delik için 3’er kez Alın, orta ve arka bölgelerden Mitutoyo SJ-310 tipi yüzey pürüzlülük ölçüm cihazıyla ölçülmüştür.



Şekil 3. Delik kesiti ve kontrol noktası ölçüleri (Hole cross section and control point measurements)

Delme deneylerinde kesme sıvısı olarak CIMCOOL Cimperial 806 yarı sentetik emülsiyon (%5) kullanılmıştır. Kesme sıvısı seçimi malzemenin cinsi ve takım kataloglarında yazan bilgiler dikkate alınarak seçilmiştir.

Delme esnasında kesme sıvısı kesme ortamına uygulanmıştır. Şekil 4’de deneysel çalışmalarda kullanılan HSS matkaplar ve boyutsal ölçüleri gösterilmiştir.



Şekil 4. MTE marka kaplamasız HSS matkaplar (MTE uncoated HSS drills) [15]

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Bu bölümde, Ti6Al4V alaşımına uygulanan delme işlemi sonucunda kesme parametrelerindeki değişime bağlı olarak değişen delik çapı, aksenal sapma, diklikten sapma, dairesellik sapma değerleri ile takım aşınmasına yönelik sonuçlar ve değerlendirmeler verilecektir.

3.1. Kısa HSS Takım (Short HSS Tool)

Kısa HSS takım ile ve farklı kesme parametreleri ile her bir delik grubu için 10 farklı delik delme deneyi gerçekleştirilmiştir. Deneylerde HSS matkaplar için katalogdan kesme parametreleri seçilmiş ve 1-5 arası grup delikler işlenmiştir. 1. Grup deneylerde 10 m/dk kesme hızı, 400 dev/dk devir sayısı ve 0.04 mm/dev ilerleme hızında 10 adet delik delme planlanmış fakat

7. delikte matkap aşınmış ve körelmiştir. 1. ve 7. delikte de alt ve üstteki çap farkı 0.01 mm çıkmıştır. Aksenal sapma ortalama olarak 0.083 mm, diklikten sapma ise ortalama olarak 0.046 mm ölçülmüştür. 1. deliğin üst ve alt kısmında ölçülen dairesellikten sapma farkı 0.054 mm iken 7. delikte 0.033 mm ölçülmüştür. 8. Delik delme sırasında matkap sardığı için delik delinmemiştir. Çıkan sayısal değerler ve takım aşınması görüntüleri değerlendirildiğinde kesme parametrelerinin uygun olmadığı görülmüştür.

2 numaralı (grup) deneyde 1 numaralı deneydeki olumsuz durumlar değerlendirilerek kesme parametreleri değiştirilmiştir. 7.5 m/dk kesme hızı, 300 dev/dk devir sayısı ve 0.05 mm/dev ilerleme hızında 10 delik delme planlanmıştır. 10 delikte başarıyla delinmiştir. Matkapın ucunda hafif yanmalar gözlenmiştir. 1. ve 10. delikte de alt ve üst çap arasındaki fark 0.01 mm mertebesini geçmemiştir. Aksenal sapma ortalama 0.15 mm, diklikten sapma ise ortalama 0.083 mm ölçülmüştür. 1. deliğin üst

ve alt kısmında ölçülen dairesellikten sapma farkı 0.061 mm iken 10. delikte 0.034 mm ölçülmüştür. Çıkan sayısal değerler ve takım aşınması görüntüleri değerlendirildiğinde kesme parametrelerinin 1 numaralı operasyona göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

3 numaralı deneyde 2 numaralı deneydeki uygun kesme hızı ve devir sayısı korunmuş, ilerleme hızındaki artışın sayısal değerler ve takım aşınması üzerindeki etkisine bakılmıştır. 7.5 m/dk kesme hızı, 300 dev/dk devir sayısı ve 0.05 mm/dev ilerleme hızında 10 delik delme planlanmış, 10 delikte başarıyla delinmiştir. Matkabın ucunda hafif yanmalar gözlenmiştir, fakat körelme 2 numaralı operasyona göre daha az olmuştur. 1. ve 10. delikte alt ve üst çap farkı daha da azalarak 0.01 mm'den daha da az ölçülmüştür. Eksenel sapma ortalama 0.123 mm, diklikten sapma ise 0.068 mm ölçülmüştür. 1. deliğin üst ve alt kısmında ölçülen dairesellikten sapma farkı 0.05 mm iken 10. delikte de 0.019 mm ölçülmüştür. 2 numaralı operasyona göre takım aşınması, delik çapları, eksenel sapma, diklikten sapma ve dairesellikten sapma değerleri iyi çıkmıştır.

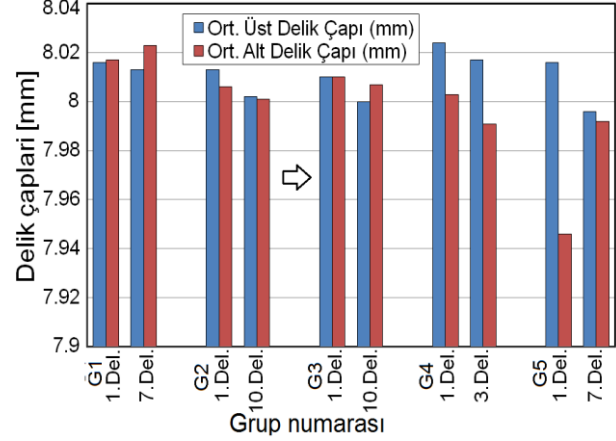
4 numaralı deneyde 3 numaralı deneye göre kesme hızı düşürülmüş, buna bağlı olarak devir sayısı da düşürülmüş fakat ilerleme hızı artırılmıştır. 6.5 m/dk kesme hızı, 250 dev/dk devir sayısı ve 0.08 mm/dev ilerleme hızında 10 delik delme planlanmıştır. Fakat 3. delikten sonra matkap aşırı derecede körelmiştir. Delik çapları 1. delikte iyi görünürken 3. delikte altta $\varnothing 8.017$ mm, üstte $\varnothing 7.991$ mm ölçülmüştür. 3 numaralı deneye göre kesme hızının düşürülmesi ve ilerleme hızının artırılması olumsuz sonuç vermiştir.

5 numaralı deneyde 4 numaralı deneye göre kesme hızı artırılmış fakat ilerleme hızı aynı tutulmuştur. Burada amaçlanan 3 numaralı deneydeki uygun kesme hızının yüksek ilerleme miktarı ile denenmesidir. 7.5 m/dk kesme hızı, 300 dev/dk devir sayısı ve 0.08 mm/dev ilerleme hızında 10 delik delme planlanmıştır. Fakat matkap 7. delik sonunda aşınmış ve uç kısmında yanmalar gözlenmiştir. 1. delikte alt ve üst çap farkı 0.07 mm iken 10. delikte 0.01 mm ölçülmüştür. Matkabın dış köşesinin aşınmasından dolayı 7. delikte delik çapı $\varnothing 7.992$ mm ye kadar düşmüştür. Eksenel sapma diğer delme operasyonlarına göre yüksek (ortalama olarak 0.253 mm) çıkmıştır. Diklikten sapma ise ort. 0.141 mm ölçülmüştür. 1. deliğin üst ve alt kısmında ölçülen dairesellikten sapma farkı 0.081 mm iken 10. delikte 0.096 mm çıkmıştır. Bu operasyonda kullanılan yüksek ilerleme hızı ile 7.5 m/dk kesme hızı olumlu sonuç vermemiştir. İlerleme hızının yüksek olması matkabın dış köşesinin aşırı aşınmasına hatta kırılmasına neden olmuştur.

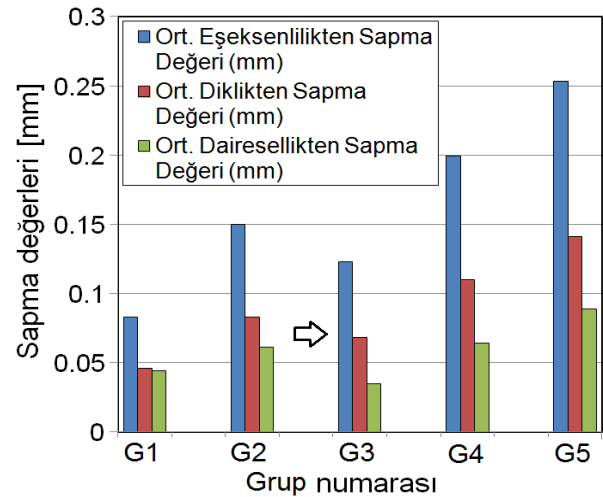
Uygulanan deneyler sonucunda ölçülen ortalama üst ve alt delik çapları Şekil 5'de, ortalama eksenel sapma, diklikten sapma ve dairesellikten sapma değerleri ise Şekil 6'da gösterilmiştir.

Sonuç olarak; kaplamasız HSS takımlar ile titanyum alaşımlarının delinmesi esnasında takımın aşınması ve buna bağlı olarak aşınma gözlenmektedir. Delik çapları ve eksenel sapma değerleri kötü, takım aşınması daha

hızlı oluşmaktadır. Kullanılan kesme parametreleri içerisinde en uygunu 3 (G3) numaralı deneyde uygulanan kesme parametreleri olan, 300 dev/dk devir sayısı, 7.5 mm/dev ilerleme hızı ve 7.5 m/dk kesme hızı olarak tespit edilmiştir.



Şekil 5. Kısa HSS ile delinen deliklerin ortalama üst ve alt delik çap boyutları (The average upper and lower hole diameter dimensions of the holes drilled with short HSS)



Şekil 6. Kısa HSS ile delinen deliklerin ortalama eksenel sapma, diklikten sapma ve dairesellikten sapma değerleri (The average axial deflection, deviation from perpendicularity and deviation from circularity of holes drilled with short HSS)

3.2. Uzun HSS Takım (Long HSS Tool)

Uzun HSS takım ile farklı kesme parametrelerinde 4 farklı delik delme deneyi uygulanmıştır. 6 (G6) numaralı deneyde kısa HSS takımlara göre kesme hızı yüksek tutulmuş, ilerleme hızında ortalama bir değer alınmıştır. 8.8 m/dk kesme hızı, 350 dev/dk devir sayısı ve 0.04 mm/dev ilerleme hızında 10 adet delik başarıyla delinmiştir, fakat matkapta körelmeler ve kesici kenar yüzeyinde aşınma ve kırılmalar meydana gelmiştir. 1. delikte alt ve üst çap farkı 0.032 mm iken 10. delikte bu fark 0.041 mm'ye çıkmıştır. 10 delik içinde alt delik çaplarında $\varnothing 8$ mm'nin altına düşen değerler görülmektedir.

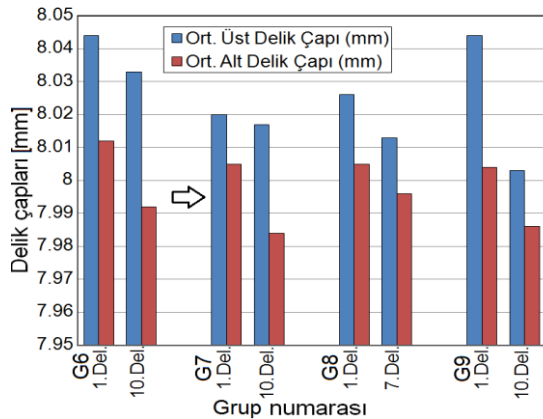
Eksenel sapma ortalama olarak 0.17 mm, diklikten sapma ise ort. 0.095 mm ölçülmüştür. 1. deliğin üst ve alt kısmında ölçülen dairesellikten sapma farkı 0.132 mm iken 10. delikte 0.059 mm ölçülmüştür. İlerleme hızından farklı olarak, kesme hızı artışında çok belirgin iyileşmeler elde edilemese de ölçü tamlığı ve takım aşınması açısından biraz daha iyi sonuçlar vermiştir.

7 numaralı deneyde kesme hızı düşürülmüş, ilerleme hızı artırılmıştır. 7.5 m/dk kesme hızı, 300 dev/dk devir sayısı ve 0.05 mm/dev ilerleme hızında 10 adet delik sorunsuz delinmiştir. Takımın kesici kenarında yer yer kırılmalar görülmüştür. 1. delikte alt ve üst çap arasındaki fark 0.015 mm iken 10. delikte 0.033 mm'ye çıkmıştır. Matkabın kesici kenarındaki kırılmalardan dolayı son deliklere doğru çap değeri 8 mm'nin altına düşmüştür. Eksenel sapma ort. 0.172 mm, diklikten sapma ise ort. 0.096 mm ölçülmüştür. 1. deliğin üst ve alt kısmında ölçülen dairesellikten sapma farkı 0.122 mm iken 10. delikte 0.04 mm ölçülmüştür. 6 numaralı operasyona göre kesme hızının düşürülüp, ilerleme hızının artırılması olumlu sonuç vermiş; takım aşınmasının azalmasına ve ölçü tamlığının iyileşmesine neden olmuştur.

8 numaralı deneyde 7.5 m/dk kesme hızı, 300 dev/dk devir sayısı ve 0.065 mm/dev ilerleme hızında 10 delik delme işlemi planlanmış fakat 7. delik sonunda matkabın kesici kenar ucu kırılmıştır. 1. delikte alt ve üst çap arasındaki fark 0.019 mm iken 7. delikte 0.017 mm ölçülmüştür. Eksenel sapma ort. 0.183 mm, diklikten sapma ise ort. 0.102 mm ölçülmüştür.

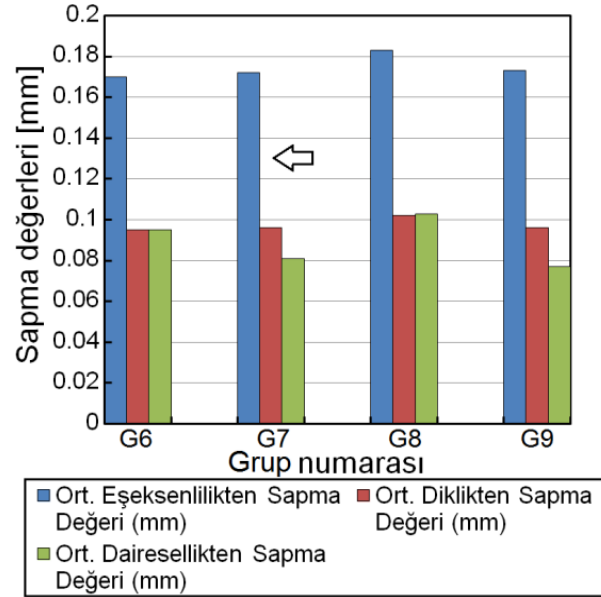
1. deliğin üst ve alt kısmında ölçülen dairesellikten sapma farkı 0.161 mm iken 10. delikte 0.045 mm ölçülmüştür. İlerleme hızının artırılması iyi sonuç vermemiştir. 9 numaralı deneyde artan ilerleme hızına kesme hızının düşük kaldığı düşünülerek, ilerleme ve kesme hızı artırılmıştır. 8.8 m/dk kesme hızı, 350 dev/dk devir sayısı ve 0.07 mm/dev ilerleme hızında 10 delik delme planlanmıştır. 10 delikte başarıyla delinmiştir. Fakat 7 numaralı deneye göre ölçülen sayısal değerler ve matkap aşınması açısından kötü sonuç vermiştir.

Uygulanan deneylerde ortalama üst ve alt delik çapları Şekil 7'de, ortalama eksenel sapma, diklikten sapma ve dairesellikten sapma değerleri ise Şekil 8'de gösterilmiştir. Uzun HSS takımlarda da, kısa HSS takımlarla aynı sorunlar gözlemlenmiştir.



Şekil 7: Uzun HSS ile delinen deliklerin ortalama üst ve alt delik çapları (The average upper and lower hole diameters of holes drilled with long HSS)

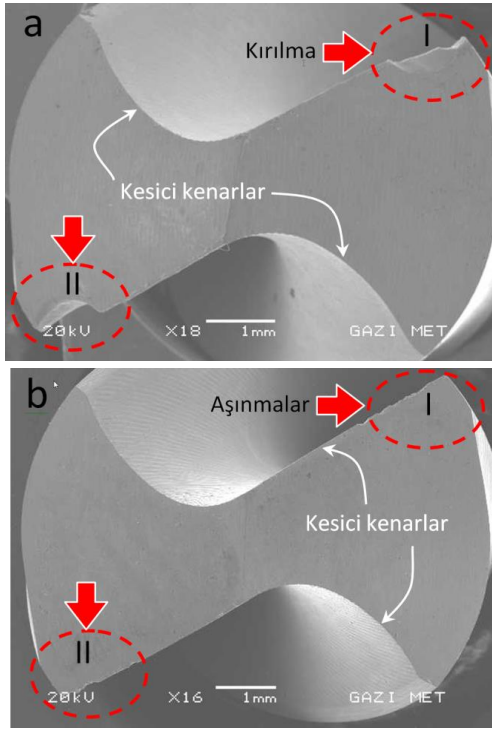
Uzun HSS takımlarda uç bölgesinde oluşan sıcaklığın az olmasından dolayı kısa HSS takımlara göre takım aşınması daha az gözlenmiştir. Kullanılan kesme parametrelerine içinde 7 (G7) numaralı deneyde kullanılan kesme parametreleri en iyi sonucu vermiştir. Parametre belirleme deneyleri sonucunda hem kısa hemde uzun matkaplar için en uygun kesme parametreleri, 300 dev/dk devir sayısı, 0.05 mm/dev ilerleme hızı ve 7.5 m/dk kesme hızı olarak kabul edilmiş ve karşılaştırma deneyleri bu parametrelere göre yapılmıştır.



Şekil 8: Uzun HSS ile delinen deliklerin ortalama eksenel sapma, diklikten sapma ve dairesellikten sapma değerleri (The average axial deviation, deviation from vertical, and deviation from circularity of holes drilled with long HSS)

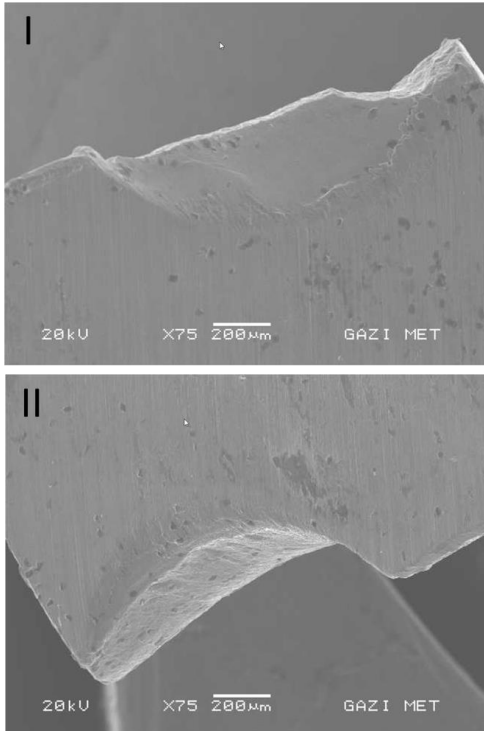
3.3. Kısa HSS ve Uzun HSS Matkapların Aynı Kesme Parametrelerine Göre Karşılaştırılması (Comparison of Short HSS and Long HSS Drills Compared to the Same Cutting Parameters)

Aynı yapıdaki kısa ve uzun HSS matkaplara aynı kesme parametrelerinde, 7.5 m/dk kesme hızı, 300 dev/dk devir sayısı ve 0.05 mm/dev ilerleme hızında karşılaştırma yapılmıştır. Delik çap boyutları kısa takımında uzun takıma oranla daha hassas sonuçlar vermiştir. Eksenel sapma, diklikten sapma ve dairesellikten sapma değerlerine bakıldığında uzun takımın kısaya göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Takım aşınmalarına bakıldığında HSS uzun takımın daha az aşındığı görülmektedir. Şekil 9a'da kısa takımında, Şekil 9b'de ise uzun takımında meydana gelen takım ucu aşınması (ing. flank wear) SEM görüntüleri görülmektedir.

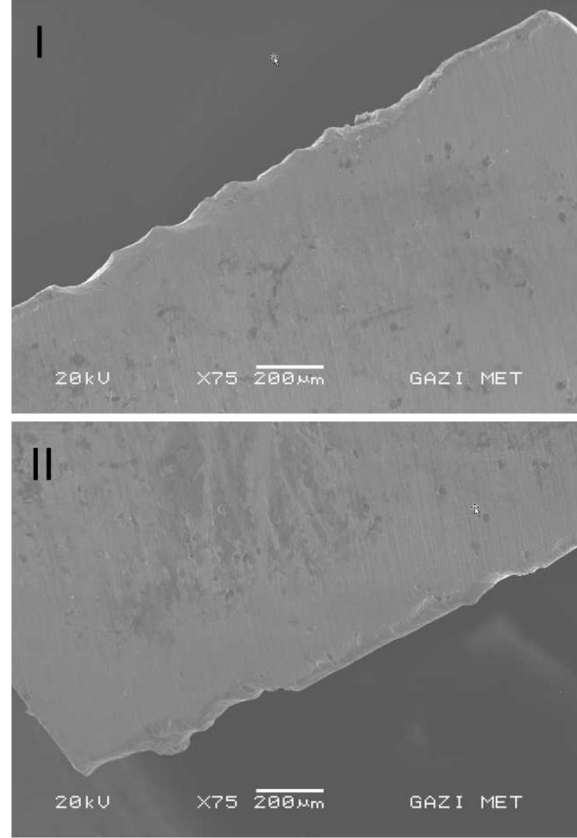


Şekil 9. 2 ve 7 numaralı deneylerde kullanılan (a) kısa ve (b) uzun HSS matkapların takım ucu aşınma (X16 ölçek büyütülmüş) SEM görüntüleri (SEM images of tool tip wear for (a) short and (b) long HSS drills used in Experiments 2 and 7 (X16 magnification))

Şekil 9a'da görüldüğü üzere kısa aynı şartlarda işleme yapan kısa matkapta uzun matkba oranla daha büyük aşınma değerleri elde edilmiştir.



Şekil 10. 2 numaralı deneylerde kullanılan kısa matkaba ait (i) birinci bölge ve (ii) ikinci bölge aşınma (X75 ölçek büyütülmüş) SEM görüntüleri (SEM images of the wear of the short drill used in Experiment 2 (I) first region and (ii) second region wear (X75 magnification))



Şekil 11. 7 numaralı deneylerde kullanılan uzun matkaba ait (i) birinci bölge ve (ii) ikinci bölge aşınma (X75 ölçek büyütülmüş) SEM görüntüleri (SEM images of the wear of the short drill used in Experiment 7 (I) first region and (ii) second region wear (X75 magnification))

Şekil 10i ve Şekil 10ii'de kırılan bölgeler yaklaşık 800 µm boya ve yaklaşık 400 µm boyunda kavite oluşturmuştur. Şekil 11i ve Şekil 113ii'de uzun matkaba ait aşınma bölgeleri gösterilmiştir. Bu her iki bölge de yaklaşık 1mm uzunluğunda ve 50µm genişliğinde bir dikdörtgen alan içinde kaldığı görülmektedir. Kısa takımda büyük çaplı aşınmalar hatta kırılmalar meydana gelirken uzun takımında aşınma bölgeleri daha sınırlı kalmıştır. Matkap bağlama boyu arttıkça elde edilen delik toleranslarında meydana gelen bozulmaların işleme esnasındaki titreşim genliğindeki artıştan kaynaklandığı söylenebilir. Takım boyu uzadıkça takım doğal frekansı azaldığı [1, 4] için standart işleme hızlarında bile takımın rezonans frekansına yaklaşmalar meydana gelmekte ve bunun sonucu olarak takımın literatürde zırlama (ing. chatter) olarak tabir edilen yüksek genlikli titreşimler oluşmaktadır. Bu yüksek genlikli ve geniş radyal genlikte [11] titreşimler takım aşınmasını arttırmakta [2, 3, 13] bunun sonucu olarak elde edilen deliklerde geometrik ve

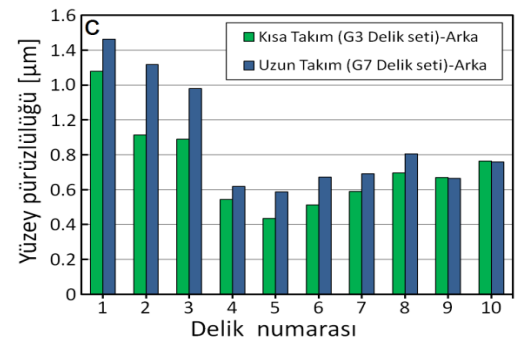
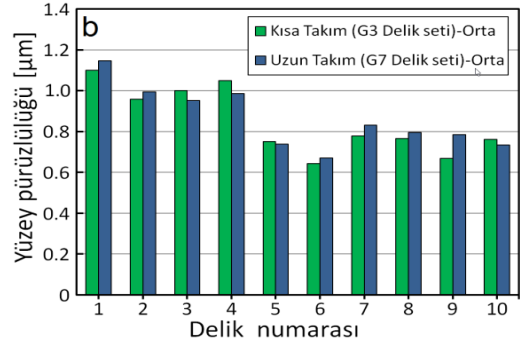
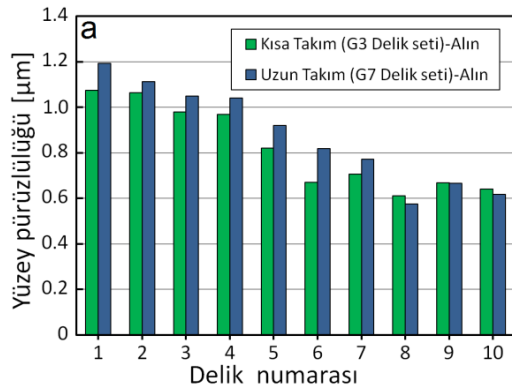
Çizelge 3. Yüzey pürüzlülüğünün kısa (G3 delik grubu) ve uzun takım (G7 delik grubu) boyuna göre değişimi (Variation of surface roughness with respect to length of short (G3 hole group) and long tool (G7 hole group))

Delik ölçüm bölgesi	Alın	Orta	Alın	Delik ölçüm bölgesi	Alın	Orta	Arka	Delik No
MTE Kısa (G3)	1.074	1.099	1.279	MTE Uzun (G7)	1.198	1.147	1.463	1
	1.063	0.957	0.914		1.112	0.994	1.317	2
	0.978	1.001	0.890		1.048	0.951	1.180	3
	0.968	1.049	0.544		1.041	0.986	0.619	4
	0.820	0.750	0.434		0.920	0.738	0.588	5
	0.670	0.642	0.512		0.818	0.670	0.673	6
	0.706	0.779	0.589		0.772	0.831	0.691	7
	0.611	0.765	0.807		0.575	0.794	0.805	8
	0.768	0.667	0.672		0.764	0.784	0.665	9
	0.572	0.762	0.760		0.618	0.733	0.759	10

Çizelge 4. MTE Kısa (43 mm bağlama boyu) HSS matkap ile işlenen deliklerin boyutsal ve geometrik ölçüleri (Dimensional and geometric measurements of holes drilled with HSS MTE Short drill (43 mm mouthed length))

Delik No	Delik çapı [mm] (Alın)	Delik çapı [mm] (Arka)	Eşeksensellikten sapma [mm]	Diklikten sapma [mm]	Dairesellikten sapma [mm] (Alın)	Dairesellikten sapma [mm] (Arka)
1	8.013	8.006	0.079	0.044	0.014	0.015
2	8.022	8.003	0.130	0.072	0.082	0.055
3	8.003	8.005	0.110	0.062	0.058	0.016
4	8.027	7.998	0.169	0.094	0.100	0.050
5	8.001	8.002	0.075	0.043	0.042	0.013
6	8.012	8.005	0.219	0.122	0.046	0.022
7	8.015	8.005	0.133	0.073	0.077	0.041
8	8.004	8.004	0.189	0.106	0.087	0.059
9	8.008	8.000	0.166	0.092	0.072	0.053
10	8.002	8.001	0.234	0.130	0.041	0.022

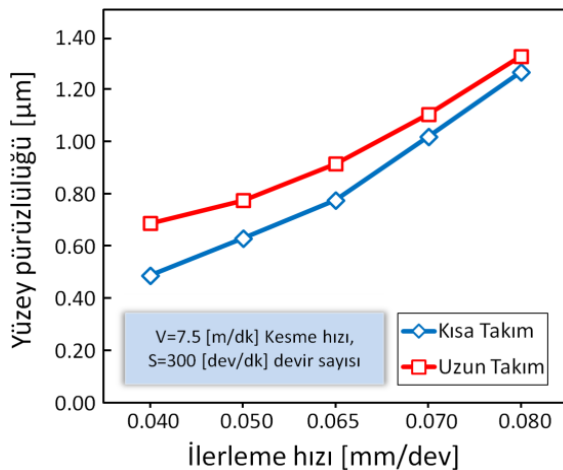
boyutsal olarak ölçü tamlığı bozulmakta ve yüzey pürüzlülüğü artmaktadır. Yüzey pürüzlülüğünün takım boyuna göre değişimi Şekil 12'de gösterilmiştir, yüzey pürüzlülüğü ölçüm sonuçları ise Çizelge 3'de verilmiştir.

**Şekil 12.** (a) Delik alın bölgesi, (b) orta bölge ve (c) arka bölgeden ölçülen yüzey pürüzlülüğünün takım boyuna göre değişimi (Change of surface roughness measured in (a) hole face region, (b) central region and (c) back region according to tool length)

Çizelge 5. MTE Uzun (76 mm bağlama boyu) HSS matkap ile işlenen deliklerin boyutsal ve geometrik ölçüleri (Dimensional and geometric measurements of holes drilled with HSS MTE Long drill (76 mm mouthed length))

Delik No	Delik çapı [mm] (Alın)	Delik çapı [mm] (Arka)	Eksenellikten sapma [mm]	Diklikten sapma [mm]	Dairesellikten sapma [mm] (Alın)	Dairesellikten sapma [mm] (Arka)
1	8.020	8.005	0.116	0.064	0.069	0.041
2	8.033	8.016	0.297	0.166	0.049	0.028
3	8.047	8.009	0.132	0.074	0.134	0.019
4	8.006	8.004	0.139	0.077	0.065	0.028
5	8.059	8.006	0.117	0.065	0.169	0.029
6	8.042	8.003	0.098	0.053	0.167	0.021
7	8.031	8.000	0.239	0.133	0.101	0.038
8	8.044	7.986	0.165	0.093	0.189	0.078
9	8.029	7.986	0.218	0.122	0.137	0.066
10	8.017	7.984	0.208	0.116	0.140	0.050

Sabit kesme parametreleri (300 [dev/dk] devir sayısı, 0.05 [mm/dev] ilerleme hızı ve 7.5 [m/dk] kesme hızı) altında kısa HSS takım (3. Grup delikler) ve uzun (7. Grup delikler) elde edilen deliklere ait alın, orta ve arka bölgelerden ölçülen yüzey pürüzlülüğü değerleri sırasıyla Şekil 12a, b ve c'de verilmiştir. Bu değerler incelendiğinde alın (delik ağzı) bölgesinde ve arka (delik sonu) bölgesinde uzun takım tarafından açılan deliklere ait yüzey pürüzlülükleri aynı bölgelerde kısa takımla elde edilen deliklerden elde edilen pürüzlülük değerlerinden daha büyük olduğu görülmektedir. Bu durum, uzun takımın işleme esnasında daha yüksek genlikteki titreşimlere (zırlama, ing. chatter vibration) maruz kalarak daha bozuk yüzey oluşumuna sebep olduğu şeklinde açıklanabilir. Her iki tip takım içinde orta bölgeden ölçülen yüzey pürüzlülük değerleri delik uç bölgelerine göre daha küçük ve birbirlerine yakın çıkmaktadır. Çizelge 4 ve Çizelge 5'te yukarıda verilen sabit işleme parametreleri altında 43 mm ve 76 mm boydan bağlanan kısa ve uzun matkaplarla işlenmiş deliklere ait boyutsal ve geometrik ölçüler verilmiştir.

**Şekil 13.** Uzun ve kısa takımda ilerleme hızının delik yüzey pürüzlülüğüne etkisi (The effect of feed rate on hole surface roughness for long and short tool)

Uzun ve kısa takımda ilerleme hızı arttıkça delik yüzey pürüzlülüğünün arttığı tespit edilmiştir (Şekil 13). Benzer

sonuçlar Çaydaş ve Çelik [16]'in çalışmasında da görülmektedir. Uzun takımlardan elde edilen delik yüzey pürüzlülükleri kısa takıma göre biraz daha yüksek çıkmıştır. Aynı takımla işlenen delik sayısı arttıkça kısa matkapta meydana gelen takım aşınmalarının delik yüzey pürüzlülüğünü arttırdığı ve uzun takıma ait değerlere yaklaştığı gözlemlenmiştir (Şekil 13).

Helisel matkap ile delik delme operasyonunda matkabın uygun boydan bağlanmasının önemli işleme parametrelerinden biri olduğu ve operasyonu doğrudan etkilediği görülmüştür. Çok kısa bağlandığında matkabın normalden çok daha çabuk aşınacağı, çok uzun bağlandığında ise delik ölçülerinde geometrik ve boyutsal sapmalar ve daha bozuk yüzey elde edilebileceği düşünülerek takımın uygun boydan bağlanması gerektiği sonucuna varılmıştır. Şekil 14'de bazı kısa ve uzun matkaplarla işleme sonucunda elde edilen talaş fotoğrafları verilmiştir.

**Şekil 14.** Kısa ve uzun takımlarla onuncu işlemede elde edilen talaş şekilleri: (a) kısa takım 0.050 [mm/dev], (b) 0.065 [mm/dev], (c) 0.080 [mm/dev], (d) uzun takım 0.050 [mm/dev], (e) 0.065 [mm/dev] ve (f) 0.080 [mm/dev] (The chip shapes obtained with the tenth machining with short and long tools: (a)

short tool for 0.050 [mm/rev], (b) 0.065 [mm/rev], (c) 0.080 [mm/rev], (d) long tool 0.050 [mm/dev], (e) 0.065 [mm/dev] and (f) 0.080 [mm/dev]

Sabit 300 [dev/dk] iş mili devir sayısı ve sabit 7.50 [m/dk] kesme hızı işleme şartları altında ilerlemeler 0.050-0.080 [mm/dev] aralığında artırılarak elde edilen talaşlar incelendiğinde, kısa takımda ilerleme hızı ve işleme sayısı arttıkça matkapta meydana gelen aşınmalar talaş şeklinin bozulmasına sebep olmaktadır. İlerleme hızı arttıkça talaş şekli sürekli spiral yapıdan kesikli yığılmış yapıya doğru dönüşmektedir. Elde edilen sonuçların literatürde yapılan benzer çalışmalar [16, 17] ile uyumlu olduğu görülmüştür.

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada Ti6Al4V titanyum alaşımının kısa ve uzun kaplamasız HSS matkap ile takım boyunun delinebilirliğe olan etkileri araştırılmıştır. 2 farklı boyda takım ile aynı kesme parametrelerinde delme işlemleri uygulanmış, sonunda delik çap boyutsal toleransları, eksenel sapma, diklikten sapma ve dairesellikten sapma geometrik toleransları ile takım aşınması kontrolü yapılmıştır. Kısa ve uzun HSS takımlarda aynı kesme parametreleri ve aynı kesme şartlarında uygulanan delme operasyonları sonucunda, uzun takımındaki takım aşınmasının kısa takıma göre daha az olduğu görülmüştür. Buna karşın yanal, eksenel ve burulma titreşimlerinin sebep olduğu salğıdan dolayı uzun matkap çap ve geometrik tolerans değerlerinin kısa takıma göre daha kötü olduğu görülmüştür. İlerleme hızı arttıkça her iki tip takımdan elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri artış göstermiş, uzun takımın daha belirgin arttığı tespit edilmiştir. Aynı takım ile işlenen delik sayısı arttıkça kısa matkapta meydana gelen takım aşınmalarının delik yüzey pürüzlülüğünü arttırdığı ve uzun takım yüzey pürüzlülük değerlerine yaklaştığı gözlemlenmiştir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Deneysel çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen TÜBİTAK-SAGE yönetimine ve Mekanik Üretim Altyapısı çalışanlarına teşekkür ederiz.

SİMGELER VE KISALTMALAR (SYMBOLS AND ABBREVIATIONS)

Semboller (Symbols)

ρ	matkap malzeme yoğunluğu (drill material density)
A	matkap kesit alanı (drill cross section)
l	matkap boyu (drill length)
\underline{r}	pozisyon vektörü (displacement vector)
F_e	dış kuvvet (external force)
F_s	yay kuvveti (spring force)
F_d	sönümleme kuvveti (damping force)

Ω	dönme hızı (rotation speed)
ω_n	doğal frekans (natural frequency)
C	sönümleme katsayısı (damping coefficient)
K	rijitlik katsayısı (stiffness coefficient)
E	elastisite modülü (modulus of elasticity)
I	yanal alan atalet momenti (transverse area moment of inertia)
α, β	doğal frekans formülasyon katsayıları (natural frequency formulation coefficients)

Kısaltmalar (Abbreviations)

HSS	yüksek hızlı takım çeliği (high speed steel)
CNC	Bilgisayarla sayısal denetimli takım tezgâhı (Computer numerical controlled machine tool)
SEM	taramalı elektron mikroskop (scanning electron microscope)
CMM	koordinat ölçme cihazı (coordinate measuring machine)
AISI	(American Iron and Steel Institute)
TS	Türk Standartları
ISO	Uluslar Arası Kalite Standardı ailesi (family of quality management systems)
DIN	Alman Standartları (Deutsches Institut für Normung)

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Abele E. and Schafer D., "A new approach for a simulation-based prediction of torsional chatter in deep hole drilling with extra-long twist drills" *Proceedings of the ASME, Int. Manuf. Sci. and Eng. Conference*, 1184, June 10-14, Wisconsin, USA, (2013).
2. Abele E., Ellermeier A., Hohenstein J. and Tschannerl M., "Tool length influence on wear behaviour of twisted carbide drills" *Prod. Eng. Res. Devel*, 1: 51-56, (2007).
3. Ahmadi K. and Altintas Y., "Stability of lateral, torsional and axial vibration in drilling", *Int. J. of Mach. Tools and Manuf.*, 68: 63-74, (2013).
4. Ulsoy A.G. and Tekinalp O., "Dynamic modelling of transverse drill bit vibrations", *Annals of the CIRP*, 33: 253-258, USA, (1984).
5. Tekinalp O. and Ulsoy A.G., "Modeling and finite element analysis of drill bit vibrations", *J. Vib. Acoust. Stress. Reliab. Des.*, 111: 148-155, (1989).
6. Rincon D.M. and Ulsoy A.G., "Complex geometry, rotary inertia and gyroscopic moment effects on drill vibrations", *J. Sound Vib.*, 188(5): 701-715, (1995).
7. Strenkowski J.S., Hsieh C.C. and Shih A.J., "An analytical finite element technique for predicting thrust force and torque in drilling", *Int. J. of Mach. Tools Manuf.*, 44: 1413-1421, (2004).
8. "Metal cutting tool handbook", *Metal Cutting Tool Institute*, Newyork, USA, p.31, (1965).
9. Sushinder K., Shivaram P.R., Nivedh K.S.B., Nisarg G. and Vijay S.K.S., "Investigation of thrust forces, toeque and

- chip microstructure during drilling of Ti-6Al-4V titanium alloy”, *Appl. Mech. Mater.*, 787: 431-436, (2015).
10. Bayly P.V., Sandra A.M., Schaut A.J. and Young K.A., “Theory of torsional chatter in twist drills: Model, stability analysis and composition to test”, *J. Sound Vib.*, 188(5): 701-715, (1995).
 11. Sheth S. and George P.M., “Experimental investigation, prediction and optimization of cylindricity and perpendicularity during drilling of WCB material using grey relational analysis”, *Precision Engineering*, 45: 33-43, (2016).
 12. Arvajah T. and Fathy I., “Machining stability in high-speed drilling-Part1: Modelling vibration stability in bending”, *Int. J. of Mach. Tools Manuf.*, 46: 1563-1572, (2006).
 13. Ema S. and Mariu E., “Theoretical analysis on chatter vibration in drilling and its suppression”, *J. Mater. Process. Technol.*, 138: 572-578, (2003).
 14. Kaplan Y., Okay Ş., Motorcu A.R. and Nalbant M., “Investigation of the effect of machining parameters on the thrust force and cutting torque in the drilling of AISI D2 and AISI D3 cold work tool steels”, *Indian J. of Engineering and Material Sciences*, 21: 128-138, (2014).
 15. Makine Takım Endüstrisi, “MTE 2013 fiyat listesi”, *Makine Takım Endüstrisi*, Kocaeli, 14-29, (2013).
 16. Çaydaş U. and Çelik M., “AA 7075-T6 Alaşımının Delinmesinde Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğü, Takım Sıcaklığı Ve İlerleme Kuvvetine Etkilerinin Araştırılması”, *Politeknik Dergisi*, 20(2): 419-425, (2017).
 17. Zhang P.F., Churi N.J., Pei Z.J. and Treadwell C., “Mechanical drilling processes for titanium alloys: A literature review”, *Machining Science and Technology*, 12: 417-444, (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>

Physical characteristics of rubberized concrete including granulated waste tire aggregate

Granüle atık lastik agregası içeren kauçuk betonunun fiziksel özellikleri

Yazar(lar) (Author(s)): Özlem SALLI BİDECI, Rasim Cem SAKA, Alper BİDECI

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Sallı Bideci Ö., Saka R. C. and Bideci A., "Physical characteristics of rubberized concrete including granulated waste tire aggregate, *Politeknik Dergisi*, 20(4): 777-786, (2017).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.368985

Physical Characteristics of Rubberized Concrete Including Granulated Waste Tire Aggregate

Araştırma Makalesi / Research Article

Özlem Sallı BİDECİ^{1*}, Rasim Cem SAKA², Alper BİDECİ¹

¹Düzce University, Art, Design and Architecture Faculty, Department of Architecture, 81600, Düzce/TURKEY

²Düzce University, Faculty of Technology, Department of Civil Engineering, 81600, Düzce/TURKEY

(Geliş/Received : 09.08.2017 ; Kabul/Accepted : 16.08.2017)

ABSTRACT

Every year hundreds of millions of tyres come out as waste because they fill their service period and this situation causes global problems in respect of health and environment. Today, as the natural building sand became a limited and costly material, and fine aggregate is more economical and sustainable, this lead to the usage of fine aggregate in concrete technology. In this study, rubber granule aggregate (CRA) obtained from waste tyres with 0% (control), 5%, 10% and 15% ratios by weight was replaced with the amount of fine aggregate which remains at 1-2 mm sieve opening, and mechanical and morphological properties of the samples were investigated. For this purpose, unit weight, water absorption, compressive strength for 3,7 and 28 days, freezing-thawing (100 cycles) and ultrasonic pulse tests of concrete samples were performed. Also, SEM (Scanning Electron Microscope) images and EDS (Energy-Dispersive X-ray Spectroscopy) spectrum analyses of samples were examined. As a result of the study, it was determined that the sample containing CRA with 5% ratio gave more suitable results than the other samples.

Keywords: Aggregates/recycled aggregates, concrete, concrete technology, construction materials, size effect.

Granüle Atık Lastik Agregası İçeren Kauçuk Betonunun Fiziksel Özellikleri

ÖZ

Her yıl yüz milyonlarca araç lastiği servis süresini doldurması nedeniyle atık olarak ortaya çıkmakta, bu durum sağlık ve çevre açısından küresel sorunlara neden olmaktadır. Günümüzde doğal inşaat kumunun az bulunan ve daha maliyetli bir malzeme haline gelmesi, doğal kuma göre daha ekonomik, sürdürülebilir olması beton teknolojisinde ince agrega olarak kullanımının yolunu açmıştır. Bu çalışmada, atık lastiklerden elde edilen kauçuk granül agrega (CRA), beton karışım dizaynında ince agreganın 1-2 mm elek aralığında kalan miktarına ağırlıkça %0 (Kontrol), %5, %10 ve %15 oranlarında ikame edilmiş ve numunelerin mekanik ve morfolojik özellikleri araştırılmıştır. Bu amaçla beton numunelerinin; birim ağırlık, su emme, 3, 7 ve 28 günlük basınç dayanımları, donma-çözünme (100 çevrim) ve ultrases deneyleri yapılmıştır. Ayrıca, numunelerin SEM (ScanningElectronMicroscope) görüntüleri ve EDS spektrum analizleri incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda, %5 oranında CRA içeren numunenin diğer numunelere göre daha uygun sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

1. INTRODUCTION

Today, waste tyres not only give harm to health and environment, but also cause esthetical problems. As they have an extremely complex structure, recycling of waste tyres is a very difficult process. Also during the burning process, which is the most economical and easiest method for elimination of used waste tyres, the harmful gases released to environment cause significant air pollution. Therefore, such an elimination method is banned in many countries by law. Today, to make savings from consumed natural sources, waste products are being used within the concrete. So, the harm given by the rubber tyres, which is one of the several harmful solid wastes, is reduced to minimum.

Studies were conducted on the effect of utilization of waste rubber in the content of concrete after a series of

processes on mechanical resistance and durability properties. In a study performed on the effect of rubber addition on concrete permeability; although the permeability coefficient of pervious concrete decreased by 28% with 10% rubber addition, the acceptable values for such concretes were not exceeded and despite this decrease, in case of rain shower, as rain waters are drained to soil rapidly, it was concluded that pervious concretes containing rubber could be utilized in construction of structures such as parking areas, walk ways and road shoulders[1]. As rubber addition decreases the manufacturing cost of concrete and increases its damping capacity against impacts, it is stated to be suitable for using in pavement coatings[2]. Investigation was made on the effect of particle size and the content by volume of waste tyre rubber in pervious concretes against its resistance to bending strength, abrasion and freezing-thawing effects; and as a result of the study it was determined that there was a significant increase in abrasion and freezing-thawing resistance of rubber added

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : ozlembideci@duzce.edu.tr

pervious concretes whereas there were a decrease in their bending strength based on the increase of rubber content [1,4-6]. Also, in another study, it was stated that concretes manufactured by shredded waste rubber chips are suitable to be used in concrete barriers in highways due to the increase in their energy absorption capacity [7]. However, it was determined that when exposed to high temperatures, strength of such concrete decreases compared to normal concretes [8]. In a study, in a self-consolidating concrete manufacturing, the rubber dust was replaced with fine aggregate in 5-10-15-20% ratios by volume and as a result of the experiment it was observed that the shrinkage increased by the increase of rubber amount and this value was at the maximum with 20% rubber replacement, and also ultrasonic pulse velocity decreased when the replacement amount increased [9]. So, it was revealed by the experiments that rubberized concretes might be beneficial to be used in places where voice isolation is required [10]. Several studies were performed on mechanical, morphological and durability characteristics of concrete by adding rubber aggregate in concrete. In a study performed, it was concluded that concretes having rubber has high resistance in environments where they were exposed to acid attacks and they could be applied in such environments [11]. In another study aiming to reduce the expansion caused by alkali-silica reactions, for samples having 16% rubber, there were determined a decrease in 43% ratio in the alkali-silica reaction expansion [12]. As a result of these studies it was determined that compressive strength, bending strength, tensile splitting strength and elasticity module properties of rubber aggregate added concretes decrease, but energy absorption capacity and ductility property of them increase [1,5-7,9,13-15]. As a result of microstructural examinations performed on the samples prepared with such concretes, it was observed that the decrease in strength was based on the poor adherence between the rubber aggregate and concrete paste [4,14]. Therefore rubber particles had been firstly oxidized in $KMnO_4$ solution and then exposed to sulphonisation process in $NaHSO_3$ solution in order to increase the chemical link between the rubber aggregates and cement paste. As a result of the experiment, it was observed that the adherence between rubber surface and cement paste had increased in 41.1% ratio and mechanical properties of rubberized concretes that were exposed to such modification processes had increased [16].

In this study, rubber granule aggregate (CRA) obtained from waste tyres with 5%, 10% and 15% ratios by weight was replaced with the amount of fine aggregate which remains at 1-2 mm sieve opening, and engineering properties of the samples were investigated. For this purpose, unit weight, water absorption, compressive strength for 3, 7 and 28 days, tensile splitting, freezing-thawing (100 cycles) and ultrasonic pulse tests of concrete samples were performed. Also, SEM (Scanning Electron Microscope) images and EDS (Energy-

Dispersive X-ray Spectroscopy) spectrum analyses of samples were examined.

2. MATERIAL AND METHOD

2.1 Material

Aggregate: It is a known fact that suitable aggregate should be used to obtain a good concrete. Properties of aggregate such as chemical and mineralogical composition, petrographic structure, specific weight, hardness, strength, physical and chemical stability, void structure and color depend on the properties of rock. However, in practice, typically properties of aggregate such as particle shape and size, surface structure and water absorption are considered. All of these aggregate properties have significant effects on the concrete properties [17,18]. During the study, natural aggregate produced as per TS 706 EN 12620 [19] (Figure 1) and rubber granule within 1-2 mm range obtained from Kahya Kauçuk were used. Properties of the used aggregate are given in Table 1 and its granulometry curve is given in Figure 2.

Table 1. Specific weight and water absorption ratios of aggregates

Aggregate Properties	Specific Weight (g/cm^3)	Water Absorption Capacity (%)
Crushed sand	2.64	1.80
Crushed stone No I	2.66	0.60
Crushed stone No II	2.70	0.40

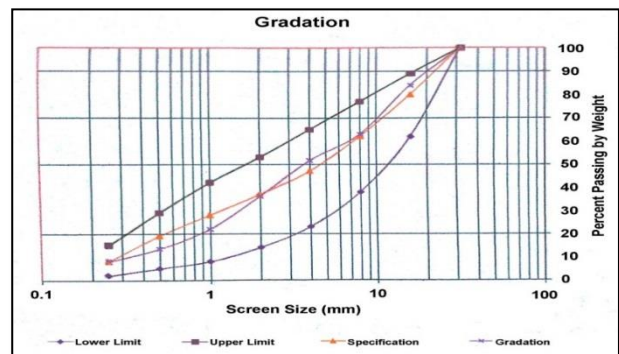


Fig. 2. Aggregate granulometry curve

Cement: CEM I 42.5R cement produced according to TS EN 197-1 [20] standard obtained from Nuh Çimento San. A.Ş. cement factory was used. Physical and chemical analysis of the cement is given in Table 2.

Table 2. Chemical and Physical analysis of cement

Ingredients [%]	CEMI 42.5R	TS EN 197-1	Physical Properties		TS EN 197-1	
CaO	63.93	C+S≥50%	Setting Time [Min.]	Start	141	min. 60
SiO ₂	19.49			End	202	-
Al ₂ O ₃	4.36		-	Specific weight [g/cm ³]	3.15	-
Fe ₂ O ₃	3.40	-	Blaine fineness [cm ² /g]	3866	-	
MgO	1.67	Lim.≤5%	Total Volume Expansion [mm]	1	max.10	
SO ₃	2.81	Lim.≤4%	32 µm sieve residue %	7.7	-	
Na ₂ O	0.27	-	90 µm sieve residue %	0.1	-	
K ₂ O	0.67	-	Compressive Strength [N/mm ²]	2 Days	28.1	min. 20
Cl-	0.0089	Lim.≤0.10%		7 Days	45.7	-
Loss on Ignition Undissolved Residue	2.91	Lim.≤5%		28 Days	56.8	min. 42.5 max. 62.5
	0.32	Lim.≤5%				

Rubber Granule: Granule rubber, which is within 1-2 mm sieve range, obtained from Kahya Kauçuk (Figure3) was used in the analyses. EDS analysis had shown that the rubber sample contained carbon (C) element in a high ratio. Chemical composition properties of rubber was determined by using EDS and given in Table 3.

Table 3. Chemical composition properties of rubber sample

Composition of element	Symbol	Percentage
Carbon	C	89.80
Oxygen	O	8.04
Sodium	Na	1.32
Sulphur	S	0.84
Total		100.00


Fig. 3. Rubber granule within 1-2 mm sieve range

Plasticiser: During the study polycarboxylate based additive was used as plasticiser. It is mixed to each series of tests in 1% ratio. Physical and chemical properties of the plasticiser obtained from Aydos Construction Chemicals Factory are given in Table4.

Table 4. Physical and chemical properties of plasticiser

Technical properties			
Chemical composition	Polycarboxylate based	Density	1.095 ± 0.02 kg/l (20°C)
		Chlorine % (EN 480-10)	< 0.1
Form	Liquid	Alkali % (EN 480-12)	< 2.5
Colour	Brown	pH	6.5± 1.5

Water:Concrete mixture water used in the study was supplied from Düzce Municipality municipal potable water system.

2.2Method

Dry unit weight

In the test, for each series of tests three cylinder samples in 100 x 100 mm size were manufactured. Manufactured samples were kept in water curing for 48 hours and then dried in oven at 100-110°C for 24 hours. Dried samples were weighed by analytical balance and their sizes were measured by caliper, and dry unit weights of them were calculated according to the Eq.1.

$$\text{Dry Unit Wight} = W/V \quad (1)$$

[kg/m³]

W: Oven dry weight of sample [kg];

V: Sample volume [m³]

Water absorption

Water absorption test was performed as per TS EN 1097-6[21]“Determination of Particle Density and Water Absorption Ratio of Aggregates” standard. For each series of concretes, water absorption percentage tests were performed on samples of 28 days. For water absorption test, samples for which dry weights had been previously determined were kept in water for 24 hours and then they were taken out and weighed. These values were subtracted from dry weight values and their proportion to dry weight percentage was determined. So, water absorption percentage values were determined for each series according to Eq. 2.

$$A_s = \frac{W_{sh} - W_0}{W_0} \times 100 \text{ [%]} \tag{2}$$

A_s= Water absorption by weight [%];

W_o= Dry weight of sample [g];

W_{sh}= Weight of sample, which is concentrated with water, in air [g].

Compressive strength

If it is known about compressive strength of cement, it is possible to get information about other kinds of strengths. It can be said that knowing compressive strength means providing quantitative information about other properties of concrete [22].

Compressive strength test was performed accordance with TS EN 12390-3 [23] "Determination of compressive strength in hardened concrete samples" standard. From each test series, totally 12 cubic samples of 150x150x150 mm were produced for test in order to break them after 3,7 and 28 days of treatment periods. Concrete compression test instrument (Figure 4) with 3000 kN loading capacity, digital control unit and one

axis whose loading rate can be adjusted was used and compressive strength of concrete samples were calculated according to Eq. 3.

$$f_c = \frac{P_{max}}{A_c} \text{ [MPa]} \tag{3}$$

f_c: Compressive strength [MPa];

P: Maximum load achieved at time of breaking [N]

A_c: Cross sectional area of sample [mm²]

Freezing-Thawing

Concretes are subject to many environmental effects. The most efficient of those are freezing and thawing. Because, the water filled in spaces of the material causes expansions in volume and internal tensions by freezing in weather conditions at [-] temperatures. Consequently, physical deteriorations happen in the concrete and compressive strength decreases [24].

The aim of the test was to demonstrate the behavior of the concrete samples obtained by CRA addition against freezing and thawing. Therefore, 12 cylindrical samples of 100x100 mm size were produced and 28 days of water curing was applied to the samples. According to ASTM-C 310 [25], the samples completed their cycle within the set range which was between +4 °C and – 18 °C in freezing-thawing cabinet. The performed freezing-thawing process is called as 1 repetition (cycle). The test was applied by 100 repetitions as such. Concrete compression test instrument having 3000 kN loading capacity and digital control unit with one axis and adjustable loading rate was used and compressive strength of concrete samples were calculated according to Eq. 4.

$$f_c = \frac{P_{max}}{A_c} \text{ [MPa]} \tag{4}$$

f_c: Compressive strength [MPa]; P: Maximum load achieved at time of breaking [N]

A_c: Cross sectional area of sample [mm²]



Fig. 4. Application of compressive strength test

Ultrasonic pulse velocity

Ultrasonic pulse velocity test method carried out as per ASTM C 597 [26] standard is based on the principle of calculating the velocity of the ultrasonic pulse passing through a material and is calculated by Eq. 5.

$$V = \frac{L}{U} \text{ [km/sec]} \tag{5}$$

V: Ultrasonic pulse velocity, km/sec; L: Length of passing, mm

U: Time of passing, μ s

It is difficult to find the compressive strength of a concrete by ultrasonic pulse velocity method (Figure 5) in a satisfactory sensitivity. However, the velocity of ultrasonic wave passing inside a concrete is closely related with the void quantity (density) of that concrete contains, and therefore it is possible to set up a general relationship between obtained ultrasonic velocity and the quality of the concrete. As a result of the experimental studies carried out by White Hurst on concretes having about 2400 kg/m³ of density, results showing how the concrete quality might be when the ultrasonic pulse velocity is known are shown in Table 5.

Table 5. Ultrasound – Concrete Quality Relationship

Wavelength [km/sec]	>4.5	4.5-3.5	3.5-3.0	3.0-2.0	<2.0
Concrete Quality	Excellent	Good	Uncertain	Poor	Very Poor

In general it is known that high velocity (> 4.5 km/sec) indicates high quality concrete, whereas very low velocity (< 3.0 km/sec) indicates poor quality concretes[23]

the hydration. The parts were taken into glass bottles while including particles and sent for analysis. The microstructures of samples were examined in Düzce University, Scientific and Technological Investigations Application and Investigation Centre and their SEM images were taken by FEI trademark, QuantaFeg 250 model variable pressure instrument. EDS analyses were made by using EDAX trademark Apollo X model instrument.

Concrete mixture

In the study, according to rubber granule aggregate (CRA) percentage replaced in the concrete 0% CRA coding was made to control samples and 5% CRA, 10% CRA and 15% CRA coding was made to 5%, 10% and 15% replaced series, respectively.

For mixing of concrete, vertical axis laboratory type pan mixer with 50 dm³ volume was used. Fine and large aggregates were placed in the mixer and it was dry-mixed for 1 minute. Then cement was added and it was mixed for 2 minutes more. 2/3 of mixture liquid was mixed for 2 minutes after the plasticizer was added, and then all the

remaining liquid was added onto the mixture and mixing was continued for 3 minutes more. Fresh concrete was placed into sampling containers carefully in order to avoid the segregation and loss of homogeneity of the



Fig. 5 Application of ultrasonic pulse velocity test

Scanning Electron Microscope (SEM)– Energy-Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS) Analyses

In order to form a basis to the experiment, about 100 grams of samples were taken from concrete samples, which were taken from 28 days of curing. These samples were kept in pure acetone for 12 hours in order to stop

concrete. To complete the setting of the samples, they were kept for one day by covering them with a wet cloth and then they were kept in a curing pool having water temperature of 20±2 °C for 3, 7 and 28 days. Concrete mixture design is given in Table 6.

Table 6. Mixture design for 1m³ Concrete

Material [kg]	0%CRA (Control)	5%CRA	10%CRA	15%CRA
Aggregate	Crushed Sand	953.9	906.2	858.5
	Crushed Stone No I	404.5	404.5	404.5
	Crashed StoneNoII	568.1	568.1	568.1
Cement	290.0	290.0	290.0	290.0
Crumb Rubber(CR)	-	47.7	95.4	143.1
Super plasticizer	3.19	3.19	3.19	3.19
Water [kg/l]	166.1	165.2	164.3	163.4

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1 Dry Unit Weight and Water Absorption

Dry unit weight and water absorption ratios of obtained samples are given in Table 7

water absorption ratio was decreased. The graph showing the dry unit weight and water absorption ratio is given in Figure 6.

Table 7. Dry unit weight and water absorption ratios of samples

Mixture	Dry Unit Weight [kg/m ³]	Water Absorption Ratio [%]
0%CRA (Control)	2345.88	4.37
5%CRA	2261.91	4.25
10%CRA	2146.23	3.93
15%CRA	2075.38	3.92

When samples are examined it is observed that highest unit weight and water absorption ratio was for 0% CRA(Control) samples, whereas the lowest values were obtained by 15% CRA samples. Also, in water absorption ratios, it was determined that with replacement of granule rubber aggregate amount, unit weight was decreased and

3.2 Compressive Strength

Compressive strength test results for manufactured concrete samples according to TS EN 12390-3 are given in Table 8 and graphical demonstration of test results are given in Figure 7.

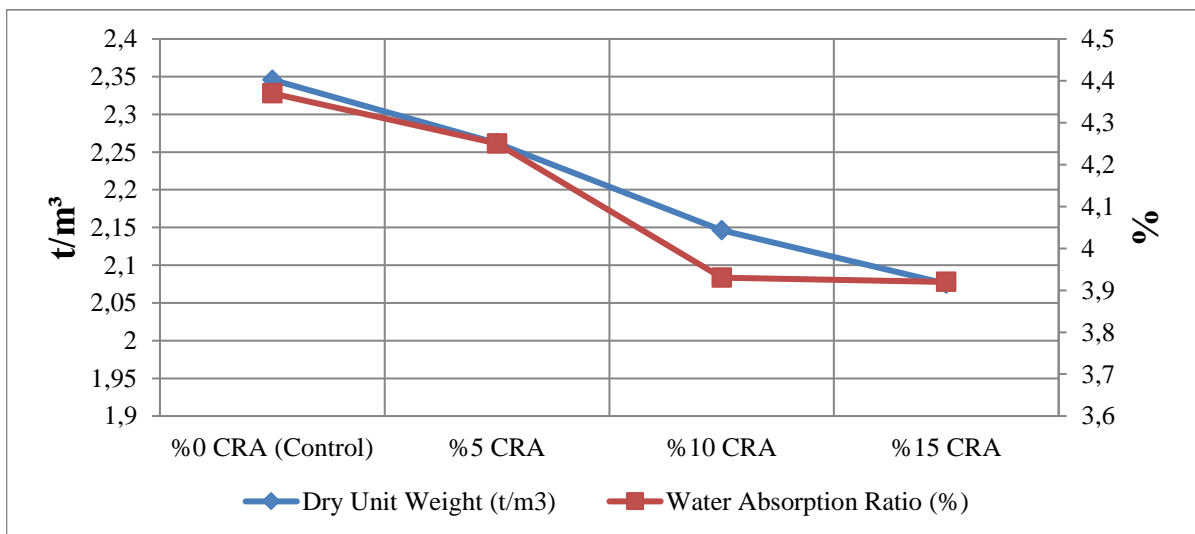


Fig. 6 The graph showing the dry unit weight and water absorption ratio percentage

Table 8. Compressive Strength of Concrete Samples, [MPa]

Material		0%CRA (Control)	5%CRA	10%CRA	15%CRA
Compressive Strength [MPa]	3 Days	33.04	24.77	13.32	10.03
	7 Days	43.12	32.66	20.87	13.91
	28 Days	51.63	36.54	24.27	15.36

When 28 days of compressive strength of manufactured samples are analyzed, it is observed that maximum value was obtained in 28 days from the sample containing 0% CRA (51.63MPa) and the minimum value was obtained from the sample containing 15% CRA (15.36MPa). Compared with control samples, compressive strength of samples containing 5% CRA, 10% CRA and 15% CRA were determined to be decreased by 25-70% for samples of 3 days, by 24-68% for samples of 7 days, by 29-70% for samples of 28 days. As a result, optimum result in compressive strength test was obtained from samples with 5% CRA replacement.

Because, the water filled in spaces of the material causes expansions in volume and internal tensions by freezing in weather conditions at (-) temperatures. Consequently, physical deteriorations happen in the concrete and compressive strength decreases.

The aim of the test was to demonstrate the behaviour of the concrete samples obtained by CRA addition against freezing and thawing. Therefore, 12 cylindrical samples of 100x100 mm size were produced. Compressive strength graph for each sample after 100 cycles are given in Figure 8.

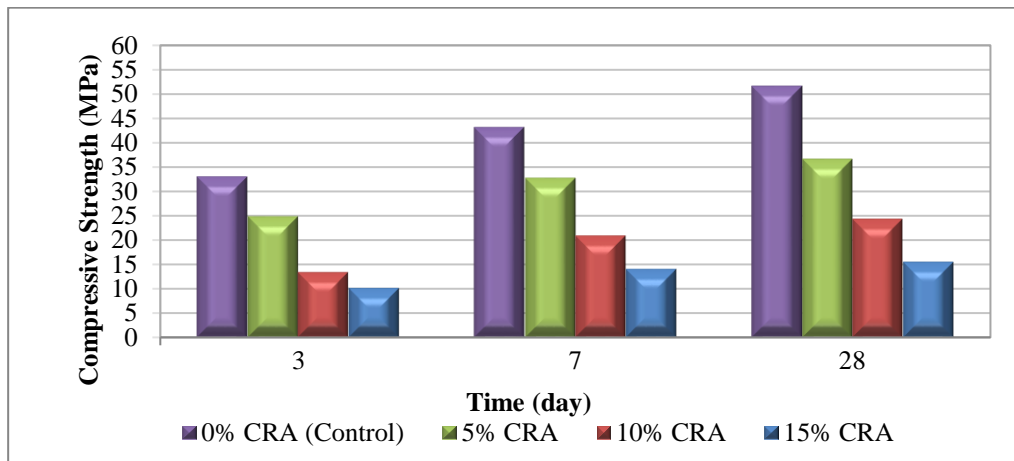


Fig. 7. Compressive strength graph of concrete samples

3.3 Freezing-thawing

Concretes are subject to many environmental effects. The most efficient of those are freezing and thawing.

When Figure 9 is examined, at the end of 100 cycles it is observed that the compressive strength was maximum for samples with 0%CRA (control) (16.81 MPa) and minimum for samples with 15% CRA (6.35 MPa). When

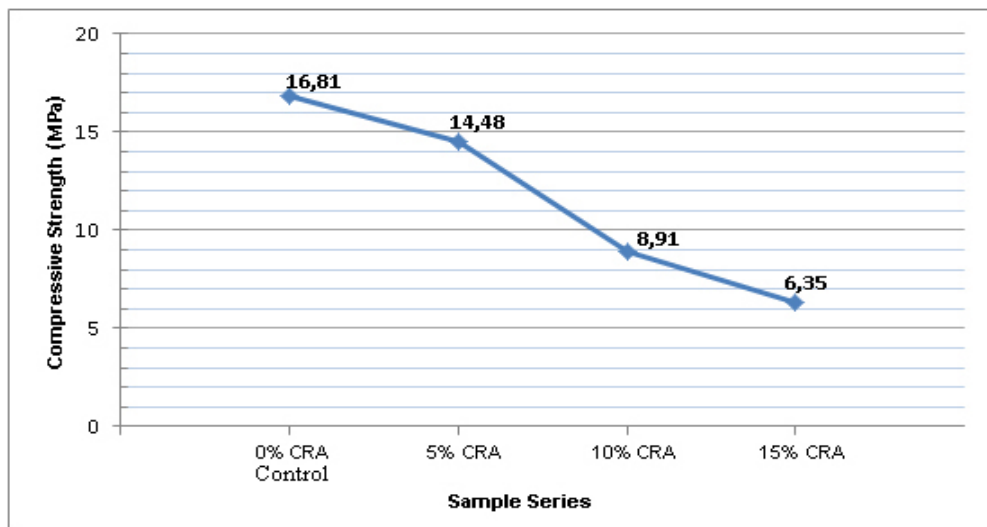


Fig. 8. Compressive strength graph after freezing-thawing test

compressive strength of samples after freezing-thawing was compared with normal compressive strength of them; the maximum decrease is observed in samples with 0% CRA (67%), whereas the minimum is observed in samples with 15% CRA (59%). This shows that CRA replacement positively affected the frost resistance.

3.4 Ultrasonic pulse velocity

Results for ultrasonic pulse velocity test carried out as per ASTM C 597[26] standard are given in Table 9

concretes with 0% CRA, 5% CRA and 10% CRA have “good” (3.5-4.0 km/sec), and concretes with 15% CRA have “not certain” (3.0-3.5 km/sec) concrete quality.

3.5 SEM and EDS analyses

The substances that make cement have a high strength are C-S-H. As a result of the examinations performed by X-ray and electronic microscope [27], it has been possible to examine the structure of C-S-H. According to the studies C-S-H elements have not been properly

Table 9. Ultrasonic Pulse Velocities

Concrete Specimen	0%CRA (Control)	5%CRA	10%CRA	15%CRA
Ultrasonic Pulse Velocity [km/sec]	4.01	3.82	3.56	3.33

When obtained results were compared with ultrasonic pulse-concrete quality literature, it was determined that

crystallized; even they practically have characteristics, which is practically close to amorphous structure. These

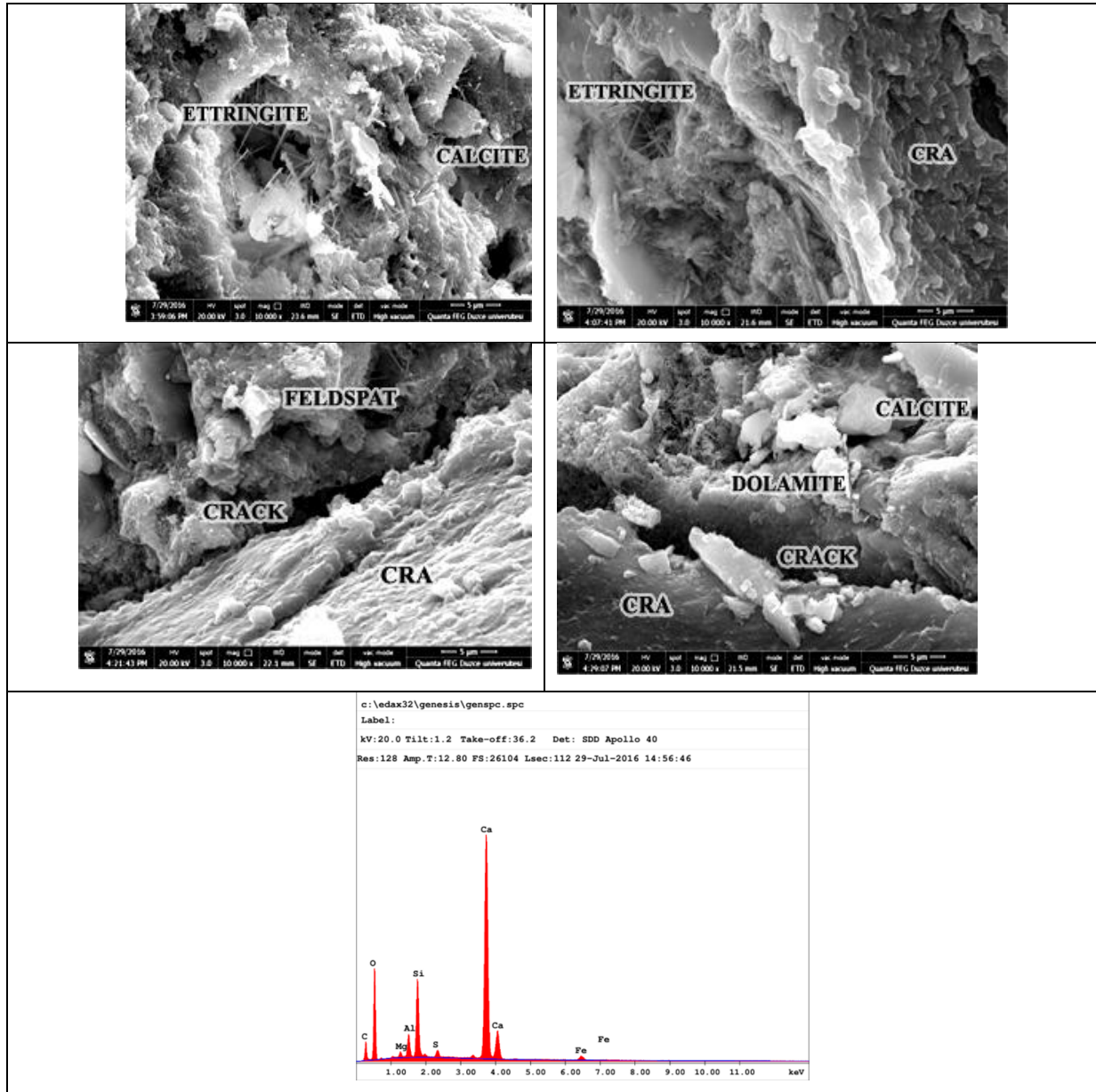


Fig. 9. SEM Images and EDS Analyses of Concrete Matrix after 28 days

elements generally have two different types, in forms of fibres and thin plates or leaves. When hydrated units of calcium silicates are generated, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ is formed as hexagonal crystalline and builds up bridges between hydrated units. As a result of increase in C-S-H units in time, the fibres and plates get larger, enter each other and combine together and they provide increase in strength of cement in time [28,29]. SEM images and EDS analysis obtained from the samples in the study are given in Figure 9, respectively.

When SEM images were examined, it was determined that there were aggregates, which had vitreous structure and contained minerals, there were minerals as feldspar, dolomite, calcite and hydrated phases as C-S-H, portlandite and ettringite (trisulphoaluminate hydrate) and non-hydrated cement particles. It was observed that the bond between rubber aggregates and cement sludge is poor and as a result of this poorness cracking had occurred on the interface between cement paste and rubber aggregate, and thus it negatively affected the strength of the concrete.

When EDS results were examined, it was observed that Ca, O, Mg, Al, Si, S, K, CaO, FeO elements and compounds in concrete samples were in parallel when compared with the ones having CRA addition. It was observed that in samples produced with 5% CRA, Ca amount [%] was greater compared to the rest.

4. CONCLUSIONS

In this study, Rubber Granule Aggregate (CRA) obtained from waste tyres in different ratios by weight (Control (0%), 5%, 10% and 15%) was used instead of fine aggregate within 1-2 mm range and obtained results are given below.

- It was observed that unit weights of produced concretes changed between 2346 kg/m³ and 2075 kg/m³. Dry unit weights of (Control) samples with %0 CRA were higher than that of concrete samples with CRA and decreased directly proportional to the CRA amount.
- It was determined that CRA addition to concrete decreased the water absorption ratio (by 2.7%-10%).
- It was observed that regarding compressive strength, maximum value was obtained in 28 days from the sample containing 0% CRA (Control) (51.63MPa) and the minimum value was obtained from the sample containing 15% CRA (15.36MPa). It was determined that as CRA amount increases, the compressive strength decreases.
- As a result of 100 cycles, it was observed that the compressive strength was maximum for sample with 0% CRA (control) (16.81 MPa) and minimum for samples with 15% CRA (6.35 MPa). Also it was determined that directly proportional to the increase of CRA amount, compressive strength decreases.
- As a result of ultrasound pulse velocity test, it was determined that samples with 0% CRA (Control), 5%

CRA and 10% CRA have “good” (3.5-4.5 km/sec), and 15% CRA have “not certain” (3.0-3.5 km/sec) concrete quality.

- When SEM images of samples are examined; it was observed that the bond between rubber aggregates and cement sludge is poor and as a result of this poorness cracking had occurred on the interface between cement paste and rubber aggregate, and thus it negatively affected the strength of the concrete.

As a conclusion; it is determined that in cements manufactured by using CRA, replacing fine aggregate with 5% CRA by weight (optimum) makes positive contribution to the mechanical and durability characteristics of the concrete.

REFERENCES

1. Gesoğlu M., Güneyisi E., Khoshnaw G. and İpek S., “Investigating properties of pervious concretes containing waste tyre rubbers”, *Construction and Building Materials*, 63: 206–213, (2014).
2. Güneyisi E. Gesoğlu M. and Özturan Ö., “Properties of rubberized concretes containing silica fume”, *Cement and Concrete Research*, 34: 2309–2317, (2004).
3. Gesoğlu M., Güneyisi E., Khoshnaw G. and İpek S., “Abrasion and freezing–thawing resistance of pervious concretes containing waste rubbers”, *Construction and Building Materials*, 73: 19-24, (2014).
4. Gupta T., Chaudhary S. and Sharma R.K., “Assessment of mechanical and durability properties of concrete containing waste rubber tyre as fine aggregate”, *Construction and Building Materials*, 73: 562-574, (2014).
5. Li L., Tu G., Lan C. and Liu F., “Mechanical characterization of waste-rubber-modified recycled aggregate concrete”, *Journal of Cleaner Production*, 124: 325-338, (2016).
6. Sukontasukkul P. and Chaikaew C., “Properties of concrete pedestrian block mixed with crumb rubber”, *Construction and Building Materials*, 20: 450–457, (2006).
7. Atahan A. O. and Sevim U. K., “Testing and comparison of concrete barriers containing shredded waste tyre chips”, *Materials Letters*, 62: 3754-3757, (2008).
8. Topçu İ. B. and Demir A., “Durability of rubberized mortar and concrete”, *ASCE Journal of Materials in Civil Engineering*, 19: 173-178, (2007).
9. Yung W., Yung L. and Hua L.S., “A study of the durability properties of waste tyre rubber applied to self-compacting concrete”, *Construction and Building Materials*, 41: 665–672, (2013).
10. Topçu İ. B., “The properties of rubberized concretes”, *Cement and Concrete Research*, 25(2): 304-310, (1995).
11. Thomas B.S., Gupta R.C. and Panicker V.J., “Recycling of waste tyre rubber as aggregate in concrete: durability-related performance”, *Journal of Cleaner Production*, 112: 504-513, (2016).

12. Afshinnia K. and Poursaee A., “The influence of waste crumb rubber in reducing the alkali-silica reaction in mortar bars”, *Journal of Building Engineering*, 4: 231–236, (2015).
13. Gesoğlu M., Güneyisi E., Hansu O., İpek S. and Asaad D.S., “Influence of waste rubber utilization on the fracture and steel-concrete bond strength properties of concrete”, *Construction and Building Materials*, 101: 1113–1121, (2015).
14. Gupta T., Chaudhary, S. and Sharma, R.K., “Mechanical and durability properties of waste rubber fiber concrete with and without silica fume”, *Journal of Cleaner Production*, 112: 702-711, (2016).
15. Raffoul S., Garcia R., Pilakoutas K., Guadagnini M. and Medina N.F. “Optimisation of rubberised concrete with high rubber content: an experimental investigation”, *Construction and Building Materials*, 124: 391–404, (2016).
16. He L., Mab Y., Liu Q. and Mu Y., “Surface modification of crumb rubber and its influence on the mechanical properties of rubber-cement concrete”, *Construction and Building Materials*, 120: 403–407, (2016).
17. Topbaş E., “Investigation of the effect on impact strength of the concrete of aggregate type”, Fırat University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, *Master Thesis*, Elazığ, (2011).
18. Şengül Ö., Taşdemir C. and Taşdemir M.A., “Influence of aggregate type on the mechanical behavior of normal and high strength concretes”, *ACI Materials Journal*, 99(6): 528-533, (2002).
19. TS 706 EN 12620+A1, “Aggregates for Concrete”, *Turkish Standard*, Ankara, (2009).
20. TS EN 197-1, “Cement – Part 1: composition, specification and conformity criteria for common cements”, *Turkish Standard*, Ankara, (2012).
21. TS EN 1097-6, “Tests for mechanical and physical properties of aggregates - part 6: determination of particle density and water absorption”, *Turkish Standard*, Ankara, (2013).
22. Erdoğan T.Y., “Beton”, *METU Development Foundation, Publishing and Communication Inc. Broadcast*, Ankara, (2007).
23. TS EN 12390-3, “Testing hardened concrete-part 3: compressive strength of test specimens”, *Turkish Standard*, Ankara, (2010).
24. Oymael S., “The suitability of oil shale ash an admixture in cement and concrete”, Fırat University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, *Doctorate Thesis*, Elazığ, (1995).
25. ASTM-C 310, “Method of test for resistance of concrete specimens to slow freezing in air and thawing in water”, *Annual Book of ASTM Standards*, USA, (1964).
26. ASTM C 597, “Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete”, *Annual Book of ASTM Standards*, USA, (2009).
27. Report of Düzce University, “Scientific and technological research on application and research center”, Düzce, Turkey, 2016.
28. Bideci A., Gültekin A.H., Yıldırım H., Oymael S., and Sallı Bideci, Ö., “Internal structure examination of lightweight concrete produced with polymer-coated pumice aggregate”, *Composites Part B: Engineering*, 54: 439-447, (2013).
29. Shaker F.A., El-Dieb A.S. and Reda M.M., “Durability of styrene-butadiene latex modified concrete”, *Cement and Concrete Research*, 27: 711-720, (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>

Akademik veritabanlarından yazar-makale bağlantı tahmini

Co-author link prediction from academic databases

Yazar(lar) (Author(s)): Yücel BÜRHAN, Resul DAŞ

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To link to this article): Bürhan Y. Ve Daş R., “Akademik veritabanlarından yazar-makale bağlantı tahmini”, *Politeknik Dergisi*, 20(4): 787-800, (2017).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.368989

Akademik Veritabanlarından Yazar-Makale Bağlantı Tahmini

Araştırma Makalesi / Research Article

Yücel BÜRHAN^{1*}, Resul DAŞ²

¹Munzur Üniversitesi, Tunceli Meslek Yüksekokulu, Bilgisayar Programcılığı Bölümü, Tunceli, Türkiye

²Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye

(Geliş/Received : 08.02.2016 ; Kabul/Accepted : 25.03.2017)

ÖZ

Sosyal ağlar: bireylerin tutum ve davranışlarını, jest ve mimiklerini sanal ortamda sembolik eylemlerle sergiledikleri sosyal iletişim platformlarıdır. Hızla gelişmeleri ve kullanım oranının her geçen gün artması sosyal ağların popülaritesini arttırmaktadır. İnsanlar birbirleri ile iletişim kurarlar ve fikir, düşünce, fotoğraf, video ve konum gibi bazı verileri buradan paylaşırlar. Bu veriler işlendiğinde kullanıcılar ile ilgili çok önemli bilgiler elde edilir. Bu bilgiler ışığında kullanıcılar ile ilgili önemli tahminler yapmak mümkün olur. Bir ağı analiz edebilmek için öncelikle ağın modeli, graf yapısının özellikleri, ölçütleri ve metrikler hesaplanmalıdır. Bu çalışmada yazarların çalıştıkları konular arasındaki benzerlik hesaplaması yapılmaktadır. Uygulamada, rastgele seçilen yirmi yazar ile oluşturulan veri seti için komşuluk tabanlı modeller arasından uygun olan beş tanesi (Jaccard Index, Sorensen Index, Ortak Komşu, L. H. Newman Index ve Salton Index yöntemleri) uygulanmaktadır. Hesaplama sonuçlarının değerlendirilebilmesi için; aralarında bağlantı olduğu bilinen yazarlar arasındaki benzerlik hesaplaması sonuçları, referans değer olarak kullanılmaktadır. Elde edilen benzerlik değerlerinin referans değerleri ile kıyaslanması sonucu yeni bağlantılar oluşmaktadır. Oluşan bu bağlantılar yazarların birlikte yayın yapabileceğini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Sosyal ağlar, ortak yazar bağlantı tahmini, ağların matematiği, bağlantı tahmini.

Co-Author Link Prediction from Academic Databases

ABSTRACT

Social networks: social communication platforms where individuals exhibit their attitudes and behaviors, gestures and mimics in symbolic actions in a virtual environment. Their swift development and wide usage proportion rises social networks' necessity and popularity. People communicate with each other and share some data like idea, thinking, photo, video and location. When this data is processed, very important information is obtained about the users. In this light, it is possible to make important estimates about the users. To analyze a network, the network model, properties of graph structure, criteria and metrics must be calculated first.

In this study, similarity calculation between the subjects which authors studied has been done. In this application, five suitable models (Jaccard Index, Sorensen Index, Common Neighbor, L. H. Newman Index and Salton Index methods) are applied to the data set generated by randomly selected twenty writers. In order to evaluate the calculation results; the results of the similarity calculation between authors with known linkages are used as reference values. Comparisons of obtained similarity values with reference values result in new connections. These links reveal that authors can publish articles together.

Keywords: Social networks, co-authorship prediction, mathematics of networks, link prediction.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Sosyal ağlarda bağlantı tahmini, ağın mevcut durumunun incelenerek gelecekteki durumunun tahmin edilmesi problemidir. Bunun gerçekleştirilebilmesi için de sosyal ağlarda bireyler düğüm, bireyler arası ilişkiler ayrıt olarak düşünüldüğünde ağ yapısı, graf yapısı ile örtüştürülerek tanımlanabilir. Graf teorisinde $G=(V, E)$ şeklinde bir matris yapısı oluşturulabildiği için, kullanıcılar arası ilişkiler bu matris üzerinden tanımlanabilmektedir.

Düğüm niteliklerinin bilindiği ağlarda, mevcut olmayan ama gelecekte oluşabilecek bağlantılar tahmin edilebilmektedir. Ağda yeni ilişkiler oluşması, ağa yeni düğümlerin katılması ihtimalinin yanı sıra ağdan bağlantıların

yok olması da mümkündür. Sosyal ağlar dinamik olduğundan dolayı bu tahminlerin yapılması oldukça zordur [1].

Bağlantı tahmini yapılabilmesi için ağdaki bilgilerin nasıl tanımlanacağı, bilgilerin nasıl kullanılacağı konuları temel sorunların başında gelmektedir. Bu tanımlama ve kullanım şekli doğru yapılandırıldığında bağlantı tahmini işleminin etkin ve doğru bir şekilde gerçekleştirilebileceği görülmektedir [2].

Bu çalışmada bazı bağlantı tahmini yöntemleri yazar-makale ağına uygulanmaktadır. Yapılan bu çalışmada, lokasyondan bağımsız olarak gelecekte birlikte yayın yapabilecek yazarların tahminine yönelik bir model geliştirilmiştir. Gerçekleştirilen model, literatürdeki benzer çalışmalardan farklı olarak hazır bir veri seti kullanılmaktadır, belirli bir lokasyonla sınırlandırılmamıştır ve

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : yucelburhan@munzur.edu.tr

var olduğu bilinen ilişkileri görsel olarak sunmak yerine olası ilişkileri tahmin etmeye odaklanmaktadır.

Çalışmanın bir sonraki bölümünde daha önce bu alanda yapılan çalışmalar anlatılmaktadır. Çalışmanın üçüncü bölümünde bağlantı tahmini problemi irdelenmekte, bağlantı tahmini problemi için kullanılan yöntemler açıklanmaktadır. Dördüncü bölümde bağlantı tahmini problemi ile ilgili yapılan çalışma detaylı olarak açıklanmakta, problem çözümü için gerekli işlemler adım adım anlatılmaktadır. Beşinci bölümde uygulama sonuçları, şekiller ve tablolar ile verilerek sonuçlar detaylı olarak incelenmektedir. Son olarak genel sonuçlar ve değerlendirmeye yer verilmektedir.

1.1. Benzer Çalışmalar (Similar Studies)

T. H. Huang ve M. L. Huang [3] önerdikleri çalışmada DBLP ağında geçmiş döneme ait verileri kullanarak ortak yazarlık analizi yapmışlardır. Birlikte yayın yapmış olan yazarları yılları da baz alarak görsel olarak göstermişler; böylece akademik işbirliği anlamında oldukça faydalı sonuçlar elde etmişlerdir.

Sun ve arkadaşları [4] çalışmalarında yine DBLP veritabanını kullanmış, yapılan benzer çalışmalardan farklı olarak yazarlar arasındaki ilişkiyi hesaplarken tek bir faktör ile değil de birkaç değişken faktörü ele alarak analiz yapmışlardır (örn. sadece yazar tipi değil de konuları, konuları ve makale isimleri de analize dahil edilmiştir). Yapılan çalışma sonucunda oldukça iyi sonuçlar alındığı gözlenmiştir.

Pengbin ve arkadaşları [5] yaptıkları çalışmada Google Scholar'dan elde ettikleri veri kümesinde yazarların yayın sayılarını göz önünde bulundurarak merkezilik ölçütüne göre bir analiz yapmışlardır. Elde ettikleri sonuçlar yaptıkları çalışmanın, ağı merkezine yaklaştıkça performansının arttığını göstermektedir.

Li ve Xuezhong [6] yaptıkları çalışmada tanınmış iki üniversite için ortak yazarlık araştırması yapmış ve yapılan çalışmaları karşılaştırarak bir sonuç elde etmişlerdir. Ayrıca üniversite ortak yazarlık ağı gelişimi için de önerilerde bulunmuşlardır.

Anastasios ve arkadaşları [7] yaptıkları çalışmada bir yükseköğretim akademik birim içindeki araştırma ve işbirliği yapılarını 4 yıl boyunca izlemiş, yazarlar arasındaki ilişkileri, kurum içi ve kurum dışı araştırma gruplarına katılan yazarları tespit ve analiz etmiştir.

Bidault ve Hildebrand [8] önerdikleri çalışmada işbirliği yapan asimetric geçmişe sahip akademisyenler arasında ortak yazarlığın getiri ve kayıplarının dağılımını araştırmışlardır. Bunu yaparken, yazarların önceki yayınlarına göre ortak yazdıkları bir makalenin alıntılarındaki artış ve azalış ile eş zamanlı olarak yayınladıkları makalelerin artış azalışları ayırt ediliyor. Ayrıca hem genç hem de kıdemli yazarlar için bu değerlerin artış azalışı etkileyen faktörler irdelenmiştir.

Türker ve Çavuşoğlu [9] çalışmalarında bilimsel işbirliği ağlarında ana parametrelerin evrimsel keşfinden ziyade çok bağlantı özelliklerini çok daha detaylı bir şekilde ortaya çıkarmaya çalışmışlardır. Bunun için de eşleştirilen

düğümün derece koşullarını, derece farklılıklarını, akademik yaş farklılıklarını ve bağlantı ağırlıklarını göz önünde bulundurmışlardır. Ortak yazarlık ağına bağlantıların çoğunun karşılaştırılabilir derecelerde ve akademik yaştaki düğümleri birbirine bağladığı gözlenmiştir. Bununla birlikte benzer akademik kariyerler arasında güçlü işbirliği faaliyetleri tespit edilmiş ayrıca bağlantı ağırlığı ve derece fark dağılımlarında güç yasası rejimleri gözlenmiştir.

Bruna [10] yaptığı çalışmada ekonomideki ortak yazarlık insidans artışı ile ilgili literatürden yola çıkarak yazarların yayınlardaki dönüşleri optimize etmeye motive olduğu varsayımına dayanarak yazarların ortak yazarlık seçeneklerini analiz etmek için teorik bir model sunmuştur. Model iki maliyet yapısı analiz etmektedir; bunlardan biri yazar sayısı ile orantılıdır diğeri değildir. Araştırmacıların heterojenliği, kural yapmak için en üst seviye çaba göstermek ile daha iyi araştırmacı seçmek arasındaki dengeyi ima eder. Bu modelde düşük kaliteli araştırmacılar yüksek kaliteli araştırmacılarla işbirliği yapabilmek için fırsat kollarlar. Sonuç olarak ödülleri yazarlarla orantılı olmadığı gözlenmiştir. Ödüller düşük ise her iki yazar türünün de (yüksek kaliteli ve düşük kaliteli) birbiri ile işbirliği yapabildiği ama ödül yüksek ise tüm yazarların yüksek çabalarını en yükseğe çıkarabilecek bir araştırma organizatörüne yöneldiği gözlenmiştir.

De Stefano ve arkadaşları [11] yaptıkları çalışmada İtalyan akademik istatistikçileri arasındaki ortak yazar ağlarının analizi üzerine üç veri kaynağının (Web of Science, Güncel İstatistik İndeksi ve ulusal olarak finanse edilen araştırma projeleri) etkisini araştırmışlardır. Sonuç olarak İtalyan istatistikçilerde uluslararası düzeyde elde edilen sonuçlara kıyasla, on yıllık bir gecikme ile, ortak yazarlığı arttırmaya yönelik genel bir eğilim gözlenmiştir.

Ortega [12] yaptığı çalışmada yazar ağlarının yapısal özellikleri ve araştırma etkisi arasındaki analiz etmeyi amaçlamıştır. Bibliyografik analizler için uygunluğu test etmek amacıyla Micrisoft Academic Search kullanılmıştır. Bu motordan alıntı sayısı ve 500 tek adımlı benlik ağı çıkarıldı. Sonuçlar, küçük ve seyrek ağların, (yüksek araştırmacılık merkeziliği ve yüksek ortalama yol uzunluğu) yüksek kümeleme katsayısı ve yüksek bir ortalama derece ile tanımlanan, yoğun ve kompakt ağlara göre belge başına daha fazla atıf yapabildiğini göstermektedir. Disiplin farklılıklarına göre, Matematik, Sosyal Bilimler ve Ekonomi ve İşletme, daha seyrek ve küçük ağlara sahip disiplinler; Fizik, Mühendislik ve Jeosciences, yoğun ve kalabalık ağlarla karakterize edilir.

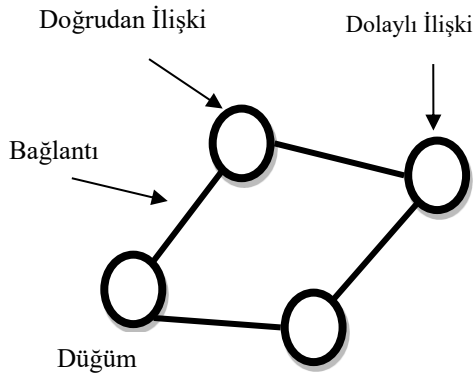
Koseoglu [13] yaptığı çalışmada 1980-1204 yılları arasında Stratejik Yönetim Dergisinde yayınlanan makalelerden yazar işbirliklerinin entelektüel yapısını ve evrimini araştırmayı amaçlamıştır. Bu çalışma, yazarın genel görünüşü, yazarlık kalıpları, yazar üretkenliği, yazarların sıralaması, ortak yazarlık ağının görselleştirilmesi, stratejik yönetim ortak yazarlık ağ niteliklerinin diğer disiplinlerle karşılaştırılması, ana bileşenler ve çeşitli yazarların evrimini içerir. Ayrıca stratejik yönetim

ağının küçük dünya ağ teorisine, merkezilik derecesi, Bonacich'in güç indeksi, yakınlık merkezliliği ve aralık merkezliliği gibi bireysel ağ özelliklerine uyup uymadığına ilişkin tartışmalar içerir. Son olarak, yazarlar, sonuçların, sınırlamaların ve gelecek araştırmalar için önerilerin kapsayıcı bir değerlendirmesini sunar.

Sharma ve Sharma [14] çalışmalarında yazarlar arasındaki bağlantıyı tahmin etmek için bir yöntem geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri yöntemi C# dilinde ve DBLP veri seti ile gerçekleştirmişler, yöntem olarak yapay sinir ağı tabanlı bir algoritma kullanmışlardır. Yöntemin önceki yöntemlerle kıyaslandığında iyi bir sonuç verdikleri gözlenmiştir.

2. BAĞLANTI TAHMİNİ PROBLEMİ (LINK PREDICTION PROBLEM)

Bağlantı tahmini yapılabilmesi için ağın yapısının tam olarak bilinmesi gerekmektedir. Sosyal ağlarda bağlantı tahmini için ağ, graf yapısına dönüştürülmelidir. Veriler graflardaki köşeler, ilişkiler ise kenarlar olarak tanımlanmaktadır. Ağ yapısı vektörel olarak da ifade edilebilmektedir. Ağdaki köşe ve kenarların yapıları bilinirse buradan daha oluşmamış bazı bağlantılar tahmin edilebilmektedir. Hatta eklenmesi muhtemel köşelerin de yapıları bilinirse aralarındaki bağlantılar bile tahmin edilebilmektedir. Yine aynı şekilde gelecekte kopacak bağlantılar da tahmin edilebilmekte ve graftan silinmesi muhtemel kenarları tespit edilebilmektedir. Bu tahminleri bilmek zor problemlerden biridir çünkü ağ dinamik bir yapıya sahiptir. Ağdaki bilgilerin tanımlanma şekli de önemli bir problemdir. Mevcut bilgilerin hangilerinin hesaplamalarda kullanılması gerektiği, hangi bilgilerin ne kadar etkin rol oynadığı iyi tespit edilmelidir.



Şekil 1. Sosyal bir ağda graf yapısı (Graph structure in a social network)

Graf olarak modellenen sosyal ağda düğümler (aktörler) ve aralarındaki ilişkiyi temsil eden ayrıtlar Şekil 1'de gösterilmektedir. Düğümler arasında direk bağlantı olabileceği gibi dolaylı bağlantılar da olabileceği Şekil 1'de de görülmektedir.

Bağlantı tahminin zorlukları üç kısma ayrılabilir: ilki, ağın yapısının yanı sıra düğümlerin ağ içindeki etkinliğini etkileyen özelliklerinin de bilinmesi ağa yeni eklenecek veya ağdan silinecek düğüm ve bağlantıların tahmin edilmesinde önemli bir unsurdur. Örneğin sosyal ağlarda düğümlere karşılık gelen bireylerin sevdikleri veya sevmedikleri şeylerin bilinmesi bağlantı tahmininde temel kriterler olarak göze çarpmaktadır.

İkincisi, ağ hakkında elde edilen bilgiler tutarlı olmayabilmektedir. Bu da ağı bağlantı tahmini için uygulanan algoritmaların etkinliğini düşürmektedir.

Üçüncüsü, ağ çok büyük ise yani düğüm ve kenar sayısı çok fazla ise hesaplamalar zorlaşır, yani büyük bir ağda graf modelinin çıkarılması ve tahmin için uygulanan algoritmaların doğru sonuçlar vermesi ağ büyüdükçe zorlaşmaktadır.

2.1. Bağlantı Tahmininde Kullanılan Yöntemler (The Methods Used In Link Prediction)

Sosyal ağlarda bağlantı tahmini temelde veri madenciliğine dayanmaktadır. Bağlantı tahmini yöntemleri genel olarak graf tabanlı, olasılıksal ve benzerlik tabanlı yaklaşımlar olmak üzere üç gruba ayrılır. Bu yaklaşımlar içinde yer alan algoritmalar kullanılarak sosyal ağın yapısı ve geleceği hakkında fikir sahibi olunabilir.

2.1.1. Graf tabanlı yöntemler (Graph-based methods)

Graf, ağların yapısını modellemek için kullanılan matematiksel bir modeldir. Ağda yollar, merkezilik ölçümleri, köşe dereceleri, kümeleme katsayısı, gibi özellikler ağın yapısı ve geleceği ile ilgili tahminler yapmamızda çok yararlı olacaktır.

Graf tabanlı yaklaşımlarla yapılacak bağlantı tahmininde, köşeler ve köşeler arasındaki kenar sayısı önemli bir yer tutar. Bu sayı derece olarak da adlandırılır. Ağların çoğunda düğüm derecelerinin düzensiz olduğu göze çarpmaktadır. Bazı düğümler beklenenden az bazı düğümler beklenenden fazla düğüme sahip olabilir. Yapılan çalışmalarda derece dağılımına bağlı olarak rastgele graf modelleri önerilmektedir [15].

Derece dağılımının hesaplamasının kolaylığına rağmen gerçek dünya problemlerinde ciddi sorunlarla karşılaşmaktadır. Özellikle atıf ağları, world wide web ve bazı sosyal ağlarda bu sorunlar net bir şekilde göze çarpmaktadır. Bu sorunun temel sebebi düğüm dereceleri ile ağırlıklandırılmış ağlarda bağlantı tahmini yaparken yeni eklenecek düğümler ve bu düğümlerle birlikte oluşması muhtemel bağlantıların tespitlerinden kaynaklanmaktadır. Örneğin Barabasi-Albert modelinde [16] her yeni düğümü, mevcut düğümlerin sahip olduğu bağlantıların sayısı ile orantılı bir olasılıkla var olan düğümlere bağlar. Matematiksel olarak yeni bir düğümün i düğüme bağlanma olasılığı denklem (1)'de gösterilmektedir:

$$p_i = \frac{k_i}{\sum_j k_j} \quad (1)$$

Burada k_i , i 'nci düğümün derecesi, önceden var olan j düğümlerin derecesine bölünür. Diğer bir deyişle, düşük dereceli düğümlerde yeni bağlantı oluşma olasılığı düşük

iken; yüksek dereceli düğümlerde bu olasılık çok daha yüksektir.

Graf tabanlı yaklaşımlarda ağlardaki gelişim gözle görülebilecek seviyede iken diğer yaklaşımlarda çok daha büyük ağlar analiz edilebilmiştir.

2.1.2. Olasılıksal yöntemler (Probabilistic Methods)

Olasılıksal yaklaşımlar, adından da anlaşılacağı üzere, ağda olabilecek değişikliklerin olasılığını tahmin etmeye çalışır. Olasılıksal yaklaşımlar muhtemel bağlantıların olasılığını tahmin eden modeller ve bir ağın muhtemel yapılarının olasılığını tahmin eden modeller olmak üzere iki gruba ayrılır. Olasılıksal yöntemler çoğunlukla graf tabanlı yaklaşımlara dayalıdır. Son yıllarda sosyal ağlar için üstel rasgele graf modellerine büyük bir ilgi oluşmuştur. Üstel rasgele graf modelleri bir ağın genel özellikleri, köşeler ve kenarlar kullanarak bütün bir ağ için olasılıksal modelleri tahmin etmede kullanılan popüler bir yaklaşımdır. Bu modeller belirli ağ yapılarının oluşup oluşmayacağı hakkında tahminler yapmaya izin veren istatistiksel modellere dayalıdır. Üstel rasgele graflar, sıradan graflardaki sınırlamalarının ortadan kaldırılarak ağlar için makul modeller geliştirmek için kullanılır [17].

2.1.3. Benzerlik tabanlı yöntemler (Similarity-based methods)

Benzerlik, bağlantı tahmini probleminde ağın geleceği hakkında yapılabilecek tahminlerin güçlü olmasında önemli bir ölçüttür. Aralarında bağlantı olmayan iki düğüm birbirine ne kadar benzerse gelecekte bu iki düğüm arasında bağlantı oluşma olasılığı da o kadar yüksektir. Örneğin, Facebook'da arkadaş olmayan iki kişinin ortak özellikleri ne kadar çoksa gelecekte arkadaş olma ihtimalleri o kadar yüksek olacaktır.

Benzerlik ölçütleri semantik ve topolojik olarak ikiye ayrılmaktadır. Semantik ölçütlerde düğümün içeriği benzerlik ölçütü olarak ele alınır. Örneğin yazar işbirliği ağında makalelerin anahtar kelimelerdeki benzerlikle yazarlar arasında gelecekteki etkileşimler tahmin edilebilir [18]. Topolojik ölçütler benzerlik ölçütü olarak ağın yapısını kullanırlar. İki düğüm arasındaki ortak komşuların sayısı topolojik ölçütlere bir örnektir. Topolojik ölçütler literatürde genel olarak komşuluk tabanlı ve yol tabanlı diye kategorize edilmiştir.

2.1.3.1. Komşuluk tabanlı ölçütler (Neighborhood based criteria)

Komşuluk tabanlı ölçütlerde temel fikir x ve y düğümlerinin komşuları $\Gamma(x)$ ve $\Gamma(y)$ nin ne kadar ortak özelliği varsa gelecekte aralarında bağlantı olma ihtimali de o kadar yüksektir. $\Gamma(x)$, x düğümünün ağdaki komşularının kümesini göstermektedir.

• **Ortak Komşular:** x ve y düğümleri için ortak komşuların sayısını ifade etmektedir [19]. Bu ifadenin matematiksel karşılığı denklem (2)'de gösterildiği gibidir.

$$OK(x, y) = |\Gamma(x) \cap \Gamma(y)| \quad (2)$$

• **Jaccard Katsayısı:** x ya da y den rasgele seçilen bir özelliğin hem x hem de y de birlikte bulunma olasılığıdır.

Jaccard, ortak komşuların normalleştirilmiş halidir [20]. Matematiksel olarak denklem (3)'teki gibi ifade edilir.

$$JK(x, y) = \frac{|\Gamma(x) \cap \Gamma(y)|}{|\Gamma(x) \cup \Gamma(y)|} \quad (3)$$

• **Salton İndex:** Kosinüs benzerliği de denilen bu yöntemde k_x , x düğümünün derecesi k_y de y düğümünün derecesi olsun. Bu durumda formül denklem (4)'teki gibi olur [21]:

$$S_{xy} = \frac{|\Gamma(x) \cap \Gamma(y)|}{\sqrt{k_x * k_y}} \quad (4)$$

• **Sorensen İndex:** Bu yöntem ekolojik topluluk verileri için kullanılır [22]. Matematiksel olarak denklem (5)'te gösterildiği gibi ifade edilir:

$$S_{xy} = \frac{2|\Gamma(x) \cap \Gamma(y)|}{k_x + k_y} \quad (5)$$

• **Leicht-Holme-Newman İndeks:** Ortak komşusu olan düğümlerin benzerlik değerleri bu yöntemde göre Ortak Komşu İndeks'inden daha yüksek değer alır [23]. Denklem (6) L. H. Newman İndeks'in matematiksel karşılığıdır.

$$N_{xy} = \frac{|\Gamma(x) \cap \Gamma(y)|}{k_x * k_y} \quad (6)$$

• **Adamic/Adar Katsayısı:** Bu ölçüm iki web sayfasındaki içeriklerin birbirlerine ne kadar yakın olduğunu ölçmektedir. Bunu yapmak için bu sayfaların özellikleri belirlenmelidir [24]. Formülü denklem (7)'de verilmiştir:

$$AA(x, y) = \sum_{z: x \text{ ve } y \text{ nin özelliği}} \frac{1}{\log(\text{frekans}(z))} \quad (7)$$

Bu nicelikte ortak özelliklerden nadir olanların ağırlık oranları artırılmaktadır. Bağlantı tahmini problemi için bu formül denklem (8)'deki gibi güncellenmiştir:

$$AA(x, y) = \sum_{z \in \Gamma(x) \cap \Gamma(y)} \frac{1}{\log(z)} \quad (8)$$

Bağlantı tahmini için yapılan çalışmalarda Adamic/Adar diğer ölçütlere oranla daha iyi sonuçlar vermektedir.

• **Tercihli Bağlılık:** Ağda oluşacak yeni bir bağlantının düğümlerinden birinin belirli bir düğüm olma ihtimali, o düğümün komşularının sayısı ile orantılıdır. Yani komşu sayısı çok olan düğümlerin yeni bağlantı oluşturma ihtimali daha yüksektir [25]. Matematiksel formülü denklem (9)'daki gibidir:

$$TB(x, y) = |\Gamma(x)| \cdot |\Gamma(y)| \quad (9)$$

• **Kaynak Paylaştırma İndeksi:** Karmaşık ağlarda kullanılan bir ölçüttür. Birbiriyle doğrudan bağlantısı olmayan düğümler arasındaki bağlantıları ölçer. Düğümler arasında doğrudan bağlantı olmamasına rağmen düğümler komşuları üzerinden bağlantı sağlarlar. Düğümler arasındaki benzerlik aralarındaki veri akışına göre değerlendirilir. Veri akışı yüksek olan düğümler daha benzerdir. Formülde kullanılan $k(z)$, z nin derecesidir [26]. Matematiksel ifadesi denklem (10) da verilmiştir:

$$KP(x, y) = \sum_{z \in \Gamma(x) \cap \Gamma(y)} \frac{1}{k(z)} \quad (10)$$

2.1.3.2. Yol tabanlı ölçütler (Road based criteria)

Yol tabanlı ölçütler iki düğüm arasındaki en kısa yolların sayısını baz alırlar [27].

• **Katz:** Katz ölçütü düğümler arasındaki en kısa yolların sayısının toplamını baz alır. Benzerlik hesaplamasında l burada yol uzunluğudur ve uzun yolların hesaplama üzerindeki olumsuz etkisini azaltmak için bir parametreye (β^l) üs olarak dahil edilmiştir [28]. Bu ölçüt denklem (11)'de şöyle ifade edilir:

$$Katz(x, y) = \sum_{l=1}^{\infty} \beta^l \cdot |yollar_{x,y}^{(l)}| \quad (11)$$

$|yollar_{x,y}^{(l)}|$, x ve y düğümleri arasında l uzunluğundaki yolların sayısıdır. $\beta > 0$ olmalıdır. β değeri ne kadar küçük verilirse ortak komşuların değerine o kadar yaklaşılır.

• **Ulaşma zamanı:** Ulaşma zamanı $H_{(x,y)}$, x düğümünden başlayan rastgele gezintinin y düğümüne ulaşıldığında elde edilen adım sayısıdır. Ulaşma zamanı ne kadar düşük olursa x ve y düğümleri birbirine o kadar benzerdir ve aralarında bağlantı olma ihtimali o kadar yüksektir; düşük olması x ve y nin benzer olduğunu aralarında bağlantı olabileceğini göstermektedir. Yönlü ağlarda bu ölçüt simetrik değildir. O yüzden bunun yerine gidiş/dönüş zamanı (commute time), $C_{(x,y)} = H_{(x,y)} + H_{(y,x)}$, kullanılmalıdır. y düğümün çok geniş bir dağılım olasılığına sahip olduğunda $H_{(x,y)}$ çok küçük olacaktır. Bunu dengelemek için ölçüt normalleştirilebilir [29]. Ulaşma zamanı matematiksel olarak denklem (12)'de verilmiştir:

$$UZ(x, y) = -(H_{(x,y)} \cdot \pi_y + H_{(y,x)} \cdot \pi_x) \quad (12)$$

• **Köklü PageRank:** Ulaşma zamanında x ve y düğümleri arasındaki yollar çok kısa olsa da rastgele yürüyüşlerle x düğümünden y düğümüne ulaşmak için çok fazla düğüm geçilmesi gerekebilir. Bu durumun önüne geçebilmek için rasgele yürüyüş her adımda β parametresindeki olasılık değeri ile yeniden başa döndürülebilir. Böylece ağda rastgele yürüyüşler mümkün olan en kısa yollardan yapılabilir. Rasgele yürüyüşün belli bir olasılıkla yeniden başlatılması web sayfalarındaki PageRank ölçütünün temelidir. Rasgele yürüyüş $\beta [0,1]$ olasılığı ile başa döner, 1- β olasılığı ile o an bulunan düğümün komşularından rasgele birine gider. Bu işlem her adımda uygulanır. i düğümünün tüm koşulları için diagonal derece matrisinde $D[i, j] = \sum_j A[i, j]$ dir. $N = D^{-1}A$, komşuluk matrisinin satırlarının 1'e normalleştirilmesidir [30]. Formülü denklem (13)'te verilmiştir:

$$KPR = (1 - \beta)(I - \beta N)^{-1} \quad (13)$$

• **SimRank:** Bu ölçüt, "iki düğüm benzer düğümler ile bağlantılı ise bu iki düğüm benzerdir" esasına dayanır [31]. Matematiksel ifadesi denklem (14)'te şöyle ifade edilir:

$$Benzerlik(x, y) := \gamma \cdot \frac{\sum_{a \in \Gamma(x)} \sum_{b \in \Gamma(y)} Benzerlik(a, b)}{|\Gamma(x)| \cdot |\Gamma(y)|} \quad (14)$$

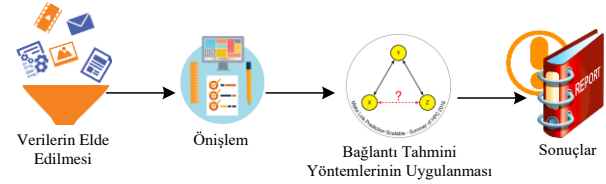
Bu yöntemler dışında pek çok yöntem ve yaklaşım mevcuttur. Bunlardan bazıları sık örüntü madenciliği, rastgele yürüyüş ve yayma yöntemleridir.

3. GELİŞTİRİLEN UYGULAMA (DEVELOPED APPLICATION)

Akademik alanda yapılan çalışmalarda en dikkat eken zorluk, bir akademisyenin çalışmak istediği bir konuda kendine kaynak veya birlikte çalışacağı başka bir akademisyeni bulabilmesidir. Bu çalışmada seçilmiş olan yazarların çalışma konuları ele alınarak yazarlar arasında çalışma konuları bazında oluşan benzerlik hesaplanmıştır. Böylece yazarların çalışma alanlarında kendileri ile benzer konuları çalışan yazarların tespit edilmesi amaçlanmıştır.

Geliştirilen bu araç ile gerçekleştirilmek istenen amaç, yazarların çalışma alanları arasındaki benzerliği hesaplayarak, yazarlar arasındaki ilişkileri analiz etmektir. Bu amaç doğrultusunda, yazarların çalıştıkları alanlara göre benzer konularda çalışan ilgili yazarları tespit etmek; ortak çalışma yapan yazar gruplarını ortaya koymak ve ortaya çıkarılan bu bilgiler kullanılarak elde edilecek sonuçlara göre birlikte yayın yapabilecek yazarları tahmin edecek veya bir yazarın gelecekte çalışması muhtemel konuyu tahmin edecek bir yapının temellerini oluşturmasını sağlamaktır.

Gerçekleştirilen uygulamanın genel adımları Şekil 2'de gösterilmektedir.



Şekil 2. Gerçekleştirilen uygulamanın adımları (steps to implement application)

3.1. Verilerin Elde Edilmesi (Obtaining Data)

Makale Yazar ilişkisinin tespitinde IEEE Explore, AIP, IET, AVS, IBM, Semantic Scholar, CiteSeerX, BibSonomy, MathSciNet, PubMed, RePEc, zbMATH gibi birçok farklı veri tabanları kullanılabilir. Bu veri tabanlarında makaleye ilişkin özet, makale adı, anahtar kelimeler, yayınlanma tarihi, DOI, ISSN ve ISBN bilgileri, kontrol ve index terimleri gibi birçok veri elde edilebilir. Ayrıca makale seçimleri, konferans, dergi, kitap, eğitim kursu gibi yayınlanma türüne göre de ayrılabilir. Bu veri kümeleri kullanım amaçlı olarak herkese açıktır. Bu çalışmada IEEE Explore veritabanından rastgele belirlenen 20 adet yazara ait;

- makale isimleri,
- makalelerin yayınlanma yılları,
- makalelerin anahtar kelimeleri
- anahtar kelimelerin kaç kez kullanıldığı

verileri Microsoft Visual Studio. Net programlama aracı yardımıyla elde edilmiştir. Alınan veriler MS SQL Server veritabanına aktarılmıştır.

3.2. Ön İşlem (Pre-Processing)

Yazarlara ilişkin veritabanından alınan tüm veriler incelenerek, gerçekleştirilen uygulama için uygun parametreler belirlenmiştir. IEEE Explore sisteminden alınabilecek parametreler; yazar adı, yayın yılı, kurum, yayın başlığı, anahtar kelimeler, kontrol terimleri, özet, ISSN, ISBN'dir. Bu parametrelerden yazar adı ve yayınlanan makalelerin anahtar kelimeleri uygulama için yeterli görüldüğünden filtrelenerek alınmıştır. Özet, ISSN ve ISBN ise benzerlik için hiçbir anlam ifade etmemektedir.

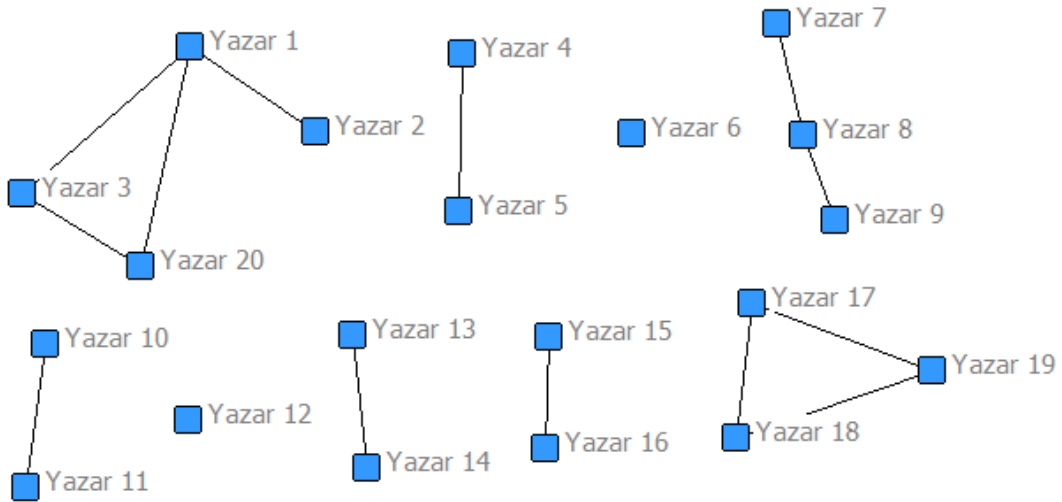
3.3. Bağlantı Tahmini Yöntemlerinin Uygulanması (Application of Link Prediction Methods)

Belirlenen veri kümesine *Jaccard Index*, *Sorensen Index*, *Ortak Komşu Index*, *L. H. Newman Index* ve *Salton Index*

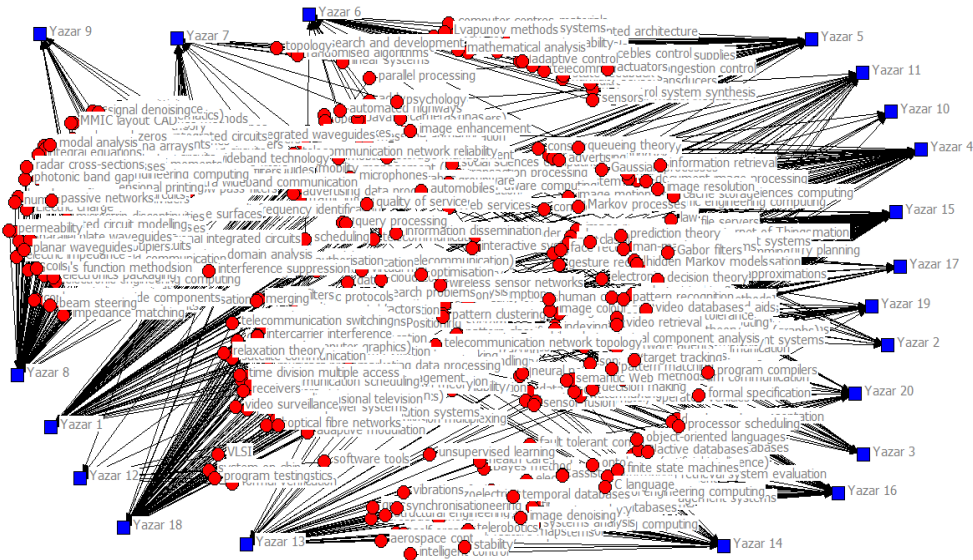
formülasyondaki temsil biçimleri açısından bu yöntemlere uygun olmasıdır [32]. Bu yöntemlerin verilere uygulanmasında, Microsoft Visual Studio .Net ortamında C# programlama dili ile geliştirilen bir program aracı kullanılmıştır. Ayrıca Yazar-Yazar Ağı ve Yazar-Konu Ağı kullanılarak Ucinet program aracı ile çizilen yapı Şekil 3 ve Şekil 4'de gösterilmiştir.

3.4. Uygulama Sonuçları (Application Results)

Yapılan uygulama ile on adet yazarın çeşitli konferanslarda yayınladığı makalelerin anahtar kelimeleri arasındaki benzerlikler beş farklı matematiksel model uygulanarak analiz edilmiş ve sonuçları aşağıda 5 farklı tabloda verilmiştir. Yazarlar



Şekil 3. Yazar-yazar ilişki ağı (author – author network)



Şekil 4. Yazar-yazar ilişki ağı (author – subject network)

komşuluk tabanlı bağlantı tahmini yöntemleri uygulanmıştır. Bu yöntemlerin seçilmesindeki en önemli etmenler, yöntemlerin uygulanma kolaylığı ve eldeki verilerin

rastgele seçilmiş, IEEE Explore sisteminde yayınlanmış olan konferans makaleleri veri seti hazırlamak için tercih edilmiştir.

Tablo 1: Jaccard İndeksi uygulaması sonuçları (application results for Jaccard Index)

Jaccard	Yazar 1	Yazar 2	Yazar 3	Yazar 4	Yazar 5	Yazar 6	Yazar 7	Yazar 8	Yazar 9	Yazar 10	Yazar 11	Yazar 12	Yazar 13	Yazar 14	Yazar 15	Yazar 16	Yazar 17	Yazar 18	Yazar 19	Yazar 20
Yazar 1	-	0,10976	0,24390	0,06818	0,05128	0,01852	0,01869	0,01685	-	0,02299	0,08491	0,02198	0,03968	0,04630	0,06780	0,02362	0,03261	0,11765	0,01031	0,13978
Yazar 2	0,10976	-	0,16000	0,01493	0,02041	-	-	-	-	-	0,02439	-	0,01754	0,02564	0,01370	-	-	0,01739	-	0,03182
Yazar 3	0,24390	0,16000	-	0,02597	0,03390	0,02128	0,02174	-	-	0,03846	0,06000	0,03333	0,02985	0,04082	0,04959	-	0,06452	0,05785	0,02857	0,33333
Yazar 4	0,06818	0,01493	0,02597	-	0,08696	0,01163	0,02381	-	-	0,06452	0,06977	-	0,02857	0,03448	0,22059	0,11458	0,04348	0,07742	0,11940	-
Yazar 5	0,05128	0,02041	0,03390	0,08696	-	0,02985	0,01493	-	-	0,02128	0,02778	0,01961	-	-	0,01370	-	0,03846	0,04930	0,01786	0,01536
Yazar 6	0,01852	-	0,02128	0,01163	0,02985	-	0,03774	-	-	0,02941	0,05172	-	0,02667	-	0,05053	-	0,05128	0,03817	0,02326	-
Yazar 7	0,01869	-	0,02174	0,02381	0,01493	0,03774	-	0,13514	0,07895	0,03030	0,03263	-	-	-	0,01515	-	0,02564	0,01504	0,02381	-
Yazar 8	0,01685	-	-	-	-	-	0,13514	-	0,14141	-	-	0,00917	-	-	-	-	-	0,01471	-	-
Yazar 9	-	-	-	-	-	-	0,07895	0,14141	-	-	-	0,04167	-	-	-	-	-	-	-	-
Yazar 10	0,02299	-	0,03846	0,06452	0,02128	0,02941	0,03030	-	-	-	0,14286	-	-	-	0,03636	0,07843	0,11111	0,02679	0,15000	-
Yazar 11	0,08491	0,02439	0,06000	0,06977	0,02778	0,05172	0,05263	-	0,14286	-	-	0,02326	0,03797	0,03226	0,06061	0,06579	0,04545	0,09302	0,11364	0,05355
Yazar 12	0,02198	-	0,03333	-	0,01961	-	-	0,00917	0,04167	-	0,02326	-	0,01695	-	0,00855	0,01724	-	-	-	0,06066
Yazar 13	0,03968	0,01754	0,02985	0,02857	-	0,02667	-	-	-	-	0,03797	0,01695	-	0,50943	0,05405	0,05435	-	0,01948	0,04839	0,02381
Yazar 14	0,04630	0,02564	0,04082	0,03448	-	-	-	-	-	-	0,03226	-	0,50943	-	0,03759	0,03947	-	0,00725	0,02174	0,03774
Yazar 15	0,06780	0,00870	0,04959	0,22059	0,01370	0,03053	0,01515	-	-	0,03636	0,06061	0,00855	0,05405	0,03759	-	0,15672	0,03448	0,08040	0,06034	0,01536
Yazar 16	0,02362	-	-	0,11458	-	-	-	-	-	0,07843	0,06579	0,01724	0,05435	0,03947	0,15672	-	0,01667	0,03311	0,06667	-
Yazar 17	0,03261	-	0,06452	0,04348	0,03846	0,05128	0,02564	-	-	0,11111	0,04545	-	-	-	0,03448	0,01667	-	0,12037	0,16000	0,02774
Yazar 18	0,11765	0,01739	0,05785	0,07742	0,04930	0,03817	0,01504	0,01471	-	0,02679	0,09302	-	0,01948	0,00725	0,08040	0,03311	0,12037	-	0,10714	0,03968
Yazar 19	0,01031	-	0,02857	0,11940	0,01786	0,02326	0,02381	-	0,15000	0,11364	-	0,05556	0,04839	0,02174	0,06034	0,06667	0,16000	0,10714	-	-
Yazar 20	0,13978	0,03125	0,33333	-	0,01563	-	-	-	-	-	-	0,05556	0,02817	0,03774	0,01550	-	0,02778	0,03968	-	-

Tablo 2: Sorensen İndeks Uygulama sonuçları (application results for Sorensen Index)

Sorensen	Yazar 1	Yazar 2	Yazar 3	Yazar 4	Yazar 5	Yazar 6	Yazar 7	Yazar 8	Yazar 9	Yazar 10	Yazar 11	Yazar 12	Yazar 13	Yazar 14	Yazar 15	Yazar 16	Yazar 17	Yazar 18	Yazar 19	Yazar 20
Yazar 1	-	0,19780	0,39216	0,12766	0,09756	0,03636	0,03670	0,03315	-	0,04494	0,15652	0,04301	0,07634	0,08850	0,12698	0,04615	0,06316	0,21053	0,02041	0,24528
Yazar 2	0,19780	-	0,27586	0,02941	0,04000	-	-	-	-	0,04762	-	-	0,03448	0,05000	0,01724	-	-	0,03419	-	0,36061
Yazar 3	0,39216	0,27586	-	0,05063	0,06557	0,04167	0,04255	-	-	0,11321	0,06452	0,05797	0,07843	0,09449	-	-	0,12121	0,10938	0,05556	0,80000
Yazar 4	0,12766	0,02941	0,05063	-	0,16000	0,02299	0,04651	-	-	0,13043	-	0,03846	0,03556	0,06667	0,36145	0,20561	0,08333	0,14371	0,21333	-
Yazar 5	0,09756	0,04000	0,06557	0,16000	-	0,05797	0,02941	-	-	0,04167	0,05405	0,03846	-	-	0,02703	-	0,07407	0,09396	0,03509	0,33077
Yazar 6	0,03636	-	0,04167	0,02299	0,05797	-	0,07273	-	-	0,05714	0,09836	-	0,03195	-	0,05926	-	0,09756	0,07353	0,04545	-
Yazar 7	0,03670	-	0,04255	0,04651	0,02941	0,07273	-	0,23810	0,14634	0,05882	0,10000	-	-	-	0,02985	-	0,05000	0,02963	0,04651	-
Yazar 8	0,03315	-	-	-	-	-	0,23810	-	0,24779	-	-	0,01818	-	-	-	-	-	0,02899	-	-
Yazar 9	-	-	-	-	-	-	0,14634	0,24779	-	-	0,08000	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Yazar 10	0,04494	-	0,07407	0,12121	0,04167	0,05714	0,03882	-	-	0,23000	-	-	-	-	0,07018	0,14545	0,20000	0,05217	0,26087	-
Yazar 11	0,15652	0,04762	0,11321	0,13043	0,05405	0,09836	0,10000	-	0,23000	-	0,04545	0,07317	0,06250	0,11429	0,12346	0,08696	0,17021	0,20408	0,30526	-
Yazar 12	0,04301	-	0,06452	-	0,03846	-	-	0,01818	0,08000	-	0,04545	-	0,03333	-	0,01695	0,03390	-	-	-	0,11429
Yazar 13	0,07634	0,03448	0,05797	0,05556	-	0,05195	-	-	-	0,07317	0,03333	-	-	0,67500	0,10256	0,10309	-	0,03822	0,09231	0,35479
Yazar 14	0,08850	0,05000	0,07843	0,06667	-	-	-	-	-	0,06250	-	0,67500	-	-	0,07246	0,07595	-	0,01439	0,04235	0,07273
Yazar 15	0,12698	0,01724	0,09449	0,36145	0,02703	0,05926	0,02985	-	-	0,07018	0,11429	0,01695	0,10256	0,07246	-	0,27097	0,06667	0,14884	0,11382	0,33033
Yazar 16	0,04615	-	-	0,20561	-	-	-	-	-	0,14545	0,12346	0,03390	0,10309	0,07595	0,27097	-	0,03279	0,06410	0,12500	-
Yazar 17	0,06316	-	0,12121	0,08333	0,07407	0,09756	0,05000	-	0,20000	0,08696	-	-	-	-	0,06667	0,03279	-	0,21488	0,27586	0,35405
Yazar 18	0,21053	0,03419	0,10938	0,14371	0,09396	0,07353	0,02963	0,02899	-	0,05217	0,17021	-	0,03822	0,01439	0,14884	0,06410	0,21488	-	0,19355	0,37576
Yazar 19	0,02041	-	0,05556	0,21333	0,03509	0,04545	0,04651	-	0,26087	0,20408	-	-	0,09231	0,04255	0,11382	0,12500	0,27586	0,19355	-	-
Yazar 20	0,24528	0,06061	0,50000	-	0,03077	-	-	-	-	0,10526	0,11429	0,05479	0,07273	0,03033	-	-	0,05405	0,07576	-	-

Tablo 5: Ortak Konuşu uygulama sonuçları (application results for Common Neighbour Index)

Ortak Konuşu	Yazar 1	Yazar 2	Yazar 3	Yazar 4	Yazar 5	Yazar 6	Yazar 7	Yazar 8	Yazar 9	Yazar 10	Yazar 11	Yazar 12	Yazar 13	Yazar 14	Yazar 15	Yazar 16	Yazar 17	Yazar 18	Yazar 19	Yazar 20	
Yazar 1	-	9	20	9	6	2	2	3	-	2	9	2	5	5	12	3	3	20	1	-	13
Yazar 2	9	-	4	1	1	-	-	-	-	1	1	-	1	1	1	-	-	2	-	-	1
Yazar 3	20	4	-	2	1	1	1	-	-	1	3	1	2	2	6	-	-	7	1	-	11
Yazar 4	9	1	2	-	8	1	2	-	-	4	6	-	3	3	30	11	-	12	8	-	-
Yazar 5	6	1	2	8	-	2	1	-	-	1	2	1	-	-	2	-	-	7	1	-	1
Yazar 6	2	-	1	1	2	-	2	-	-	1	3	-	2	-	4	-	-	5	1	-	-
Yazar 7	2	-	1	2	1	2	-	15	3	1	3	-	-	-	2	-	-	1	2	1	-
Yazar 8	3	-	-	-	-	15	-	14	-	-	-	1	-	-	-	-	-	3	-	-	-
Yazar 9	-	-	-	-	-	-	3	14	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Yazar 10	2	-	1	4	1	1	1	-	-	-	5	-	-	-	4	4	-	3	-	-	-
Yazar 11	9	1	3	6	2	3	3	-	-	5	-	1	3	2	8	5	2	12	5	-	3
Yazar 12	2	-	1	-	1	-	-	1	1	-	1	-	1	-	1	1	-	-	-	-	2
Yazar 13	5	1	2	3	-	2	-	-	-	-	3	1	-	27	8	5	-	3	3	-	2
Yazar 14	5	1	2	3	-	-	-	-	-	-	2	-	-	27	5	3	-	1	1	-	2
Yazar 15	12	1	6	30	2	4	2	-	-	4	8	1	8	5	-	21	4	16	7	-	2
Yazar 16	3	-	-	11	-	-	-	-	-	4	5	1	5	3	21	-	1	5	4	-	-
Yazar 17	3	-	2	3	2	2	1	-	-	2	2	-	-	-	4	1	-	13	4	-	1
Yazar 18	20	2	7	12	7	5	2	3	-	3	12	-	3	1	16	5	13	-	12	-	5
Yazar 19	1	-	1	8	1	1	1	-	-	3	5	-	3	1	7	4	4	12	-	-	-
Yazar 20	13	1	11	-	1	-	-	-	-	3	2	2	2	2	-	-	1	5	-	-	-

Tablo 4: L. H. Newman İndeks Uygulama Sonuçları (application results for L. H. Newman index)

L. H. Newman	Yazar 1	Yazar 2	Yazar 3	Yazar 4	Yazar 5	Yazar 6	Yazar 7	Yazar 8	Yazar 9	Yazar 10	Yazar 11	Yazar 12	Yazar 13	Yazar 14	Yazar 15	Yazar 16	Yazar 17	Yazar 18	Yazar 19	Yazar 20
Yazar 1	-	0,02439	0,02439	0,00372	0,00357	0,00174	0,00181	0,00074	-	0,00697	0,00665	0,00443	0,00249	0,00393	0,00274	0,00152	0,00563	0,00452	0,00152	0,01321
Yazar 2	0,02439	-	0,04444	0,00377	0,00342	-	-	-	-	0,00673	-	0,00454	0,00717	0,00208	-	-	-	0,00412	-	0,00926
Yazar 3	0,02439	0,04444	-	0,00339	0,00488	0,00357	0,00370	-	-	0,01429	0,00909	0,00408	0,00645	0,00561	-	-	0,01538	0,00648	0,00623	0,04583
Yazar 4	0,00372	0,00377	0,00339	-	0,00661	0,00121	0,00251	-	-	0,01937	0,00616	-	0,00208	0,00328	0,00930	0,00777	0,00782	0,00377	0,01692	-
Yazar 5	0,00357	0,00542	0,00488	0,00661	-	0,00348	0,00181	-	-	0,00697	0,00296	-	0,00443	-	0,00091	-	0,00750	0,00316	0,00303	0,00203
Yazar 6	0,00174	-	0,00357	0,00121	0,00348	-	0,00529	-	-	0,01020	0,00649	-	0,00292	-	0,00267	-	0,01099	0,00331	0,00446	-
Yazar 7	0,00181	-	0,00370	0,00251	0,00181	0,00529	-	0,01122	0,01587	0,01058	0,00673	-	-	-	0,00138	-	0,00570	0,00137	0,00463	-
Yazar 8	0,00074	-	-	-	-	-	0,01122	-	0,02020	-	-	0,00184	-	-	-	-	-	0,00056	-	-
Yazar 9	-	-	-	-	-	-	0,01587	0,02020	-	-	-	0,01299	-	-	-	-	-	-	-	-
Yazar 10	0,00697	-	0,01429	0,01937	0,00697	0,01020	0,01058	-	-	0,04329	-	-	-	-	0,01068	0,02381	0,04396	0,00794	0,05357	-
Yazar 11	0,00665	0,00673	0,00909	0,00616	0,00296	0,00649	0,00673	-	0,04329	-	0,00551	0,00371	0,00371	0,00391	0,00453	0,00631	0,00932	0,00673	0,01894	0,00758
Yazar 12	0,00443	-	0,00909	-	0,00443	-	-	0,00184	0,01299	-	0,00551	-	0,00371	-	0,00170	0,00379	-	-	-	0,01515
Yazar 13	0,00249	0,00454	0,00408	0,00208	-	0,00292	-	-	-	0,00371	0,00371	-	-	0,03555	0,00305	0,00425	-	0,00113	0,00763	0,00340
Yazar 14	0,00393	0,00717	0,00645	0,00328	-	-	-	-	-	0,00391	-	0,00391	0,03555	-	0,00301	0,00403	-	0,00060	0,00403	0,00538
Yazar 15	0,00274	0,00208	0,00561	0,00930	0,00091	0,00267	0,00138	-	-	0,01068	0,00453	0,00170	0,00305	0,00301	-	0,00818	0,00575	0,00277	0,00818	0,00156
Yazar 16	0,00152	-	-	0,00777	-	-	-	-	-	0,02381	0,00631	0,00379	0,00425	0,00403	0,00818	-	0,00321	0,00193	0,01042	-
Yazar 17	0,00563	-	0,00625	0,00782	0,00750	0,01099	0,00570	-	-	0,04396	0,00932	-	-	-	0,00575	0,00321	-	0,01852	0,03846	0,00641
Yazar 18	0,00452	0,00412	0,00648	0,00377	0,00316	0,00331	0,00137	0,00056	-	0,00794	0,00673	-	ssss	0,00060	0,00277	0,00193	0,01852	-	0,01389	0,00386
Yazar 19	0,00152	-	-	0,01695	0,00305	0,00446	0,00463	-	-	0,05357	0,01894	-	0,00765	0,00403	0,00818	0,01042	0,03846	0,01389	-	-
Yazar 20	0,01321	0,00926	0,04583	-	0,00203	-	-	-	-	0,00758	0,01515	0,00340	0,00538	0,00156	-	-	0,00641	0,00386	-	-

Tablo 5: Salton İndeks Uygulama Sonuçları (application results for Salton Index)

Salton	Yazar 1	Yazar 2	Yazar 3	Yazar 4	Yazar 5	Yazar 6	Yazar 7	Yazar 8	Yazar 9	Yazar 10	Yazar 11	Yazar 12	Yazar 13	Yazar 14	Yazar 15	Yazar 16	Yazar 17	Yazar 18	Yazar 19	Yazar 20
Yazar 1	-	0,94346	1,98030	0,75794	0,54100	0,19069	0,19157	0,22299	-	0,21200	0,83925	0,20739	0,43685	0,47036	0,87287	0,26312	0,30779	1,45095	0,10102	1,26267
Yazar 2	0,94346	-	0,74278	0,12127	0,14142	-	-	-	-	0,15430	-	-	0,13131	0,13811	0,09285	-	-	0,18490	-	0,17408
Yazar 3	1,98030	0,74278	-	0,22502	0,25607	0,14434	0,14386	-	-	0,19245	0,41208	0,17961	0,24077	0,28006	0,53241	-	0,34816	0,61872	0,16667	1,63831
Yazar 4	0,75794	0,12127	0,22502	-	0,80000	0,10721	0,21567	-	-	0,49237	0,62554	-	0,28868	0,31623	2,32845	1,06341	0,35355	0,92859	0,92376	-
Yazar 5	0,54100	0,14142	0,25607	0,80000	-	0,24077	0,12127	-	-	0,14434	0,23250	0,13868	-	-	0,16440	-	0,27217	0,57346	0,13245	0,12403
Yazar 6	0,19069	-	0,14434	0,10721	0,24077	-	0,26968	-	-	0,16903	0,38411	-	0,22792	-	0,34427	-	0,31235	0,42875	0,15076	-
Yazar 7	0,19157	-	0,14586	0,21567	0,12127	0,26968	-	1,33631	0,46852	0,17150	0,38730	-	-	-	0,17277	-	0,15811	0,17213	0,15250	-
Yazar 8	0,22299	-	-	-	-	-	1,33631	-	1,31701	-	-	0,09535	-	-	-	-	-	0,20851	-	-
Yazar 9	-	-	-	-	-	-	0,46852	1,31701	-	-	-	0,20000	-	-	-	-	-	-	-	-
Yazar 10	0,21200	-	0,19245	0,49237	0,14434	0,16903	0,17150	-	-	0,79057	-	-	-	-	0,37463	0,53936	0,44721	0,27975	0,62554	-
Yazar 11	0,83925	0,15430	0,41208	0,62554	0,23250	0,38411	0,38730	-	0,79037	-	0,15076	0,15076	0,33129	0,25000	0,67612	0,55356	0,29488	1,01058	0,71429	0,39736
Yazar 12	0,20739	-	0,17961	-	0,13868	-	-	0,09535	0,20000	-	0,15076	-	0,12910	-	0,09206	0,13019	-	-	-	0,33806
Yazar 13	0,43685	0,13131	0,24077	0,28868	-	0,22792	-	-	-	0,33129	0,12910	0,12910	-	0,01869	0,64051	0,50767	-	0,23943	0,37210	0,23408
Yazar 14	0,47036	0,15811	0,28006	0,31623	-	-	-	-	-	0,25000	-	-	0,01869	-	0,42563	0,33753	-	0,08482	0,14586	0,26968
Yazar 15	0,87287	0,09285	0,53241	2,32845	0,16440	0,34427	0,17277	-	-	0,37463	0,67612	0,09206	0,64051	0,42563	-	1,68676	0,36515	1,09119	0,63117	0,17474
Yazar 16	0,26312	-	-	1,06341	-	-	-	-	-	0,33936	0,55556	0,13019	0,50767	0,33753	1,68676	-	0,12804	0,40032	0,50000	-
Yazar 17	0,30779	-	0,34816	0,33355	0,27217	0,31235	0,13811	-	-	0,44721	0,29488	-	-	-	0,36515	0,12804	-	1,18182	0,74278	0,16440
Yazar 18	1,45095	0,18490	0,61872	0,92859	0,57346	0,42875	0,17213	0,20851	-	0,27975	0,10102	-	0,23943	0,08482	1,09119	0,40032	1,18182	-	1,07765	0,43519
Yazar 19	0,10102	-	0,16667	0,92376	0,13245	0,15076	0,15250	-	-	0,62554	0,71429	-	-	0,14586	0,63117	0,50000	0,74278	1,07765	-	-
Yazar 20	1,26267	0,17408	1,63831	-	0,12403	-	-	-	-	0,39736	0,33806	0,33806	0,23408	0,26968	0,17474	-	0,16440	0,43519	-	-

Yazar-Yazar ağı incelendiğinde bazı yazarların birlikte yayın yaptıkları görülmektedir. Yapılan bu analiz çalışmasında yazarlar arasındaki benzerlikler irdelendiğinde ortak yayın yapmamış bazı yazar çiftlerinin benzerlik değerlerinin ortak yayın yapmış olan yazarlar arası benzerlik değerinden daha yüksek olduğu görülür. Bu da bu yazarlar arasında da bir ilişki kurulabileceği (örneğin ortak yayın yapabilecekleri, yeni ilişki kurulan yazarların çalışmaları muhtemel konuların tespiti) anlamına gelir.

Yapılan uygulamada Tablo 1, yazarlar arasındaki benzerliğin Jaccard İndex yöntemi ile hesaplanan sonuçları içermektedir. Tablo 2, Sorensen İndex yöntemi ile; Tablo 3, Ortak Komşu İndex yöntemi ile; Tablo 4, L. H. Newman İndex yöntemi ile ve Tablo 5, Salton İndex yöntemi ile hesaplanan sonuçları içermektedir. Şekil 3'te yazarlar arasındaki mevcut bağlantılar gösterilmektedir. Aralarında bağlantı olan yazarlar birlikte yayın yapmış olan yazarlardır. Yazarlar arasında oluşması muhtemel yeni bağlantıları tahmin etmek için Şekil 3'te birbiri ile bağlantılı olan yazar çiftlerinden her tablo için bir yöntem kullanılarak benzerlik değerleri hesaplanmış ve her tabloda bu yazarlar arasındaki en büyük değer eşik değer olarak belirlenmiştir.

Tablo 1-5 dikkate alındığında yazar 1 ile yazar 2, yazar 1 ile yazar 3 ve yazar 1 ile yazar 20 arasında oluşan benzerlik değerleri incelendiğinde yazar 1 ile yazar 3'ten elde edilen değerler en büyük değerler olduğundan eşik değerleri olarak belirlenmiştir. Tablolar ayrı ayrı analiz edildiğinde beş tabloda da belirlenen eşik değerlerinden büyük tek değer yazar 1 ile yazar 18 arasında oluşan benzerlik değeri olduğu görülmektedir. Uygulanan beş yöntemde de bu değerlerin eşik değerlerinden yüksek çıkması yazar 1 ile yazar 18 arasında yeni bir bağlantı oluşabileceği anlamına gelmektedir.

Aynı şekilde Şekil 3'ten yola çıkarak, yazar 2 sadece yazar 1 ile bağlantılı olduğundan eşik değerleri beş yöntemde de yazar 2 ile yazar 1 arasında oluşan benzerlik değerleri olur. Tüm tablolar ayrı ayrı incelendiğinde Tablo 1, Tablo 2, Tablo 4 ve Tablo 5'te yazar 2 ile yazar 3 arasındaki benzerlik değerlerinin eşik değerlerden büyük olduğu görülmektedir. Bu durumda Jaccard İndex, Sorensen İndex, L. H. Newman İndex ve Salton İndex yöntemlerine göre yazar 2 ile yazar 3 arasında yeni bir bağlantı oluşabilmektedir. Sadece Tablo 3'te dolayısı ile Ortak Komşu yöntemine göre bu iki yazar arasında bağlantı oluşmamaktadır.

Yazar 4 ile sadece yazar 5 arasında bağlantı olduğundan eşik değerleri yazar 4 ile yazar 5 arasında hesaplanan değerlerdir. Tablolar incelendiğinde Yazar 4 ile yazar 15, yazar 4 ile yazar 16 ve yazar 4 ile yazar 19 arasındaki benzerlik değerlerinin tüm tablolarda eşik değerlerinden büyük olduğu görülmektedir. Bu durumda Jaccard İndex, Sorensen İndex, Ortak Komşu İndex, L. H. Newman İndex ve Salton İndex yöntemlerine göre yazar 4 ile yazar 15, yazar 4 ile yazar 16 ve yazar 4 ile yazar 19 arasında da bağlantılar oluşabileceği söylenebilir.

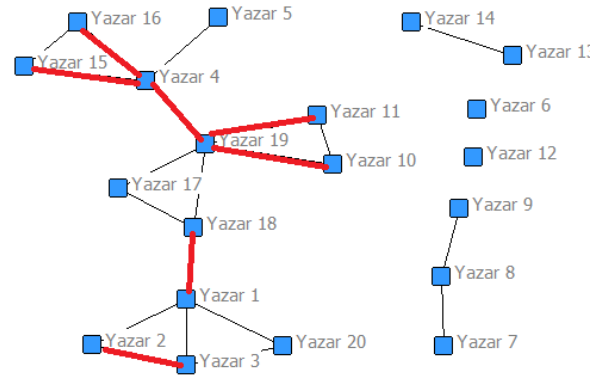
Yazar 10 ile sadece yazar 11 bağlantılı olduğundan eşik değerleri bu iki yazar arasında hesaplanan değerler olur.

Tablolar incelendiğinde yazar 10 ile yazar 19 arasındaki benzerlik değerlerinin Tablo 1, Tablo 2, Tablo 4 ve Tablo 5'te eşik değerlerinden büyük olduğu görülür. Sadece Ortak Komşu İndex yönteminde bu değer sağlanmamaktadır. Bu durumda yazar 10 ile yazar 19 arasında da bir bağlantı olabileceği söylenebilir.

Yazar 15 ile sadece yazar 16'nın bağlantısı olduğundan burada da eşik değerleri yazar 15 ile yazar 16 arasında hesaplanan değerlerdir. Tablolar analiz edildiğinde yazar 15 ile yazar 4 arasındaki benzerlik değerlerinin beş yöntemin tamamında eşik değerlerinden yüksek olduğu gözlenmektedir. Bu durumda yazar 15 ile yazar 4 arasında da bağlantı oluşabileceği söylenebilir.

Yazar 19 ile yazar 17 ve yazar 18 arasında bağlantı bulunmaktadır. Tablolar analiz edildiğinde yazar 19 ile yazar 17 arasında hesaplanan değerlerin daha büyük olduğu gözlenir. Yani eşik değerleri bu iki yazar arasında hesaplanan değerlerdir. Tablolar incelince yazar 19 ile yazar 10 arasındaki benzerlik değerlerinin Tablo 1, Tablo 2, Tablo 4 ve Tablo 5'te; yazar 19 ile yazar 4 ve yazar 19 ile yazar 11 arasındaki benzerlik değerlerinin ise yöntemlerin tamamında eşik değerlerinden büyük olduğu gözlenmektedir. Bu durumda yazar 19 ile yazar 4, yazar 19 ile yazar 10 ve yazar 19 ile yazar 11 arasında yeni bağlantı oluşabileceği söylenebilir.

Bu durumda yeni Yazar-Yazar ağı şekil 5'te gösterilmiştir, yeni oluşan bağlantılar kırmızı renktedir:



Şekil 5. Yeni Yazar-Yazar ağı (New aauthor-author network)

4. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS)

Özellikle sosyal ağların gelişmesi ile birlikte bağlantı tahmini problemi popüler bir hal almıştır. Günümüzde ticari anlamda yaygın olarak kullanılan bağlantı tahmini problemi akademik olarak;

- Sosyal ağlarda kullanıcıların arkadaşlık ilişkilerini tahmin etme,
- Yazar-makale ağlarında yazarların gelecekte yapacakları yayın konularını tahmin etme ve yazarların ortak yayın çıkarma olasılığını belirleme,

- Hastalık-ilaç ağlarında hastalıkları tedavi etmede kullanılabilecek ilaçların belirlenmesi gibi alanlarda yoğun bir şekilde kullanılmaktadır.

Bağlantı tahmininin başarımlarının yüksek olabilmesi için seçilecek kriterlerin ve parametrelerin doğru belirlenmesi gerekmektedir.

Ayrıca bağlantı tahmini problemini çözme yöntemleri graf yapıları üzerinde uygulandığından graf yapılarının da gayet iyi bilinmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada bağlantı tahmini yöntemleri akademik alanda yazarların çalışma konularına uygulanmış ve çalışma konuları arasındaki benzerlikler ortaya konmuştur. Özellikle yerel indeksleme yöntemlerinden Jaccard Index, Sorensen Index, Ortak Komşu, L. H. Newman Index, Salton Index yöntemlerinin analiz için uygun olduğu ve başarılı sonuçlar vereceği düşünülerek analiz bu yöntemlerle yapılmıştır.

Yapılan analizler sonucunda veri setindeki yazarların çalışma alanları arasında benzerlikler tespit edilmiştir. Özellikle bu benzerliklerden yola çıkarak hangi yazarların birbiri ile birlikte çalışma yapabileceği hakkında tahminler yapılmıştır. Tahmin için yapılan hesaplamalarda görülmüştür ki, ortak yayın veya ortak anahtar kelime sayısı (ortak komşu indeks yönteminde net olarak görülmektedir) tek başına doğru sonuçlar vermemektedir.

Yapılan çalışmada; yazar adı, yayın yılı, kurum, yayın başlığı, anahtar kelimeler, kontrol terimleri, özet, ISSN, ISBN parametreleri IEEE Explore veritabanından çekilebilmektedir. Bu parametreler arasından yazar adı ve anahtar kelimeler benzerlik ölçümü için en baskın terimler olarak tespit edilmiştir. Özet, yayın başlığı, ISSN ve ISBN'nin benzerlik ölçümü için yararlı özellikler olmadığı ve yayın yılı, kurum, kontrol terimlerinin ise yazar adı ve anahtar kelimeler ile birlikte kullanılarak benzerlik ölçümünün daha hassas bir şekilde tahmin yapılması sağlanabilir. Bu parametrelerin eklenmesinin dezavantajı ise işlem yükünün artması ve eklenecek parametrelerin (düğümlerin) ağırlıklarının hesaplanma zorluğudur. Gelecekteki çalışmalarda bu parametreler eklenerek daha detaylı çalışmalar yapılması amaçlanmaktadır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Lü L., and Zhou T., "Physica A: statistical mechanics and its applications", *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 390(6): 1150-1170, (2011).
- [2] Tuğal İ., "Sosyal Ağlarda Hastalık İlaç Bağlantı Tahmini", *Yüksek Lisans Tezi*, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, (2013).
- [3] Huang T. H. and Huang M. L., "Analysis and visualization of co-authorship networks for understanding academic collaboration and knowledge domain of individual researchers", *Proceedings of the International Conference on Computer Graphics, Imaging and Visualisation (CGIV'06)*, Sydney, Australia, (2006).
- [4] Sun Y., Barber R., Gupta M., Aggarwal C. C. And Han J., "Co-author relationship prediction in heterogeneous bibliographic networks", *International Conference on*

Advances in Social Networks Analysis and Mining, Kaohsiung, Taiwan, 121-128, (2011).

- [5] Pengbin G., Weiwei W. and Bo Y., "Co-authorship network analysis in improvisation theory research", *International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering*, Sanya, China, 244-248, (2012).
- [6] Li L. and Xuezhu G., "Innovation performance of university co-authorship network", *International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering*, Sanya, China, 410-413, (2012).
- [7] Anastasios T., Sgouropoulou C., Papageorgiou E., Terraz O. and Miaoulis G., "Co-authorship networks in academic research communities: the role of network strength", *16th Panhellenic Conference on Informatics*, Piraeus, Greece, 150-155, (2012).
- [8] Bidault F., and Hildebrand T., "The distribution of partnership returns: Evidence from co-authorships in economics journals", *Research Policy*, 43(6): 1002-1013, (2014).
- [9] Türker İ. and Çavuşoğlu A., "Detailing the co-authorship networks in degree coupling, edge weight and academic age perspective", *Chaos, Solitons and Fractals*, 91: 386-392, (2016).
- [10] Bruno B., "Economics of co-authorship", *Economic Analysis and Policy*, 44(2): 212-220, (2014).
- [11] De Stefano D., Fuccella V., Vitale M. P. and Zaccarin S., "The use of different data sources in the analysis of co-authorship networks and scientific performance", *Social Networks*, 35(3): 370-381, (2013).
- [12] Ortega J. L., "Influence of co-authorship networks in the research impact: Ego network analyses from Microsoft Academic Search", *Journal of Informetrics*, 8(3): 728-737, (2014).
- [13] Koseoglu M. A., "Growth and structure of authorship and co-authorship network in the strategic management realm: evidence from the strategic management journal", *BRQ Business Research Quarterly*, 19(3): 153-170, (2016).
- [14] Sharma D. and Sharma U., "Link prediction algorithm for co-authorship networks using neural networks", *IEEE ICRITO*, (2014).
- [15] Newman M. E. J., "Scientific collaboration networks", *Network Construction And Fundamental Results. Physical Review E*, 64: 016131, (2001).
- [16] Barabási A. L., "From networks to human behavior", *In Proceedings of Annual International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval*, 435, (2009).
- [17] Wang C., Satuluri V. and Parthasarathy S., "Local probabilistic models for link prediction", *In Proceedings of 7th IEEE International Conference on Data Mining*, 322-331, (2007).
- [18] Xiang E. W., "A survey on link prediction models for social network data", *PhD thesis*, Department of Computer Science and Engineering, The Hong Kong University of Science and Technology, (2008).
- [19] Newman M., E., J., "Clustering and preferential attachment in growing networks", *Phys. Rev. E*, 64(2): (2001).

- [20] Müller B., Hagelstein A. and Gübitz T. “Life science ontologies in literature retrieval: A comparison of linked data sets for use on semantic search on a heterogeneous corpus”, In *Proceedings of the 20th International Conference on Knowledge Engineering and Knowledge Management*, Bologna, Italy, (2016).
- [21] Kushwah A. K. S., and Manjhvar A. K., “A review on link prediction in social network”, *International Journal of Grid and Distributed Computing*, 9(2): 43-50, (2016).
- [22] Sesli M. and Yegenoglu E. D., “Comparison of similarity coefficients used for cluster analysis based on RAPD markers in wild olives”, *Genet Mol. Res.* 9: 2248–2253, (2010).
- [23] Leicht E. A., Holme P. and Newman M. E., “Vertex similarity in networks”, *Physical Review E*, 73(2): 026120, (2006).
- [24] Adamic L. A. and Adar E., “Friends and neighbors on the web”, *Social networks*, 25(3): 211-230, (2003).
- [25] Barabási A. L. and Albert R., “Emergence of scaling in random networks”, *Science*, 286(5439): 509-512, (1999).
- [26] Zhou T., Lü L. and Zhang Y. C., “Predicting missing links via local information”, *The European Physical Journal B*, 71(4): 623-630, (2009).
- [27] Newman M., “Networks: an introduction”, *Oxford University Press*, (2010).
- [28] Arik G., Varan H. D., Yavuz B. B., Karabulut E., Kara O., Kilic M. K., ... and Halil M., “Validation of Katz index of independence in activities of daily living in Turkish older adults”, *Archives of Gerontology and Geriatrics*, 61(3): 344-350, (2015).
- [29] Fouss F., Pirotte A., Renders J. M., and Saerens M., “Random-walk computation of similarities between nodes of a graph with application to collaborative recommendation”, *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 19(3): 355-369, (2007).
- [30] Guns R. , “Predictive Characteristics of Co-authorship Networks: Comparing the Unweighted, Weighted, and Bipartite Cases”, *Journal of Data and Information Science*, 1(3): 59-78, (2016).
- [31] Lu J., Gong Z. and Lin X., “A novel and fast simrank algorithm”, *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, (2016).
- [32] Liben-Nowell D. and Kleinberg J., “The link prediction problem for social networks”, *Proceedings of the 12th International Conference on Information and Knowledge Management (CIKM)*, NewYork: ACM Press, 556–559, (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>

Enhancement in photovoltaic characteristics of CdS/CdTe heterojunction

CdS/CdTe heteroekleminin fotovoltaiik karakteristiğindeki artışı

Yazar(lar) (Author(s)): Gökhan SÜRÜCÜ, Hasan Hüseyin GÜLLÜ, Özge BAYRAKLI, Mehmet PARLAK

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Sürücü G., Güllü H. H., Bayraklı Ö, ve Parlak M., “CdS/CdTe heteroekleminin fotovoltaiik karakteristiğindeki artışı”, *Politeknik Dergisi*, 20(4): 801-805, (2017)

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.368993

Enhancement in Photovoltaic Characteristics of CdS/CdTe Heterojunction

Araştırma Makalesi / Research Article

Gökhan SÜRÜCÜ^{1,2,3*}, Hasan Hüseyin GÜLLÜ^{4,5}, Özge BAYRAKLI^{3,5}, Mehmet PARLAK^{3,5}

¹Department of Electrics and Energy, Ahi Evran University, 40100 Kirsehir, Turkey.

²Photonics Application and Research Center, Gazi University, 06500 Ankara, Turkey

³Department of Physics, Middle East Technical University (METU), 06800 Ankara, Turkey

⁴Central Laboratory, Middle East Technical University (METU), 06800 Ankara, Turkey

⁵Center for Solar Energy Research and Applications (GÜNAM), METU, Ankara 06800, Turkey

(Geliş/Received : 20.04.2017 ; Kabul/Accepted : 22.06.2017)

ABSTRACT

The polycrystalline p-type CdTe thin film was deposited to form a solar cell structure with n-type CdS thin film window layer. Material characterization of the deposited thin films were investigated by X-ray diffraction measurements and the preferred orientations were obtained along (111) direction at $2\theta \cong 24^\circ$ and $2\theta \cong 26.5^\circ$ for CdTe and CdS films, respectively. The optical behaviors were investigated according to the transmission spectrum and corresponding direct band gap values were found as 1.51 eV for CdTe and 2.22 eV for CdS thin films. The superstrate CdS/CdTe thin film heterostructure was investigated under the dark and illuminated current-voltage measurements. The heterostructure showed a photovoltaic behavior with the cell efficiency of %1.4. The effects of the etching process on the photovoltaic behavior of CdS/CdTe thin film heterostructure were also discussed and the cell efficiency was enhanced as about %1.6 eV.

Keywords: CdS/CdTe, thin film solar cell, etching.

CdS/CdTe Heteroekleminin Fotovoltaik Karakteristiğindeki Artışı

ÖZ

Güneş hücre yapısı elde etmek için, çoklu kristal p-tipi CdTe ince filmi pencere katmanı olan n-tipi CdS üzerine üretildi. Üretilen filmlerin malzeme özellikleri X-ışını kırınım desenleri ile karakterize edilip, tercihli yönelim sırasıyla CdTe ve CdS için $2\theta \cong 24^\circ$ ile $2\theta \cong 26.5^\circ$ de (111) yönünde elde edilmiştir. Optiksel davranış ve direk geçişli yasak enerji band aralığı değerleri geçirgenlik ölçümleri ile araştırıldı ve yasak enerji bant aralıkları CdTe için 1.51 eV, CdS için ise 2.22 eV bulundu. CdS/CdTe üst tabaka ince film hetero yapısı karanlık ve ışık altında akım-voltaj ölçümleri ile incelendi. Hetero yapı %1.4 verimlilik ile fotovoltavik davranış gösterdi. Aşındırma işleminin CdTe/CdS ince film hetero yapısının fotovoltavik verimliliğine etkisi tartışıldı ve hücre verimliliğinin %1.6 eV a kadar arttığı gözlemlendi.

Anahtar Kelimeler: CdS/CdTe, ince film güneş gözesi, aşındırma.

1. INTRODUCTION

In the research field of photovoltaics, CdTe have been the attractive material to enrich the interests together with CuInSe₂ and CuInGaSe₂ [1]. It is a direct optical band gap semiconducting compound with the value of about 1.5 eV at room temperature and shows high absorption behavior with an absorption coefficient of around 10^4 cm^{-1} in the visible spectral region. Together with these properties, it is one of the ideal photovoltaic absorber matching with the solar spectrum with a sharp absorption edge in which a few micrometers thin film layer is enough to absorb 90% of the incident photons [2, 3]. The use of CdS as a window layer and thus the CdS/CdTe heterojunction is ongoing of interest as a potential high efficient and low cost photovoltaic cell. In this structure,

CdS plays a role of a good n-type wide band gap window with a high optical band gap of about 2.4 eV [4]. The CdS can be obtained by a variety of fabrication techniques such as close spaced sublimation, sol-gel technique, chemical bath deposition (CBD), thermal evaporation, chemical vapor deposition, molecular beam epitaxy, and spray pyrolysis. According to the variation of the deposition process, different optical, structural, electrical, and morphological properties could be achieved [5–10]. Among these methods, RF magnetron sputtering has received much more attention in recent years due to its capacity to deposit CdS thin films. Moreover, it enables to get higher film quality such as better adhesion, larger coverage, high uniformity, controllable thickness at low substrate temperature [11].

In this work, the CdS/CdTe heterojunction solar cell was fabricated in the front-wall configuration. In this type structure, n-CdS thin film window layer was sputtered on

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : thesurucu@gmail.com

the fluorine doped tin oxide (FTO) coated soda-lime glass (SLG) substrates, and p-CdTe and Cu-Au ohmic metal contact were subsequently deposited onto this film layer. In addition to the material properties of CdS and CdTe thin film layers were determined. Moreover, the solar response of the fabricated SLG/FTO/CdS /CdTe/ Cu-Au structure was analyzed to see the effect of CdCl₂ treatment on the CdTe absorber layer.

2. EXPERIMENTAL STUDY

A schematic superstrate configuration of the fabricated heterostructure is shown in Fig.1. In the deposition process, n-type CdS thin film layer was deposited by radio-frequency (RF) magnetron sputtering of single CdS target with a substrate temperature of 200°C onto a transparent conducting oxide (TCO)-coated soda-lime glass. In this study, FTO was used as a TCO material which exhibits high transparency in the visible region and also high electrical conductivity. The junction was produced by single target RF magnetron sputtering of CdTe film layer on the CdS with the substrate temperature of 150°C. Inficon XTM/2 deposition monitor including a gold-coated quartz crystal inside the vacuum chamber was used to follow and control in situ deposition rates. The actual reading in thickness of the films was done by a Dektak 6M profilometer. As a final step, Cu-Au ohmic back contact was deposited on top of CdTe layer, with thermal evaporation of Au and e-beam evaporation of Cu on the film surface. The film depositions and contact geometry were designed to get a 4×4 cm² active surface area for the solar cell measurements.

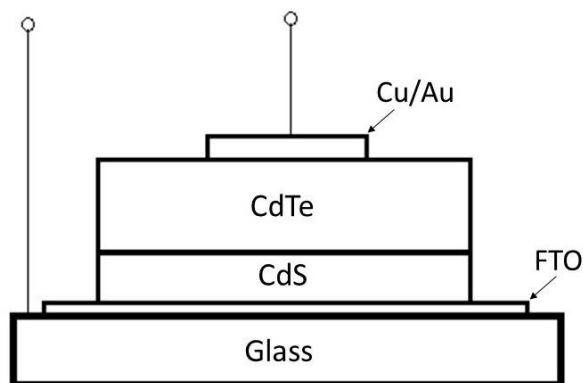


Figure 1. Schematic diagram of FTO/CdS/CdTe heterostructure

The material characterization of the deposited film layers was performed in terms of structural and optical analysis. The X-ray diffraction (XRD) line profiles were investigated by using a Rigaku Miniflex XRD system equipped with CuK α radiation ($\lambda=1.54 \text{ \AA}$). In addition, the atomic concentration of the constituents in film samples was determined by Quanta 400 FEG model scanning electron microscopy (SEM) equipped with energy dispersive X-ray spectroscopy (EDS) analyzer

system. For optical characterization, transmission spectra of the films were measured using Perkin-Elmer LAMBDA 45 UV/Vis spectrophotometer in the wavelength interval from 320 to 1100 nm at room temperature. The final heterostructure was investigated by current-voltage (I-V) measurements under dark and illuminated conditions in which the spectrum was calibrated to the AM1.5 global normalized to 100 mW/cm². In the evaluation of device processing, wet etching CdCl₂ treatment was carried out on the complete the full device structure and the resulted I-V characteristics were analyzed under the aim of producing high-quality CdTe layers with large grains and few defects [12].

3. RESULTS AND DISCUSSION

The atomic ratios of the elements in the CdS and CdTe thin films were investigated by EDS measurements, and they were found to be nearly stoichiometric within the experimental error limit of the precision of EDS analysis.

In addition to monitoring the thickness of the films in deposition processes via thickness monitor, the final values were determined by using a stylus profilometer and they were observed as about 80 nm and 3 μm , for CdS and CdTe layers, respectively.

XRD spectrum of the films was studied to investigate the phase formation of the structures. According to the XRD results, both of the CdTe and CdS films revealed single phase and polycrystalline nature (Fig.2 and Fig.3). As given in Fig.2, the high intensity reflection in CdTe film structure was obtained at the major peak $2\theta \cong 24^\circ$ indicating the preferred orientation of CdTe films along (111) direction and giving stable zinc-blende crystalline structure [13, 14]. For the CdS layer, the XRD profile was also matched with the ICDD database and literature [15, 16] and the existence of highly preferred orientation peak at $2\theta \cong 26.5^\circ$ along (111) orientation direction that confirms a wurtzite structure [17] as illustrated in Fig.3.

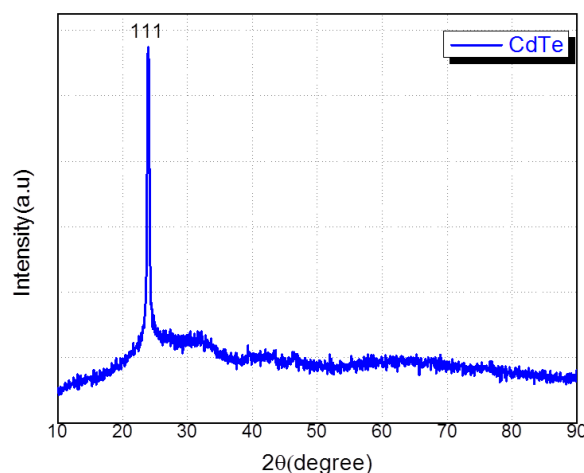


Figure 2. XRD profile of the CdTe thin film layer

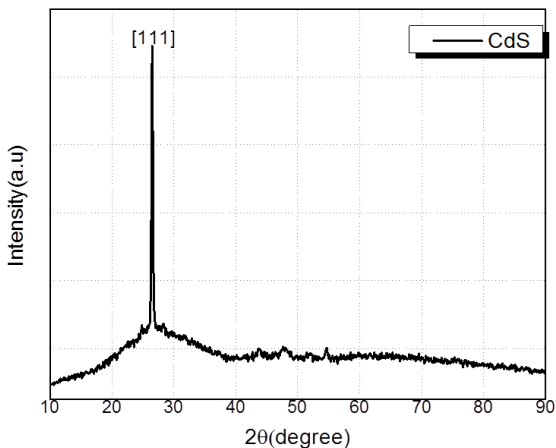


Figure 3. XRD profile of the CdS thin film layer

Average dimension of the crystallites in the CdTe and CdS thin films were evaluated by using Scherrer formula [18],

$$d = \frac{k\lambda}{\beta \cos \theta} \tag{1}$$

where k is the Scherrer constant and it was estimated as 0.94 with cubic symmetry [19], λ is the wavelength of X-rays, β is defined as the diffraction peak width at full width at half maximum (FWHM), and θ is the angle between the incident and diffracted rays. The results of this calculation depends on the peak broadening however, strain or composition variations in the structure are not included to this approximation, therefore the grain size values can be underestimated [20]. From the XRD results of the films and by using Eq.1, these values were found as about 5.4 and 5.6 nm for CdS and CdTe films, respectively. In addition to the particle size analysis, the mechanical behavior of the polycrystalline thin films were investigated from the distribution of the crystallite orientations [21].

$$\varepsilon = \left(\frac{\lambda}{d \cos \theta} - \beta \right) \frac{1}{\tan \theta} \tag{2}$$

From the XRD results of the films and by using Eq.2, the strain values, ε , were found as 5.68 and 5.02 ($\times 10^{-2}$) for the CdTe and CdS samples, respectively.

Room temperature optical transmission spectra in the wavelength interval of 320-1100 were shown in Fig.4 and Fig.5 for CdS and CdTe film layers, respectively. From Fig.3, CdS film exhibits high transparency with about 85% transmissivity in the wavelength region of interest and in Fig.5, transmission values of CdTe film were observed at top value of around 50% transmissivity. The absorption coefficient (α) of the samples was found by using the transmission data by using the following relation;

$$\alpha(\lambda) = \frac{1}{d} \ln \left(\frac{I_0}{I} \right) \tag{3}$$

where $T(\lambda)$ is the normalized transmittance, t is the thickness of the thin films and I is the intensity of transmitted light and I_0 is the incident light perpendicular to the surface of sample. These values were obtained from the experiment $\alpha I_0 / I_s$ corresponds to the light intensity transmitted only from the film layer.. According to the optical transmission spectra of the films, the absorption coefficient values were calculated as about 2.6 and 0.9 ($\times 10^4$) cm^{-1} for CdS and CdTe layer, respectively. Fig. 4 (inset) and Fig.5 (inset) depict the relation between absorption coefficient and photon energy for the thin films in the high absorption region. According to the Tauc plots [22], the optical band gap values were determined by considering the direct optical transition in the structures, and for CdS and CdTe films, they were obtained as 2.22 and 1.51 eV, respectively.

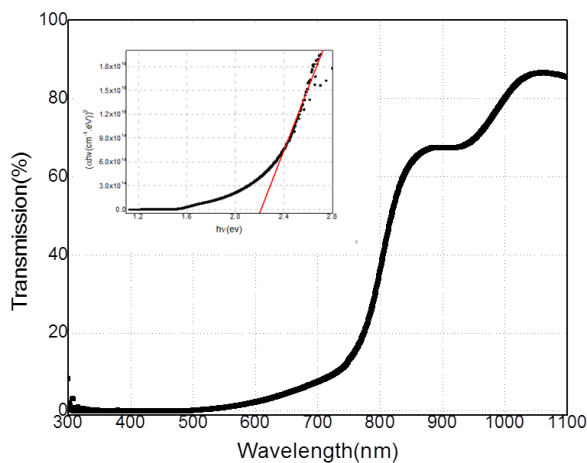


Figure 4. Transmission spectrum and corresponding Tauc plot (inset) of CdS

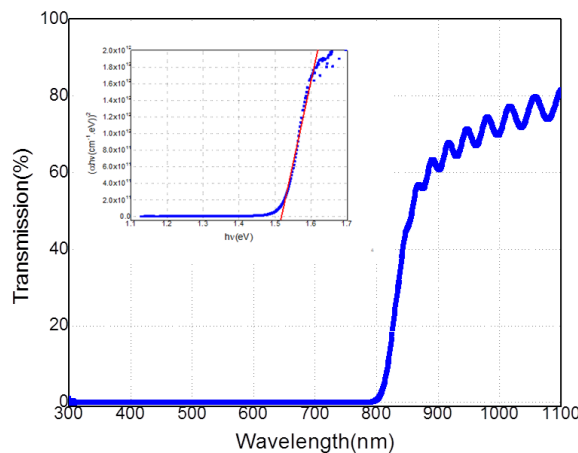


Figure 5. Transmission spectrum and corresponding Tauc plot (inset) of CdTe

On the completed heterostructure, electrical characteristics were measured by applying standard solar cell techniques as I-V measurements under dark and illuminated conditions. It was also investigated before and after wet CdCl_2 treatments on the CdTe layer surface.

Under these conditions, the basic layer structure with and without etching processes, solar cell parameters were determined as shown in Fig.6. The cell performance was found from the forward I-V region as $V_{OC} = 0.35$ mV, $J_{SC} = 1.12$ mA/cm² with FF = 0.35, and the cell efficiency was calculated as 1.4%. After etching process, the parameters of V_{OC} and J_{SC} are achieved to 0.50 mV and 0.65 mA/cm², respectively. As a result, the solar efficiency was obtained as 1.6% with FF = 0.47. This observed improvement in the performance of the cell can be the indication as the CdCl₂ treatment effect that can modify the defect structure in CdTe resulting in better overall transport properties [23].

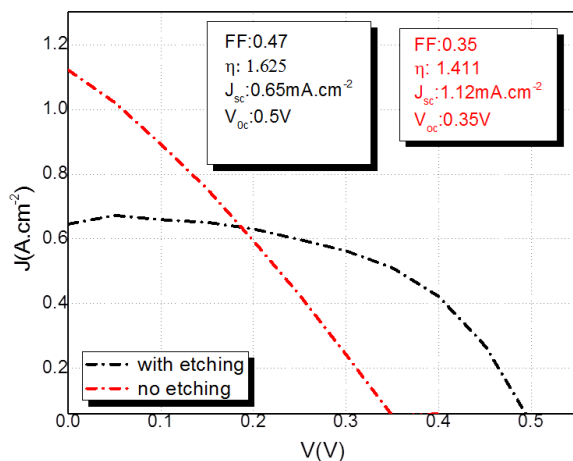


Figure 6 J-V response of the SLG/FTO/CdS/CdTe/Cu-Au structure

4. CONCLUSION

In this study, high quality CdS and CdTe thin film layers were deposited by RF magnetron sputtering technique from single target. The front contact surface was formed by using FTO coated SLG, and then back contact of this superstrate structure was established by depositing Cu-Au onto the CdTe layer. Material characterization of the deposited film layers were studied in terms of structural and optical measurements, and both films were found in polycrystalline nature and having direct band gap characteristics with 2.4 and 1.5 eV, for CdS and CdTe, respectively. Additionally, the SLG/FTO/CdS/CdTe/Cu-Au heterostructure device was characterized for photovoltaic applications and the effects of the wet CdCl₂ etching treatment on the device performance were investigated. It is seen that there is an increase in the value of V_{oc} from 0.35 mV to 0.50 mV while the value of J_{sc} decreased from 1.12 mA/cm² to 0.65 mA/cm². On the other hand, FF value enhanced with the etching process. As a result, the obtained 1.4 % cell efficiency was improved with wet CdCl₂ etching treatment as about 1.6 %. It is deduced that the impact of the CdCl₂ step improved photovoltaic behaviors of the fabricated heterostructure.

REFERENCES

- Mughala M. A., Engelkena R. and Sharmab R., "Progress in indium (III) sulfide (In₂S₃) buffer layer deposition techniques for CIS, CIGS, and CdTe-based thin film solar cells", *Solar Energy*, 120: 131-146, (2015).
- Morales A. A., "Thin film CdS/CdTe solar cells: research perspectives", *Solar Energy*, 80: 675-681, (2006).
- Chu T.L. and Chu S.S., "Thin film II-VI photovoltaics", *Solid-State Electron*, 38: 533-549, (1995).
- Lee J., "Comparison of CdS films deposited by different techniques: Effects on CdTe solar cell", *Appl. Surf. Sci.* 252: 1398-1403, (2005).
- Matsumoto H., Kuribayashi K., Komatsu Y., Nakano A., Uda H. and Ikegami S., "30 × 30 cm² CdS/CdTe Single Substrate Module Prepared by Screen Printing Method", *Japan. Journal of Applied Physics*, 22: 891, (1983).
- Wu X., Keane J.C., Dhare R.G., Dehart C., Albin D.S., Duda A., Gessert T.A., Asher S.D., Levi H. and Sheldon P., "Seventeenth European Photovoltaic Solar Energy Conference", *Proceedings from the International Conference WIP Munich and ETA-Florence*, 1: 995, (2001).
- Abbas Shah N., Ali A., Ali Z., Maqsood A. and Aqili A.K.S., "Properties of Te-rich cadmium telluride thin films fabricated by closed space sublimation technique", *Journal of Crystal Growth*, 284: 477, (2005).
- Nakayama N., Matsumoto H., Nakano A., Ikegami S., Uda H., Yamashita T., "Ceramic thin film CdTe solar cell." *Journal of Applied Physics*, 19: 703 (1980).
- Khan M.A., Shah N.A., Ali A., Basharat M., Hannan M.A. and Maqsood A., "Fabrication and characterization of Cd enriched CdTe thin films by close spaced sublimation." *Journal of Coatings Technology and Research*, 6: 251-256, (2009).
- Menezes C.A., "Low resistivity CdTe-Te films by a combined hot-wall-flash evaporation technique." *ECS Journal of Solid-State Science and Technology*, 127: 155 (1980).
- Rondiyaa S., Rokadea A., Fundea A., Karthab M., Pathanb H. and Jادkarb S., "Synthesis of CdS thin films at room temperature by RF-magnetron sputtering and study of its structural, electrical, optical and morphology properties", *Thin Solid Films*, 631: 41, (2017).
- Zhou F., Xiao C. W., Hong C. W., Ce Z. Z., "Achievements and challenges of CdS/CdTe solar cells", *Int. J. of Photoenergy*, 2011: 297350, (2011).
- JCPDS "Joint Committee on Powder Diffraction Standards" Card No: 89-3011.
- Bosio A., Romeo N., Mazzamuto S. and Canevari V., "Polycrystalline CdTe thin films for photovoltaic applications", *Prog. Cryst. Growth Charact. Mater.*, 52: 247-279, (2006).

15. JCPDS “Joint Committee on Powder Diffraction Standards” Card No: 80-0019.
16. JCPDS “Joint Committee on Powder Diffraction Standards” Card No: 89-0440.
17. Zhu X., Chass G.A., Kwek L.C., Rogach, A.L. and Su H., “Excitonic character in optical properties of tetrahedral CdX (X = S, Se, Te) Clusters”, *J. Phys. Chem. C*, 119: 29171–29177, (2015).
18. Roth A., “Vacuum Technology”, *North Holland*, Amsterdam, (1980).
19. Warren B.E., “X-ray Diffraction” *Addison-Wesley Pub. Co.*, USA, (1990).
20. Hall B.D., Zanchet D. and Ugarte D., “Estimating nanoparticle size from diffraction measurements” *J. Appl. Cryst.*, 33: 1335-1341, (2000).
21. Matthies S., Priesmeyer H.G. and Daymond M.R., “On the diffractive determination of single-crystal elastic constants using polycrystalline samples”, *J. Appl. Cryst.* 34: 585-601, (2001).
22. Tauc J., “Optical properties of solids”, *North Holland*, Amsterdam, (1970).
23. Ferekides C.S., Balasubramanian U., Mamazza R., Viswanathan V., Zhao H. and Morel D.L., “CdTe thin film solar cells: device and technology issues”, *Solar Energy* 77: 823–830, (2004).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

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

Sıcak ekstrüze edilmiş AA7075-Sicp kompozitlerin tribolojik karakteristiklerine ısıl işlemin etkisi

Effect of heat treatments on tribological characteristics of hot-extruded AA7075-Sicp composites

Yazar(lar) (Author(s)): Ulaş MATİK, Kübra TANATTI

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Matik U. ve Tanattı K., “Sıcak ekstrüze edilmiş AA7075-sic_p kompozitlerin tribolojik karakteristiklerine ısıl işlemin etkisi”, *Politeknik Dergisi*, 20(4): 807-814, (2017).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.368999

Sıcak Ekstrüze Edilmiş AA7075-SiC_p Kompozitlerin Tribolojik Karakteristiklerine Isıl İşlemin Etkisi

Araştırma Makalesi / Research Article

Ulaş MATİK^{1*}, Kübra TANATTI²

¹Karabük Üniversitesi, TOBB Teknik Bilimler MYO, 78050, Karabük, TURKEY

²Karabük Üniversitesi, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, 78050, Karabük, TURKEY

(Geliş/Received : 08.03.2017 ; Kabul/Accepted : 14.04.2017)

ÖZ

Toz metal kompaktların sıcak ekstrüzyonu ile üretilen ve farklı oranlarda 32 µm boyutlu SiC partiküller ile takviye edilen AA7075 Al matrisli kompozitlerin mikroyapı, sertlik ve tribolojik performansına T6 ve T73 ısıl işlemlerinin etkisi incelendi. Bu amaçla, soğuk olarak preslenmiş farklı SiC partikül içeriğine sahip AA7075 toz metal kompaktlar 480 °C’de, 12 mm çaplı çubuklar halinde ekstrüze edildi. T6 ve T73 ısıl işlemlerinin uygulandığı ekstrüze edilmiş numunelerin mikroyapı, sertlik ve tribolojik karakteristikleri tarama elektron mikroskobu (SEM), enerji dağınmımlı x-ray analizör (EDX), brinell sertlik ve adhesif aşınma test ve analizleri ile incelendi. Deneysel sonuçlar, SiC partikül içeriğinin artmasına bağlı olarak kompozitin sertlik ve aşınma direncinin de arttığını göstermektedir. Ayrıca, T6 ısıl işlemlenmiş numunelerin T73 ısıl işlemlenmiş numunelere göre daha iyi sertlik, sürtünme ve aşınma performansı gösterdiği tespit edildi.

Anahtar Kelimeler: AA7075, kompozit, ekstrüzyon, aşınma, sertlik.

Effect of Heat Treatments on Tribological Characteristics of Hot-Extruded AA7075-SiC_p Composites

ABSTRACT

The effect of T6 and T73 tempers on microstructure, hardness and tribological performance of hot-extruded reinforced with 32 µm sized SiC particles reinforced AA7075 Al matrix composites produced by hot-extrusion of powder metal compacts was investigated. For this purpose, the cold pressed AA7075 powder metal compacts with various SiC contents were extruded into 12 mm rod bars at 480 °C. The microstructure, hardness and tribological characteristics of T6 and T73 tempered samples were examined with scanning electron microscopy (SEM), energy dispersive x-ray analyzer (EDX), brinell hardness and adhesive wear tests. The results showed that the hardness and wear resistance of composites increases depending on the increase of SiC particle content. It was also determined that T6 tempered samples showed better hardness, friction and wear performance compared to T73 tempered samples.

Keywords: AA7075, composite, extrusion, wear, hardness.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

AA7XXX serisi alüminyum alaşımları düşük yoğunluk, yüksek dayanım, tokluk ve yorulma dayanımı gibi üstün özellikleri nedeniyle yüksek gerilim altında çalışan uçak bağlantı elemanları, dişli çark ve şaft gibi yapısal parçaların üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır [1–3]. AA7XXX serisi alaşımlar bu üstün özellikleri nedeniyle kompozit malzeme üretiminde matris malzemesi olarak tercih edilmektedir [4–10]. Bu amaçla üretilen kompozit malzemelerde takviye elemanı olarak SiC, TiC, Al₂O₃, TiO₂, B₄C ve TiB₂ gibi seramik partiküller yaygın olarak kullanılmaktadır [4,8,11–14]. Al alaşımlarının sertlik ve dayanım özelliklerini geliştirmek amacıyla uygulanan en yaygın yöntem ise çökelme sertleştirilmesi işlemleridir [15]. Ancak bu

amaçla uygulanan T6 tipi ısıl işlemlerin neden olduğu mikroyapısal değişimler ve matris yapıda oluşan intermetalik bileşikler yüksek mekanik özellikler sağlarken, alaşımın korozyon dayanımını azaltmaktadır. Özellikle AA7075 alaşımında ısıl işlemler sonucu matris yapıda oluşan intermetalikler ile matris arasında meydana gelen güçlü galvanik eşleşmeler alaşımın lokal korozyon türlerine olan duyarlılığını arttırmaktadır [16]. T6 ısıl işlemi bu alaşımları korozyona karşı oldukça duyarlı hale getirdiğinden, optimum mekanik ve korozyon dayanım özelliklerini elde etmek amacıyla, T73 olarak bilinen aşırı yaşlandırma ısıl işlemi uygulanmaktadır [16]. Ancak, T73 ısıl işlemi alaşımın korozyon dayanımını arttırırken, mekanik özelliklerini azaltmaktadır [17]. Abreu vd. [18] T6 ve T73 ısıl işlemlerinin AA7075 alaşımının sertlik, aşınma ve korozyon dayanım özelliklerine etkisini inceledikleri çalışmada, T73 ısıl işleminin korozyon direncini arttırırken sertlik ve aşınma dayanımlarında sırasıyla

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : matik@karabuk.edu.tr

%40 ve %15 oranlarında düşüş meydana getirdiğini rapor etmişlerdir. Holt vd. [19] T73 ısıl işleminin T6 ısıl işlemine göre AA7075 alaşımının dayanımını %10-15 azalttığını belirtmektedir. Benzer şekilde, Ranganatha vd. [20] T73 ısıl işleminin T6 ısıl işlemi uygulanmış numunelere göre AA7049 alaşımının çekme dayanımını %15 oranında azalttığını rapor etmişlerdir.

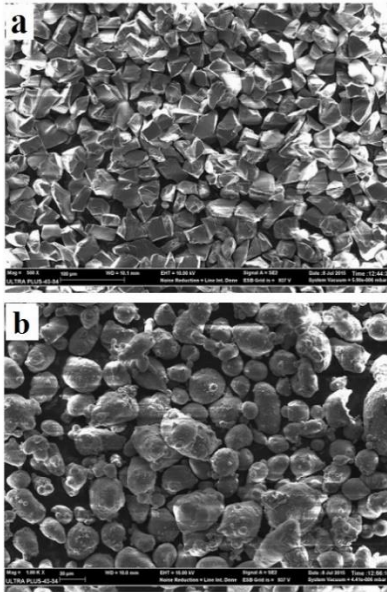
Bu çalışmada, toz metal kompaktların sıcak ekstrüzyonu ile üretilen ve farklı miktarlarda SiC partikül içeriğine sahip AA7075-SiC metal matrisli kompozitlerin mikroyapı, sertlik, sürtünme ve aşınma davranışlarına T6 ve T73 ısıl işlemlerinin etkisi incelendi

2. DENEYSEL METOT (EXPERIMENTAL METHOD)

Ortalama boyutu 32 µm olan SiC partikül takviyeli AA7075 metal matrisli kompozitlerin üretiminde, matris malzemesi olarak kimyasal kompozisyonu Çizelge 1'de verilen ve ortalama partikül boyutu 54 µm olan ön alaşımlı AA7075 alüminyum tozu kullanıldı (Şekil 1).

Çizelge 1. AA7075 alaşımının kimyasal kompozisyonu (Chemical composition of AA7075 alloy).

Zn	Mg	Cu	Si	Cr	Mn	Fe	Al
4,78	1,84	1,45	0,24	0,25	0,26	0,23	Kalan



Şekil 1. Kompozit üretimi için kullanılan tozlar a) SiC b) AA7075 (Powders used to composite production a) SiC b) AA7075).

AA7075 alaşım tozlarına ağırlıkça farklı oranlarda (%5, 10, 15 ve 20) SiC partikül ilave edilerek elde edilen toz karışımları üç eksenli karıştırıcıda (Turbula T2F) 45 dakika süreyle karıştırıldı. Toz karışımları 350 MPa basınç altında 35 mm çaplı silindirik bloklar halinde tek eksenli olarak preslendi. Presleme işleminin ardından sıcak iş takım çeliğinden imal edilen kalıp düzeneği içerisinde 480 °C'de 1 saat süreyle ısıtılan kompaktlar, direkt ekstrüzyon tekniği ile 12 mm çaplı çubuklar

halinde ekstrüze edildi (Şekil 2). Ekstrüzyon işleminde malzemenin akışını kolaylaştırmak ve daha iyi yüzey kalitesi elde etmek amacıyla kalıp iç yüzeyleri, kalıp ayırıcı yağ ile yağlandı.



Şekil 2. Ekstrüze edilmiş çubuk (Extruded bar).

Ekstrüzyon işleminin ardından numunelere T6 ve T73 yaşlandırma ısıl işlemleri uygulandı. Bu amaçla, 480 °C'de 2 saat süreyle solüsyona alınıp suda soğutulan numunelere, T6 işlemi için 120 °C'de 24 saat, T73 işlemi için önce 110 °C'de 8 saat ardından 175 °C'de 8 saat olmak üzere iki kademeli yaşlandırma ısıl işlemi uygulandı.

Numunelerin deneysel yoğunluğu yüksek hassasiyetli ($\pm 0,1$ mg) terazi ve yoğunluk kiti kullanılarak Arşimet prensibine göre belirlenirken, teorik yoğunlukları ve gözenek oranları Eş.1 ve Eş.2'ye göre hesaplandı.

$$\rho = \frac{(M_{AA7075} + M_{SiC})}{(V_{AA7075} + V_{SiC})} \quad (1)$$

ρ : Yoğunluk, M : Kütle, V : Hacim

$$\% \phi = \left(1 - \frac{\rho_{Deneysel}}{\rho_{Teorik}} \right) \cdot 100 \quad (2)$$

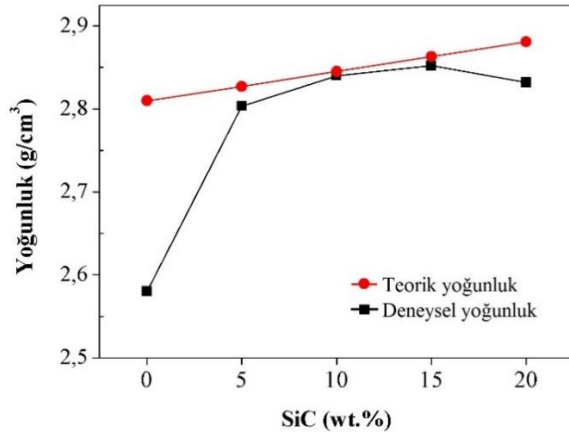
ϕ : Gözenek oranı, ρ : Yoğunluk

Sertlik değerleri Brinell HBW 2,5x31,25 standardında QNESS Q250M makro sertlik cihazı kullanılarak tespit edildi. Aşınma deneyleri standart pin-on-disk tipi aşınma cihazı kullanılarak 40 N yük altında, 1000 metre mesafede ve 1 m/s'lik kayma hızında gerçekleştirildi. Aşınma testinde AISI 52100 çeliğinden imal edilmiş 58-60 HRc sertliğine sahip aşındırıcı disk kullanıldı. Aşınma dayanımı aşınma öncesi ve sonrası $\pm 0,1$ mg hassasiyetinde yapılan ağırlık ölçümleri ile geleneksel ağırlık değişim metoduna göre belirlendi. Mikroyapı, kimyasal kompozisyon ve aşınma yüzeyleri, enerji dağılımlı x-ray analizör destekli Carl Zeiss Ultra Plus Gemini Fesem tarama elektron mikroskobu (SEM/EDX) kullanılarak incelendi.

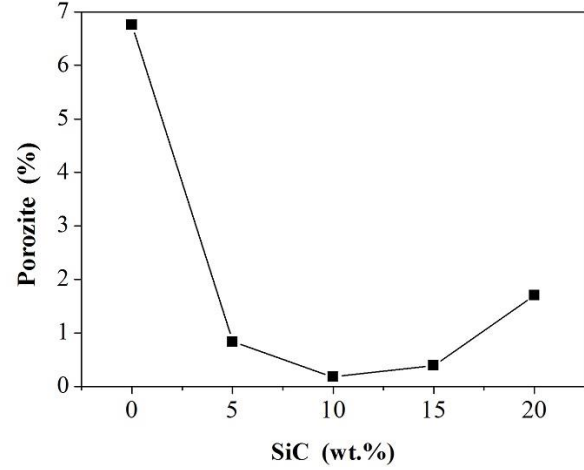
3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Alaşım ve kompozit numunelerin partikül içeriğine bağlı teorik ve deneysel yoğunluk değerleri ile buna bağlı gözenek oranları sırasıyla Şekil 3 ve Şekil 4'te verilmiştir. SiC partikül içermeyen alaşım numunenin

yoğunluğu $2,6 \text{ g/cm}^3$ seviyesinde iken, matris yapıya ilave edilen partiküller yoğunlukta ani bir artış meydana getirmiş ve % 10 partikül ilaveli kompozitlerde teorik yoğunluğa oldukça yaklaşmıştır. Yoğunluk artışı ile birlikte gözenek oranlarında azalma meydana gelmiş, %5, 10 ve 15 partikül takviyeli kompozitlerde %1'in altına düşmüştür. Ancak partikül miktarının %10'un üzerine çıkması ile birlikte gözenek oranında artış eğilimi başlamıştır (Şekil 4). Alaşım ve kompozit numunelerde gözenek morfolojisi küresel ya da küresele yakın olup, gözenek boyutu genel olarak $10 \mu\text{m}$ altı seviyelerde ölçülmüştür. Ancak düşük yoğunluğa bağlı olarak gözeneklerin daha yoğun gözlemlendiği alaşım numunelerde $15 \mu\text{m}$ boyutlu gözeneklerin varlığı da tespit edilmiştir.

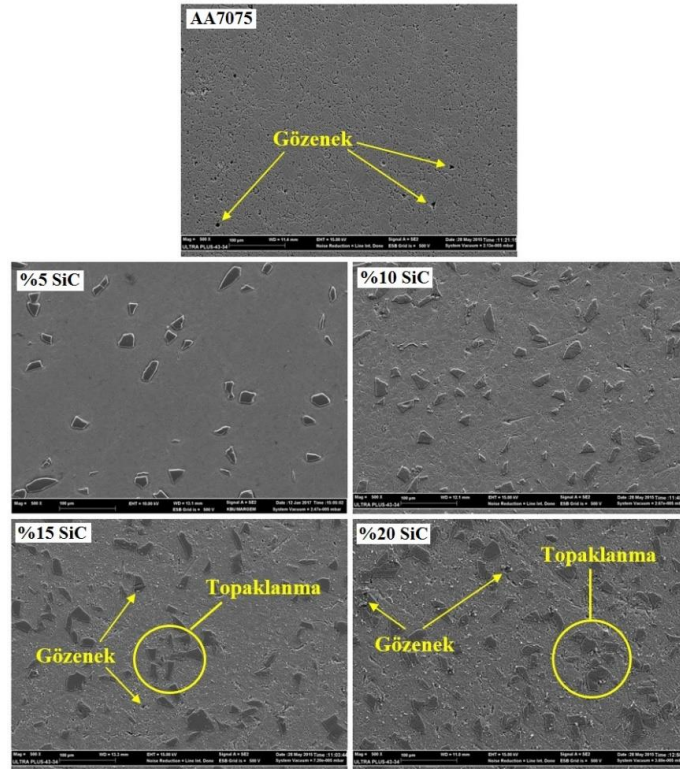


Şekil 3. SiC partikül içeriği ile teorik ve deneysel yoğunluğun değişimi (Variation of theoretical and experimental density with SiC particle content).



Şekil 4. Porozitenin SiC partikül içeriği ile değişimi (Variation of porosity with the SiC particle content).

Ekstrüze edilen toz metal kompaktların yoğunluğu ön presleme basıncı, partikül şekli ve boyutu, ekstrüzyon sıcaklığı ve oranı gibi birçok parametreden etkilenmektedir. Elde edilen sonuçlar üretim parametrelerinin yüksek yoğunluklu alaşım numuneleri elde edecek şartları oluşturmadığını ortaya koymaktadır. Alaşım numunelerde daha yüksek yoğunluk elde edilmesi beklentisine karşın, bunun gerçekleşmemesinin en önemli nedeninin AA7075 alaşımının kolay ekstrüze edilebilirliğinden dolayı ekstrüzyon itici basıncının düşük seviyelerde kalması ve oluşan basıncın da toz metal biyetlerde yüksek

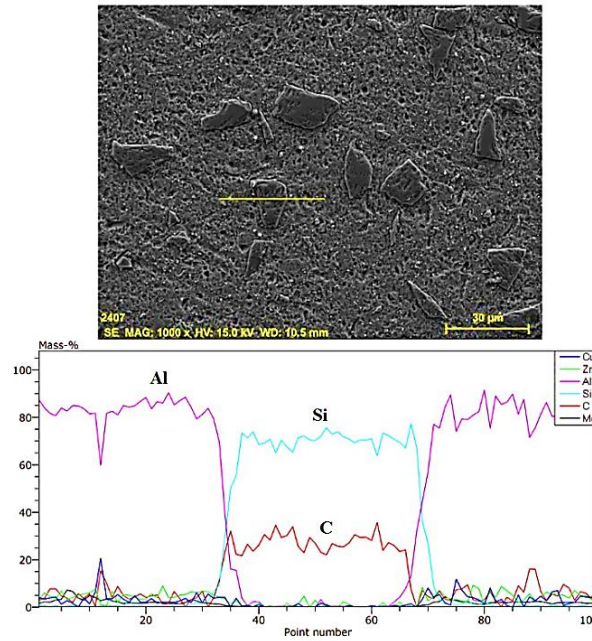


Şekil 5. Alaşım ve kompozit numunelerin SEM görüntüleri (SEM images of the alloy and composite samples).

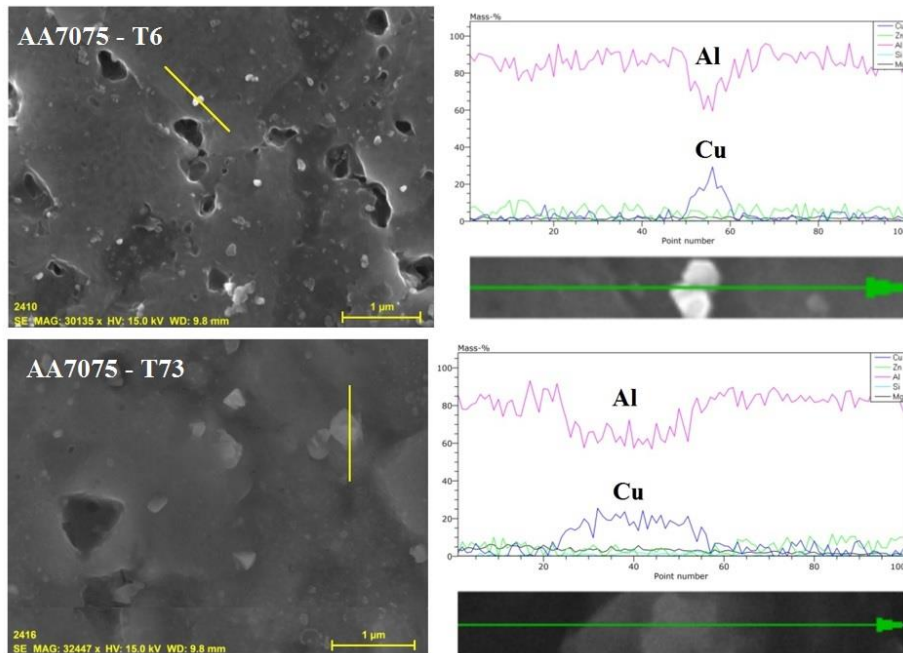
deformasyon meydana getirecek düzeye ulaşmaması olarak değerlendirilmektedir. Buna karşın aynı koşullarda ekstrüze edilen kompozitlerde, takviye partiküllerin ekstrüzyon akışını zorlaştırması biyetler üzerindeki ekstrüzyon itici basıncının artmasına ve artan basınçla birlikte ikincil sert fazın yük transferi sağlayarak matrisin deformasyonunu kolaylaştırması yoğunluk artışında etkili olmuş olabilir. Ancak ikincil sert faz miktarındaki artışın kritik sınırı (% 10) aşması topaklanma, gözenek ve çatlak oluşumu gibi problemlere yol açmış ve yoğunluk değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Alaşım ve kompozit numunelerin mikroyapı

görüntülerde çatlak oluşumuna rastlanmazken gözenek ve topaklanmalar tespit edilmiştir (Şekil 5). Kompozitlerde tespit edilen bu gözenek ve topaklanmalar mekanik özellikleri zayıflatmaktadır [7,21–23]. Kompozit numuneye ait SEM imajı ve çizgisel EDX analizi Şekil 6’da verilmiştir.

T6 ve T73 ısı işlemleri numunelerin mikroyapısı yakından incelendiğinde ise Al-Cu intermetalik bileşiklere ait küresel taneciklere rastlanmıştır. Al-Cu intermetalik bileşiklere ait taneciklerin SEM görüntüleri ve çizgisel EDX analizleri Şekil 7’de görülmektedir. T6 ısı işlem uygulanmış numunelerde, bu intermetalik taneciklerin



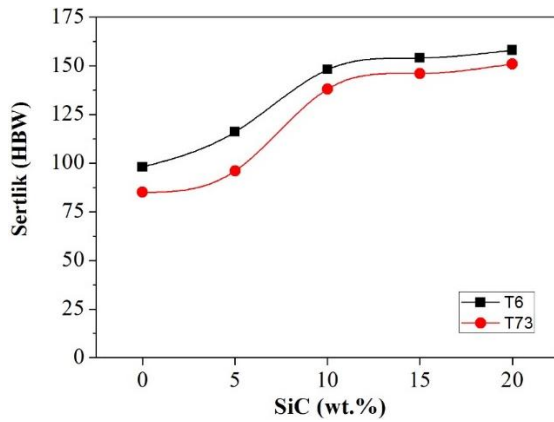
Şekil 6. Kompozit numunenin çizgisel EDX analizi (SEM image and line scan EDX analysis of the composite sample).



Şekil 7. T6 and T73 ısı işlemleri numunelerin SEM görüntüleri ve çizgisel EDX analizleri (SEM images and line scan EDX analyses of T6 and T73 tempered samples).

küçük boyutlu ve iyi bir dağılım gösterdiği tespit edilmiştir. T73 ısıtılmalı numunelerde ise aşırı yaşlanmaya bağlı olarak tane irileşmesi meydana geldiği görülmüştür. Çökeltilerin irileşmesinde aşırı yaşlandırmanın etkili olduğu çeşitli çalışmalarda da rapor edilmiştir [17,24].

Isıl işlem türü ve SiC içeriğine bağlı sertlik değişimi Şekil 8'de görülmektedir. Her iki yaşlandırma işleminde de, matris yapıya ilave edilen partikül miktarının artışı, dağılım sertleşmesi mekanizması ile kompozitin sertlik değerlerinde artışa neden olmuştur. Kompozit malzemelerde artan sert faz içeriği kompozitin sertliğinde artış meydana getirdiği çeşitli çalışmalarda da rapor edilmiştir [13,25–30]. Ancak, kompozitlerin sertliği yalnızca partikül içeriğine bağlı olmayıp, gözenek miktarı, şekli ve boyutu ile takviye elemanı boyutu, matristeki dağılımı ve topaklanması gibi birçok faktöre de bağlıdır [26]. Matris yapıya ilave edilen partikül miktarı kritik sınır üzerine çıktığında ise takviye elemanlarında meydana gelen topaklanmalar kompozitin sertliğinin düşmesine neden olmaktadır [7]. Şekil 8'de görüldüğü gibi %5 ve %10'luk partikül ilavesi kompozitin sertliğinde kayda değer bir artış meydana getirirken, %15 ve %20 partikül ilaveli kompozitlerde artış eğilimi aynı şekilde devam etmeyip yataya yakın bir seyir göstermiştir. Bu durum, %15 ve %20'lik partikül ilavesinin yoğunluğu azaltması ve buna bağlı gözenek artışıyla açıklanabilir [31].

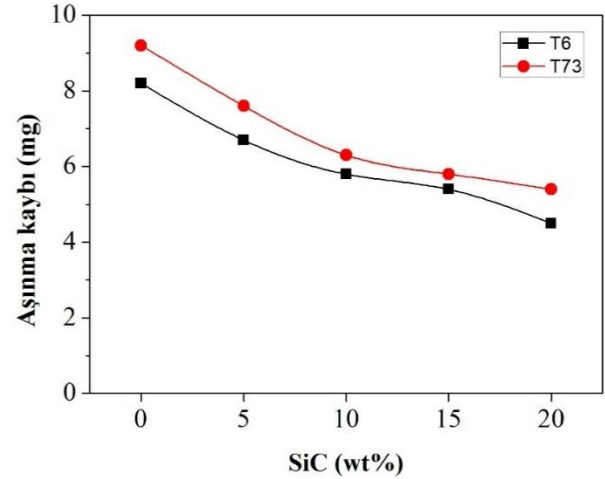


Şekil 8. Isıl işlem ve partikül içeriğine bağlı sertlik değişimi (Variation of hardness with the tempers and SiC particle content).

Isıl işlem sıcaklığı dikkate alındığında en yüksek sertlik değerleri T6 ısıtılmalı numunelerde elde edilmiştir. T73 ısıtılmalı işlemi ile elde edilen sertlik değerleri T6 ısıtılmalı işlemine göre nispeten %15-20 daha düşük değerlerde kalmıştır. Sertlik değerlerinin düşük seviyelerde kalması T73 yaşlandırma işleminin ikinci kademesinde uygulanan yüksek sıcaklığın neden olduğu aşırı yaşlanma ile tane içi ve sınırlarındaki çökeltilerin kabalaşması ile açıklanabilir [32,33].

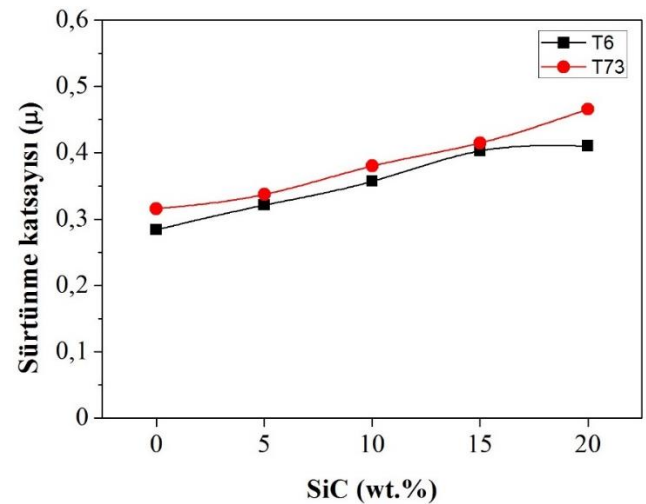
Alaşım ve kompozit numunelerin partikül içeriği ve ısıtılmalı işlem türüne bağlı aşınma kayıpları Şekil 9'da görülmektedir. Genel aşınma prensibi olarak matris yapıya eklenen partiküllerin neden olduğu sertlik artışı,

kompozitlerin aşınma dayanımını arttırırken aşınma kayıplarını azaltmıştır. Alüminyum matrisli kompozitlerin aşınma direnciyle ilgili benzer sonuçları ortaya koyan çeşitli çalışmalar mevcuttur [23,32,33]. Ayrıca, yaşlandırma işlemleri sonrası ulaşılan sertlik değerleri dikkate alındığında, T6 ısıtılmalı numuneler T73 ısıtılmalı numunelere göre daha iyi aşınma performansı göstermiştir.



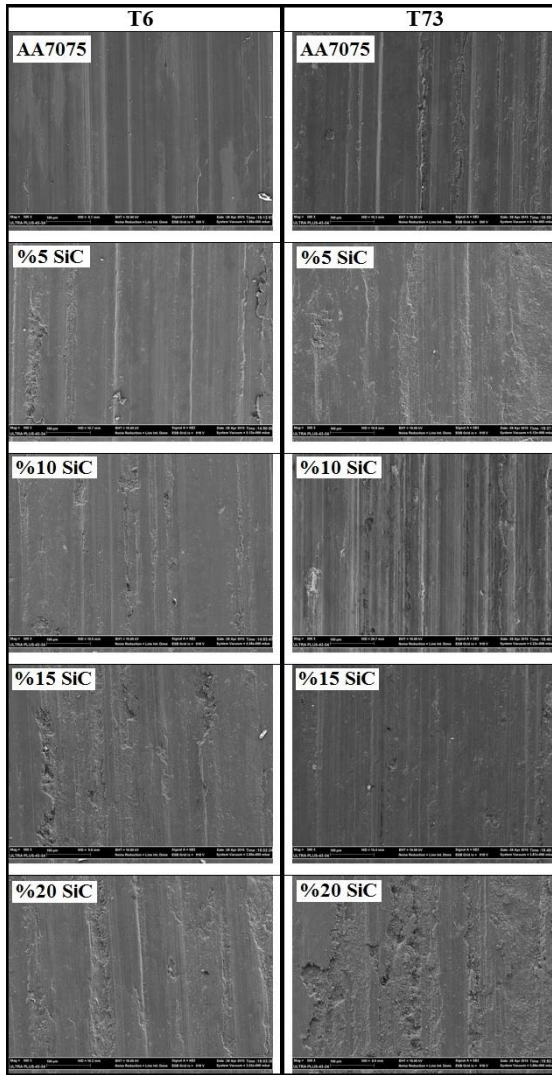
Şekil 9. Isıl işlem ve partikül içeriğine bağlı aşınma kaybı değişimi (Variation of weight loss with the tempers and SiC particle content).

Aşınma testlerinden elde edilen anlık sürtünme kuvvet değerleri incelendiğinde, her iki ısıtılmalı işlem türünde de en düşük sürtünme katsayıları alaşım numunelerde elde edilirken, matris yapıya ilave edilen partikül miktarının artışıyla birlikte sürtünme kuvvet değerlerinin arttığı tespit edilmiştir (Şekil 10). Ayrıca ortalama sürtünme kuvvet değerleri birbirine çok yakın olmakla birlikte, T6 ısıtılmalı işleminin alaşım ve kompozit numunelerin sürtünme özelliklerini iyileştirdiği söylenebilir. Alüminyum alaşımalarında artan sertliğe bağlı olarak sürtünme katsayısının azaldığı çeşitli çalışmalarda da rapor edilmiştir [33,36].



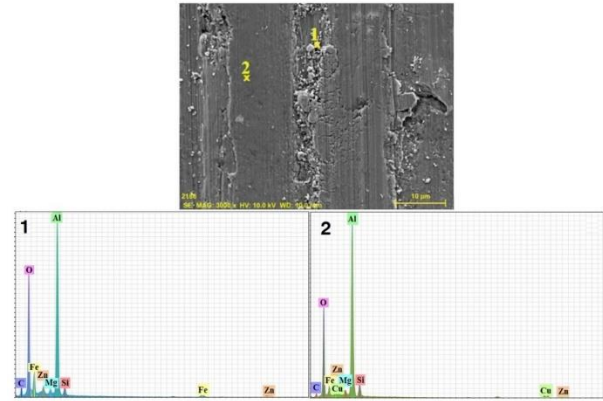
Şekil 10. Isıl işlem ve partikül içeriğine bağlı sürtünme katsayısı değişimi (Variation of friction coefficient with the tempers and SiC particle content).

Şekil 11’de T6 ve T73 ısıt işlemleri uygulanan AA7075 alaşım ve kompozit numunelerin 40N yük altında ve 1 ms^{-1} kayma hızında elde edilen aşınma yüzeylerinin SEM görüntüleri verilmektedir. Aşınma yüzeyleri incelendiğinde adhesif ve abrasif aşınma mekanizmalarının meydana geldiği anlaşılmaktadır. Aşınma yüzeylerinde adhesif aşınmaya bağlı plastik deformasyon ve kopma şeklinde malzeme transferlerinin yanı sıra, kayma yönünde dar ve derin yırtıklarla birlikte oldukça geniş oluk şeklinde aşınma bölgelerinin olduğu da görülmektedir. Özellikle takviye oranının artmasına bağlı olarak takviye elemanlarının toplanması sonu düşük bağ kuvvetinin olduğu belgelerde meydana gelen kopmalar daha çok %15 ve %20 partikül içeren kompozit numunelerde tespit edilmiştir. Meydana gelen bu kopmaların aşınma şiddetini arttırdığı, yüzey görünümünden de anlaşılmaktadır. Ayrıca ısıt işlem türüne bağlı olarak aşınma mekanizmaları arasında ayırt edilir bir farklılık tespit edilememiştir.



Şekil 11. Alaşım ve kompozit numunelerin aşınma yüzey SEM görüntüleri (SEM images of the worn surface of the alloy and composite samples).

Şekil 12’de T6 ısıt işlem uygulanmış %10 SiC takviyeli kompozit numuneye ait aşınma yüzeyi SEM görüntüsü ve EDX analizleri verilmektedir. Analizlerde Fe ve O değerlerinin mevcudiyeti dikkat çekmektedir. Aşınma sırasında sürtünme yüzeyinde artan sıcaklığa bağlı olarak oksit tabakası oluşmaktadır. Ayrıca, aşındırıcı disk yüzeyinde meydana gelen aşınmalar nedeniyle disk yüzeyinden kopan parçacıkların numune yüzeyine yapıştığı EDX analiz sonucundaki Fe elementinin varlığıyla anlaşılmaktadır.



Şekil 12. Kompozit numunenin aşınma yüzey görüntüsü ve EDX analizleri (Worn surface image and EDX analyzes of the composite sample).

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada toz metal kompaktların sıcak ekstrüzyonu ile farklı SiC partikül içeriğine sahip AA7075 Al matrisli kompozitlerin mikroyapı, sertlik ve tribolojik özelliklerine T6 ve T73 ısıt işlemlerinin etkisi incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalarda ulaşılan sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

1. Toz metal kompaktların sıcak ekstrüzyonu ile AA7075/SiC_p Al matrisli kompozitler başarılı bir şekilde üretilmektedir.
2. SiC partikül ilavesi yoğunluk artışı ile birlikte kompozitlerin sertlik ve aşınma dayanımlarını arttırmıştır.
3. T6 ısıt işlemi sertlik artışı ile birlikte alaşım ve kompozit numunelerin sürtünme ve aşınma özelliklerini iyileştirmiştir.
4. Her iki ısıt işlem türünde de baskın aşınma mekanizması abrasiftir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENT)

Bu çalışma Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri programı ile desteklenmiştir (Proje No: KBÜ-BAP-14/2-YL-019).

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Ezatpour H. R., Torabi Parizi M., Sajjadi S. A., Ebrahimi G. R. and Chaichi A., "Microstructure, mechanical analysis and optimal selection of 7075 aluminum alloy

- based composite reinforced with alumina nanoparticles", *Materials Chemistry and Physics*, 178: 119–127, (2016).
2. Mohammed K. S. and Naeem H. T. "Corrosion Behaviour of Al 2 O 3p Reinforced Al-Zn-Mg-Cu-Ni-Co Alloy Fabricated via PM", *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 4: 2–6 (2015).
 3. Çevik B., Özçatalbaş Y. and Gülenç B. "Effect of welding speed on the mechanical properties and weld defects of 7075 Al alloy joined by FSW", *Kovove Materialy*, 54: 241-247, (2016).
 4. Übeyli M., Balci E., Sarikan B., Öztas M. K., Camuşcu N., Yildirim R. O. and Keleş Ö., "The ballistic performance of SiC-AA7075 functionally graded composite produced by powder metallurgy", *Materials and Design*, 56: 31–36, (2014).
 5. Cruz S., Rey P., Román M. and Merino P. "Influence of Content and Particle Size on Properties of Tic Reinforced 7075 Aluminum Matrix Composite", *15th European Conference on Composite Materials*, 1–8, (2012).
 6. Hernández-Martínez S.E., Cruz-Rivera J.J., Garay-Reyes C.G. Martínez-Sánchez and R. Estrada-Guel, I., "Comparative study of synthesis of AA 7075-ZrO₂metal matrix composite by different mills", *Journal of Alloys and Compounds*, 643: S107–S113, (2015).
 7. Shen, Q., Wu, C., Luo, G., Fang, P., Li, C., Wang, Y. and Zhang, L. "Microstructure and mechanical properties of Al-7075/B₄C composites fabricated by plasma activated sintering", *Journal of Alloys and Compounds*, 588: 265–270, (2014).
 8. Karunanithi R., Bera S. and Ghosh K.S., " Electrochemical behaviour of TiO₂ reinforced Al 7075 composite", *Materials Science and Engineering B*, 190: 133–143, (2014).
 9. Shanbhag V. V., Yalamoori N. N., Karthikeyan S., Ramanujam R. and Venkatesan K., "Fabrication, surface morphology and corrosion investigation of Al 7075-Al 2O₃ matrix composite in sea water and industrial", *Procedia Engineering*, 97: 607–613, (2014).
 10. Ramakoteswara V., Ramanaiyah N., Moulana M. and Sarcar M., "Mechanical and tribological properties of AA7075 – TiC metal matrix composites under heat treated (T 6) and cast conditions", *Integrative Medicine Research*, 5: 377–383, (2016).
 11. Kennedy A. R. and Wyatt S. M. "Characterizing particle-matrix interfacial bonding in particulate Al-TiC MMCs produced by different methods", *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 32: 555–559 (2001).
 12. Daoud A. and Reif W. "Influence of Al₂O₃ particulate on the aging response of A356 Al-based composites", *Journal of Materials Processing Technology*, 123: 313–318, (2002).
 13. Hasırcı H. and Gül F. "Investigation of abrasive wear behaviours in B₄c /Al composites depending on reinforcement volume fraction", *SDU International Technologic Science*, 2: 15–21, (2010).
 14. Kumar S., Chakraborty M., Sarma V. S. and Murty B. S. "Tensile and wear behaviour of in situ Al–7Si/TiB₂ particulate composites", *Wear*, 265: 134–142, (2008).
 15. Çevik B., Özçatalbaş Y. and Gülenç B. " Friction stir welding of 7075-T651 aluminium alloy", *Practical Metallography*, 53: 6-23 (2016).
 16. Li J. F., Peng Z. W., Li C. X., Jia Z. Q., Chen W. J. and Zheng Z. Q., "Mechanical properties, corrosion behaviors and microstructures of 7075 aluminium alloy with various aging treatments", *Transactions of Nonferrous Metals Society of China (English Edition)*, 18: 755–762, (2008).
 17. Baydoğan M., Çimenoglu H. ve Kayalı E. S. "RRA işleminin 7075 alaşımının mekanik özelliklerine etkisi", *İTÜ Dergisi*, 108–116, (2004).
 18. Abreu, C. M., Cristóbal, M. J., Figueroa, R. and Pena, G. "Wear and corrosion performance of two different tempers (T6 and T73) of AA7075 aluminium alloy after nitrogen implantation", *Applied Surface Science*, 327: 51–61, (2015).
 19. Holt, R. T., Raizenne, M. D., Wallace, W. and DuQuesnay, D. L. "RRA Heat Treatment of Large Al 7075-T6 Components", *RTO AVT Workshop on "New Metallic Materials for the Structure of Aging Aircraft"*, 7.1-7.11, (1999).
 20. Ranganatha R., Anil Kumar V., Nandi V. S., Bhat R. R. and Muralidhara B. K., "Multi-stage heat treatment of aluminum alloy AA7049", *Transactions of Nonferrous Metals Society of China (English Edition)*, 23: 1570–1575, (2013).
 21. Taleghani M. A. J., Navas E. M. R. and Torralba J. M. "Microstructural and mechanical characterisation of 7075 aluminium alloy consolidated from a premixed powder by cold compaction and hot extrusion", *Journal of Materials and Design*, 55: 674–682, (2014).
 22. Kaczmar J. W. and Pietrzak K. "The production and application of metal matrix composite materials", *Journals of Materials Processing Technology*, 106: 58–67, (2000).
 23. Wang Z., Song M., Sun C. and He Y. "Effects of particle size and distribution on the mechanical properties of SiC reinforced Al-Cu alloy composites", *Materials Science and Engineering A*, 528: 1131–1137, (2011).
 24. Danh N. C., Rajan K. and Wallace W., "A TEM study of microstructural changes during retrogression and reaging in 7075 aluminum", *Metallurgical Transactions A*, 14: 1843–1850, (1983).
 25. Rahimian M., Parvin N. and Ehsani N. "Investigation of particle size and amount of alumina on microstructure and mechanical properties of Al matrix composite made by powder metallurgy", *Materials Science and Engineering A*, 527: 1031–1038, (2010).
 26. Mahajan G., Karve N., Patil U., Kuppan P. and Venkatesan K. "analysis of microstructure , hardness and wear of Al-SiC-TiB₂ hybrid metal matrix composite", *Indian Journal of Science and Technology*, 8: 101–105, (2015).
 27. Mazahery A., Abdizadeh H. and Baharvandi H. R., "Development of high-performance A356/nano-Al₂O₃ composites", *Materials Science and Engineering A*: 518, 61–64, (2009).
 28. Mazahery A. and Shabani M. O. "Characterization of cast A356 alloy reinforced with nano SiC composites", *Transactions of Nonferrous Metals Society of China (English Edition)*, 22: 275–280, (2012).
 29. Reddy M. S., Chetty S. V., Premkumar S. and Reddappa H. N., "Influence of reinforcements and heat treatment on

- mechanical and wear properties of Al 7075 based hybrid composites" *Procedia Materials Science*: 5: 508–516, (2014).
30. Karabulut Ş., Karakoç H. and Çıtak R. "Influence of B 4 C particle reinforcement on mechanical and machining properties of Al6061/B4C composites", *Composites Part B*, 101, (2016).
 31. El-kady O. and Fathy A. "Effect of SiC particle size on the physical and mechanical properties of extruded Al matrix nanocomposites", *Materials and Design*, 54: 348–353, (2014).
 32. Ateş E. A. and Güral A., "A Study on ageing of AA2014-Al4C3 composite materials produced by P/M", *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 31: 65–71, (2016).
 33. Yılmaz R., Özyürek D. and Kibar E. "The Effects of retrogression parameters on hardness and wear behaviours of 7075 aluminum alloys" *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 27: 429–438, (2012).
 34. Diler E. A. and Ipek R. "An experimental and statistical study of interaction effects of matrix particle size, reinforcement particle size and volume fraction on the flexural strength of Al–SiCp composites by P/M using central composite design", *Materials Science and Engineering: A*, 548: 43–55, (2012).
 35. Akhlaghi F., Lajevardi A. and Maghanaki H. M. "Effects of casting temperature on the microstructure and wear resistance of compocast A356/SiCp composites: a comparison between SS and SL routes", *Journal of Materials Processing Technology*, 155–156: 1874–1880, 2004).
 36. Özyürek D., Tunçay T. and Kaya H. "The effects of T5 and T6 heat treatments on wear behaviour of AA6063 alloy". *High Temperature Materials and Processes*, 33: 231–237, (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>

Yeni bir tip düzlem yüzey taşlama mekanizması ile kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne (Ra) etkisinin araştırılması

Investigation of the effect of cutting parameters on surface roughness by a new type of plane surface grinding mechanism (ytm)

Yazar(lar) (Author(s)): Oktay ADIYAMAN, Vedat SAVAŞ

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Adıyaman O. ve Savaş V., " Yeni bir tip düzlem yüzey taşlama mekanizması ile kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne (Ra) etkisinin araştırılması", *Politeknik Dergisi*, 20(4): 815-825, (2017).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.369002

Yeni Bir Tip Düzlem Yüzey Taşlama Mekanizması ile Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne (Ra) Etkisinin Araştırılması

Araştırma Makalesi / Research Article

Oktay ADIYAMAN^{1*}, Vedat SAVAŞ²

¹ Batman Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine ve İmalat Mühendisliği Bölümü, Batman, Türkiye

² Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine ve İmalat Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye

(Geliş/Received : 22.03.2017 ; Kabul/Accepted : 24.04.2017)

ÖZ

Yeni düzlem yüzey taşlama mekanizması (YTM), geliştirilen bir mekanizma ile elde edilen yeni bir düzlem yüzey taşlama mekanizmasıdır. Geleneksel düzlem yüzey taşlama mekanizmasında taşın sadece bir hareketi mevcuttur. Bu yöntemde taş kendi eksenini etrafında çevresel olarak dönmektedir. YTM’de ise iki ekseninde dönme hareketi vardır. Birinci dönme hareketi geleneksel taşlama mekanizmasının aynıdır. Bu dönme hareketi çevresel dönme hareketidir. Diğer dönme hareketi ise yeni geliştirilen mekanizma ile taşlama taşının radyal eksene dik ekseninde kendi etrafında dönmesidir. Bu dönme hareketi de aksel dönme hareketidir. Böylece taş aynı anda iki dönme hareketi yapmaktadır. Geliştirilen bu yeni yöntemle farklı parametrelerde deneyler yapılmıştır ve yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerleri ölçülmüştür. Farklı cinslerde beş taş seçilmiştir. Tüm bu farklı kombinasyonlar ile iş parçaları taşlanmış ve bunun yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri incelenmiştir. Sonuç olarak YTM’de geleneksel yöntemden daha küçük yüzey pürüzlülüğü değerleri elde edilmiştir. Taşlanan parçaların her bölgesinde yüzey pürüzlülüğü değerleri birbirine çok yakın elde edilmiştir. YTM maliyet açısından da oldukça düşük değerde olması ile birlikte tüm freze ve CNC tezgâhlara adapte edilebilecek niteliktedir. Tüm bu yönlerden dolayı YTM’nin geleneksel düzlem yüzey taşlama sisteminden daha iyi olduğu rahatlıkla söylenebilir.

Anahtar Kelimeler : Taşlama mekanizması, düzlem yüzey taşlama, yüzey pürüzlülüğü, taşlama parametreleri.

Investigation of the Effect of Cutting Parameters on Surface Roughness by a New Type of Plane Surface Grinding Mechanism (YTM)

ABSTRACT

The new plane surface grinding mechanism (YTM) is a new plane surface grinding mechanism obtained with the mechanism developed. In the traditional plane surface grinding mechanism, the wheel has only a single rotation. The wheel rotates circumferentially around its axis. In YTM, on the other hand, there are two rotations. The first rotation is the same with the traditional grinding mechanism, which is the circumferential rotation. The other rotation is the newly developed axial rotation, where the wheel rotates around itself perpendicular to its radial axis. This rotational is called axial rotation. Thus, the wheel has two rotations. Experiments were made for this newly developed method using various parameters and surface roughness (Ra) values were measured. Five wheels with different kinds were chosen. Workpieces were grinded with all these different combinations and effects on surface roughness were investigated. As a result, YTM produced smaller surface roughness values than the traditional method. Surface roughness values were very close in every part of grinded work pieces. YTM is also very low in cost and can be adapted to all milling machines and CNC machines. It can be safely said that YTM is better than the traditional system because of all these directions.

Keywords : Grinding mechanism, plane surface grinding, surface roughness, grinding parameters.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Taşlama işlemlerinde üretim maliyetini düşürmek ve üretilen iş parçası kalitesini artırmak için kullanılan taş ve işleme parametrelerinin iyi seçilmesi gerekmektedir. Her

parametre hem kendi başına hem de birbirleriyle etkileşimli olarak taşlama işlemini etkiler. Parametreler doğru tespit edilemezse taşın hızlı aşınması, yanması ve ayrıca taşlanan iş parçasının bozulması veya iş parçası yüzey kalitesinin bozuk olması gibi sorunlar ortaya çıkar. Tüm bunlar maliyeti artıracak ve zaman israfına neden olacak problemlerdir [1].

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : oktay.adiyaman@batman.edu.tr

Taşlama işlemi, iş parçalarının istenilen şekil, ölçü ve toleranslar elde edilmesini sağlayan önemli bir imalat yöntemidir. Bu yöntem iş parçalarının özellikle diğer işleme yöntemleriyle (tornalama, frezeleme vb.) yeterli tamlıkta ve yüzey kalitesinde üretilemediği durumlarda kullanılır [2].

Taşlamayı etkileyen önemli bir faktör de aşındırıcıların aşınması ve taştan koparak ayrılmasıdır. Araştırmaların sonucu, talaş kaldırma esnasında meydana gelen kesme kuvvetlerinin ve etkilerinin analizi ve doğru olarak ölçülmesini de gerekli hale getirmiştir. Taşlamacılıkta bu amaçla çok sayıda çalışma yapılmış olmasına rağmen, taşlama işlemi esnasında, taşlanan malzemede oluşan problemler tamamıyla çözülememiştir [3].

Savaş ve Özay geliştirdikleri yeni bir yöntem olan teğetsel tornalama-frezeleme işleminde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini araştırmış ve optimum kesme parametrelerini belirlemişlerdir. Elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerlerinin taşlama kalitesine yakın olduğunu tespit etmişlerdir [4].

Gavas ve diğ., dört farklı malzemeyi helisel taramalı taşlama yöntemi (HSG) ile taşlamışlar ve geleneksel silindirik taşlama yöntemi ile karşılaştırarak yeni yöntemin yüzey pürüzlülüğü ve yuvarlaklık üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. HSG yönteminin geleneksel silindirik taşlama yöntemine göre yüzey pürüzlülüğünü azalttığını belirlemişlerdir [5].

Yaptıkları çalışmada Xie ve Williams, taşlama işlemi ve simülasyonunu kapsayan üç kategorik çalışmanın ilkinde [6], tek nokta elmas kaplamalı taş yüzeyi üzerinde inceleme yapmışlardır. Taşlama taşı yüzey oluşumu, taşlama işleminin kontrolü açısından önemli bir husustur. Bunun anlaşılması için simülasyon geliştirilmiştir. Taş topografya simülasyonu, kaplama aracının hareketini, tane boyutunu, taneler arası boşluğu, tanelerin işlem sırasındaki parçalanmasını ve işlem sırasındaki tane kopmalarını dikkate almaktadır. Bu eşleştirmelerden; kaplamanın önemli bir parametre olduğu sonucuna varılmıştır.

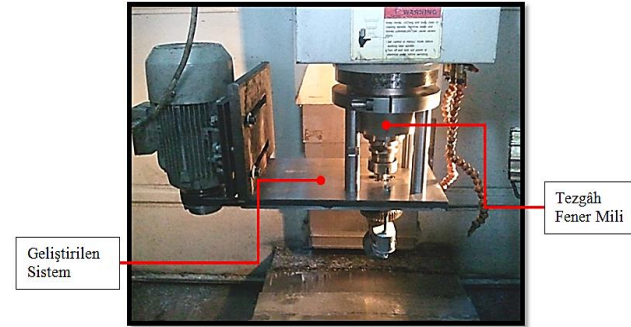
Chen ve Rowe [7], iş parçasıyla temas halindeki her tanelenin kesme hareketini simüle etmişlerdir ve taşlama işlemini araştırmak için bir yöntem tanımlamışlardır. İş parçasının bir kesitinden geçen her bir tane üzerindeki kuvvet simüle edilerek taşlama kuvvetinin analizi yapılmıştır ve sonuç olarak simüle edilmiş iş parçası yüzeyi, deneysel sonuçları ile benzer özellikleri gösterdiği gözlemlenmiştir. Bu çalışmada ayrıca tanecığın iş parçası yüzeyi üzerindeki oluşturduğu batma durumu incelenmiştir.

Taş topografisinin incelemesine dair diğer bir çalışmada Kim S. ve Ahn J.H. [8] taşlama taşının aşındırıcı taneciklerin kesme yapabilmesi için sistematik bir yaklaşım tanımlamışlardır. Bu yaklaşım gerekli uygun kaplama derinliği (gözenek derinliği) ve kaplama aralığı (gözenek aralıkları) elde etmeye yönelik karar verme sürecine dayalı çalışmaktadır. Aşındırıcı taneciklerin kesme yüksekliği ve kaplama aralığı ile yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişki işleme esnasında karşılaştırılmıştır.

Taşlama işlemi ile ilgili ayrıca birçok alanda çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar çeşitli kategoriler halinde sıralanacak olursa, [9,10];taşlama performansı üzerine olan araştırmalar, [8,9,10-13]; taşlamada kesme parametreleri, yüzey kalitesi ve yüzey kalitesinin iyileştirilmesi, yüzey pürüzlülüğü ve sonuçlarının ölçümü üzerine yapılan araştırmalar, [8,13-20]; taş yapısının topografik yapısı, taş unsurlarının kesme üzerine etkileri vb. konularda yapılan araştırmalar, [5,10,21-23]; taşlama şekline ve yöntemi ile ilgili çalışmalar, [6, 24-28]; taşlama işleminin analizi, yeni teknolojilere adaptasyonu ve bilgisayar teknolojisine adaptasyonu ile ilgili araştırmalar ve son olarak da [29-33]; modelleme üzerine yapılan çalışmalar olarak sıralanabilir.

2. YENİ DÜZLEM YÜZEY TAŞLAMA MEKANİZMASI (YTM) (THE NEW PLANE SURFACE GRINDING MECHANISM)

YTM ile iki farklı dönme hareketi elde edilmiştir ve CNC işleme merkezi fener miline bağlanarak çalıştırılmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Sistemin genel görünümü ve CNC fener miline montajlı hali (The general view of the system mounted to the spindle of a CNC machine)

Yeni yöntemde iki farklı eksende dönme hareketi mevcuttur. Bunların ilki geleneksel düzlem yüzey taşlama yöntemindeki dönme hareketidir (çevresel dönme hareketi). İkinci dönme hareketi ise taşın çevresel dönme eksenin dik yönde yaptığı dönme hareketidir (eksenel dönme hareketi). Eksenel dönme hareketi fener milinden alınmaktadır. Taş aynı anda iki dönme hareketini birlikte yapmaktadır [34]. Bu dönme hareketleri şöyle tanımlanabilir.

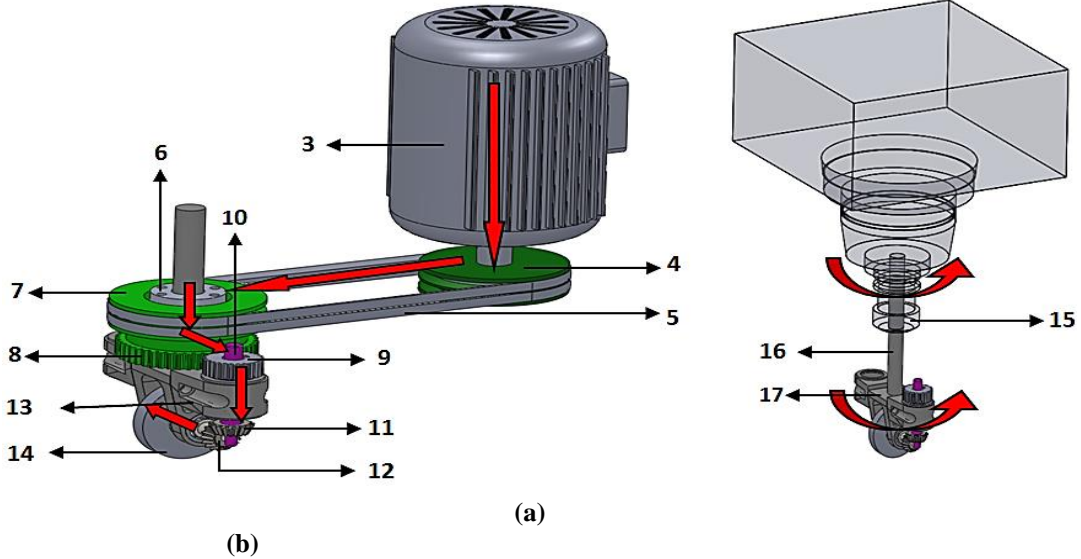
2.1. Çevresel Dönme Hareketi (Circumferential Rotation Action)

Oluşturulan mekanizma sayesinde elde edilen dönme hareketi taşın kendi ekseninde yaptığı dönme hareketidir. Bu hareket çevresel dönme hareketi olarak adlandırılmaktadır ve mekanizmadaki aktarım şekli 2 (a) da gösterilmektedir. Bu mekanizma sayesinde elde edilen taş devri 7015 dev/dak olarak sağlanmıştır.

2.2. Eksenel Dönme Hareketi (Axial Rotation Action)

CNC veya freze tezgâhı fener miline bağlı olan ana mil ile ana mile bağlı olan taşlama taşı yatağı çevrilmektedir.

Taşlama taşı yatağına taş mili ile rulmanla monte edilen taşlama taşı ana mil ekseninde dönmektedir (Şekil 2 a ve b).



Şekil 2. Yeni sistemde elde edilen hareketler ve aktarım şeması a) Çevresel Dönme Hareketi b) Eksenel dönme hareketi (İkinci dönme hareketi) (Rotation actions obtained in the new system and transfer scheme a) Circumferential Rotation Action b) Axial Rotation Action)

3. MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

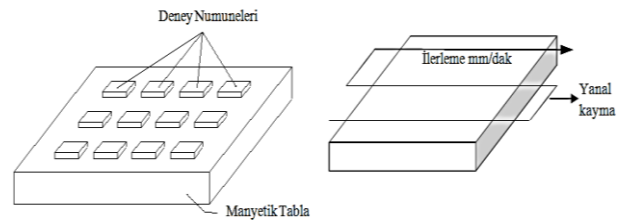
YTM'de farklı kesme parametreleri ile parçalar taşlanmış ve hem taş özelliklerinin hem de kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri incelenmiştir. Farklı cins ve dokudaki taşlar kullanılmıştır.

3.1. Numunelerin Seçimi (Simple Selection)

Bu deneysel çalışmada, deney numunesi olarak, St37-2 çelik parçalar kullanılmıştır. Bu malzemelerin spektral analizi yaptırılmış ve malzemelerin kompozisyonu belirlenmiştir. Bu malzemeler, makine imalat sektöründe çok yaygın bir kullanım alanına sahip olmaları ve malzeme özelliklerinin (fiziksel, kimyasal, mekanik vb.) iyi biliniyor olması nedeniyle tercih edilmiştir.

Deneysel çalışmada, deney numunesi olarak, St37-2 çelik parçalar kullanılmıştır. Bu malzemelerin spektral analizi yaptırılmış ve malzemelerin kompozisyonu belirlenmiştir. Bu malzemeler, makine imalat sektöründe çok yaygın bir kullanım alanına sahip olmaları ve malzeme özelliklerinin (fiziksel, kimyasal, mekanik vb.) iyi biliniyor olması nedeniyle tercih edilmiştir.

Deneysel çalışmada, deney numunesi olarak, St37-2 çelik parçalar kullanılmıştır. Bu malzemelerin spektral analizi yaptırılmış ve malzemelerin kompozisyonu belirlenmiştir. Bu malzemeler, makine imalat sektöründe çok yaygın bir kullanım alanına sahip olmaları ve malzeme özelliklerinin (fiziksel, kimyasal, mekanik vb.) iyi biliniyor olması nedeniyle tercih edilmiştir.



Şekil 3. a) Numunelerin tablaya yerleşimi b) CNC tezgâhta düzlem yüzey taşlama hareket şekli (Placement of samples on the flange b) Plane surface grinding action on CNC machine)

3.2. Taşlama Taşı Seçimi (Grinding Wheel Selection)

YTM'de kullanılan tüm sakıncaları önlemek, sistem yükünü azaltmak, bileme ve dengeleme işlemlerini önlemek ve titreşim sorunlarını minimuma indirmek amacıyla küçük çaplı taşlama taşları seçilmiştir. Kullanılan taşlama taşının çapı 75 mm, genişliği 16 mm ve delik çapı 20 mm'dir. Taşlama taşı olarak KARBOSAN markalı 5 farklı taş seçilmiştir. Taş özellikleri Çizelge 2'de verilmektedir.

Çizelge 1. Deney numuneleri kimyasal analizi (Chemical analysis of experimental samples)

TS EN 10025:2:2006	DIN 17100 ALMANYA	%C	%Mn	%P	%S	%N	%CU
S235JR	ST 37-2	0,19	1,50	0,045	0,045	0,014	0,60

Çizelge 2. Kullanılan taşlama taşı özellikleri (Grinding wheel characteristics)

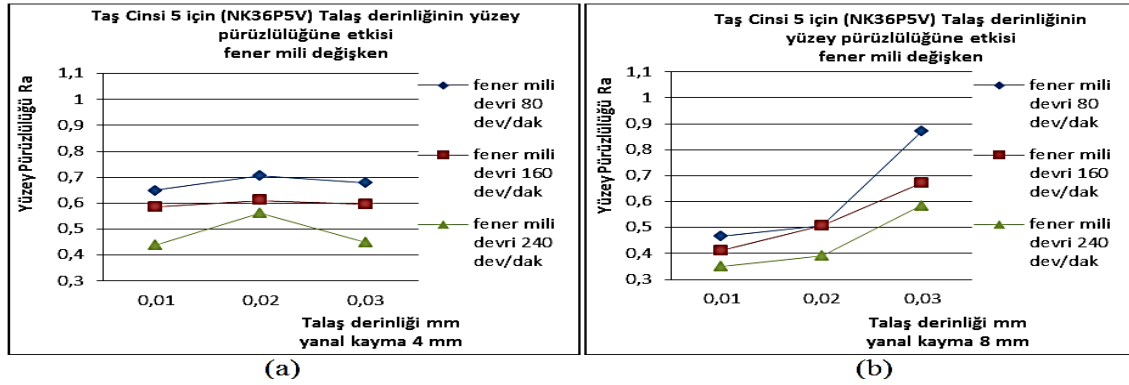
Taşın çapı		Taşın deliçapı	Taşın genişliği		
75 mm		20 mm	16 mm		
Taş Cinsi No	Aşındırıcı madde	Tane büyüklüğü	Sertlik	Dokusu	Bağlayıcı
Taş Cinsi 5	NK	36	P	5	V
Taş Cinsi 3	NK	46	O	5	V
Taş Cinsi 1	NK	60	N	5	V
Taş Cinsi 4	EKR	46	K	6	V
Taş Cinsi 2	EKR	60	K	6	V

Deney numuneleri işlenirken yanal kayma miktarı olarak taş genişliğinin $\frac{1}{4}$ 'ü ve $\frac{1}{2}$ 'si alınarak işleme yapılmıştır. Taş genişliği 16 mm olduğundan yanal kayma miktarı 4 ve 8 mm olarak seçilmiştir.

Deney numunelerinin işlenmesinde tabla ilerleme değeri 200-375 mm/dak aralığındadır. YTM'de tabla ilerleme

4. TALAŞ DERİNLİĞİ İLE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ ARASINDAKİ İLİŞKİNİN İNCELENMESİ (EXAMINATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN DEPTH OF CUT AND SURFACE ROUGHNESS)

İş parçaları 3 farklı talaş derinliğinde taşlanmış olup

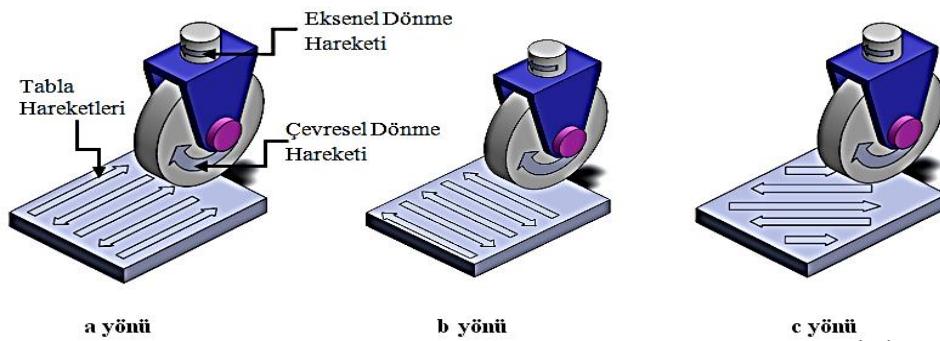


Şekil 5. Taş Cinsi 5 (NK36P5V) için talaş derinliğinin farklı fener mili devirlerinde yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi (The effect of the depth of cut in different spindle speeds on surface roughness for Wheel Type 5 (NK36P5V))

değeri olarak 300 mm/dak seçilmiştir.

Tabla ilerleme yönüne paralel yönde (Şekil 4 a yönü), dik yönde (Şekil 4 b yönü) ve 45 derecelik çapraz yönde (Şekil 4 c yönü) numuneler üzerinden yüzey pürüzlülüğü değerleri alınmıştır.

Tüm yüzey pürüzlülüğü değerleri SJ-210 MITUTOYO marka elmas uçlu yüzey pürüzlülük cihazı ile ölçülmüştür.



Şekil 4. Deney numuneleri yüzey pürüzlülük sonuçlarının alınma yönleri (Directions in which roughness results of experimental samples were taken)

seçilerek taşlama işlemleri gerçekleştirilmiştir. En sert

taş cinsi olan taş cinsi 5 için bu etki Şekil 5'te gösterilmektedir.

Şekil 5 incelendiğinde şu sonuçlara ulaşılabilir:

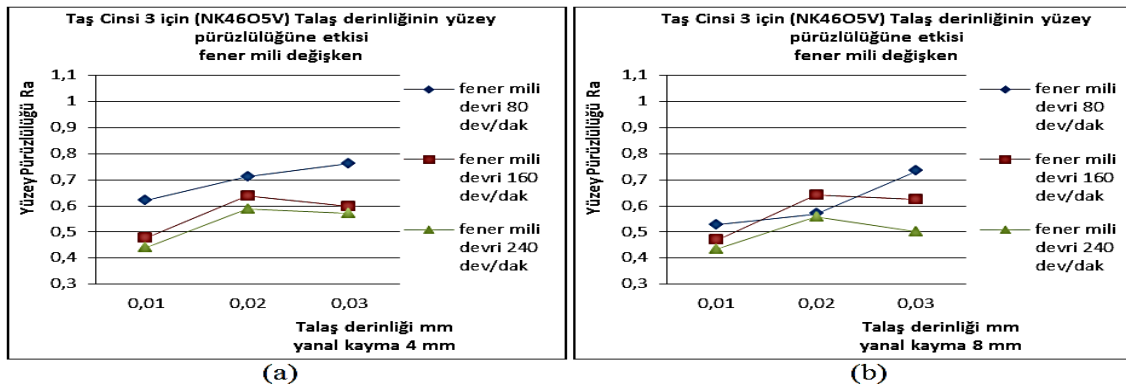
- 1- Yanal kayma 4 mm (Şekil 5 a) ve 8 mm için (Şekil 5 b) her iki değerinde de en düşük yüzey pürüzlülüğü değeri fener mili devrinin 240 dev/dak (rev/min) değerinde ve en yüksek yüzey pürüzlülüğü değerinin ise fener mili devrinin 80 dev/dak (rev/min) olduğu durumlarda görülmektedir. Fener mili devri arttıkça yüzey pürüzlülüğü değeri azalma görülmektedir.
- 2- Tüm fener mili devirlerinde yanıl kaymanın 4 mm olduğu durumlarda $d=0,02$ mm talaş derinliğinde yüzey pürüzlülüğü değerlerinde çok küçük sapmalar oluşmaktadır. Fener mili devri arttıkça yüzey

- 1- Taş Cinsi 5'e paralel olarak, fener mili ve talaş derinliğinin artması ile R_a değerinde artış görülmektedir.
- 2- Bu taş cinsinde her iki yanıl kayma miktarında yüzey pürüzlülüğü yüzey pürüzlülüğü değerlerinde çok büyük farklar oluşmamaktadır. Bu nedenle bu taş cinsinin yüksek yanıl kayma miktarlarında kullanılması daha ekonomik olacaktır.

Orta sertlikte olan taş cinsi 1 (NK60N5V) için Şekil 7'deki sonuçlar elde edilmiştir.

Taş Cinsi 1 için Şekil 7 (a) ve (b) incelendiğinde şu sonuçlara ulaşılabilir:

- 1- Taş cinsi 1 genel olarak yanıl kayma 4 mm olduğunda tüm fener mili ve tüm talaş derinliklerinde yüzey



Şekil 6. Taş Cinsi 3 (NK46O5V) için talaş derinliğinin fener mili devri arasındaki ilişkinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi (The effect of the relationship between depth of cut and spindle speed on surface roughness for Wheel Type 3 (NK46O5V))

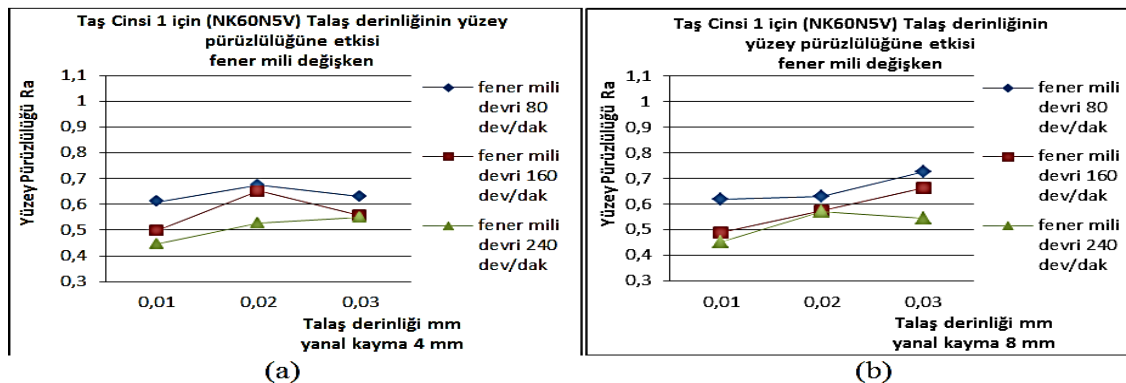
pürüzlülüğü değerinde de artış olmaktadır.

- 3- Düşük yanıl kayma seçildiğinde talaş derinliğinin arttırılması yüzey pürüzlülüğü üzerinde çok fazla etki etmemektedir.

Taş cinsi 3 (NK46O5V) incelendiğinde Şekil 6'daki grafikler elde edilmektedir.

pürüzlülük değerlerinde çok fazla sapma yapmayacak şekilde yatay bir yüzey pürüzlülüğü değeri görülmektedir. Dolayısıyla bu taşın yüksek yanıl kayma değerlerinde kullanılması daha iyidir.

- 2- Yüksek fener mili devirlerinde her durumdaki talaş derinliğinde en iyi yüzey pürüzlülüğü değerleri elde



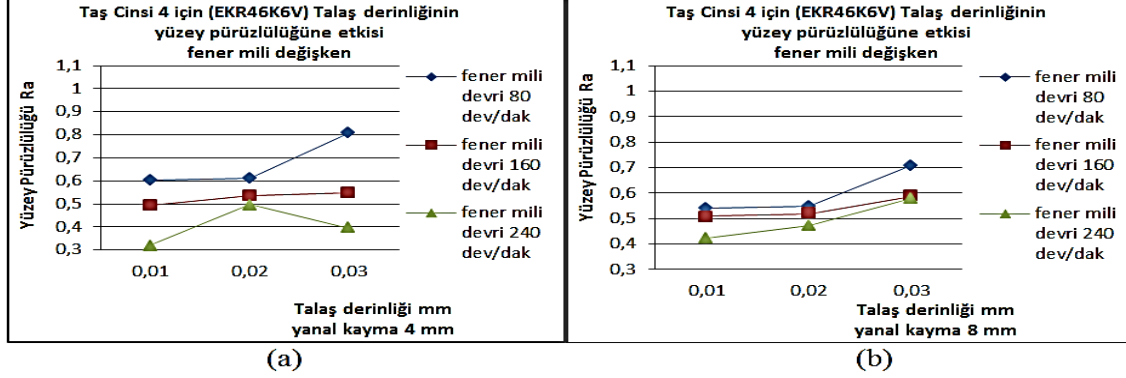
Şekil 7. Taş Cinsi 1 (NK60N5V) için talaş derinliğinin fener mili devri arasındaki ilişkinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi (The effect of the relationship between depth of cut and spindle speed on surface roughness for Wheel Type 1 (NK60N5V))

Şekil 6 incelendiğinde taş cinsi 3 için (NK46O5V) şu sonuçlara ulaşılabilir:

edilmektedir.

3- Her durumdaki fener mili devrinde talaş derinliği en az olduğunda en iyi yüzey pürüzlülüğü değeri elde edilmektedir.

En yumuşak taş cinslerinden biri olan taş cinsi 4 (EKR46K6V) için yukarıdaki parametrelerde Şekil 8'deki sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 8. Taş Cinsi 4 (EKR46K6V) için talaş derinliğinin fener mili devri arasındaki ilişkinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi (The effect of the relationship between depth of cut and spindle speed on surface roughness for Wheel Type 4 (EKR46K6V))

Şekil 8 (a) ve (b) incelendiğinde taş cinsi 4 için şu değerlendirmeleri yapmak mümkündür:

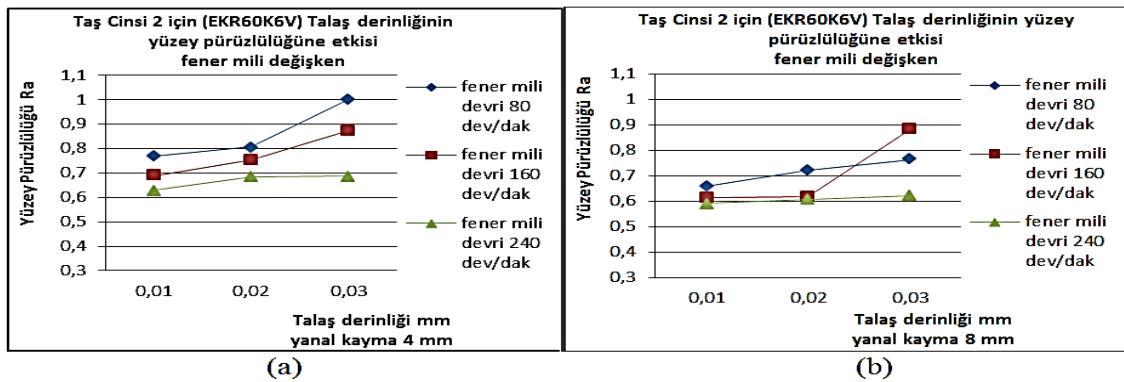
1- Bu taş cinsi genel olarak taş cinsi 5 benzer davranışlar sergilemektedir. Sadece Taş cinsi 5 ten farklı olarak yanıl kayma 4 mm deki kararsızlık biraz daha düzelmiştir.

2- Genel kural olarak fener mili devri arttıkça yüzey pürüzlülüğü değeri iyileşme görülmektedir. Bu özellik bütün taş cinslerinde genel olarak görülmektedir.

3- Tüm fener mili devirlerinde yanıl kaymanın yüzey pürüzlülüğü üzerinde çok büyük etkisinin olmadığı görülmektedir.

En yumuşak taş cinsi 2 (EKR60K6V) de ise yapılan yüzey ölçümü sonuçlarından elde edilen sonuçlar Şekil 9'da gösterilmektedir.

Bu taş cinsi için Şekil 9 (a) ve (b) incelendiğinde şu



Şekil 9. Taş Cinsi 2 (EKR60K6V) için talaş derinliğinin fener mili devri arasındaki ilişkinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi (The effect of the relationship between depth of cut and spindle speed on surface roughness for Wheel Type 2 (EKR60K6V))

değerlendirmelerde bulunmak mümkündür:

1- Bu taş cinsinde tüm fener mili devirlerinde ve tüm talaş derinliklerinde elde edilen tüm yüzey pürüzlülüğü değerlerinin en yüksek yüzey pürüzlülüğü değerleri elde edilmiştir.

2- Fener mili devri ile yüzey pürüzlülüğü arasında aynı orantı bu taş cinsinde de görülmektedir.

Sonuç olarak tüm taş modelleri incelendiğinde ise ortak olarak şu genel sonuçlara ulaşılabilir:

1-Tüm taş cinslerinde en iyi yüzey pürüzlülüğü değerleri $d=0.01$ mm talaş derinliğinde elde edilmektedir.

2-En kararsız yüzey pürüzlülüğü değerleri $d=0.02-0.03$ mm talaş derinliği aralığında elde edilmektedir.

3-Fener mili devri ile yüzey pürüzlülüğü arasında tüm talaş derinliklerinde ters orantı bulunmaktadır. Fener mili devri yükseldikçe yüzey pürüzlülüğü değeri büyümektedir, yani yüzey kalitesi kötüleşmektedir.

4-En yüksek yüzey pürüzlülüğü değerleri taş cinsi 2 de görülmektedir.

4.2. Farklı Yanıl Kayma Değerlerindeki Etkisi (Effect in Different Lateral Slip Values)

Farklı yanıl kayma miktarlarında talaş derinliğine bağlı olarak yüzey pürüzlülüğü değerlerindeki değişim

incelenmiştir. Bunun için 2 farklı yanıl kayma değeri

seçilmiş, her taş için ayrı ayrı inceleme yapılmış ve farklı yanıl kayma değeriindeki yüzey pürüzlülüğü davranışları ölçülmüştür.

En sert taş olan taş cinsi 5 yüzey pürüzlülüğü sonuçları Şekil 10'da verilmektedir.

Şekil 10 incelendiğinde sonuçlar şu şekilde özetlenebilir:

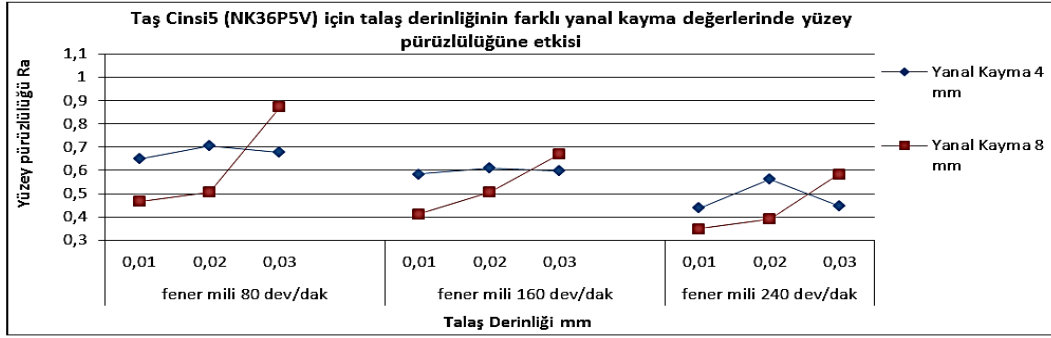
1- Yüksek yanıl kayma değeri düşük talaş derinliklerinde, düşük yanıl kayma değeri ve yüksek

İkinci en sert taş olan taş cinsi 3 (NK4605V) için yüzey pürüzlülüğü değeri ile ilgili sonuçlar Şekil 11'de verilmektedir.

Taş cinsi 3 için elde edilen sonuçlar şu şekildedir:

1- Yanıl kaymanın tüm değerlerinde taş cinsi 5'e benzer şekilde talaş derinliği düşük ve orta değerlerde daha düşük yüzey pürüzlülüğü değeri vermektedir.

2- Yanıl kayma değeri fener mili devrinin ve talaş derinliğinin değişimiyle yüzey pürüzlülüğü değeri



Şekil 10. Taş cinsi 5 (NK36P5V) için farklı yanıl kayma değerlerinin talaş derinliğine bağlı olarak yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi (The effect of different lateral slip values depending on depth of cut on surface roughness for Wheel Type 5 (NK36P5V))

talaş derinliğinde düşük yüzey pürüzlülüğü değeri vermektedir.

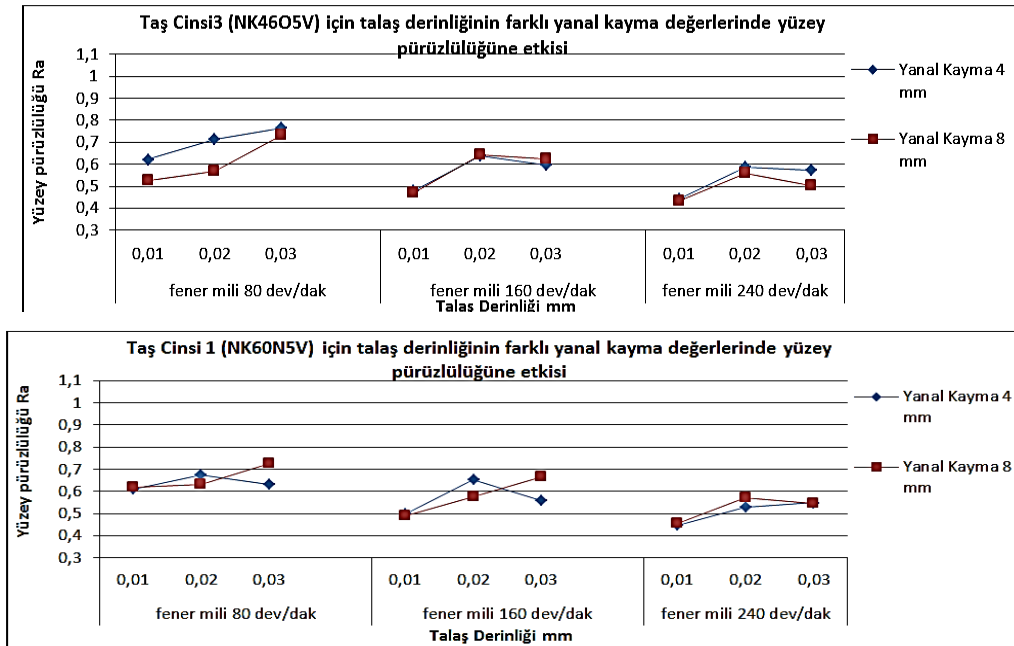
2- Yüzey pürüzlülüğü değeri yanıl kayma değeri fener mili devri yükseldikçe tüm talaş derinliklerinde düşüş göstermektedir.

3- En sert taş olan taş cinsi 5 yüksek talaş derinliği haricinde kullanıldığı zaman yanıl kayma miktarı yüksek tutulmalıdır.

çok büyük fark oluşmamaktadır. Bu taş cinsi yüksek yanıl kayma değerlerinde kullanılmalıdır.

3- Bu taş cinsi, taş cinsi 5 ile kıyaslandığında yanıl kayma 4 mm olduğunda benzer davranışlar sergilediği ve hemen hemen aynı yüzey pürüzlülüğü değerlerini verdiği görülmektedir.

Orta sertlikte olan taş cinsi 1 (NK60N5V) için yüzey pürüzlülüğü değeri Şekil 12'de gösterilmektedir.



Şekil 12. Taş cinsi 1 (NK60N5V) için farklı yanıl kayma değerlerinin talaş derinliğine bağlı olarak yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi (The effect of different lateral slip values depending on depth of cut on surface roughness for Wheel Type 1 (NK60N5V))

Taş cinsi 1 için şekil 12'den şu hususlar tespit edilmiştir.

1- Taş cinsi 1 benzer şekilde taş cinsi 3 ile tüm yanal kayma değerlerinde aynı fener mili ve talaş derinliği değerlerinde benzer eğilimler göstermektedir.

2- Yanal kayma değeri değişimi yüzey pürüzlülüğü üzerinde farklılık oluşturmamaktadır.

3- Düşük talaş derinliğinde tüm yanal kayma değerlerinde en düşük yüzey pürüzlülüğü değeri elde edilmektedir.

4- Taş cinsi 1 için de daha önceki taş cinslerindeki benzer olarak yanal kayma değeri 8 mm olacak şekilde kullanılması zaman yönünden kazanç sağlayacaktır.

En yumuşak taşlardan biri olan taş cinsi 4 (EKR46K6V) için yüzey pürüzlülüğü değerleri Şekil 13'te gösterilmektedir.

derinliğinde yüzey pürüzlülüğü değerlerinde azalma görülmektedir.

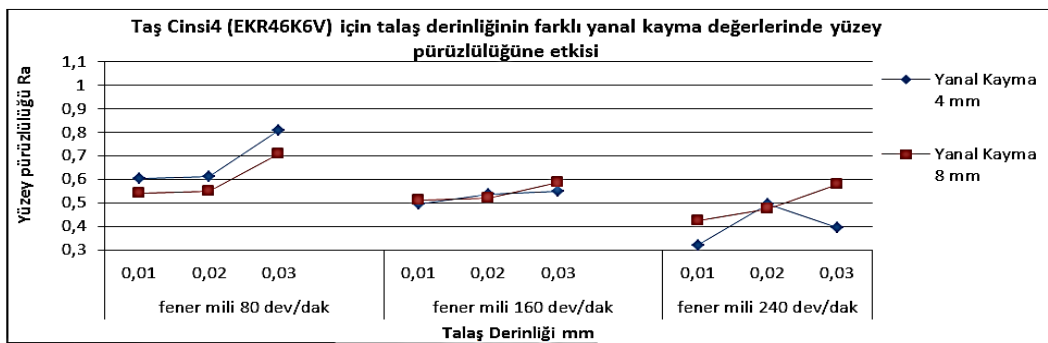
En yumuşak taş cinsi olan taş cinsi 2 (EKR60K6V) için yüzey pürüzlülüğü değerleri Şekil 14'te gösterilmektedir.

Taş cinsi 2 (EKR60K6V) için elde edilen sonuçlar şunlardır (Şekil 14).

1- En yumuşak taş cinsi olan taş cinsi 2 (EKR60K6V) yine yumuşak taş cinsi 4 (EKR46K6V) ile aynı yönde davranış sergilemektedir.

2- Genel olarak yanal kayma miktarı 8 mm olduğunda yanal kayma miktarı 4 mm değerine göre daha iyi yüzey pürüzlülüğü değerleri elde edilmektedir.

3- Yanal kayma değeri 4 mm ve 8 mm olduğunda tüm fener mili devirlerinde talaş derinliği arttıkça, yüzey pürüzlülük değeri de artmaktadır.



Şekil 13. Taş cinsi 4 (EKR46K6V) için farklı yanal kayma değerlerinin talaş derinliğine bağlı olarak yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi (The effect of different lateral slip values depending on depth of cut on surface roughness for Wheel Type 4 (EKR46K6V))

Taş cinsi 4 için aşağıdaki hususlar tespit edilmiştir (Şekil 13).

1- Uygun kesme koşullarında taş cinsi 4, yanal kaymaya bağlı olmaksızın en iyi yüzey pürüzlülüğü değerini vermektedir.

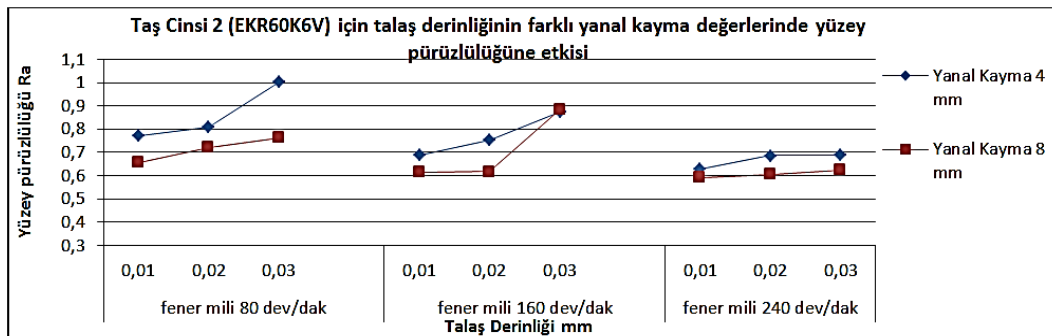
2- Her iki yanal kayma değerinde de taş cinsi 4 te fener milinin 160 ve 240 dev/dak (rev/min) ve talaş derinliği d=0.02 mm olduğu durumda birbirine eşit sayılabilecek yüzey pürüzlülüğü değerleri elde edilmektedir.

3- Bu taş cinsinde diğer taş cinsleri aynı şekilde fener mili devri arttıkça her yanal kayma değeri ve talaş

Tüm taş cinsleri göz önüne alındığında ise şu değerlendirmeleri yapmak mümkündür:

Taş cinsi 3 (NK46O5V), taş cinsi 1 (NK60N5V) ve taş cinsi 5 (NK36P5V) yanal kayma 4 mm olduğu durumda benzer davranışlar sergilemektedir. Yanal kayma 8 mm olduğu durumda ise taş cinsi 5 (NK36P5V), taş cinsi 2 (EKR60K6V) ve taş cinsi 4 (EKR46K6V) aynı davranışları sergilemektedir.

Orta sertlikteki taşlarda yanal kaymanın yüzey pürüzlülüğü üzerine çok fazla bir etkisi görülmemektedir.



Şekil 14. Taş cinsi 2 (EKR60K6V) için farklı yanal kayma değerlerinin talaş derinliğine bağlı olarak yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi (The effect of different lateral slip values depending on depth of cut on surface roughness for Wheel Type 4 (EKR46K6V))

Çoğu durumda yanal kayma yüksek tutularak orta talaş derinliği ve yüksek fener mili devrinde çok iyi yüzey pürüzlülüğü değerleri elde edilebilir.

Tüm taş cinsleri içinde en iyi yüzey pürüzlülüğü performansı $d=0.01$ mm talaş derinliğinde, yanal kayma 4 mm ve fener mili 240 dev/dak (rev/min) parametrelerinde taş cinsi 4 (EKR46K6V) tarafından elde edilmektedir.

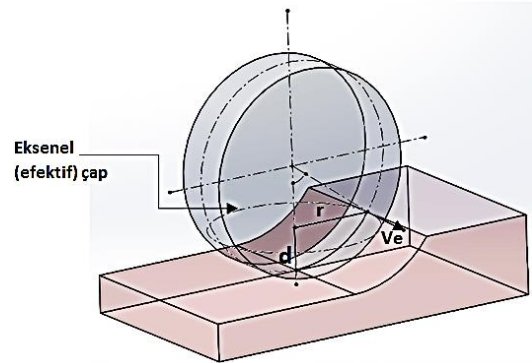
5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Geliştirilen yeni düzlem yüzey taşlama mekanizması (YTM)'nin uygulanması ile klasik düzlem yüzey taşlama yöntemine göre oldukça başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir. Klasik düzlem yüzey taşlamada taşın ilerleme hareketi yönünde ve bu ilerlemeye dik ve farklı açılarda farklı yüzey pürüzlülük değerlerinin elde edildiği bilinmektedir. YTM ile taşlama mekanizması ile parça yüzeyinin her bölgesinde birbirine yakın yüzey pürüzlülük değerleri elde edilmiştir [34]. YTM mekanizması ile taşlama işlemi, klasik düzlem yüzey taşlama metoduna göre bazı kesme parametreleri ve taş cinslerinde daha iyi yüzey pürüzlülüğü değerleri elde edilmiştir [35]. Klasik düzlem yüzey taşlama metodunda belirli bir taşlama süresinden sonra taşın bileme ihtiyacı doğmakta, ancak YTM mekanizmasında, taşın elde edilen yeni dönme hareketi ile taş kendi kendini bileme özelliği elde etmekte ve ekstra bilemeye gerek kalmamaktadır.

Sonuçlar incelendiğinde ikinci dönme hareketi devrinin artması ile yüzey pürüzlülüğü değerlerinde çok daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Geliştirilen sistemde en yüksek ikinci dönme hareketindeki en yüksek dönme devri olan 240 dev/dak (rev/min) fener mili devrinde yüzey pürüzlülüğü değerlerinin en düşük olduğu görülmüştür.

YTM'de, çevresel dönme hareketinde kesme hızı $V=28$ m/dak (m/min) olarak alınmıştır. Bu değer klasik düzlem yüzey taşlama yöntemindeki değer ile aynıdır. Çevresel

çapı 75 mm olmasına karşılık seçilen talaş derinlikleri için aksel efektif çap daha küçüktür (Şekil 15).



Şekil 15. Etketif çap ve aksel dönme yarıçapı (r) gösterimi (Representation of effective diameter and axial rotation radius (r))

Şekil 15 incelendiğinde aksel (efektif) çap hesaplaması için (1) nolu formül kullanılır.

$$r = \sqrt{\frac{D^2}{2} - \left(\frac{D}{2} - d\right)^2} \quad (1)$$

(1) nolu formülden YTM'de kullanılan (d) talaş derinlikleri için aksel efektif çap (r) şu şekildedir;

$d=0,01$ mm talaş derinliği için

$$r=0,836 \text{ mm,}$$

$d=0,02$ mm “ “ “

$$r=1,183 \text{ mm,}$$

$d=0,03$ mm “ “ “

$$r=1,44 \text{ mm}$$

Bulunan aksel efektif çaplar (r), kesme hızı (V) formülünde yerine konursa;

$$V = \frac{\pi \cdot 2 \cdot r \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 0,836 \cdot 2.80}{1000} = 0,42 \text{ m/dk (m/min)} \quad (2)$$

olarak bulunur. Böylece her bir aksel efektif çapa karşılık hesaplanan kesme hızları, Çizelge 3'te gösterilmektedir.

Çizelge 3. Aksel efektif çaptaki kesme hızları değerleri (Cutting speed values in axial effective diameter)

Talaş derinliği (d) mm	Fener mili devirleri dev/dak (rev/min)		
	80	160	240
d=0,01	0,42 m/dak (m/min)	0,84 m/dak (m/min)	1,26 m/dak (m/min)
d=0,02	0,599 m/dak (m/min)	1,188 m/dak (m/min)	1,783 m/dak (m/min)
d=0,03	0,723 m/dak (m/min)	1,446 m/dak (m/min)	2,17 m/dak (m/min)

dönme devri buradan 7125 dev/dak (rev/min) olarak taş verilmiştir. YTM'de aksel dönme devri olarak da 80, 160 ve 240 dev/dak (rev/min) denenmiştir. Daha yüksek aksel dönme devirleri denenmelidir ve sonuçları incelenmelidir.

YTM'de aksel dönme devri olan 80, 160 ve 240 dev/dak (rev/min) değerlerine karşılık, talaş derinlikleri 0,01mm, 0,02 mm ve 0,03mm değerleri seçilmiştir. Böylece 9 farklı aksel kesme hızı elde edilmiştir. Taş

Çizelge 3'ten anlaşıldığı üzere talaş derinliği ve aksel dönme devrine karşılık kesme hızları çok düşük çıkmaktadır.

Tersine hesaplama yöntemi ile ideal kesme hızı $V=28$ m/dak (m/min) değeri aksel dönme hareketine uygulanırsa;

$d=0,03$ mm talaş derinliği için r değeri 1.44 mm olarak seçilip hesaplandığında

$$V = \frac{\pi \cdot r \cdot n}{1000} \quad (3)$$

buradan;

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot 2 \cdot r} = \frac{1000 \cdot 28}{3,14 \cdot 2 \cdot 1,44} = 3096 \text{ dev/dak (rev/min)} \quad (4)$$

olarak hesaplanır.

YTM için formül 4 de hesaplanan aksel dönme devri 3096 dev/dak (rev/min), ideal kesme hızı için kullanılması gereken devir sayısıdır. YTM aksel dönme devri olarak bu devirlere yakın devirlerde test edilmelidir.

Eksel dönme devrinin yüksek seçilmesi durumunda balans ve titreşim faktörleri de göz önüne alınmalıdır. Geliştirilen sistemin prototip olduğu ve kesme parametreleri, konstrüksiyon ve yataklama özelliklerinin iyileştirilmesi ile gelecekte çok daha düşük yüzey pürüzlülüğü değerleri elde edilecektir.

YTM'de yüksek talaş derinliklerinde yüzey pürüzlülüğü değerlerinde kararsızlıklar çıkmaktadır. Bunun; sistemdeki yapısal ve tasarıma yönelik eksikliklerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Tüm bu kararsız yapının ve titreşimlerin giderilmesine yönelik; daha hassas yataklama sağlanması, taş mili çapının artırılması, titreşim azaltıcı malzeme kullanılması, tezgah titreşimlerini engellemeye yönelik sistem iyileştirmeleri, rulman kalitesinin artırılması, helis dişli kullanılması, daha rijit bağlantı elemanlarının kullanılması gibi iyileştirmeler yapılabilir.

YTM, tüm dikey CNC işleme merkezlerine ve dik freze başlıklarına monte edilebilmektedir. Bu sebeple düzlem yüzey taşlama tezgâhlarına ihtiyaç minimum seviyeye inmektedir.

Geliştirilen sistem (YTM) CNC işleme merkezi tezgahlarında, CAM programlamadaki yüzey tarama metodları ile de taşlama tarama metodu farklı yöntemlerle denenebilir.

Geliştirilen mekanizmada sabit (tek) devirli bir motor (Şekil 2'de 3 nolu eleman) kullanılarak taşlama taşına tek bir devir verilmiştir. Servo motor kullanılarak taş devrine malzeme, taş cinsine ve sertliğine göre değişken devirler verilerek en iyi yüzey pürüzlülüğü değerleri elde edilebilir. YTM'de farklı taş çapları ile taşlama özellikleri araştırılabilir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Demir H. ve Güllü A., "Silindirik taşlamada yüzey pürüzlülüğü ve taşlama oranı ilişkisinin araştırılması", *Z.K.Ü. Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Teknoloji*, 1(2): 151-167, (1999).
- [2] Kalpakjian S., "Manufacturing process for engineering materials", *Addison-Wesley*, 120-121, (1991).
- [3] Demir H. ve Güllü A., "Taşlama parametrelerinin taşlama kalitesine etkilerinin incelenmesi", *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7: 189-198, (2001).
- [4] Savas V. and Ozay Ç., "Analysis of the surface roughness of tangential turn-milling for machining with end milling

cutter", *Journal of Materials Processing Technology*, 186: 279-283, (2007).

- [5] Gavas, M., Karacan, İ. and Kaya, E., "A novel method to improve surface quality in cylindrical grinding", *Experimental Techniques*, 35(1): 26-32, (2011).
- [6] Xie Y. and Williams J.A. "The generation of worn surfaces by the repeated interaction of parallel grooves", *Wear*, 164: 864-872, (1993).
- [7] Chen Xun and Rowe Brian W., "Analysis and simulation of the grinding process. part II: mechanics of grinding", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 36: 883-896, (1996).
- [8] Kim S. and Ahn J.H., "Decision of dressing interval and depth by the direct measurement of the grinding wheel surface", *Journal of Materials Processing Technology*, 88: 190-194, (1999).
- [9] Gondi P., Mattogno G., Sili A. and Foderaro G., "Structural characteristics at surface and barkhausen noise in aisi 4340 steel after grinding", *Nondestructive Testing and Evaluation*, 10: 255-267, (1993).
- [10] Shaw M.C., "A production engineering approach to grinding temperatures", *Journal of Materials Processing Technology*, 44: 59-69, (1994).
- [11] Jae-Seob K., Sung-Bo S. and Yeong-D. J., "An analysis of grinding power and surface roughness in external cylindrical grinding of hardened scm440 steel using the response surface method", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 46: 304-312, (2006).
- [12] Hassui A. A. and Diniz E., "Correlating surface roughness and vibration on plunge cylindrical grinding of steel", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 43: 855-862, (2003).
- [13] Inasaki I. and Shi Y., "Grinding process simulation based on the wheel topography measurement", *Annals of the CIRP*, 45: 347-350, (1996).
- [14] Yui A. and Lee H., "Surface grinding with ultra high speed cbn wheel", *Journal of Materials Processing Technology*, 62: 393-396, (1996).
- [15] Warkentin A., Al-Mokhtar O. M. and Bauer R., "Application of shallow circumferential grooved wheels to creep-feed grinding", *Journal of Materials Processing Technology*, 213(5): 700-706, (2013).
- [16] Miller, M.H. and Dow, T.A., "Influence of the grinding wheel in the ductile grinding of brittle material: development and verification of knematic based model", *ASME Journal of Manufacturing Science And Engineering*, 121: 638-646, (1999).
- [17] H.Z. Choi, S.W. Lee and H.D. Jeony, "A comparison of the cooling effects of compressed cold air and coolant for cylindrical grinding with a cbn wheel", *Journal of Materials Processing Technology*, 111: 265-268, (2001).
- [18] Chen, Xun and Rowe, W. Brian, "Analysis and simulation of the grinding process. part I: generation of the grinding wheel surface", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 36: 871-882, (1996).
- [19] Ohmori H., Katahira K., Komotori J. and Mizutani M., "Functionalization of stainless steel surface through mirror-quality finish grinding", *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 57: 545-549, (2008).
- [20] Lai-Yuen, Susana K., and Yuan-Shin L., "Turn-Mill tool path planning and manufacturing cost analysis for

- complex parts machining”, *IIE Annual Conference, Proceedings, Norcross*, 1-6, (2002).
- [21] Suzuki K., Uematsu T. and Nakagawa T., "Highly efficient finishing of ceramics by helical scan grinding." *Proceedings of the International Conference on Machining of Advanced Materials, National Institute of Standards and Technology*, 17-20, (1993).
- [22] Rowe, W. B., "An intelligent multiagent approach for selection of grinding conditions", *Annals of the CIRP*, 46: 233-238, (1997).
- [23] Badger, J. A. and Torrance, A. A., "A comparison of two models to predict grinding forces from wheel surface topography", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 40: 1099-1120, (2000).
- [24] Challen J.M. and Oxley P.L.B., "An explanation of the different regimes of friction and wear using asperity deformation models", *Wear*, 53: 229–243, (1978).
- [25] Williams J.A. and Xie Y., "The generation of wear surfaces by the interaction of parallel grooves", *Wear*, 155: 363–379, (1992).
- [26] Xie Y. and Williams J.A., "The prediction of friction and wear when a soft surface slides against a harder rough surface", *Wear*, 196: 21–34, (1996).
- [27] Agarwal S. and Rao P.V., "A new surface roughness prediction model for ceramic grinding", *Journal of Engineering Manufacture*, 219: 811-821, (2005).
- [28] Kun Li and Liao T. W., "Modelling of ceramic grinding processes part 1. number of cutting points and grinding forces per grit", *Journal of Materials Processing Technology*, 65: 1-10, (1997).
- [29] Hecker R. et al., "Grinding force and power modeling based on chip thickness analysis", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 33: 449-459, (2007).
- [30] Chang H. C., Wang J. and Junz J., "A stochastic grinding force model considering random grit distribution", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 48: 1335-1344, (2008).
- [31] Nguyen T. A. and Butler D. L., "Simulation of surface grinding process, part 2: interaction of the abrasive grain with the workpiece", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 45: 1329-1336, (2005).
- [32] Salisbury E., Domala K. et al., "A three-dimensional geometric model for the surface texture generated by a single pass of the wheel in a surface grinding process", *Manufacturing Science and Engineering*, 3: 363-375, (1995).
- [33] Doman D.A., Warkentin A. and Bauer R., "A survey of recent grinding wheel topography models", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 46: 343-352, (2006).
- [34] Adıyaman O. "İkincil dönel eksenli ile klasik düzlem yüzey taşlama mekanizmasında kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisinin deneysel incelenmesi", *Technological Applied Sciences*, 11(1): 10-23, (2016).
- [35] Adıyaman O. Ve Savaş V., "İkincil dönel eksenli ile klasik düzlem yüzey taşlama mekanizmalarının deneysel araştırılması", *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 11(4): 21-36, (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>

Metasezgisel metotlar kullanılarak ekonomik yük dağıtım problemi için çözüm: *grafiksel kullanıcı arayüzü uygulaması*

Solution of economic dispatch problem using metaheuristic methods: graphical user interface application

Yazar(lar) (Author(s)): Ulaş EMİNOĞLU, Ozan KARAHAN

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Eminoğlu U. ve Karahan O., "Metasezgisel metotlar kullanılarak ekonomik yük dağıtım probleminin çözümü: *grafiksel kullanıcı arayüzü uygulaması*", *Politeknik Dergisi*, 20 (4) : 827-835, (2017).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.369019

Metasezgisel Metotlar Kullanılarak Ekonomik Yük Dağıtım Probleminin Çözümü: *Grafiksel Kullanıcı Arayüzü Uygulaması*

Araştırma Makalesi /Research Article

Ulaş EMİNOĞLU¹, Ozan KARAHAN²

¹Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Elektrik-Elektronik Bölümü, TOKAT.

²Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Anabilim Dalı, TOKAT

(Geliş/Received : 01.12.2016 ; Kabul/Accepted : 04.04.2017)

ÖZ

Elektrik enerjisi üretiminde termik santraller önemli bir rol oynamaktadır. Bu tip santrallerin birlikte çalışmaları durumunda optimum çalışma koşullarının belirlenmesi, enerji üretim maliyeti açısından son derece önem taşımaktadır. Diğer taraftan, Grafik Kullanıcı Arayüzü (GKA) tasarımı, geliştirilen yazılımın uygulanarak sonuçların kolaylıkla elde edilmesine imkan sağlamaktadır. Bu nedenle, çalışmada metasezgisel metotlardan hızlı, yakınsama ve optimum çözüme ulaşabilme özelliklerine sahip Diferansiyel Gelişim Algoritması (DGA) ve Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (PSO) metodu kullanılarak Ekonomik Yük Dağıtım (EYD) problemlerinin çözümü için geliştirilen optimizasyon algoritmaları ve tasarlanan Arayüz verilmektedir. İlk olarak geliştirilen optimizasyon algoritmaları literatürdeki mevcut sistemlere uygulanarak geçerlilikleri ve üstünlükleri gösterilmektedir. Akabinde, bu algoritmaların kullanıcı tarafından sistemlere kolaylıkla uygulanabilmesi için C# programı kullanılarak oluşturulan paket program (Kullanıcı Arayüz'ü) verilmektedir. Elde edilen sonuçlar; PSO ve özellikle DGA kullanılarak geliştirilen optimizasyon algoritmasının yakıt maliyeti açısından daha avantajlı sonuçlar verdiğini ve oluşturulan Arayüz'ün kullanımının uygulama açısından kullanıcıya büyük kolaylık sağladığını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler : Diferansiyel gelişim algoritması, ekonomik yük dağıtım, optimizasyon, parçacık sürüsü optimizasyonu, termik santraller.

Solution of Economic Dispatch Problem Using Metaheuristic Methods: *Graphical User Interface Application*

ABSTRACT

Thermal power plants play an important role in the electrical energy production. In case these plants work together, determining the optimum point of conditions has a great importance in cost of energy which is produced. Moreover, designing a Graphical User Interface (GUI) enables the results to be easily obtained by implementing the developed software. Accordingly, in this study, using Differential Evolution Algorithm (DEA) and Particle Swarm Optimization (PSO) method which has fast convergence ability and optimal solution reachability and called as metaheuristic methods, optimization algorithms and Interface developed/created for the solution of Economic Load Dispatch (ELD) problem are proposed. Firstly, the developed optimization algorithms are applied to the existing systems in the literature and their validity and superiority are proposed. And then, a package program which is created using C# program in order to utilize the developed algorithms to the systems by the user, easily, is introduced. Results suggest that the optimization algorithms developed by using PSO and especially DGA gives more advantageous results in terms of fuel cost, and the developed interface provides user a great convenience in terms of its application for solving such problems.

Keywords : Differential evolution algorithm, economic load dispatch, optimization, particle swarm optimization, thermal power plants.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Sanayileşme ve nüfus oranındaki artış enerji talebinin her geçen gün artmasına neden olmaktadır. Talepteki artış, yeni üretim santrallerinin kurulmasına ve enerji sektörünün özelleştirilmesine yol açarak enerji sistemlerini daha karmaşık hale getirmesi nedeniyle

Ekonomik Yük Dağıtım (EYD) daha da önem kazanmaktadır. EYD; en düşük maliyette talep gücünü karşılanması olarak tanımlanmaktadır. Elektrik enerjisi üretiminde yüksek oranda payı olan termik santrallerde maliyeti diğer enerji kaynaklarına kıyasla daha yüksek olan kömür, linyit, fuel-oil gibi yakıtların kullanımı yakıt ve dolayısıyla üretim maliyetini yüksek değerli kılmaktadır. Bu tip santrallerde yakıt maliyeti; çıkış gücüne bağlı olarak 2. dereceden fonksiyon (polinom) olarak tanımlanmakta, talep gücünü karşılanmasında her

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : ulaş.eminoglu@gop.edu.tr

bir santralin ve sonucunda toplam maliyetin olası en düşük değerde tutulabilmesi için optimum çalışma koşullarının belirlenmesi gerekmektedir. EYD probleminin çözümü ile bu optimum çalışma koşulları belirlenmektedir. Bu problem ayrık optimizasyon problemi olduğundan klasik optimizasyon metotları yetersiz kalabilmektedir. Bu nedenle problemin çözümünde metasezgisel optimizasyon metotları yaygın olarak kullanılmaktadır [1-17].

Bu çalışmalarda özetle; yapay sinir ağları kullanılarak 6 santralden oluşan 20 baralı sistemin maliyetinin minimizasyonu [1], IEEE 30 bara ve 6 termik santralli bir sisteme yapay arı kolonisi kullanılarak [2], 3 termik santralli kayıplı bir sisteme benzetim tavlama algoritması kullanılarak [3] EYD problemleri çözümlenmiştir. Bunların yanı sıra, IEEE 25 baralı sistemin Genetik Algoritma (GA) kullanılarak çözümü [4], 4 bölgeli bir güç sisteminde EYD probleminin PSO metodu kullanılarak çözümü [5], 2. Derece Gradient yöntemi uygulanarak Türkiye’de Ege Bölgesinde faaliyet gösteren 8 santral 22 baralı sistemde yük dağılımı probleminin çözümü [6], bu sistemde 6 santral 14 bara durumu için GA kullanılarak problemin çözümü [7], Tabu araştırmasının EYD problemlerine uygulanması [8], PSO kullanılarak 40 santralli kompleks sistemin ekonomik yük dağıtımı [9], yine PSO kullanılarak 330kV 31 baralı 7 santralli Nijerya sisteminde santraller için yakıt maliyetinin minimizasyonu [10], 6 santralli 26 baralı 46 iletim hatlı kayıplı bir hattın ekonomik yük dağıtımı [11]’ de, gerçekleştirilmiştir. Benzer şekilde metasezgisel metotlardan DGA ve geliştirilmiş DGA kullanılarak farklı sistemler için ekonomik yük dağıtımı [12-14]’de gerçekleştirilmiştir. Bunlardan [14]’de verilen çalışmada maliyeti yüksek ünitelerin güçleri minimize edilecek şekilde algoritma oluşturulmuş sonuçlar Newton, Lamda iterasyon ve Gradient metotları ile elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılarak geliştirilen algoritmanın maliyet açısından avantajlı olduğu gösterilmiştir. Referans [15]’de Lagrange metodu kullanılarak 6, 7 ve 10 üniteli sistemler için EYD problemi çözülerek sistemlerde yükün zamana göre artışı dikkate alınmış ve yük değişiminin maliyet üzerindeki etkisi analiz edilmiştir. Lamda iterasyon metodu ve Yapay Sinir Ağlarının (YSA) EYD problemlerinin çözümü için performansları karşılaştırılarak YSA’nın hesaplama süresi ve optimum çözüme yakınsama açısından daha avantajlı olduğu [16]’da gösterilmiştir. Benzer şekilde [17]’de metasezgisel metotlardan DGA, PSO ve Yapay Arı Kolonisi (YAK) algoritmalarının EYD problemlerinin çözümünde performansları karşılaştırılmış ve DGA’nın diğer optimizasyon metotlarına nazaran daha kısa sürede çözüme ulaştığı sonucuna varılmıştır.

Grafiksel Kullanıcı Arayüzü (GKA) uygulamaları; programlama dili kullanımı ve kodlama gerektirmeksizin sistemler için bilgi girişi, simgeler, ikonlar ve diğer görsel grafikler yardımıyla sonuca ulaşılması açısından kullanıcıya büyük avantaj sağlamaktadır. Bu nedenle Grafik Kullanıcı Arabirimi uygulamaları; Güç

sistemlerinde gerilim karahlık analizi ve optimum reaktif güç kompanzasyonu için Arayüz [18], Rüzgar Türbinleri ve kullanılan jeneratörlerin modellenerek güç sistemlerine entegrasyonu paketi [19], vb. gibi bir çok alanda GKA uygulamaları yapılmıştır. Fakat EYD problemlerinin çözümüne ilişkin GKA uygulamaları literatürde yer almamaktadır. Bunlara ilaveten diğer bir çok alanda olduğu gibi EYD problemlerinin çözümünde de DGA ve PSO metotları hızlı yakınsama ve optimum çözüme erişim açısından diğer optimizasyon tekniklerine göre daha avantajlı olduğu literatürde bazı çalışmalarda gösterilmiştir [9, 11, 14, 17]. Bu durumlar göz önünde bulundurularak EYD probleminin optimum çözümü için optimizasyon algoritmaları geliştirilmiş ve bu algoritmaların kolaylıkla sistemlere uygulanabilirliği açısından Grafik Kullanıcı Arayüz’ü tasarlanmıştır. Çalışmada ilk olarak EYD problemi ve buna ilişkin matematiksel modeller verilmektedir. Sonrasında PSO ve DGA kullanılarak geliştirilen optimizasyon algoritmaları verilmektedir. Geliştirilen algoritmalar, literatürde analiz edilen ve pratikte de kullanılan sistemlere uygulanarak geçerlilikleri ve diğer çözüm algoritmalarına göre üstünlükleri Bölüm 4’de analiz edilmektedir. Bölüm 5’de oluşturulan Arayüz tanıtılarak güvenilirliği literatürde EYD problemi çözülmüş sistemler üzerinde test edilmektedir. Uygulama sonuçları algoritmalar kullanılarak maliyet açısından en uygun çalışma koşullarının elde edilebildiğini ve oluşturulan Arayüz’ün algoritmaların sistemlere kolaylıkla uygulanabilmesi açısından avantajlı olduğunu göstermektedir.

2. EKONOMİK YÜK DAĞITIM PROBLEMİ (ECONOMIC LOAD DISPATCH PROBLEM)

Bir elektriksel güç sisteminde talep gücün maliyeti en düşük seviyede tutacak şekilde termik üretim birimlerine paylaştırılması EYD problemi olarak tanımlanır. Bu problem yük talebine göre 3-5 dakika aralıklar ile mevcut her bir santralin üretim miktarının optimum değeri belirlenerek çözülmektedir. Sistemdeki yük dengesi:

$$\sum_{i=1}^n P_i - P_L = P_D \quad (1)$$

şeklinde tanımlanmaktadır [7]. Burada MW cinsinden P_i termik ünitelerin toplam çıkış gücü, P_L toplam hat kayıpları ve P_D ise toplam yük talebidir. Her bir termik grubun maliyet fonksiyonu (F_i) ve bunlara göre sistemin toplam üretim maliyeti (F_T) ise $\$/h$ aşağıda verildiği gibi tanımlanmaktadır [6-7].

$$F_i(P_i) = c_i + b_i P_i + a_i P_i^2 \quad (2a)$$

$$F_T = F_1(P_1) + F_2(P_2) + \dots + F_n(P_n) = \sum_{i=1}^n F_i(P_i) \quad (2b)$$

EYD probleminin mevcut kısıtlamalar dikkate alınarak

çözümü ile Denklem (2a)'da verilen her bir üretim grubunun optimum maliyeti belirlenmekte dolayısıyla da Denklem (2b) ile tanımlanan toplam üretim maliyeti optimize edilmektedir. Probleminin çözümü, santrallerin toplam çıkış gücünün minimum ve maksimum güç limitlerinde ve Denklem (1)'de verilen güç dengesinin korunmasını gerektirmektedir. Bunlardan her bir santral grubunun toplam çıkış gücü limitler dikkate alınarak:

$$P_i^{min} \leq P_i \leq P_i^{max} \quad (3)$$

şeklinde tanımlanarak optimizasyon problemine bir kısıtlama olarak dahil edilmektedir. Üretim, kayıp ve tüketilen güç dengesi ise:

$$CF = \sum_{i=1}^n P_i - P_L - P_D \quad (4a)$$

$$F_T = \sum_{i=1}^n F_i(P_n) + a \times CF^2 \quad (4b)$$

şeklinde tanımlanan ceza faktörünün (CF) toplam maliyete yansıtılması sonucunda korunmaktadır. Burada n toplam santral sayısı, a ise ceza fonksiyonu katsayısı olup çalışmada $a=25$ değeri kullanılmıştır [7]. Maliyete etki eden büyüklüklerden biri ise sistemdeki toplam kayıp güç olup santrallerin üretim büyüklüklerine bağlı olarak aşağıdaki şekilde hesaplanarak optimizasyon problemi çözümüne dahil edilmektedir.

$$P_L = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N P_i B_{ij} P_j + \sum_{i=1}^N B_{oi} P_i \quad (5)$$

Burada B_{ij} iletim hattı kayıpları için katsayı matrisi ve B_{oi} ise katsayı vektörüdür [6].

3. EYD PROBLEMİNİN ÇÖZÜMÜ İÇİN GELİŞTİRİLEN ALGORİTMALAR (DEVELOPED ALGORITHMS FOR THE SOLUTION OF EYD PROBLEM)

Talep gücün birden fazla santral tarafından karşılanması, üretim-tüketim dengesi ve güç üretiminin limitler dahilinde yapılabilmesi nedenleriyle EYD problemi kısıtlamalı optimizasyon probleminin çözümünü gerektirmektedir. Metasezgisel optimizasyon teknikleri kullanılarak çok değişkenli problemler kolaylıkla çözülebilmektedir. Bu nedenle problemin çözümü için bu çalışmada kullanım açısından kolay, hızlı ve etkin sonuçlar verebilmeleri nedeniyle Diferansiyel Gelişim Algoritması (DGA) [20] ve Parçacık Sürüşü Optimizasyon (PSO) metodu [21] kullanılmıştır. Uygulanan popülasyon temelli optimizasyon metodları lineer (doğrusal) olmayan problemlerin çözümü için geliştirilmiş olup çok değişkenli optimizasyon problemlerinin çözümünde yaygın olarak kullanılmaktadır [5, 9-14, 17].

DGA'nın problemlere uygulamasında başlangıç

popülasyon bireyleri (x_{ij}) ($i=1, 2, \dots, NP$, $j=1, 2, \dots, D$) rasgele oluşturulmaktadır. Burada D ; parametre sayısı olup NP ; popülasyon büyüklüğüdür. Oluşturulan başlangıç bireyleri kullanılarak tüm bireylere sırasıyla mutasyon, çaprazlama ve seçim işlemleri uygulanarak tanımlanan durdurma kriteri sağlanıncaya kadar aday popülasyon bireyleri türetilmektedir. İlk olarak algoritmada sınır değerler içerisinde rastgele oluşturulan başlangıç bireyleri mutasyona tabi tutulmaktadır. Bu işlem ile bireyler için mutant vektörler (v_{ij}) birbirinden ve bireyden farklı bireyler (x_r), ve parametreler için mevcut en uygun birey ($x_{b_{ij}}$) kullanılarak;

$$v_{ij} = x_{ij} + F \times (x_{b_{ij}} - x_{ij}) + F \times (x_{r_1} - x_{r_2}) \quad (6)$$

ifadesi ile veya buna benzer tanımlanmış ifadelerden biri kullanılarak oluşturulmaktadır. Burada F ; değeri genelde 0 ile 1 arasında değişen ölçekleme (mutasyon) faktörünü göstermektedir. Sonrasında ise aday birey oluşturulan mutant birey ve mevcut birey arasında çaprazlama uygulanarak belirlenmektedir. Çaprazlama, 0 ile 1 aralığında rastgele seçilen değer (r_i) ve çaprazlama oranı (CR) değerine göre yapılmaktadır. Eğer $r_i < CR$ ise aday birey mutant bireyden (v_{ij}), değil ise aday birey mevcut popülasyon bireylerinden (x_{ij}) seçilmektedir. Seçme işlemi, mevcut birey ve aday bireyler hedef fonksiyonunda değerlendirilerek yapılmakta ve yeni popülasyon oluşturulmaktadır [20]. DGA ile EYD probleminin çözümüne ilişkin algoritma adım adım olarak aşağıda verilmektedir.

Adım 1: DGA için çaprazlama oranı (CR), ölçekleme faktörü (F), maksimum iterasyon sayısı ($iter_{max}$) ve popülasyon sayısı (NP) değerlerini gir.

Adım 2: EYD problemi için termik santrallerin çıkış gücü limitlerini, talep yük (P_D) ve hat kayıpları için katsayı matrisi (B_{ij}), vektörünü (B_{oi}) gir.

Adım 3: Santral güçleri için limitler dâhilinde başlangıç popülasyonlarını (x_{ij}) rastgele oluştur.

Adım 4: Her bir iterasyon için aşağıda verilen adımları maksimum iterasyon sayısına ulaşınca kadar tekrar et.

- Her bir birey (x_{ij}) için birbirinden farklı rastgele iki birey (x_r) oluştur.
- 0 ile NP arasında rastgele bir tam sayı olarak bir index (R) oluştur.
- Aday bireyleri ($v_{ij,t+1}$) aşağıdaki şekilde oluştur:
 - Her i . birey için 0 ile 1 arasında rastgele bir sayı (r_i) üret. Eğer $r_i < CR$ veya $i=R$ ise aday $v_{ij,t+1}$ bireyini Denklem (6)'da verildiği şekilde oluştur. Aksi durumda aday birey için mevcut bireyi kullan, $v_{ij,t+1}=x_{ij,t}$.
 - Santral güç limitlerine göre aday bireylerin ($v_{ij,t+1}$) sınırlarını kontrol et.
 - Denklem (4)'ü kullanarak aday bireyleri ($v_{ij,t+1}$) değerlendir. Eğer $F_T(v_{ij,t+1}) < F_T(x_{ij,t})$ ise yeni birey için aday bireyi kullan, $x_{ij,t+1}=v_{ij,t+1}$.
- Her bir yeni i . bireyleri ($x_{ij,t+1}$) Denklem (4)'ü kullanarak hedef fonksiyonuna göre değerlendir.

Eğer en düşük maliyeti veren i . bireyler bir önceki en iyi çözümden daha düşük maliyete sahip ise bu bireyleri çözüm olarak sakla, $x_{ç,t+1}=x_{ij,t+1}$, aksi durumda mevcut en iyi bireyleri kullan, $x_{ç,t+1}=x_{ç,t}$.

Kullanılan diğer optimizasyon metodu olan Parçacık Sürüsü Optimizasyon (PSO) metodu EYD problemine bir çok kez çok kez uygulanmıştır [5, 9-11, 17]. PSO metodu popülasyon tabanlı stokastik bir optimizasyon tekniği olup kuş sürülerinin davranışları gözlemlenerek 1995 yılında Kennedy ve Eberhart tarafından geliştirilmiştir [21]. PSO metodu ile $NP \times D$ boyutlu popülasyon bireyleri (p_{ij} ; $i=1, 2, \dots, NP$ ve $j=1, 2, \dots, D$) yani parçacıklar başlangıçta rasgele üretilmekte ve popülasyon bireyleri güncellenerek en uygun değer araştırılmaktadır. Her bir iterasyonda, her bir parçacık iki en iyi değere göre güncellenmektedir. Bunlardan birincisi bir parçacığın o ana kadar bulduğu en iyi uygunluk değeri olup bu değer daha sonra kullanılmak üzere hafızada tutulmakta ve “ $pbest$ ” olarak adlandırılmaktadır. Diğer en iyi değer ise popülasyondaki herhangi bir parçacık tarafından o ana kadar elde edilmiş en iyi uygunluk değerine sahip çözümdür. Yani $pbest$ ’lerin en uygunudur. Bu değer popülasyon için global en iyi değerdir ve “ $gbest$ ” olarak isimlendirilir. Algoritmada her bir iterasyonda $v_{ij,t}$ hız vektörüne göre $p_{ij,t}$ parçacıklarının konumlarındaki değişim miktarı belirlenerek ($v_{ij,t+1}$), parçacıkların yeni konumu ($p_{ij,t+1}$) aşağıdaki şekilde oluşturulmaktadır.

$$v_{ij,t+1} = w \times v_{ij,t} + c_1 \times rand_1 \times (pbest_{ij,t} - p_{ij,t}) + c_2 \times rand_2 \times (gbest_{ij,t} - p_{ij,t}) \quad (7a)$$

$$p_{ij,t+1} = p_{ij,t} + v_{ij,t+1} \quad (7b)$$

Burada $rand$ 0-1 arasında üretilen rastgele bir sayı, i parçacık numarasını ve t ise iterasyon sayısını göstermektedir. Diğer c_1 ve c_2 öğrenme faktörleri olup genellikle eşit alınmakta, w eylemsizlik ağırlığı olarak adlandırılmakta ve her bir iterasyonda lineer olarak azaltılmaktadır. PSO kullanılarak EYD probleminin çözümüne ilişkin algoritma adım adım aşağıda verilmiştir.

Adım 1: Durdurma kriteri için maksimum iterasyon sayısı ($iter_{max}$), öğrenme faktörü (c_1 ve c_2), eylemsizlik ağırlığı (w) ve popülasyon büyüklüğü (NP) değerlerini gir.

Adım 2: EYD problemi için termik santrallerin çıkış gücü limitlerini, talep yük (P_D) ve hat kayıpları için katsayı matrisi (B_{ij}), vektörünü (B_{oi}) gir.

Adım 3: Santral güçleri için limitler dâhilinde başlangıç popülasyonlarını (p_{ij}) rastgele oluştur.

Adım 4: Maksimum iterasyon sayısı tamamlanıncaya kadar aşağıdaki işlemleri her bir iterasyon için tekrar et.

- Bireylerin ($p_{ij,t}$) mevcut pozisyonunu Denklem (4) ile verilen amaç fonksiyonu için değerlendir. Eğer $F_T(p_{ij,t}) < F_T(p_{ij,t-1})$ ise i . bireylerin en iyi pozisyonunu değiştir, $pbest_{ij}=p_{ij,t}$.

- Bireylerin en iyi pozisyonlarını ($pbest$) karşılaştırarak içlerindeki en iyi pozisyona sahip bireyleri çözüm olarak ata, $gbest_{ij,t}=F_T(pbest_{ij,t})_{min}$.
- Denklem (7) ile aday bireyleri ($p_{ij,t+1}$) oluştur ve santral güç limitlerine göre oluşturulan aday bireylerin sınırlarını kontrol et.
- İterasyon sayısını bir arttır, $t=t+1$. Eğer $t \leq iter_{max}$ ise Adım 4’e değil ise 5. Adıma git.

Adım 5: En iyi çözüm olarak $gbest_{ij,t}$ ’yi kullan, $p_{ç}=gbest_{ij,t}$.

4. ALGORİTMALARIN EYD PROBLEMLERİNE UYGULANMASI (APPLICATION OF ALGORITHMS TO EYD PROBLEMS)

Bölüm 3’de verilen algoritmalar birden fazla EYD problemine uygulanarak sonuçlar literatürde verilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Optimizasyon algoritmaları için maksimum iterasyon sayısı ve popülasyon büyüklüğü (NP), DGA için ölçekleme faktörü (F) ve çaprazlama oranı (CR), PSO için öğrenme faktörleri (c_1 , c_2) ve başlangıç ağırlıklandırma oranı (w) literatürde kullanılan değerler dikkate alınarak deneme yöntemine göre seçilmiştir. Tasarım parametrelerinin değişimi ve EYD problemleri için elde edilen sonuçlar literatürde verilen sonuçlara göre kontrol edilerek DGA için $F=CR=0.8$, PSO için $c_1=c_2=2$ ve $w=1$, her iki metod için $NP=100$ ve maksimum iterasyon sayısı 500 değerlerinin bu problem için uygun olduğu görülmüştür. Her iki metod kullanılarak oluşturulan çözüm algoritması MATLAB programında [22] kodlanarak çalıştırılmıştır.

Algoritmalar ilk olarak literatürde geniş olarak incelenen 3 (üç) santralden oluşan sisteme uygulanmıştır. Termik santrallerin maliyet eğrisi Denklem (2a)’da verildiği gibi ikinci dereceden bir fonksiyon olup bunlara ilişkin katsayılar, jeneratör limitleri ve iletim hattı katsayı matrisleri [3]’de verilmiştir. Sistemdeki toplam 850 MW’lık talep yükü karşılamak üzere algoritmalar kullanılarak elde edilen yük dağılımı sonuçları Çizelge 1’de verilmiştir. Çizelgede ayrıca Ref. [3]’de sistem için Benzetim Tavlama (BT) yöntemi, Genetik Algoritma (GA) ve Lagrange Yöntemi kullanılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırma amaçlı verilmiştir. Çizelgeden görüleceği üzere PSO ve DGA kullanılarak elde edilen santral güçleri tamamen örtüşmektedir. Diğer taraftan bu değerler BT ve GA ile elde edilen yük dağılımına yakın değerli olup maliyet açısından ceza fonksiyonu değeri de ilave edilmesine rağmen daha avantajlıdır. Dolayısıyla uygulanan algoritmaların EYD problemi için daha avantajlı olduğunu söylemek mümkündür.

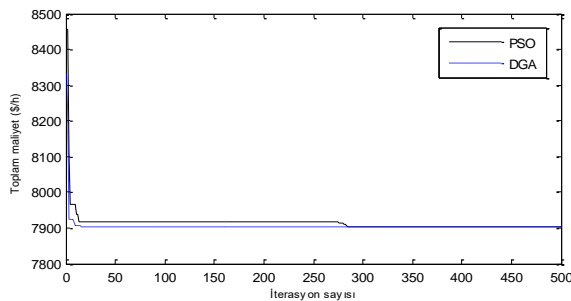
Çizelge 1. Üç santralli sistem için yük dağılımı ve maliyet değerleri (Load distribution and cost values for the 3 station system)

Metot	P ₁ (MW)	P ₂ (MW)	P ₃ (MW)	$\sum_{i=1}^n (P_i)$	P _L (MW)	F _T (\$/h)
Lagrange [3]	435.13	299.99	130.71	865.83	15.83	7955
BT [3]	552.50	218.70	93.30	864.50	14.50	7905
GA [3]	549.80	223.90	90.90	864.60	14.60	7904
DGA	551.15	220.45	92.67	864.29	14.51	7903
PSO	551.18	220.46	92.68	864.38	14.51	7903

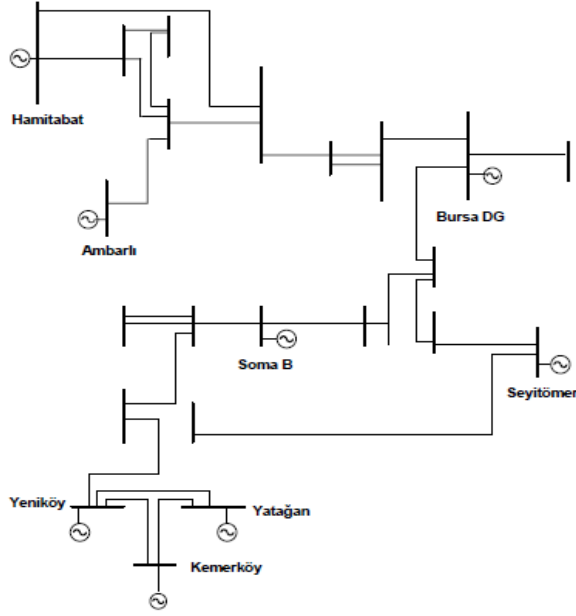
Çizelge 2. 6 jeneratör 8 yük baralı sistem için yük dağılımı ve maliyet değerleri (Load distribution and cost values for 6 generators with 8 load-bus system)

Metot	Bursa DG	S.ömer	SomaB	Y.köy	K.köy	Yatağan	F _T (\$/h)
GA [7]	554.04	496.95	320.80	357.17	519.25	486.62	47679.28
DGA	554.90	515.00	334.00	336.50	518.74	475.30	47657.07
PSO	554.92	515.01	334.02	336.51	518.75	475.31	47657.83

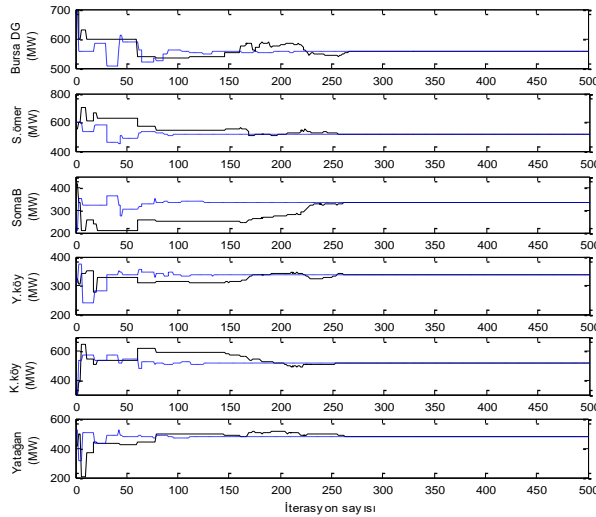
Algoritmalar i5;3.3-GHz işlemci ve 8 GB/3.3-GHz hafıza özelliklerine sahip bilgisayarda çalıştırılarak analizler yapılmıştır. Her iki metot kullanılarak yapılan tasarım optimizasyonu için hedef (amaç) fonksiyonu toplam yakıt maliyetinin iterasyon sayısı ile değişimi Şekil 1’de verilmiştir. Hesaplama süresi açısından DGA temelli algoritmanın 500 iterasyonu 0.96 saniye civarında, PSO temelli algoritmanın ise 0.99 saniye civarında tamamlamaktadır. Ayrıca algoritmaların her uygulamada çözüm olarak aynı sonuçlara yakınsadığı görülmüştür. Dolayısıyla algoritmaların hem hesaplama süresi hem de tek uygulamada optimum çözüme yakınsaması açısından periyodik olarak yapılan yük dağılımı uygulaması açısından elverişli olduğunu söylemek mümkündür.

**Şekil 1.** 3 santralli güç sistemi için toplam yakıt maliyetinin en uygun değerinin iterasyon sayısına göre değişimi (Variation of the most appropriate value of total fuel cost by the number of iterations for the 3 stations power system)

Çalışmada ikinci olarak Türkiye’de kullanılan 22 baralı 8 santral (jeneratör barası) ve 14 yük barasından oluşan güç sisteminde minimum enerji maliyeti için santrallerin optimum çalışma koşulları incelenmiştir. Sistemin tek hat devre şeması Şekil 1’de, santraller için maliyet fonksiyonuna ilişkin katsayılar ve güç limitleri Ref. [6]’da verilmiştir. İlk olarak sistemde toplam 2734.9 MW olan 8 yük ve 6 jeneratör barası bulunması durumu için geliştirilen PSO ve DGA temelli algoritmalar uygulanarak EYD problemi çözümlenmiş ve sonuçlar Ref [7]’de Genetik Algoritma (GA) kullanılarak elde edilen sonuçlar ile birlikte Çizelge 2’de verilmiştir. Ayrıca her iki optimizasyon metodunun uygulanmasında santrallerin en uygun güç değerlerinin iterasyon sayısına göre değişimi Şekil 3’de verilmiştir. Çizelgeden her iki algoritma ile elde edilen ve Denklem (4b) ile tanımlanan maliyet değerinin Ref. [7]’de verilen GA algoritması sonuçlarına nazaran daha avantajlı olduğu görülmektedir. Buna ilaveten DGA kullanılarak sistem için EYD probleminin 500 iterasyon için çözümü 1.07 saniyede, PSO temelli optimizasyon algoritması ile 1.08 saniyede tamamlanmıştır. Sistemde jeneratör sayısı dikkate alındığında bu sürelerin problemin çözümü için elverişli değerler olduğunu söylemek mümkündür. Ayrıca Şekil 3’den görüleceği üzere DGA temelli algoritma ile optimum çözüme 250 iterasyondan daha düşük, PSO temelli algoritma ile 300 iterasyondan daha düşük adımda ulaşıldığı görülmektedir. Bu durum verilen hesaplama sürelerinden daha düşük sürelerde sonuca ulaşılabilceğini göstermektedir.



Şekil 2. 22-Baralı 8 termik santralli sistemin tek hat devre şeması (Single line circuit diagram of 8 thermal power plants with 22 load-bus)



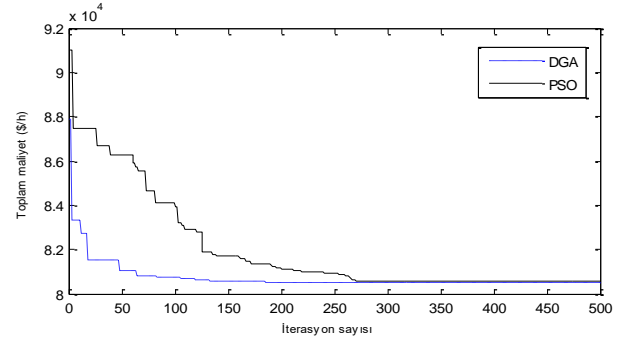
Şekil 3. Algoritmalarda (—PSO, - -DGA) santrallerin toplam çıkış gücünün iterasyon sayısına göre değişimi (Variation of the total output power of power plants according to the number of iterations for the algorithms;—PSO, - -DEA)

Şekil 2’de verilen sistemde toplamda 4000 MW güçlü 14 yükün 8 jeneratör (santral) tarafından beslenmesi durumu

Çizelge 3. 8 jeneratör 14 yük baralı sistem için yük dağılımı ve maliyet değerleri (Load distribution and cost values for 8 generator with 14 load-bus system)

Metot	H.bat	Bursa DG	Ambarlı	S.ömer	SomaB	Y.köy	K.köy	Yatağan	F _T (\$/h)
Gradient [6]	368.74	649.72	480.19	587.31	393.36	384.36	592.11	543.68	80533
DGA	368.73	649.50	480.10	587.18	393.83	384.42	591.97	543.75	80526
PSO	388.78	626.83	468.96	566.84	389.76	410.71	610.96	536.72	80567

için EYD problemi çözülerek sonuçlar Ref. [6]’da İkinci Derece Gradient metot kullanılarak elde edilen sonuçlar ile birlikte Çizelge 3’de verilmiştir. Ayrıca algoritmaların sistem için EYD problemine uygulamasında her bir iterasyon sonucunda toplam maliyetin değişimi Şekil 4’de verilmiştir. Çizelgeden görüleceği üzere DGA ile elde edilen sonuçlar Gradient metot sonuçları ile uyuşmakta olup toplam maliyet açısından daha avantajlı sonuçlar vermektedir. Diğer taraftan PSO temelli algoritma ile yapılan yük dağılımı sonuçlarının maliyet açısından diğer metotlara nazaran daha elverişsiz olduğu görülmektedir. Dolayısıyla PSO metodunun bu tip optimizasyon probleminde değişken sayısı arttıkça optimum sonuca ulaşması açısından performansının zayıfladığını söylemek mümkündür. Bu durum algoritmanın tekrarlı uygulamalarında farklı çözümlere yakınsamasından da ayrıca görülmüştür. Hesaplama süresi açısından ise DGA ve PSO temelli algoritmaların 500 iterasyonu sırasıyla 1.13 ve 1.16 saniyede tamamladığı görülmüş olup bu tip optimizasyon probleminin çözümünde değişken (santral) sayısının artmasının algoritmaların performansını çok düşük oranda etkilediğini söylemek mümkündür.



Şekil 4. 8 santralli güç sistemi için toplam maliyetin en uygun değerinin iterasyon sayısına göre değişimi (Variation of the most appropriate value of the total cost for the power system with 8 power plants according to the number of iterations)

5. EYD PROBLEMLERİNİN ÇÖZÜMÜ İÇİN OLUŞTURULAN ARAYÜZ (INTERFACE CREATED FOR THE SOLUTION OF ELD PROBLEMS)

Grafiksel Kullanıcı Arayüzü (Graphical User Interface); problemlerin kavranması ve kolaylıkla çözüme erişebilmesi açısından büyük öneme sahiptir. Ayrıca

problemin çözümünde kullanıcı, işlemlerine doğrudan müdahale edebilmekte ve muhtemel kullanıcı hataları kolaylıkla belirlenerek giderilebilmektedir. Bundan dolayı değişik alanlarda problemlerin çözümü veya uygulamalar için Arayüzler tasarlanarak yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle, Bölüm 3’de verilen ve 4. Bölümde geçerliliği ve avantajları gösterilen DGA ve PSO temelli algoritmalar kullanılarak EYD probleminin çözümü için Grafik Kullanıcı Arayüzü geliştirilmiştir. Arayüz, kullanımı kolay, tamamen nesneye yönelik olması ve diğer nesne tabanlı programlama dillerine nazaran daha hızlı olması nedenleriyle C# yazılım programı kullanılarak tasarlanmıştır [23].

Geliştirilen Arayüz’de sistem bilgi girişi ve optimizasyon sonuçları aynı pencerede yapılmakta/görülmektedir. Giriş bilgisi olarak Şekil 5’den görüleceği üzere generatör limitleri, maliyet fonksiyonu katsayıları, ve hat kayıpları vektörü ve toplam talep güç kullanılmaktadır. Arayüzde sistem için giriş bilgileri ve sonuçlar “Clear”

butonu ile temizlenmektedir. Ayrık optimizasyon probleminin çözümü için kullanılacak algoritma “PSO” ve “DEA” butonları ile seçilerek seçilen algoritmaya ait parametrelerin değerleri, maksimum iterasyon sayısı ve popülasyon büyüklüğü Şekil 5’den görüleceği üzere kullanıcı tarafından tanımlanabilmektedir. Optimizasyon programı “Run”butonu ile çalıştırılarak sonuçlar aynı arayüzde “Optimizasyon results” bölümünde verilmektedir. Şekil 6’da verildiği üzere, sonuçlar her bir santral için optimum güç değeri, üretilen enerji miktarı, yakıt maliyeti ve birim enerji maliyeti büyüklüklerinden oluşturulmuştur. İncelenen sistem için hatlardaki toplam kayıplar ve Denklem (4)’de tanımlanan güç denge koşulundaki ceza fonksiyonu değeri ayrıca verilmektedir. Bunlara ilaveten her bir optimizasyon algoritması için toplam yakıt maliyetinin iterasyon sayısına göre değişimi tasarlanan Arayüzde grafiksel olarak verilmektedir.

Şekil 5. Geliştirilen Arayüz (kullanım penceresi) (Developed Interface (usage window))

Şekil 6. Arayüz ile bilgi girişi ve DGA ile EYD probleminin çözümü (Data input with the interface and solving the problem of ELD with DEA)

Geliştirilen Arayüz güç sistemlerinde EYD problemlerinin çözümü için uygulanarak güvenilirliği test edilmiştir. Çizelge 4’de 6 jeneratörlü sistem için Arayüz kullanılarak elde edilen EYD sonuçları Ref [8]’de Tabu Araştırması metodu kullanılarak elde edilen sonuçlar ile birlikte verilmiştir. Çizelgede ayrıca çalışmada karşılaştırma amaçlı kullanılan Hopfield

sağlamaktadır. Arayüz kullanılarak PSO algoritması ile sonuçların elde edilmesi Şekil 7’de verilmiştir. Ayrıca şekilden sistem için santral limitleri ve yakıt maliyet fonksiyonu katsayı değerlerinin görülebilmektedir. Referans [14]’de verilen 10 jeneratörlü güç sistemi için elde edilen yük dağılımı ve sonucunda toplam yakıt maliyeti Çizelge 5’de verilmiştir. Her iki algoritma ile

Çizelge 4. 6 jeneratörlü sistem için yük dağılımı ve maliyet değerleri (Load distribution and cost values for 6 generator power systems)

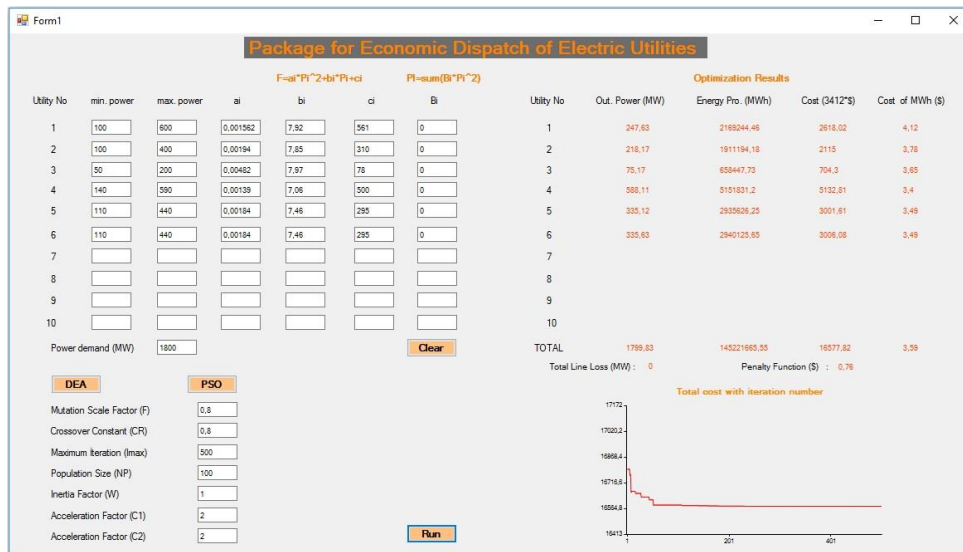
Metot	1. Grup (MW)	2. Grup (MW)	3. Grup (MW)	4. Grup (MW)	5. Grup (MW)	6. Grup (MW)	F _T (\$/h)
FLCGA [8]	250.49	215.43	109.92	572.84	325.66	325.66	16585.85
IHN [8]	248.08	217.74	75.18	587.90	335.55	335.55	16579.33
AHNN [8]	248.14	217.74	75.20	587.80	335.56	335.56	16579.33
Tabu Arş. [8]	248.20	217.64	75.20	587.95	335.67	335.32	16579.32
Arayüz (DGA)	246.34	216.90	74.73	589.77	335.91	336.18	16578.59
Arayüz (PSO)	247.63	218.17	75.17	588.11	335.12	335.63	16578.58

Çizelge 5. 10 jeneratörlü sistem için yük dağılımı ve maliyet değerleri (Load distribution and cost values for 10 generator systems)

Metot	P ₁ (MW)	P ₂ (MW)	P ₃ (MW)	P ₄ (MW)	P ₅ (MW)	P ₆ (MW)	P ₇ (MW)	P ₈ (MW)	P ₉ (MW)	P ₁₀ (MW)	F _T (\$/h)
DGA [14]	3.35	3.7	3.6	2.16	3.45	0.66	0.88	0.75	0.9	0.56	1922.7
DGA	3.35	3.7	3.6	2.07	3.45	0.66	0.88	0.75	0.9	0.56	1922.4
PSO	3.35	3.7	3.6	2.07	3.45	0.66	0.88	0.75	0.9	0.56	1922.4

Yapay Sinir Ağları (IHN), Genetik Algoritma temelli Bulanık Mantık Tekniği (FLCGA) ve Geliştirilmiş Yapay Sinir Ağları tekniği (AHNN) sonuçları da verilmiştir. Çizelgeden görüleceği üzere Arayüz kullanılarak yapılan santraller için yük paylaşımı güç değerleri açısından diğer metotlar ile elde edilen sonuçlar ile uyuşmakta olup maliyet açısından avantaj

elde edilen sonuçlar [14]’de DGA ile elde edilen sonuçlar ile uyuşmaktadır. Sonuç olarak DGA ve PSO algoritmaları kullanılarak geliştirilen Arayüzün EYD probleminin en uygun çözümünün elde edilmesi açısından güvenilir, ve uygulama açısından da büyük kolaylık sağladığı görülmektedir.



Şekil 7. Arayüz ile 6 baralı güç sistemi için PSO algoritması kullanılarak EYD probleminin çözümü (Solution of ELD problem using PSO algorithm for 6 bus power system with the interface)

6. SONUÇLAR (RESULTS)

Bu çalışmada birden fazla termik santral ve elektriksel yükten oluşan elektriksel güç sistemlerinde bütün yüklerin en düşük maliyetle beslenebilmesi için geliştirilen Grafikselleştirilmiş Kullanıcı Arayüz'ü tanıtılmıştır. İlk olarak farklı sistemler için EYD problemi; bu tip problemler için kullanımının avantajlı olduğu literatürde saptanmış Diferansiyel Gelişim Algoritması ve Parçacık Sürüsü Optimizasyon metotları kullanılarak çözülmüştür. Elde edilen sonuçlar, literatürde mevcut olan Lagrange yöntemi, Benzetim Tavlama, Tabu Araştırması metodu, Gradient metot, Yapay Sinir Ağları tekniği, Genetik Algoritma gibi metotlar kullanılarak elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. İncelenen her bir sistem için elde edilen toplam yakıt maliyeti değeri, PSO ve özellikle DGA kullanılarak gerçekleştirilen yük dağılımlarının daha avantajlı olduğunu göstermiştir. Çalışmada ikinci olarak, EYD probleminin çözümü için geliştirilen algoritmaların sistemlere kolaylıkla uygulanabilmesi amacıyla geliştirilen Arayüz tanıtılmıştır. Tasarlanan Arayüz kullanılarak farklı sistemler için EYD problemlerinin çözümü gerçekleştirilmiş ve sonuçlar literatürde diğer metotlar ile elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılarak geçerliliği test edilmiştir. Sonuç olarak tasarlanan Arayüz'ün en uygun (optimum) çözümün elde edilmesi ve kullanım kolaylığı açısından kullanıcıya avantaj sağladığı görülmüştür. Geliştirilen Arayüz, uygulanan sistemler için sınırsız santral kullanımına elverişli hale getirildikten sonra <http://muhendislik.gop.edu.tr/> adresinden ücretsiz erişime açılabilmektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Altun H. and Yalcinoz T., "Implementing soft computing techniques to solve economic dispatch problem in power systems", *Expert System with Applications*, 35(4): 1668-1678, (2008).
- Özyön S., Yaşar C., Özcan G. ve Temurtaş H., "Çevresel ekonomik güç dağıtım problemlerine yapay arı koloni algoritması (ABC) yaklaşımı", *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 222-228, (2011).
- Tosun S., Öztürk A., Erdoğmuş P., Biçen Y. ve Hasırcı U., "Elektrik güç sisteminde optimal yakıt maliyetinin benzetim tavlama (BT) algoritması ile belirlenmesi", *5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)*, Karabük/Türkiye, 254-258, (2009).
- Bouzeboudja H., Chaker A., Allali A. and Naama B., "Economic dispatch solution using a real-coded genetic algorithm", *Acta Electrotechnica et Informatica*, 5(4): 1-5, (2005).
- Wang L. and Singh C., "Reserve-constrained multiarea environmental/economic dispatch using enhanced particle swarm optimization", *IEEE System and Information Engineering Design Symposium*, Charlottesville/VA/USA, 96-100, (2006).
- Kurban M. ve Filik B.Ü., "Türkiye'deki 22 baralılık 380 kv'luk güç sistemi için ekonomik dağıtım ve optimal güç akışı yöntemlerinin karşılaştırmalı analizi", *SAÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 11(1): 78-86, (2007).
- Döşoğlu M.K., Duman S. ve Öztürk A., "Genetik algoritma kullanılarak ekonomik dağıtım analizi: Türkiye uygulaması", *Politeknik Dergisi*, 12(3): 167-172, (2009).
- Yalçınöz T., Yavuzer T. ve Altun H., "Tabu Araştırma Algoritması Kullanılarak Ekonomik Yük Dağıtım Probleminin Çözümü", *Elektrik - Elektronik - Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu ve Fuarı (ELECO)*, Bursa/Türkiye, (2002).
- Rahmani R., Othman M.F., Yusof R. and Khalid M., "Solving economic dispatch problem using particle swarm optimization by an evolutionary technique for initializing particles", *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 46(2): 526-536, (2012).
- Attai A.U., "Power system economic load dispatch using particle swarm optimization", *International Journal of Advanced Engineering Research and Technology*, 3(6): 202-205, (2015).
- Revathy K. and Nithiyandham C., "Economic dispatch using particle swarm optimization", *International Journal of Advanced Engineering Research and Technology*, 3(4): 59-66, (2014).
- Kumar C. and Alwarsamy T., "Solution of economic dispatch problem using differential evolution Algorithm", *International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE)*, 1(6): 236-241, (2012).
- Zou D., Li S., Wang G., Li Z. and Ouyang H., "An improved differential evolution algorithm for the economic load dispatch problems with or without valve-point effects", *Applied Energy*, 181(1): 375-390, (2016).
- Nascimento M. H. R., Nunes M. V. A., Rodríguez J. L. M. and Leite J. C., "A new solution to the economical load dispatch of power plants and optimization using differential evolution", *Electrical Engineering*, 99(2): 561-571, (2017).
- Adefarati T., Oluwole A.S. and Sanusi M.A., "Computational solution to economic operation of power plants", *Electrical and Electronic Engineering*, 3(6): 139-148, (2013).
- Suman M., Gopala Rao MV., Hanumaiah A. and Rajesh K., "Solution of economic load dispatch problem in power system using lambda iteration and back propagation neural network methods", *International Journal on Electrical Engineering and Informatics*, 8(2): 347-355, (2016).
- Hardiansyah, Junaidi and Yohannes M. S., "Application of soft computing methods for economic load dispatch problems", *International Journal of Computer Applications*, 58(13): 32-37, (2012).
- Gozel T., Eminoglu U. and Hocaoglu M.H., "A tool for voltage stability and optimization (VS&OP) in radial distribution systems using matlab graphical user interface (GUI)", *Simulation Modelling Practice and Theory*, 16(5): 505-518, (2008).
- Li W., Vanfretti L. and Chompoobutrgool Y., "Development and implementation of hydro turbine and governor models in a free and open source software package", *Simulation Modelling Practice and Theory*, 24: 84-102, (2012).
- Rainer S. and Kenneth P., "Differential evolution—a simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces", *Journal of Global Optimization*, 11: 341-359, (1997).
- Kennedy J. and Eberhart R.C., "Particle swarm optimization", *Proc. IEEE Int. Conference on Neural Networks*, Perth/WA/Australia, 4: 1942-1948, (1995).
- Matlab R2010b Enterprise: Copyright©2010.
- Rad Studio © XE6 Architect; new user-single academic edition, Copyright © 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>

Efficiency of irrigation associations in Gediz basin, Turkey

Gediz havzası sulama birliklerinin etkinliği

Yazar(lar) (Author(s)): Barış YILMAZ, Kazım ATMACA

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Yılmaz B. and Atmaca K., "Efficiency of irrigation associations in gediz basin, Turkey", *Politeknik Dergisi*, 20(4): 837-842, (2017).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.369025

Efficiency of Irrigation Associations in Gediz Basin, Turkey

Araştırma Makalesi / Research Article

Barış YILMAZ^{1*}, Kazım ATMACA²

¹ Manisa Celal Bayar University, Manisa Vocational School, Manisa, 45140, Turkey

² Manisa Celal Bayar University, Institute of Natural and Applied Sciences, Manisa, 45140, Turkey

(Geliş/Received : 05.12.2016 ; Kabul/Accepted : 17.03.2017)

ABSTRACT

This study concerns the determination of the technical efficiency of irrigation associations (IAs) located in the Gediz Basin in Turkey. For this purpose, 10 IAs operating in the Gediz Basin were evaluated with the use of input oriented DEA model which considers two inputs: water volume supplied (m^3) and total irrigated area (m^2), and one output: the total value of agricultural production (TL). The assurance region approach was used in DEA not only to include the decision makers' preferences into the analysis, but also to limit the inappropriate input/output weights that may affect the efficiency scores. The IAs were evaluated during the period 2009-2011 to conclude the variation of efficiency over the study years. The results showed that, during the study period there was an increment in the number of efficient irrigation districts from 3 to 6. However, Gediz, Mesir and Salihli Right Bank IAs were not able to increase their low efficiency scores. The possible reasons of inefficiency are investigated, and the target volume of irrigation water and irrigated area ensuring the same agricultural production were determined. It is concluded that in inefficient IAs the same agricultural production revenue can be achieved with approximately 60% less water and irrigated area.

Keywords: Data Envelopment Analysis (DEA), efficiency, irrigation, weight restrictions.

Gediz Havzası Sulama Birliklerinin Etkinliği

ÖZ

Bu çalışma, Gediz Havzasında yer alan sulama birliklerinin teknik etkinliklerinin belirlenmesini konu almaktadır. Bu amaçla, Gediz Havzasında faaliyet gösteren 10 sulama birliği girdi odaklı Veri Zarflama Analizi (VZA) modeli kullanılarak değerlendirilmiştir. Analizlerde girdi olarak sulamada kullanılan su miktarı (m^3) ve toplam sulanan alan (m^2), çıktı olarak tarımsal üretimin toplam değeri (TL) kullanılmıştır. VZA'da sadece karar vericilerin tercihlerini analizlere dâhil etmek için değil, aynı zamanda verimlilik puanlarını etkileyebilecek uygun olmayan girdi / çıktı ağırlıklarını sınırlamak için güven bölgesi yaklaşımı kullanılmıştır. Sulama birlikleri 2009-2011 dönemi boyunca değerlendirilmiş ve böylelikle etkinlik değerlerinin yıllara göre değişimi de incelenmiştir. Sonuçlar çalışma süresi boyunca etkin sulama birliği sayısının 3 den 6 ya yükseldiğini, bununla birlikte Gediz, Mesir ve Salihli Sağ Sahil sulama birliklerinin etkinlik değerlerini arttırmadığını göstermiştir. Düşük etkinlik değerlerinin olası nedenleri araştırılmış ve etkin olmayan sulama birliklerinde aynı tarımsal üretimi sağlamak için sulama suyu miktarı ve sulanan alan hedef değerleri belirlenmiştir. Çalışma sonunda etkin olmayan sulama birliklerinin aynı tarımsal üretim gelirini yaklaşık % 60 daha az su ve sulanan alan kullanarak elde edilebileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Veri Zarflama Analizi (VZA), etkinlik, sulama, ağırlık kısıtlamalar.

1. INTRODUCTION

Water is an indispensable natural resource for all life. On the other hand, water consumption is steadily increasing due to rapid population growth, global warming, industrial and technological developments. The water shortage affects 11% of the European population and 17% of the land [1]. It is expected that between 2011 and 2050, the world population will increase by 33%, growing from 7.0 billion to 9.3 billion, and food demand will rise by 60% in the same period. Furthermore, it is projected that populations living in urban areas will almost double, from 3.6 billion in 2011 to 6.3 billion in 2050 [2].

In Turkey, agriculture plays a vital role by consuming 73 % of water withdrawals [3] as well as employing 25.5 % of the workforce [4]. This increases the importance of water saving, irrigation efficiency and effective irrigation methods in the agricultural sector. As regards the sustainable management of water resources, the necessity of using modern techniques in new irrigation projects, as well as re-engineering the current irrigation areas is an accepted thought. Such studies should be initiated primarily in inefficient irrigations. The Data Envelopment Analysis (DEA), a linear programming technique, is a popular tool for assessing efficiency of a decision making unit (DMU). By the use of DEA it is possible to decide whether the use of water in an irrigation district is efficient or not.

This study aims to analyze the efficiency of Irrigation Associations (IAs) in Gediz Basin (GB), Turkey. With this aim, the research questions are summarized as (i) Are

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : baris.yilmaz@cbu.edu.tr

the IAs in the GB perform efficiently? (ii) Is the efficient or inefficient IAs change over time? (iii) Can we explain the main reasons for inefficiency? (iv) What are the projected input values to reach the same output? The answers are valuable for water managers to obtain the optimal input(s) configuration, and to take measures for a more beneficial agricultural production.

The previous studies focus on the efficiency analyses in agriculture vary according to the study area, study periods, inputs and outputs, DEA orientation type and DEA envelopment surface that can take the form of constant-return-to-scale (CRS) or variable-return-to-scale (VRS). An overview of studies on technical efficiency of agriculture using the DEA method can be found in [5]. Considering the previous studies, it is evident that the efficiency scores may change with the inputs and outputs used in DEA. However, education of the farm owner, capital expenditure and quality of soil are the main determinants of high efficiency in agriculture, while farm size and farmers' ages are equivocal effect on efficiency [6]. Therefore, confident data of homogenous DMUs should be employed in the analysis, and the results should be investigated in depth through field studies. On the other hand, weight flexibility in DEA allows zero or unacceptable low weights to certain inputs and outputs that is impossible in real life [7-8-9]. However, many researchers deal with operational management are recommended different types of weight restrictions to avoid this flexibility in DEA [10-11-12].

The main studies carried out in the literature as performance evaluation of IAs in GB are summarized below. Silay and Gündüz [13] stated that it is necessary to re-evaluate irrigation projects in GB in the context of a new master plan which should consider the pressurized irrigation system as soon as possible. They also mentioned that it has become increasingly unfavorable from the point of view of the water budget, and that only 63% of the basin can be irrigated in the current conditions. Akkuzu and Mengü [14] assessed system performance for IAs for the years 2002-2008. They have reached the conclusion that the performance of irrigation units has increased over time. Çetinkaya and Barbaros [15] studied the social, economic and climatic indicators and variables affecting water supply and demand in the GB through a water budget simulation model. They examined the use and demand of water in the basin under different response scenarios. They stated that the first step in water basin disposal is to improve existing irrigation systems. Yilmaz et al. [16] used DEA to analyze the efficiency of similar irrigation systems in Büyük Menderes Basin, and identify the input values required to reach the efficiency values and maximum efficiency of the irrigation units.

In this study, it was aimed to perform efficiency analyzes in the IAs operating in Gediz Basin that covers approximately 110 000 ha irrigation area. For this purpose, 10 IAs were evaluated by conducting an input oriented DEA model which considers two inputs: water

volume supplied (m³) and total irrigated area (m²), and one output: the total value of agricultural production (TL). The assurance region approach was used in DEA not only to include the decision makers' preferences into the analysis, but also to limit the inappropriate input/output weights that may affect the efficiency scores.

2. METHODOLOGY

Data envelopment analysis (DEA) is a multi-factor productivity analysis model for measuring the relative efficiencies of a homogenous set of decision making units (DMUs). The efficiency score in the presence of multiple input and output factors is defined as:

$$\text{Efficiency} = \frac{\text{weighted sum of outputs}}{\text{weighted sum of inputs}} \quad (1)$$

Assuming that there are n DMUs, each of with m inputs and s outputs, the relative efficiency score of a test DMU p is obtained by solving the following model proposed by Charnes et al. [17]:

$$\begin{aligned} \max \quad & \frac{\sum_{k=1}^s v_k y_{kp}}{\sum_{j=1}^m u_j x_{jp}} \\ \text{s.t.} \quad & \frac{\sum_{k=1}^s v_k y_{ki}}{\sum_{j=1}^m u_j x_{ji}} \leq 1 \quad \forall i \quad v_k, u_j \geq 0 \quad \forall k, j, \end{aligned} \quad (2)$$

where

$k = 1$ to s ,

$j = 1$ to m ,

$i = 1$ to n ,

y_{ki} = amount of output k produced by DMU i ,

x_{ij} = amount of input j utilized by DMU i ,

v_k = weight given to output k ,

u_j = weight given to input j .

The fractional program shown as (2) can be converted to a linear program as shown in (3).

$$\begin{aligned} \max \quad & \sum_{k=1}^s v_k y_{kp} \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{j=1}^m u_j x_{jp} = 1 \\ & \sum_{k=1}^s v_k y_{ki} - \sum_{j=1}^m u_j x_{ji} \leq 0 \quad \forall i \\ & v_k, u_j \geq 0 \quad \forall k, j. \end{aligned} \quad (3)$$

The above problem is run n times in identifying the relative efficiency scores of all DMUs. Each DMU selects input and output weights that maximize its efficiency score. In general, a DMU is considered to be efficient if it obtains a score of 1 and a score of less than 1 implies that it is inefficient.

The two basic DEA models are the Charnes Cooper Rhodes (CCR) model and the Banker Charnes Cooper (BCC) model. These models can be distinguished by the envelopment surface and the orientation. As shown in Figure 1, the envelopment surface can take the form of constant-return-to-scale (CRS) or variable-return-to-scale (VRS) as evaluated in the CCR model and the BCC model, respectively.

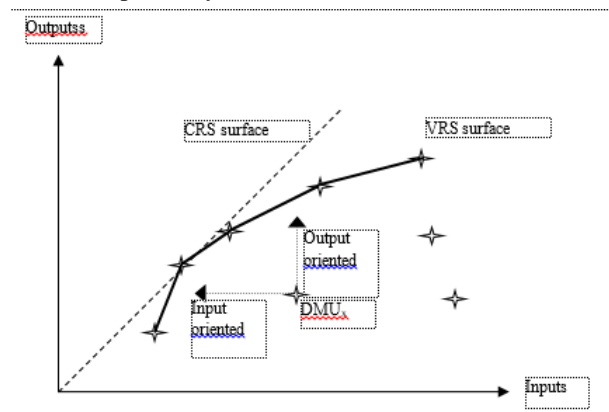


Figure 1. Envelopment surfaces and orientation

The other essential characteristic of DEA models is orientation. The output-oriented model refers to the capacity of a DMU to achieve the maximum volume of production (output) with the available inputs, while the ability to maintain the same capacity of production using a minimum of inputs is known as the input-oriented model. Input-oriented efficiency scores range between 0 and 1.0, and whereas output-oriented efficiency scores range between 1.0 to infinity; in both cases, 1.0 is efficient.

As mentioned previously, Eq.3 allows for unrestricted weight flexibility in determining the efficiency scores of DMUs. This allows units to achieve relatively high efficiencies by indulging inappropriate input and output weights. Weight restrictions allow for the integration of managerial preferences in terms of relative importance levels of various inputs and outputs. Methods for incorporating weight restrictions have been suggested by several researchers [18-19]. Since the use of assurance regions (AR) approach is denoted being more prevalent and reflecting marginal rates of substitution, it is used in this study to include DM preferences in evaluation. The process of setting AR is to define upper and lower bounds for each input and output weight. The lower (α) and upper (β) bounds for each weight can help define constraints that relate the weight values of various factors [9]. These bounds are determined with a series of questions to DMs as Wong and Beasley [12] mentioned:

(a) “Do you think that the importance of input measure i in evaluating DMUs could be as low (as high) as $z\%$?”; or (b) “Should, as a matter of policy, the importance of input measure i in evaluating DMUs be allowed to be as low (as high) as $z\%$?”. Once the upper and lower bounds of all inputs are determined, the AR constraints reflect the DM preference range on input weights (Eq. 4) can be added to the linear programming problem, thus the efficiency scores indicate more reliable and reasonable results. Several software is available for DEA to resolve any efficiency problem. Since it gives the input and output weights in pure and virtual form the software EMS [20] is used in this study.

$$v_i \geq \frac{\alpha_i}{\beta_j} v_j$$

$$v_i \leq \frac{\beta_i}{\alpha_j} v_j \tag{4}$$

3. DATA AND ANALYSIS SETUP

The Gediz Basin is located at the interval of 38° 01' - 39° 13' northern latitude and 26° 42' - 29° 45' eastern longitude (Figure 2). It has a typical Mediterranean climate with hot, dry summers and cool winters. In the basin, mean annual temperature and mean annual precipitation are 15.6°C and 635 mm, respectively. January and February are the wet, and July and August are the driest months. 75% of the total annual precipitation is observed between November and March. The basin covers an area of about 110 000 ha which are subject to extensive agricultural practices with large irrigation schemes. The main crops cultivated are cotton, maize, grape, vegetables and cereals. Due to climatic conditions, irrigation is most important requirement of agriculture which is the main economic activity in the basin. In the basin, irrigation uses a large share of the surface water resources in the basin with a total about 660 10⁶ m³.

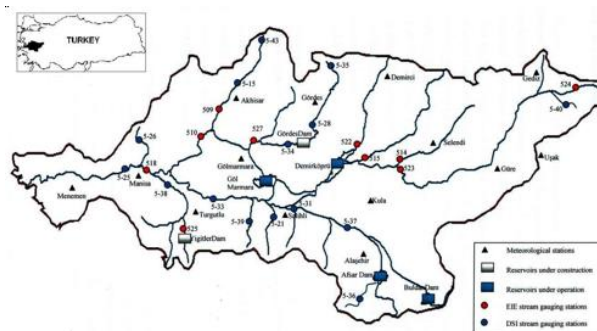


Figure 2. The Gediz Basin

In this study, the technical efficiencies of the 10 IAs operated in the basin are investigated. Data were obtained from the crop census published by DSI (General Directorate of State Hydraulic Works). Analyses were carried out using 2009-2011 data to evaluate if the

efficiency scores of IAs change over the study period, or not. The output is defined as the total production value in Turkish currency (PV-10⁶ TL) while inputs are water volume used (WU-10⁶ m³) and area irrigated (IR-10⁶ m²). The input-oriented BCC (VRS) model was used in the analyses since the current situation of agriculture in the basin require more efficient use of water. The analyses were performed with the weight limits which are obtained by the conversations with the local water managers. The additional constraints for the calculations can be summarized as: $0.30 v_1 \geq 0.70 v_2$ and $0.20 v_1 \leq 0.80 v_2$, where v_1 and v_2 indicates weights of water used and area irrigated, respectively. The data obtained by a normalization process were used in the analyses for more efficient computational execution [9]. Dyson et al. [21] suggest that to achieve a reasonable level of discrimination, the practitioner needs the number of units to be at least $2*m*s$ where $m*s$ is the product of the number of inputs and number of outputs, and state that subsets of the inputs or outputs are often correlated. In this study, the number of inputs are 2 and the number of output is 1. The number of DMUs used in the analyses are 10, and it is greater than the required $\min_{DMU} = 2*2*1 = 4$. The correlations between inputs and outputs are given in Table 1, where the strong and positive correlation can be noted for all study years. With this model composition, it is in accordance with given references.

Table 1. Correlations between inputs and outputs in study years

Correlation coefficients, r	2009		2010		2011	
	IR	PV	IR	PV	IR	PV
WU	0.91	0.86	0.95	0.93	0.96	0.86
PV	0.96	1.00	0.96	1.00	0.86	1.00

4. RESULTS AND DISCUSSION

The results of the DEA model including the data, the efficiency scores and the target input values to achieve the same output are given in Table 2, where the efficient IAs are highlighted. It is observed that the number of efficient irrigation associations increased from 3 to 6 in 2011. In addition, Gökaya and Menemen LB (Left Bank) are marked as efficient in all three years while Turgutlu has increased its efficiency score from 0.710 to 1 in 2010 and 2011. When the crop pattern in the efficient IAs are investigated, Gökaya and Menemen LB are seen to have increased density of cotton and grape which have relatively higher prices. This is concluded as the main reason for the efficiency scores in relevant IAs. On the other hand, Menemen LB has the largest irrigation ratio (85 %) among the units in the basin, and that is another conceivable reason for its high efficiency.

The efficiency score of Salihli LB, which was 0.538 in 2009, has increased to 0.660 in 2010 and to 1 in 2011. Similar increases were also observed in Ahmetli and Sarikiz. It can be said that the increase in the unit price of grapes, which is the largest product in the crop pattern of these IAs, caused the efficiency scores to increase.

In Menemen RB, it was determined that the 100% efficiency score in 2009 decreased to 73.8 % in 2010 and to 56.3 % in 2011. Between 2009 and 2011, despite the increase in irrigated area, the stable state of production value can be addressed as the main reason for efficiency decrease in Menemen RB.

Salihli RB, Gediz and Mesir were the ineffective irrigation associations in all study period. When Salihli and Gediz are analyzed, it is seen that the efficiency score is lower than 50 % in all three years and the highest score in Mesir is 75.4 %. Considering the 2011 baseline, the DEA model suggests the amount of water used in the irrigation should be reduced to 16.08 10⁶ m³ for Gediz, which has the lowest efficiency value among the irrigation associations. In other words, it has been determined that the same total production value can be achieved by providing a water saving of 62 % and reducing the irrigation areas to 15.23 10⁶ m². It is concluded that, for all *chronically* inefficient irrigation associations (Gediz, Mesir and Salihli RB), the water volume used in irrigation as well as the irrigated area

should be decreased approx. 60% to increase the efficiency scores.

According to the results of the study, it can be said that the efficiencies of IAs, excluding Gediz, Mesir and Salihli RB, were changed from year to year. Here, the main factor is the proportion of grape and cotton in the crop pattern. Since these crops have high commercial values, they affect the efficiency scores. However, in inefficient IAs maize covers a large amount of the crop pattern (approx. 75 %). With its high water requirement and lower market value, the efficiency scores are quite low in IAs where the maize cultivation is dominant. So, the change of crop pattern will be a valuable measure for increasing the efficiency among the measures to be taken. In addition, the water managers should also consider the measures that will save irrigation water as a priority.

Table 2. DEA results of IAs for study years

IAs		WU (10 ⁶ m ³)	IR (10 ⁶ m ²)	PV (10 ⁶ TL)	Efficiency	Projected values		
						WU	IR	PV
2009								
1	Salihli RB	54.00	45.61	37.20	0.358	19.34	16.34	37.20
2	Salihli LB	51.00	53.00	54.20	0.538	27.42	28.49	54.20
3	Ahmetli	15.00	15.10	16.74	0.531	7.97	8.02	16.74
4	Gokkaya	1.80	6.25	6.74	1.000	1.80	6.25	6.74
5	Turgutlu	34.00	38.86	48.91	0.710	24.15	27.60	48.91
6	Sarikiz	73.00	74.40	75.72	0.652	47.62	48.53	75.72
7	Gediz	31.00	31.56	23.54	0.371	11.51	11.71	23.54
8	Mesir	42.00	51.77	53.51	0.620	26.02	32.07	53.51
9	Menemen RB	27.00	34.94	56.13	1.000	27.00	34.94	56.13
10	Menemen LB	79.00	128.26	118.14	1.000	79.00	128.26	118.14
2010								
1	Salihli RB	73.40	74.40	60.19	0.479	35.17	35.65	60.19
2	Salihli LB	50.00	53.14	57.31	0.660	33.00	35.07	57.31
3	Ahmetli	15.00	14.60	21.09	0.694	10.41	10.14	21.09
4	Gokkaya	1.80	6.21	9.16	1.000	1.80	6.21	9.16
5	Turgutlu	35.00	38.29	60.86	1.000	35.00	38.29	60.86
6	Sarikiz	73.00	81.12	81.66	0.810	59.12	65.70	81.66
7	Gediz	31.00	34.60	26.27	0.430	13.32	14.87	26.27
8	Mesir	41.00	58.93	56.71	0.754	30.93	44.46	56.71
9	Menemen RB	39.00	46.93	51.70	0.738	28.79	34.64	51.70
10	Menemen LB	100.00	155.66	124.77	1.000	100.00	155.66	124.77
2011								
1	Salihli RB	72.10	65.04	66.83	0.403	29.03	26.18	66.83
2	Salihli LB	51.80	56.08	97.76	1.000	51.80	56.08	97.76
3	Ahmetli	11.00	14.92	31.71	1.000	11.00	14.92	31.71
4	Gokkaya	1.10	4.38	9.52	1.000	1.10	4.38	9.52
5	Turgutlu	31.00	36.87	75.48	1.000	31.00	36.87	75.48
6	Sarikiz	79.80	84.94	109.49	1.000	79.80	84.94	109.49
7	Gediz	42.40	40.17	40.15	0.379	16.08	15.23	40.15
8	Mesir	52.10	61.27	80.60	0.685	35.66	41.94	80.60
9	Menemen RB	38.00	50.91	55.23	0.563	21.39	28.66	55.23
10	Menemen LB	100.80	138.59	115.96	1.000	100.80	138.59	115.96

5. CONCLUSION

In this study, an input-oriented and weight restricted DEA model is used to investigate technical efficiencies of the irrigation associations operating in the Gediz Basin. The results indicate that efficiency scores of some IAs are continuously low. This implies that significant actions are needed to increase the efficiency levels especially in Gediz, Mesir and Salihli RB irrigation associations. An important finding of the study is that the same agricultural production revenue can be achieved by less water and less irrigated land; however, modern irrigation methods and high profitability crops should be used in the future strategies. On the other hand, there is an increment in the number of efficient IAs in the last years. Efforts to increase irrigation ratio, agricultural training programs and subsidies for effective use of water resources will ensure the performance improvement and stronger socio-economic structure.

The DEA is determined as a highly useful tool to assess irrigation efficiency. The weight restricted DEA models allow for the integration of decision maker(s) preferences in terms of relative importance levels of various inputs and outputs. The analysis presented in this study can be improved by considering the factors for example the soil quality, the age and education levels of the farmers. The further studies can be expanded for the other basins in Turkey, in this way the policymakers can benefit from the findings in order to obtain the current status of agricultural efficiency in Turkey; moreover, the results can be compared with the agricultural efficiencies in European countries.

REFERENCES

- [1] EU, "Water scarcity and drought in the European Union", *EU Publications Office*, (2010).
<http://ec.europa.eu/environment/water/quantity/pdf/brochure.pdf>
- [2] UN, "United Nations World Water Development Report, Water and Jobs", *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization*, Paris, (2016).
<http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/water/wwap/wwdr/2016-water-and-jobs/>
- [3] DSI, "Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü 2015 Yılı Faaliyet Raporu", *General Directorate of State Hydraulic Works (DSI)*, Ankara, (2015).
<http://www.dsi.gov.tr/docs/stratejik-plan/dsi-2015-faaliyet-raporu.pdf?sfvrsn=2>
- [4] TOBB, "Türkiye Tarım Sektörü Raporu", *The Union of Chambers and Commodity Exchanges of Turkey (TOBB)*, 2014/230, Ankara, (2014).
<http://www.tobb.org.tr/Documents/yayinlar/2014/turkiye-tarim-meclisi-sektor-raporu-2013-int.pdf>
- [5] Kočiřová K., "Application of the DEA on the measurement of efficiency in the EU countries", *Agricultural Economics - Czech*, 61: 51-62, (2015).
- [6] Nowak A., Kijek T., Domańska K., "Technical efficiency and its determinants in the European Union agriculture", *Agricultural Economics - Czech*, 61: 275-283, (2015).
- [7] Belton V., Vickers S.P., "Demystifying DEA-A visual interactive approach based on multiple criteria analysis", *Journal of Operational Research Society*, 44 (9): 883-896, (1993).
- [8] Li X.B., Reeves G.R., "A multiple criteria approach to data envelopment analysis", *European Journal of Operational Research*, 115: 507-517, (1999).
- [9] Sarkis J., "A comparative analysis of DEA as a discrete alternative multiple criteria decision tool", *European Journal of Operational Research*, 123: 543-557, (2000).
- [10] Allen R., Athanassopoulos A., Dyson R.G., Thanassoulis E., "Weight restrictions and value judgements in data envelopment analysis: Evolution, development and future directions", *Annals of Operations Research*, 73: 13-34, (1997).
- [11] Lins M.P.E., Moreira da Silva A.C., Lowell C.A.K., "Avoiding infeasibility in DEA models with weight restrictions", *European Journal of Operational Research*, 181: 956-966, (2007).
- [12] Wong Y.H.B., Beasley J.E., "Restricting weight flexibility in data envelopment analysis", *Journal of Operational Research Society*, 41(9): 829-835, (1990).
- [13] Silay A., Gündüz O., "Demirköprü baraj gölü su bütçesi ve sulama performans değerlendirilmesi", *V. Ulusal Hidroloji Kongresi*, 103-112, Ankara, (2007).
- [14] Akkuzu E., Mengü G.P., "Aşağı Gediz Havzası sulama birliklerinde karşılaştırmalı performans göstergeleri ile sulama sistem performansının değerlendirilmesi", *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 49 (2): 149-158, (2012).
- [15] Çetinkaya C.P., Barbaros F., "Su yönetimi senaryoları ile Gediz nehri yıllık su bütçesi performansının değerlendirilmesi", *TMMOB 2. Su Politikaları Kongresi*, 323-334, Ankara, (2008).
- [16] Yılmaz B., Yurdusev M.A., Harmancıoğlu N.B., "The assessment of irrigation efficiency in Büyük Menderes Basin", *Water Resources Management*, 23: 1081-1095, (2009).
- [17] Charnes A., Cooper W.W., Rhodes E., "Measuring the efficiency of decision-making units", *European Journal of Operational Research*, 2: 429-444, (1978).
- [18] Thanassoulis E., Allen R., "Simulating weight restrictions in data envelopment analysis by means of unobserved DMUs", *Management Science*, 44 (4): 586-594, (1998).
- [19] Thompson R.G., Langemeier L.N., Lee C.T., Thrall R.M., "The role of multiplier bounds in efficiency analysis with application to Kansas farming", *Journal of Econometrics*, 46: 93-108, (1990).
- [20] Scheel H., "EMS: Efficiency Measurement System User's Manual", *Universität Dortmund*, Dortmund, Germany, (2000).
- [21] Dyson R.G., Allen R., Camanho A.S., Podinovski V.V., Sarrico C.S., Shale E.A., "Pitfalls and Protocols in DEA", *European Journal of Operational Research*, 132: 245-259, (2001).



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 smart energy management system design for residential power plants

Evsel güç sistemleri için akıllı bir güç yönetim sisteminin tasarımı

Yazar(lar) (Author(s)): Zehra URAL BAYRAK, Gökay BAYRAK

bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Ural Bayrak Z. and Bayrak G., “A smart energy management system design for residential power plants”, *Politeknik Dergisi*, 20(4): 843-849, (2017).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.369033

A Smart Energy Management System Design for Residential Power Plants

Araştırma Makalesi / Research Article

Zehra URAL BAYRAK^{1*}, Gökay BAYRAK²

¹Firat University, School of Aviation, Department of Electrical and Electronics of Aircraft, 23180, Elazığ, Turkey

²Bursa Technical University, Faculty of Natural Sciences, Architecture and Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering, 16330, Bursa, Turkey

(Geliş/Received :15.11.2016 ; Kabul/Accepted : 29.01.2017)

ABSTRACT

In this study, a solar-hydrogen hybrid power generation system is modeled by developing a smart energy management system (EMS) to sustain a continuous power flow for a local load in a constituted residential hybrid power plant. The developed EMS checks the total energy demand of the hybrid power plant and operates the solar power plant or the hydrogen energy based power plant to provide a sustainable power for the local load. A new control card is developed and a real-time EMS is performed in Labview for controlling and monitoring the hybrid system. The implemented electronic control card manages the active power flow of the hybrid system to provide a sustainable power demand of the local load. The current energy demand of the residential power plants can be viable in the lack of the sun or hydrogen, thanks to the developed EMS. The proposed EMS is modeled in Matlab/Simulink, and verified by the experimental study. The experimental results show that the proposed EMS provides a sustainable energy infrastructure for the residential hybrid power plants, and it is also easy implemented and suitable for residential real system applications.

Keywords: Energy management, residential power plants, hydrogen energy, solar energy.

Evsel Güç Sistemleri için Akıllı Bir Güç Yönetim Sisteminin Tasarımı

ÖZ

Bu çalışmada, evsel hibrit bir güç sistemi içindeki lokal bir yük, sürekli güç akışının sağlanması amaçlanmıştır. Bu amaçla akıllı bir enerji yönetim sistemi geliştirilerek bir solar-hidrojen hibrit güç sistemi modellenmiştir. Geliştirilen bu enerji yönetim sistemi, hibrit güç sisteminin toplam enerji talebini kontrol etmektedir. Bu sistem, lokal yüklerle sürdürülebilir bir güç sağlamak için ya solar güç sistemi ya da hidrojen enerjisine dayalı güç sistemi olarak çalışmaktadır. Hibrit sistemin kontrol edilmesi ve gözlenmesi için yeni bir kontrol kartı geliştirilmiştir. Ayrıca Labview ortamında gerçek zamanlı bir enerji yönetim sistemi geliştirilmiştir. Lokal yükün sürdürülebilir bir güç talebi sağlaması için hibrit sistemin aktif güç akışını, geliştirilen bu elektronik kontrol kart yönetmektedir. Geliştirilen bu elektronik kart sayesinde evsel güç sisteminin güncel enerji talebi, güneş veya hidrojenin olmaması durumu için uygulanabilir. Önerilen bu elektronik kart Matlab/Simulink ortamında modellenmiş ve deneysel çalışma ile de doğruluğu sağlanmıştır. Deneysel sonuçlar göstermiştir ki önerilen bu elektronik yönetim sistemi evsel hibrit güç sistemlerine sürdürülebilir bir enerji altyapısı sağlamaktadır. Ayrıca, bu sistem gerçek evsel sistem uygulamalarına uygun olma ve kolay gerçekleştirilebilir özelliklerine de sahiptir.

Anahtar Kelimeler: Enerji yönetimi, evsel güç sistemleri, hidrojen enerjisi, solar enerji.

1. INTRODUCTION

The environmental conditions limit the solar power generation, thus the hybrid power systems are required to provide a sustainable power for desired electrical load demand. Besides, solar-hydrogen energy-based hybrid power plants have been coming into prominence due to becoming the residential applications widespread.

The hybrid renewable energy sources (HRES) are the combination of the wind, hydrogen, solar and other renewable energy sources operating at the same time [1]. The phrase of the HRES is also used to provide the

required electrical and thermal energy demand of the consumers by combining all of the different energy technologies [2].

A solar-hydrogen energy based hybrid power energy system is an alternative and sustainable energy solution for the residential plants which fills the deficiency of the sole PV power generation system [3]. There are several methods to produce hydrogen from the solar energy. Today the most common method is to generate hydrogen to electrolyze the water at low temperatures [4].

A solar-hydrogen energy-based power generation system was proposed in [5]. In the study, an electrolyzer, a hydrogen storage tank and the batteries were designed to constitute the hybrid system. The daily generated and consumed power was monitored, and a new model was

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : zural@firat.edu.tr

proposed to improve the performance of the fuel cell (FC) system in this study. A similar study was performed in [6]. Labview monitored the obtained experimental results from the hybrid PV-FC hybrid system. The grid connected, and standalone operational performance of the hybrid system was also researched in another study [7], and the properties of a polymer electrolyte membrane (PEM) electrolyzer were examined in the study. PV-battery, PV-FC stack and PV-FC-battery off-grid hybrid systems were designed in [8] to optimize and to specify the different storage technologies in this study. Most of these studies focus on modeling the hybrid system and consist of simulation studies.

Another standalone hybrid system consisting of a wind turbine, a PV array and a PEMFC stack was proposed in [9]. Providing the maximum output power of the system, decreasing the voltage fluctuation and the increasing the energy quality of the hybrid system is the main design and simulation issues researched in this study. A Matlab-Simulink model connected 1,2 kW PEMFC stack was presented in another study [10]. In this study, the analysis of the FC system is investigated, and the FC system is the sole source of the system. The simulation of a grid connected PV-FC system with Matlab, Simulink was also studied in [11]. A Matlab simulation model and the analysis of a hybrid power generation system consisting of a PV array and a PEMFC stack was also operated in [12].

This study focuses on developing a solar-hydrogen hybrid power generation system model with Matlab/Simulink. A sustainable power flow is researched for residential solar-hydrogen hybrid power plants. The general schematic of the proposed hybrid power generation system for residential plants is shown in Figure 1. A solar-hydrogen hybrid power generation system is designed to realize a sustainable power flow for the local load. The implemented electronic control card manages the active power flow of the hybrid system. Thus, the proposed management system provides a sustainable energy infrastructure for the residential

hybrid power plants. Besides, the current energy demand of the residential power plants can be viable in the lack of the sun or hydrogen, thanks to the developed hybrid power plant and the management system.

2. MODELING OF THE HYBRID POWER GENERATION SYSTEM

The proposed hybrid power generation system designed for residential plants is modeled in Matlab/Simulink. The proposed model consists of a 100 Wp PEMFC stack, and a 160 Wp PV module. The proposed control system are developed to compare the both simulation and experimental results. A detailed model of the proposed system is introduced in this section.

2.1. PEM Fuel Cell Model

The mathematical models are used to obtain the characteristics of a PEMFC stack, and the polarization curve is obtained by evaluating the developed mathematical model in Matlab/Simulink. The operation of a PEMFC in a stack is nonlinear. This characteristic also depends on many factors, just like current density, cell temperature, membrane humidity and the partial pressure of the reacted gases.

The PEMFC stack consists of an anode, a cathode, electrolyte layer and the gas flow channels. The inputs of the PEMFC stack are hydrogen, oxygen, steam pressure and the current density of the PEMFC. The cell voltage equals to the multiplication of the number of PEMFC. The stack voltage is obtained from this multiplication. The developed model of the PV module is shown in Figure 2 (a), and the PEMFC stack is indicated in Figure 2 (b).

The cell voltage (V_{cell}) can be determined in any conditions by using equation (1). When a cell operates with a load, no load voltage (E) decreases with the increment of the voltages defined as (V_{act}). It is the activation voltage. (V_{ohm}) is the ohmic voltage, and (V_{conc}) is the concentrate voltage.

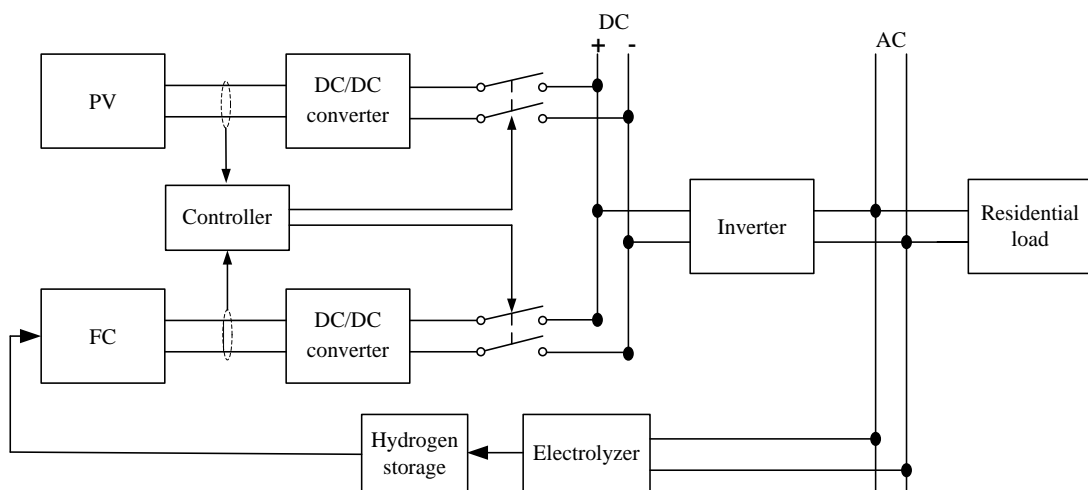


Figure 1. The general schematic of the proposed hybrid power generation system for residential plants

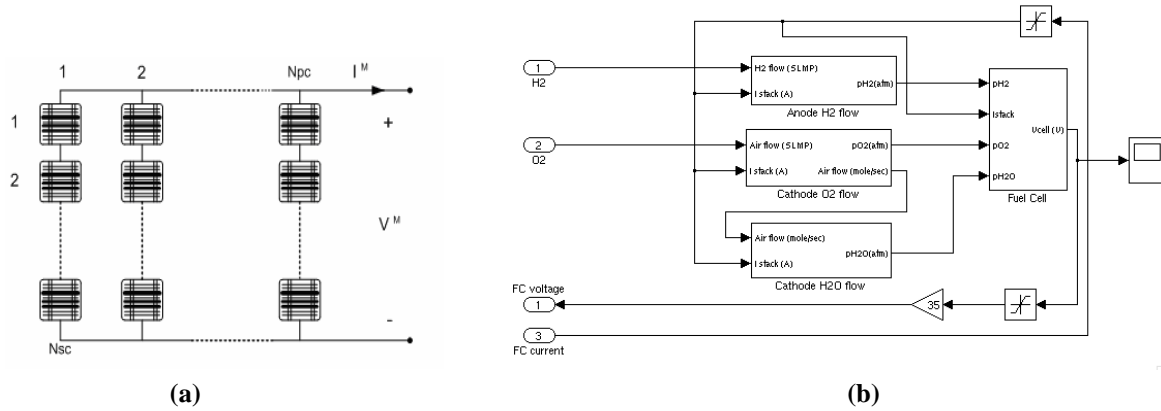


Figure 2. (a) The PV module model, (b) PEMFC stack model

The cell voltage (V_{cell}) can be determined in any conditions by using equation (1). When a cell operates with a load, no load voltage (E) decreases with the increment of the voltages defined as (V_{act}). It is the activation voltage. (V_{ohm}) is the ohmic voltage, and (V_{conc}) is the concentrate voltage.

$$V_{cell} = E - V_{act} - V_{ohm} - V_{conc} \quad (1)$$

The Nerst equation (2) gives the open circuit cell voltage (E). It is the function of the cell temperature (T) and the reactant partial pressures to obtain the characteristic curve of the PEMFC.

$$E = E_0 - 0,85 \cdot 10^{-3} (T - 298,15) + \frac{RT}{2.F} \ln \left(\frac{P_{H_2} \cdot P_{O_2}^{0.5}}{P_{H_2O} \cdot P^{0.5}} \right) \quad (2)$$

E_0 is the reference voltage, R is the universal gas constant, and F is the Faraday constant. P_{H_2} , P_{O_2} and P_{H_2O} are the hydrogen, oxygen and steam pressures, respectively. The total pressure in the stack is represented by P . The activation decrease can be analyzed by the Tafel equation [13].

$$E_{act} = -0,9514 + 0,00312T - 0,000187.T \cdot [\ln(I)] + 7,4 \cdot 10^{-5} \cdot T \cdot [\ln(C_{O_2})] \quad (3)$$

The current density in equation (3) is defined as "I". C_{O_2} is also oxygen concentration and it is determined as a function of the stack temperature in equation (4).

$$C_{O_2} = \frac{P_{O_2}}{5,08 \cdot 10^6 \exp(-498/T)} \text{ mol.cm}^{-3} \quad (4)$$

The over activation voltage is indicated in equation (1) as a voltage drop, and E_{act} is negative in all of the arrays in equation (3). The equation (5) is used to avoid the adverse effect of this term [13].

$$V_{act} = -E_{act} V \quad (5)$$

2.2. Photovoltaic Module Model

The PV modules consist of solar cells, which are connected in series and parallel to each other. Each branch of the PV modules consists of many N_{pc} cells in parallel and number of N_{sc} cells in series in the proposed simulation model. The number of series and parallel cells

also appears in the catalogs of the commercial PV

modules.

The total voltage of the series connected PV cells is determined by summing the each PV cell voltage that has the same current. Similarly, the total current of the parallel-connected PV cells is determined by summing of each parallel cell branches. In Equations (6) and (7); the module voltage is V_M , and the module current is I_M .

$$V_M = N_{sc} \cdot V_{new} \quad (6)$$

$$I_M = N_{pc} \cdot I_{new} \quad (7)$$

The output power of the module is a function of the solar irradiance and the ambient temperature. I_D is an internal current flow from the p-n junction that constitutes the semiconductor material of a PV cell. It depends on the absolute temperature of the diode and the function of the current flowing through the load and the voltage. The saturation current (I_0) is defined in (8) as a function of the temperature;

$$I_0 = I_{0ref} \left(\frac{T_c}{T_{cref}} \right)^3 \cdot \exp \left[\left(\frac{qE_g}{nk_b} \right) \left(\frac{1}{T_{cref}} - \frac{1}{T_c} \right) \right] \quad (8)$$

In equation (8); I_{0ref} = Reference current, E_g = Bandwidth of the PV cell material. The photon current of the PV cell depending to the solar irradiance is explained in (9):

$$I_{ph} = [I_{sc} + \alpha(T_c - 25)] \frac{G}{G_{ref}} \quad (9)$$

In equation (9); G : Solar irradiance (W/m^2), G_{ref} : Reference solar irradiance (W/m^2), T_c : Effective PV module temperature (K), T_{cref} : Reference PV module temperature (K), A : Short current temperature coefficient of PV module (mA/K).

There are several mathematical determination methods in the literature to obtain I-V characteristics of the PV module. Equations (6)-(10) define one of these methods. V_{ref} and I_{ref} are the reference values of the I-V characteristic curve. The open circuit voltage, the short circuit current, the voltage temperature coefficient (α) and the current temperature coefficient (β) are the fixed values obtained from the catalog of a PV module. The new current is determined current in the algorithm. The new current is determined by the equation (10) [14, 15].

$$I_{new} = I_{ref} + \left[\alpha \left(\frac{G}{G_{ref}} \right) (T_c - T_{cref}) + \left(\frac{G}{G_{ref}} - 1 \right) I_{sc} \right] \quad (10)$$

3. SIMULATION RESULTS

In this section, the proposed model is simulated under different load conditions, to compare with the experimental results. Table 1 shows the operating conditions of the proposed hybrid system in the simulation. Insufficient energy source (lack of hydrogen or solar irradiation) is marked as (-) and sufficient energy source (enough hydrogen or solar irradiation) is marked as (+) in Table 1.

Table 1. The operating conditions of the hybrid system

State	Load	Solar Irrad. (W/m ²)	Hydrogen (lt/s)	FC Stack Operation	PV Array Operation
Q1	25 W	-	+	Yes	No
Q2	40 W	+	-	No	Yes
Q3	75 W	+	+	1st source	2nd source
Q4	125 W	-	-	No	No

3.1. The FC Stack Operation

The developed model is simulated under different load conditions. The FC stack is operated with a resistive load.

Figure 3 shows the FC simulation results obtained from the proposed model when the load is resistive (25 W). The output voltage of the FC stack is indicated in Figure 3 (a), and the load current in Figure 3 (b). The obtained voltage is a smooth sinusoidal signal, and there is a small peak because of switching.

3.2. The PV Array Operation

The developed model is also simulated with the single operation of the PV array. Figure 4 shows the simulation results obtained from the proposed model when the load is resistive (40 W). The output voltage of the PV array is indicated in Figure 4 (a) and the load current in Figure 4 (b). There is a small fluctuation in the load current, but the current provides the stability in a short time.

4. DEVELOPED ENERGY MANAGEMENT SYSTEM

The proposed control system checks the PV power or FC power to provide a sustainable power to the load. PV power is directly related to weather conditions. Besides, FC power is directly related to amount of generated hydrogen. Thus, if the PV power is not sufficient, FC power is selected by the control system to generate desired load power demand. This condition is valid for PV power when the FC power is not sufficient to supply the load demand. The control system is switched off both the PV power and FC power is not sufficient.

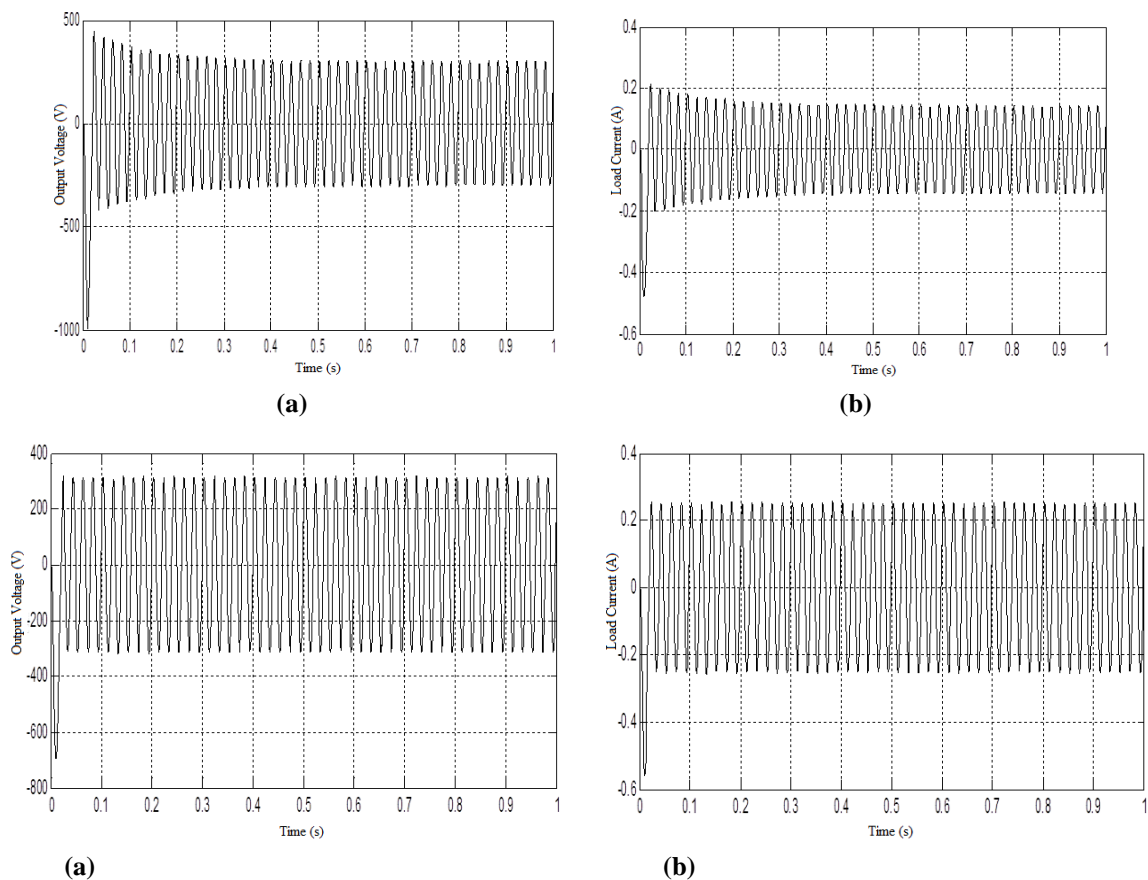


Figure 4. (a) Output voltage of load, (b) the load current

The developed EMS is implemented in real-time by developed Labview software that monitors each side of the hybrid power system (hybrid power system, inverter and load). The voltage, current, frequency, active power, the phase angle and the peak values are determined in the developed software, and the hybrid system is monitored in real time.

The developed Labview software evaluates the analog inputs transmitted from electrical measurement circuits. According to these parameters, it monitors the electrical parameters of the solar-hydrogen hybrid system. Figure 5 shows the general structure of the developed software. The implemented electronic control card manages the active power flow of the hybrid system to provide a sustainable power demand of the local load. The current energy demand of the residential power plants can be viable in the lack of the sun or hydrogen, due to the developed EMS.

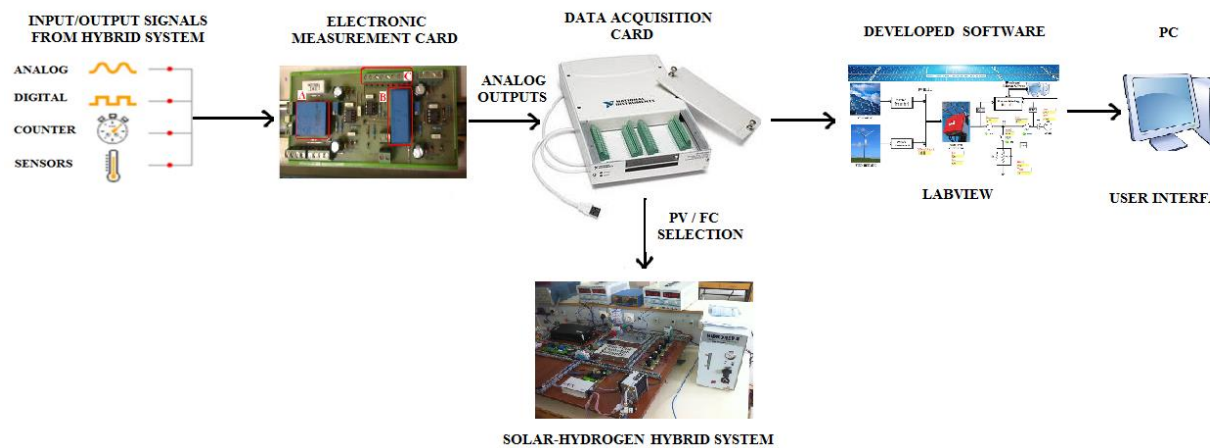
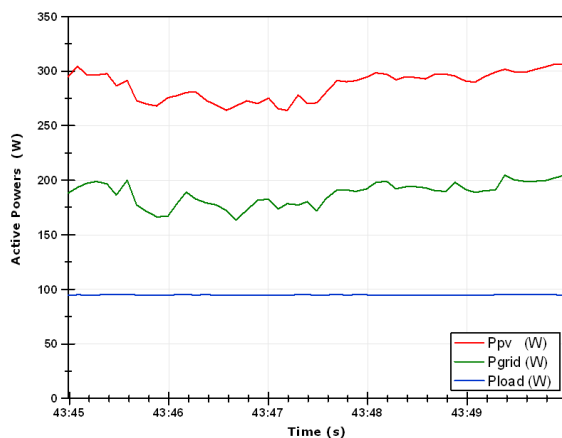


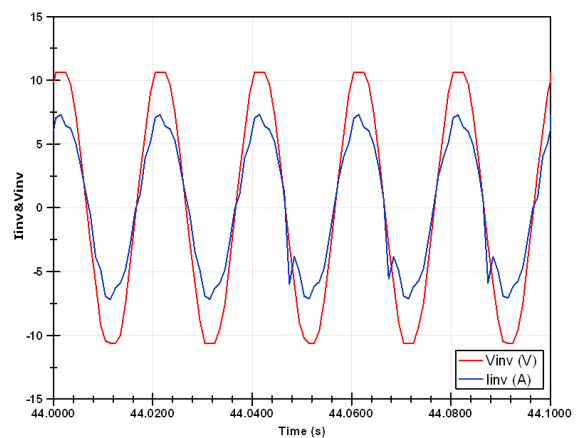
Figure 5. The general structure of the developed EMS

4.1. Operation of the PV System

The active power changes of the inverter output and the load are shown in Figure 6 (a) when the FC stack power



(a)



(b)

Figure 6. (a) The active power changes of the PV system, (b) The waveforms of the current and voltage of the inverter

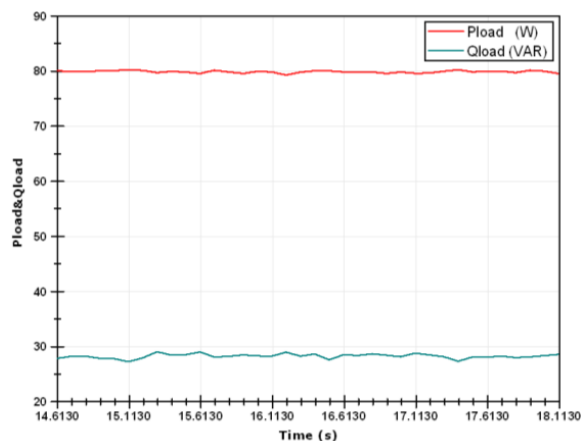
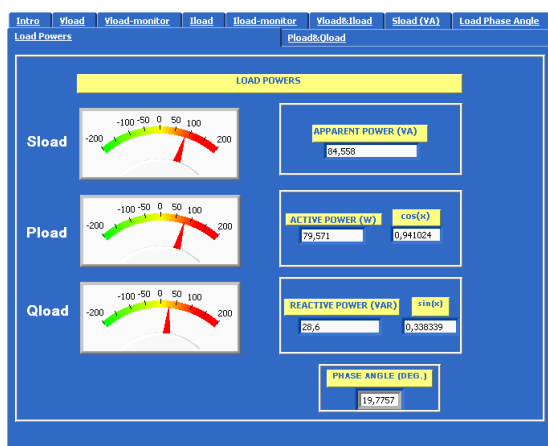


Figure 7. (a) The power and phase angle of the inverter, (b) The load power in real-time

5. CONCLUSIONS

This study focuses on developing a new energy management system for residential solar-hydrogen hybrid systems. In the study, the developed EMS to supply the required energy demand of the hybrid power plant is simulated by using Matlab/Simulink. An experimental solar-hydrogen hybrid power generation system is also performed in the laboratory to realize the proposed system. The experimental results show that the proposed EMS provides a sustainable energy infrastructure for the residential hybrid power plants, and it is also easy implemented and suitable for residential real system applications.

The total energy demand of the hybrid power plant is controlled by the developed EMS. The EMS operates the solar power plant or the hydrogen energy based power plant to provide a sustainable power for the local load. A new control card is developed and a real-time EMS is performed in Labview for controlling and monitoring the hybrid system. The proposed control system controls the PV or FC power to supply a sustainable power. Unlike FC power, PV power is directly related to weather conditions. The FC power is depended on amount of generated hydrogen. By this way, if the PV power is not sufficient, FC power is selected by the control system to generate desired load. This condition is valid for PV power when the FC power is not sufficient to supply the load demand. Thus, the current energy demand of the residential power plants can be applicable in the deprivation of the sun or hydrogen.

REFERENCES

- [1] Cetin E., Yilanci A., Ozturk H.K., Colak M., Kasikci I., and Iplikci S., "A micro-DC power distribution system for a residential application energized by photovoltaic-wind/fuel cell hybrid energy systems", *Energy and Buildings*, 42: 1344-1352, (2010).
- [2] Zervas P.L., Sarimveis H., Palyvos J.A. and Markatos N.C.G., "Model-based optimal control of a hybrid power generation system consisting of photovoltaic arrays and fuel cells", *J. of Power Sources*, 181: 327-338, (2008).
- [3] Li C.H., Zhu X.J., Cao G.Y., Sui S. and Hu M.R., "Dynamic modeling and sizing optimization of stand-alone photovoltaic power systems using hybrid energy storage technology", *Renewable Energy*, 34: 815-826, (2009).
- [4] Bayrak G., "A remote islanding detection and control strategy for photovoltaic-based distributed generation systems", *Energy Conversion and Management*, 96: 228-241, (2015).
- [5] Yilanci A., Dincer I. and Ozturk H.K., "A Review on Solar-Hydrogen/Fuel Cell Hybrid Energy Systems for Stationary Applications", *Progress in Energy and Combustion Science*, 35: 231-244, (2009).
- [6] Scrivano G., Piacentino A., Cardona F., "Experimental characterization of PEM fuel cells by micro-models for the prediction of on-site performance", *Renewable Energy*, 34: 634-639, (2009).
- [7] Roshandel R., Seyedin F., "Modeling and energy analysis of solar hydrogen fuel cell system for residential applications", *Proceedings of the ASME 9th Fuel Cell Science, Engineering and Technology Conference Fuel Cell*, Washington, DC, USA, (2011).
- [8] Li C.H., Zhu X.J., Cao G.Y., Sui S. and Hu M.R., "Dynamic modeling and sizing optimization of stand-alone photovoltaic power systems using hybrid energy storage technology", *Renewable Energy*, 34: 815-826, (2009).
- [9] Ahmed N.A., Al-Othman A.K. and Rashidi M.R., "Development of an efficient utility interactive combined wind/photovoltaic/fuel cell power system with MPPT and DC bus voltage regulation", *Electric Power Systems Research*, 81: 1096-1106, (2011).
- [10] ain S., Jiang J., Huang X. and Stevandic S., "Modeling of fuel cell based power supply system for grid interface", *IEEE Transactions on Industry Applications*, 48 (4): 1142-1153, (2012).
- [11] Bayrak G. and Cebeci M., "Grid connected fuel cell and PV hybrid power generating system design with Matlab

- Simulink”, *International Journal of Hydrogen Energy*, 39: 8803-8812, (2014).
- [12] Bayrak, Z. U., Bayrak, G., Ozdemir, M. T., Gencoglu, M. T., and Cebeci, M. “A low-cost power management system design for residential hydrogen & solar energy based power plants”, *International Journal of Hydrogen Energy*, 41: 12569-12581, (2016).
- [13] Khan M. J., and Iqbal M. T., "Dynamic modelling and simulation of a fuel cell generator", *Fuel Cells*, 5: 97-104, (2005).
- [14] Chenni, R., et al. “A detailed modeling method for photovoltaic cells”, *Energy*, 32(9): 1724-1730, (2007).
- [15] Ganguly A., Misra D. and Ghosh S., “Modeling and analysis of solar photovoltaic-electrolyzer-fuel cell hybrid power system integrated with a floriculture greenhouse”, *Energy and Buildings*, 42: 2036–2043, (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>

Rüzgâr gücü tahminlerinin önemi: Türkiye elektrik piyasasında bir uygulama

The importance of wind power forecasts: a case study in Turkish electricity market

Yazar(lar) (Author(s)): Fatih KARIK, Adnan SÖZEN, Muhammed Mustafa İZGEÇ

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Karık F., Sözen A. ve İzgeç M. M., "Rüzgâr gücü tahminlerinin önemi: Türkiye elektrik piyasasında bir uygulama", *Politeknik Dergisi*, 20(4): 851-861, (2017).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.369038

Rüzgâr Gücü Tahminlerinin Önemi: Türkiye Elektrik Piyasasında Bir Uygulama

Araştırma Makalesi / Research Article

Fatih KARİK^{1*}, Adnan SÖZEN², Muhammed Mustafa İZGEÇ³

¹T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye.

²Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye.

³T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, Ankara, Türkiye.

(Geliş/Received : 20.05.2016 ; Kabul/Accepted : 06.06.2016)

ÖZ

Doğal enerji kaynaklarını verimli ve çevreye duyarlı şekilde değerlendirerek ülke refahına en yüksek katkıyı sağlamak ve bunu sürdürülebilir kılmak günümüzün en büyük hedefleri arasında yer almaktadır. Bu çerçevede, Türkiye'nin enerjide dışa bağımlılığını azaltması için yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanması çok önemli bir yere sahiptir. Türkiye, Cumhuriyetin kuruluşunun 100. yılı olan 2023'ü kendisi için hem enerji hem de ekonomi göstergeleri bakımından hedef bir yıl olarak belirlemiştir. Bu hedefler içerisinde 2023 yılında yenilenebilir enerji kaynaklarından en az %30 elektrik üretimi ve 20 GW rüzgâr enerjisi kurulu gücü planlanmaktadır. Bu hedeflere ulaşırken elektrik piyasasının doğru işletilmesi elektrik arz-talep dengesi, düşük maliyetler ve yatırımlar açısından önemli bir yere sahiptir. Rüzgârdan elektrik üretimi profili değişken bir yapıya sahiptir ve elektrik piyasasında olumsuz etkilere neden olabilmektedir. Bu etkinin azaltılması için rüzgâr enerjisi santrallerinin elektrik piyasasına sunduğu enerji üretim tahminleri önemli bir yere sahiptir. Hem santral sahibi hem de sistem işletmecisi açısından doğruluk oranı yüksek tahminin değeri büyüktür. Bu çalışmada, rüzgâr enerjisi tahminlerinin piyasa geliri açısından önemini gösteren gün öncesi piyasası (GÖP) analizleri yenilenebilir enerji destekleme mekanizması (YEKDEM) ile karşılaştırılmalı olarak yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Rüzgâr enerjisi tahmini, yenilenebilir enerji, Türkiye elektrik piyasası.

The Importance of Wind Power Forecasts: A Case Study in Turkish Electricity Market

ABSTRACT

Today, providing the highest contribution to national welfare by utilizing natural energy resources in the most efficient and environmentally-conscious manner is one of the biggest targets. In this framework, the utilization of domestic renewable energy sources is crucial importance for Turkey to decrease its energy dependence on foreign supplies. Turkey has determined the target year as 2023, the 100th anniversary of the foundation of Republic, in terms of both energy and economic indicators. The share of renewable energy sources in electricity generation is at least %30 and the planned capacity is 20 GW of installed wind power in 2023. For reaching these targets, it is important to be operated the electricity market in a proper way in terms of the electricity supply-demand balance, low costs and investments. The electricity generation from wind has a variable profile and can cause negative effects in the electricity market. It is important to offer the energy production forecasts of wind power plants to the electricity market for reducing these effects. The forecasts with high accuracy is significant for both plant owner and transmission operator. In this study, the analysis of day ahead market (GÖP) which shows the importance of wind power forecast in terms of market revenue is conducted in comparison with renewable energy support mechanism (YEKDEM).

Keywords: Wind energy forecast, renewable energy, Turkish electricity market.

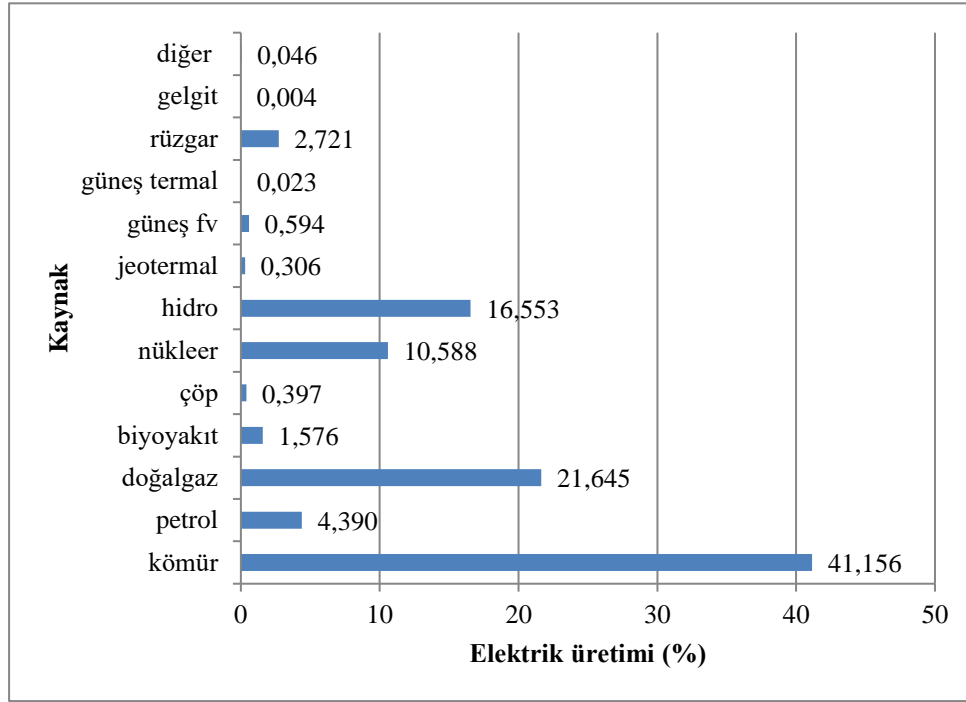
1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Sürekli değişen ve gelişen teknolojiye bağlı olarak artan enerji ihtiyacı insanlığın en büyük problemlerinden biri haline gelmiştir. Geçmişten günümüze kadar yoğun olarak kullanılan fosil enerji kaynaklarının azalması, fiyatlarının yükselmesi (veya değişkenliği) ve sebep olduğu sera gazlarının zaman geçtikçe dünya doğasına ve atmosfere verdiği zararlardan ötürü dünya ülkeleri sağlıklı, temiz ve sürdürülebilir enerji kaynakları olarak nitelenen yenilenebilir enerji kaynaklarına doğru hızlı bir yönelişe geçmek durumunda kalmıştır. Yenilenebilir

enerji kaynakları; kanunda hidrolik, rüzgâr, güneş, jeo-termal, biyokütleden elde edilen gaz (çöp gazı dahil), dalga, akıntı enerjisi ve gel-git gibi fosil olmayan enerji kaynakları olarak tanımlanmaktadır [1]. Uluslararası Enerji Ajansı (UEA) verilerine göre 2013 yılında dünyada toplam elektrik üretimi 23406 TWh gerçekleşmiş olup, kaynaklara göre dağılımı Şekil 1'de görülmektedir. Hidrolik enerji hariç yenilenebilir kaynakların içinde en yüksek pay, Şekil 1'de gösterildiği gibi %2.7 ile rüzgâr enerjisine aittir [2].

Rüzgâr enerjisi dünyada yenilenebilir enerji kaynakları arasında en hızlı gelişime sahip olan ve en fazla yatırım yapılan enerji türüdür. Küresel Rüzgâr Enerjisi Konseyi verilerine göre dünyada 2015 yılı sonu itibarıyla toplam

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : fkarik@yegm.gov.tr



Şekil 1. Dünyada elektrik üretiminin kaynak türlerine göre dağılımı (Electricity generation by sources in the world)

rüzgâr kurulu gücü 432.4 GW seviyesine ulaşmış olup, ilk beş sırayı Çin (145.1 GW), ABD (74.4 GW), Almanya (44.9 GW), Hindistan (25.0 GW) ve İspanya (23.0 GW) ülkeleri oluşturmaktadır. Türkiye, 2015 yılında kurulu güçte 956 MW artış göstererek dünyada bu yıl için artış bakımından ilk on ülke arasına girmiştir [3].

Her yıl artan nüfusu ve büyüyen ekonomisi ile Türkiye gelişen bir ülkedir. Bu gelişmeye paralel olarak enerjiye olan talebi de yıldan yıla artmaktadır. 2000–2013 yılları arası İktisadi İşbirliği ve Kalkınma Teşkilatı-Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) ülkelerinin toplam nihai enerji tüketimi yılda ortalama %0.03 artmış olup, Türkiye için bu değer %3.25 olmuştur. Toplam elektrik tüketimi değerlerine bakılacak olursa 2000-2014 yılları arası OECD ülkelerinin toplamı yılda ortalama %0.69 artmış olup, Türkiye için bu değer %5.48 olmuştur. Bu rakamlar Türkiye'nin OECD ortalamasının bir hayli üzerinde olduğunu göstermektedir [2]. Ancak, 2014 yılında Türkiye'de toplam birincil enerji arzı içerisinde fosil yakıtlar için %82 oranında ithalat gerçekleştirilmiştir [4].

Türkiye'de 2015 yılında toplam elektrik tüketimi 264 TWh olarak gerçekleşmiştir. Elektrik üretiminde kamu-nun payı %21.3 ve özel sektörün payı %78.7 olmuştur. Ayrıca, 2015 yılı sonu itibarıyla elektrik kurulu gücü 73.1 GW'ye ulaşmıştır. Yine aynı yılda elektrik üretiminin %68'i fosil yakıtlardan ve %32'si yenilenebilir enerji kaynaklarından gerçekleşmiştir [5]. Halbuki, Türkiye'de hidrolik enerji hariç 100.6 GW yenilenebilir enerji kurulu güç potansiyeli bulunmaktadır [6]. Türkiye, bu yüksek miktardaki yenilenebilir enerji potansiyelini kullanabilirse enerjide dışa bağımlılık oranı önemli miktarda azalacaktır.

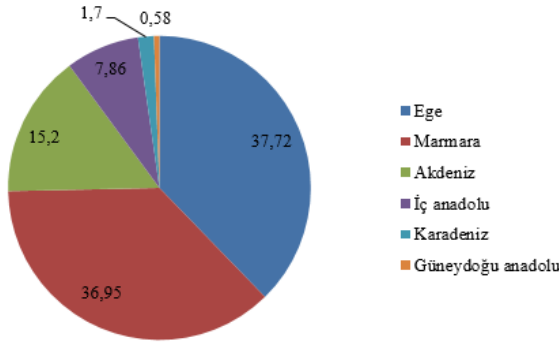
Yapılan araştırmalarda rüzgâr enerjisi politikaları ve elektrik piyasaları ile ilgili birbirinden bağımsız birçok çalışma yapılmasına rağmen, Türkiye'ye yönelik güncel düzenlemeler çerçevesinde rüzgâr enerjisi santrallerinin elektrik piyasasındaki faaliyetlerinin ve rüzgâr enerjisi tahminlerinin elektrik piyasası ile ilişkileri üzerine bir çalışmanın olmadığı görülmüştür. Bu çalışmada, Türkiye'de ilk rüzgâr türbinin kurulmasından itibaren rüzgâr enerjisinin gelişimi, rüzgâr enerjisi tahminleri ve elektrik piyasası incelenmiş olup, tahminlerin etkileri araştırılmıştır. Çalışmada ikinci bölümde, Türkiye'deki rüzgâr enerjisi santralleri (RES)'nin genel durumları ve enerji potansiyeli hakkında bilgiler verilmiştir. Üçüncü bölümde, rüzgâr enerjisi tahminlerinin öneminden ve Türkiye'de bu alanda geliştirilen projeden bahsedilmiştir. Dördüncü bölümde, Türkiye elektrik piyasası yapısı anlatılmıştır. Ayrıca, elektrik piyasası faaliyetleriyle ilgili olan YEKDEM hakkında bilgiler verilmiştir. Beşinci bölümde, rüzgâr enerjisi tahminlerine dayalı olmak üzere YEKDEM ile karşılaştırılmalı örnek bir elektrik piyasası uygulaması gerçekleştirilmiştir. Sonuç bölümünde ise analizlerden elde edilen başlıca çıkarımlar sunulmuştur.

2. TÜRKİYE'DE RÜZGÂR ENERJİSİNİN GELİŞİMİ (DEVELOPMENT OF WIND ENERGY IN TURKEY)

Türkiye'de ilk rüzgâr türbini 1986 yılında 55 kW gücünde Çeşme'de kurulmuştur. 1986'dan 1996'ya kadarki süreçte bir gelişme gösterilememiştir. 1998'te 1.5 MW gücünde ilk RES İzmir, Alaçatı'da kurulmuştur [7]. Türkiye'de rüzgâr enerjisi yatırımları, 1998 yılından itibaren, daha çok küçük ölçekli olmak üzere 1984'te kabul edilen 3096 sayılı kanunla Yap İşlet Devret (YİD) modeli ile

artmaya başlamıştır. Daha sonra 4628 [8] ve 6446 [9] sayılı Elektrik Piyasası Kanunları ile özel teşebbüs, lisanslı RES'leri kurmuştur. Özellikle 2005 yılından sonra 5346 sayılı "Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin" Kanun [1] çıkarıldıktan sonra rüzgâr kurulu gücünde ciddi artışlar gözlenmiştir.

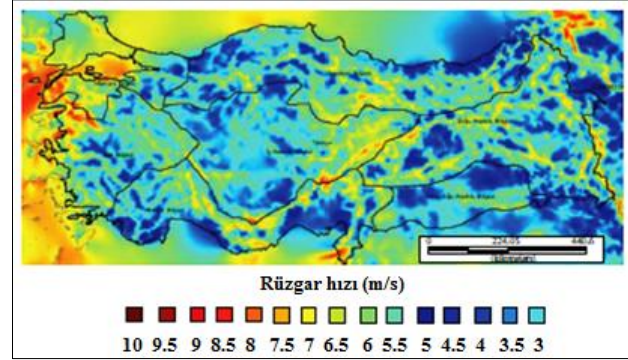
31 Mart 2016 tarihi itibarıyla Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ) verilerine göre RES kurulu gücü 4601 MW (Lisanssız: 8 MW) olup, santral sayısı 130'dur (Lisanssız: 14 adet). Türkiye geneli kurulu güç 74.0 GW olup, RES'ler %6.2'lik bir paya sahiptir [5]. Şekil 2'de Türkiye'nin yıllara bağlı RES kurulu gücü ve RES'lerden elektrik üretimi gelişimi görülmektedir. 2015 yıl sonu itibarıyla işletmede olan santrallerin bölgelere göre dağılımı ise Şekil 3'te görülmektedir. Bunların içinde ilk beş il ise sırasıyla Balıkesir, İzmir, Manisa, Hatay ve Aydın'dır [5, 10].



Şekil 3. İşletmede olan RES'lerin kurulu güç bakımından bölgelere göre dağılımı (%) (RESs under operation by the regions in terms of installed power)

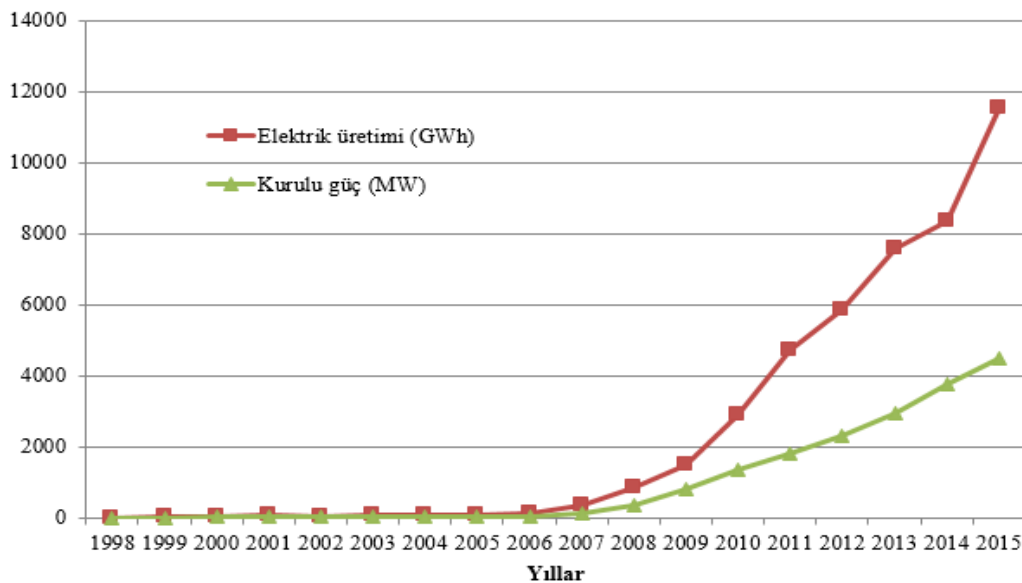
Elektrik İşleri Etüt İdaresi, 2006 yılında Türkiye'deki rüzgâr enerjisi potansiyelini göstermek için rüzgâr

Elektrik İşleri Etüt İdaresi, 2006 yılında Türkiye'deki rüzgâr enerjisi potansiyelini göstermek için rüzgâr enerjisi potansiyel atlasını (REPA) hazırlamıştır. REPA, orta-ölçekli sayısal hava tahmin modeli ve mikro-ölçekli rüzgâr akış modeli kullanılarak üretilen rüzgâr kaynak bilgilerini içermektedir. REPA'ya göre 50 m yükseklikteki yerler ve 7 m/s ve üzeri hızlar düşünüldüğünde 48 GW'lık (kara üstü:38 GW, deniz üstü:10 GW) bir rüzgâr enerjisi elektrik kapasite potansiyeli bulunmaktadır. Şekil 4'te REPA görülmektedir [11].



Şekil 4. REPA 50 m yükseklikte (REPA at 50 m height)

RES yatırımı yapılırken enerji potansiyelinin değerlendirilmesi önemli bir yere sahiptir. Bu anlamda, REPA yatırımcılara santral kurulacak yerin rüzgâr enerjisi potansiyeli hakkında bir fikir vermektedir. REPA'ya göre Türkiye üzerinde Ege ve Marmara bölgelerinde nispeten daha yüksek bir rüzgâr enerjisi potansiyeli bulunduğu görülmektedir. Şekil 3'e göre de halihazırda kurulu RES'lerin bu bölgelerde yoğunlaştıkları görülmektedir. REPA'dan noktasal rüzgâr kaynak bilgisi temin edilebilmektedir. İlgili



Şekil 2. Yıllara göre toplam rüzgâr enerjisi kurulu güç ve elektrik üretimi (Total wind energy installed capacity and electricity generation by the years)

yönetmelikler ise lisans başvurusu yapmadan önce sahada rüzgâr ölçümü yapılmasını zorunlu kılmıştır.

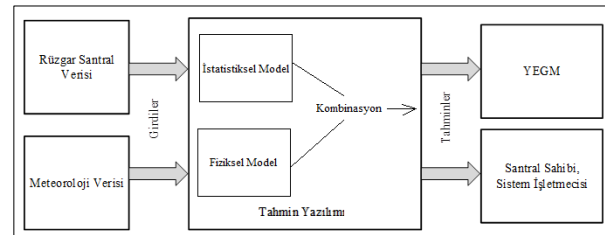
3. RÜZGÂR ENERJİSİ TAHMİNİNİN ÖNEMİ (THE IMPORTANCE OF WIND ENERGY FORECAST)

Rüzgâr enerjisi tahmini yakın gelecekte bir veya daha fazla rüzgâr türbininden beklenen elektrik üretimini ifade eder. Üretim olarak anılan değer genellikle bir RES için mümkün olabilecek güç anlamına da gelmektedir. Yani, güç üretimi her bir zaman aralığı için enerji olarak da ifade edilebilir. Rüzgâr enerjisi tahminleri elektrik iletim ve dağıtım şirketleri, RES sahipleri ve enerji ticareti ile uğraşanlar tarafından kullanılabilir. Rüzgâr enerjisi tahminlerinin yapılmasıyla:

- Güç sisteminin planlanması
- Rüzgâr salınımlarını kompanze etmek için rezerv planlama
- Yedek tutma miktarını planlama
- Bakım ve onarımları planlama
- Koruyucu bakım yapma
- Elektrik piyasasına teklif verme
- Yüksek fiyattan satış yaparak daha düşük ortalama rüzgârlı alanlarında değerlendirilmesine imkân tanıma
- Rüzgâr enerjisinin sistemdeki oranını artırma gibi faydalar sağlanır [13]. Rüzgâr enerjisi üretiminin tahmini ise tasarlanan uygulamaya bağlı olarak farklı zaman ölçeklerinde düşünülebilir:
- Milisaniyelerden birkaç dakikaya kadar olan tahminler türbinlerin aktif kontrolü için kullanılabilir. Bu tip tahminler genelde anlık tahminler olarak adlandırılmaktadır.
- Çok kısa süreli tahminler, 0-6 saat arası için yapılarak güç sisteminin yönetimi ve ticaret için kullanılan tahminlerdir [12].
- Takip eden 48-72 saatler arasındaki tahminler ise güç sisteminin yönetimi veya enerji ticareti için gerekli olmaktadır. Bunlar, geleneksel elektrik santralleri kullanımına (ünite taahhüdü) karar vermek ve bu santrallerin planlanmasının optimize edilmesine yardımcı olabilmektedirler (en düşük maliyetle yükü karşılama). Ticaret uygulaması ile ilgili olarak, teklifler genellikle d . günün sabahında, $(d+1)$. günü için 00:00-23:59 saatleri aralığına kadar gereklidir. Bu tahminler kısa süreli tahminler olarak adlandırılır.
- Daha uzun zaman ölçekleri için (orta süreli tahmin, yaklaşık 5-7 gün ilerisine kadar) tahminler, rüzgâr santralleri, geleneksel elektrik üretim santralleri veya iletim hatlarının bakımlarının planlamasını yapmak için düşünülmektedir. Büyük rüzgâr santralleri veya deniz üstü santrallerin plansız bakımları cezai durum ortaya çıkarabileceğinden bakımlarının planlanması özel bir öneme sahip olabilir [13].

Modern rüzgâr tahmini sistemleri birkaç günlük zaman dilimi içinde rüzgâr tahmini sağlamak için sayısal hava tahmini (SHT) kullanır. Bu nedenle, geleceğe ait tüm bilgiler özellikle rüzgâr alanındaki beklenen gelişmeler SHT ile sağlanır. Ulusal meteoroloji servisleri ve aynı zamanda özel hava verisi sağlayıcı şirketler rüzgâr tahmini için uygun olan farklı SHT verilerini sunarlar. Rüzgâr tahmininde anahtar konu verilen SHT verilerini bir rüzgâr türbininin çıkışına dönüştürmektir. Bu amaçla son yıllarda iki farklı temel yaklaşım geliştirilmiştir; istatistiksel yaklaşım ve fiziksel yaklaşım. İkisi de rüzgâr tahmini sistemlerinin bilimsel olarak ve aynı zamanda ticari olarak başarılı olmasına öncülük etmiştir [13].

Yukarıda bahsedilen muhtemel faydalar çerçevesinde 2010 yılında T.C. ETKB Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, TÜBİTAK ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) işbirliğinde Milli tabanlı Rüzgâr Gücü İzleme ve Tahmin Merkezi (RİTM) projesine başlanmıştır. Bu projenin amacı, Türkiye'deki tüm RES'lerin tek bir merkezden izlenmesi ve oluşturulan rüzgâr enerjisi tahminlerinin piyasa katılımcıları ve sistem işletmecisiyle paylaşılmasıdır. Böylelikle rüzgâr gücü tahmini, sistem işletmecisinin ve piyasa katılımcısının gün öncesi planlamasını daha sağlıklı yapmasına imkân tanyacaktır [12]. Türkiye'de rüzgâr kaynağından büyük ölçekli elektrik enerjisi üretiminin gerçekleştirilebilmesi ve rüzgâr santrallerinin elektrik sistemine entegrasyonu için gerekli önlemlerin alınmasında faydalı olabilecek projede 0-48 saat (kısa süreli), 0-6 saat (çok kısa süreli) ve olasılıksal tahminler (%50 ve %90 ihtimal ile) üretilmektedir. Tasarlanan tahmin algoritmasında fiziksel ve istatistiksel yöntemler kombine edilmektedir. İstatistiksel yaklaşımda öğrenme yöntemleri olarak doğrusal regresyon, destek vektör makineleri ve yapay sinir ağları kullanılmaktadır. Fiziksel yaklaşım için ise santral sahaları hesaplamalı akışkanlar dinamiği yazılımı ile modellenmektedir. Proje kapsamında ilgili tahmin algoritmasına MGM hava tahmini, Avrupa Orta Ölçekli hava tahmini, Küresel Tahmin Sistemi ve RES güç verileri girdi olarak kullanılmaktadır. Şekil 5'te RİTM genel mimarisi gösterilmektedir [14].



Şekil 5. RİTM genel yapısı (RİTM general structure)

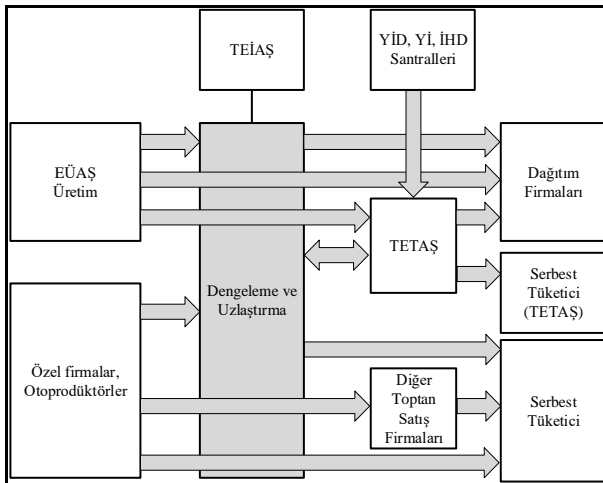
RİTM projesinde izlenebilen rüzgâr kurulu gücü 06.05.2016 tarihi itibarıyla 4385 MW olup, ilgili tarihteki Türkiye rüzgâr kurulu gücünün %95'ine tekabül etmektedir [12]. Rüzgâr enerjisi tahminleri hata oranları aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır:

$$NMAE(\%) = \left| \frac{E_T - E_U}{K.GÜÇ} \right| \cdot 100 \quad (1)$$

Burada $NMAE$, E_T , E_U ve $K.GÜÇ$ ifadeleri sırasıyla normalize edilmiş mutlak hatayı, saatlik elektrik üretim tahmini değeri, gerçek zamanda saatlik elektrik üretim değerini ve santralin elektrik kurulu güç değerini ifade eder [14].

4. TÜRKİYE ELEKTRİK PİYASA YAPISI (TURKISH ELECTRICITY MARKET STRUCTURE)

Türkiye için organize toptan elektrik piyasaları, elektrik enerjisi, kapasitesi veya perakende alış satışının gerçekleştirildiği ve piyasa işletim lisansına sahip merkezî bir aracı tüzel kişilik tarafından organize edilip işletilen GÖP, gün içi piyasa (GİP) ile sermaye piyasası aracı niteliğindeki standardize edilmiş elektrik sözleşmelerinin ve dayanağı elektrik enerjisi ve/veya kapasitesi olan türev ürünlerin işlem gördüğü ve Borsa İstanbul Anonim Şirketi tarafından işletilen piyasaları ve TEİAŞ tarafından organize edilip işletilen dengeleme güç piyasası (DGP) ve yan hizmetler piyasası (YHP) gibi elektrik piyasalarını ifade eder [15]. Şekil 6, Türkiye elektrik piyasasındaki genel akışı göstermektedir [16].



Şekil 2. Türkiye organize toptan elektrik enerjisi piyasası (Turkey's organized whole sale electricity market)

İkili anlaşmalar neticesinde piyasada oluşan boşlukları doldurmak ve sistem dengesizliğini gidermek için oluşturulan sanal piyasa "Dengeleme ve Uzlaştırma" piyasası ve bu piyasa kurallarını açıklayan yönetmelik "Dengeleme ve Uzlaştırma Yönetmeliği" olarak adlandırılmaktadır. Tanım olarak "dengeleme", toplam arzı toplam talebe eşit olacak şekilde ayarlama ve sistemi dengede tutma işlemidir. Dengeleme mekanizması, ikili anlaşmaları tamamlayıcı nitelikte olup, gün öncesi dengeleme, gün içi dengeleme ile gerçek zamanlı dengelemeden oluşan faaliyetleri kapsar [15].

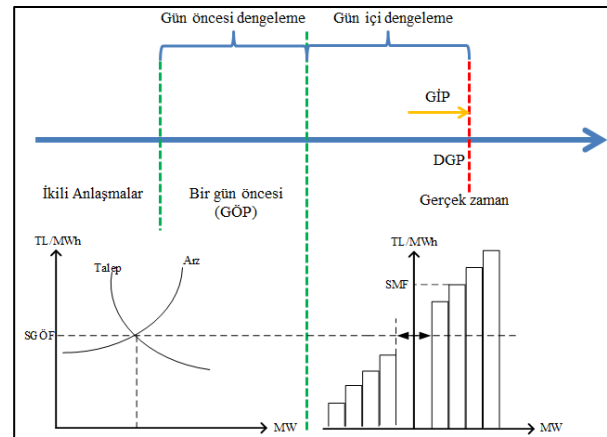
Türkiye'de yürütülen dengeleme ve elektrik enerjisi arz ve talebinin gerçek zamanlı olarak dengelenmesinden

sorumlu kuruluş TEİAŞ'ın bir birimi olan Milli yük tevzi merkezi (MYTM)'dir. Diğer bir deyişle, sistem işletmecisi MYTM'dir. "Elektrik Şebeke Yönetmeliği"ne göre sistemin 50 Hz olan nominal frekansı, TEİAŞ tarafından 49.8–50.2 Hz aralığında kontrol edilir. MYTM, özellikleri yönetmelikle belirlenmiş her tür üretim ve tüketim tesisini izler, gerektiğinde dengelemenin sağlanabilmesi ve toplam talebin karşılanabilmesi için üretim tesislerine yük artırımı veya azaltımı yönünde talimat verir.

Türkiye'de mevcut elektrik piyasası mevzuatına göre RES'ler Yap-İşlet-Devret modeli, lisanslı (Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu-EPDK iznine tabii) ve lisanssız şekillerinde faaliyet göstermektedirler. Türkiye elektrik enerjisi sektöründe yenilenebilir enerji santralleri ürettikleri elektriği:

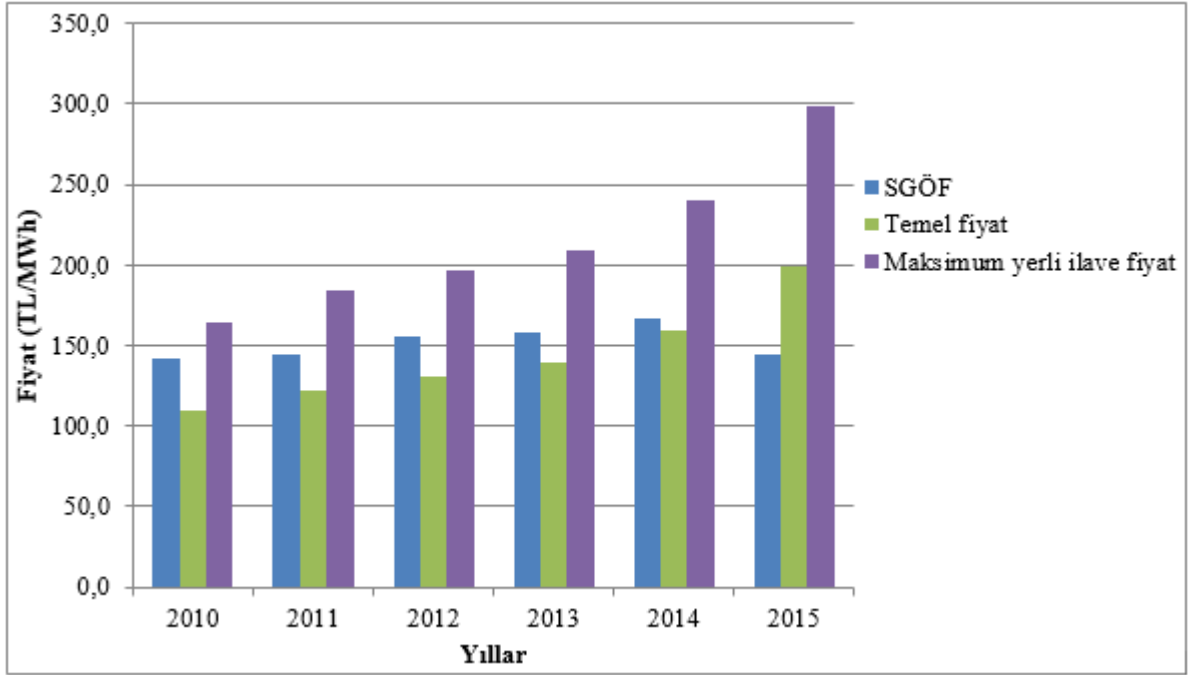
- İkili anlaşma ile tedarik şirketleri, TETAŞ ya da serbest tüketicilere,
- GÖP ve GİP kapsamında EPIAŞ'a,
- YEKDEM kapsamında EPIAŞ'a

satabilme imkânına sahiptirler. Şekil 7'de gösterildiği gibi bir RES tarafından üretilen elektrik enerjisi ikili anlaşma, GÖP ve GİP mekanizmasında değerlendirilebilir.



Şekil 7. Dengeleme faaliyetleri ve fiyatların oluşumu (Balancing activities and price realizing)

Bir RES YEKDEM'de faaliyet gösterdiği takdirde ise rüzgâr türbininde kullanılan yerli ürün oranlarına bağlı olarak 7.3 ilâ 11.0 USD-cent/kWh arasında sabit destekleme fiyatlarından yararlanabilmektedir [1]. YEKDEM takvim yılı bazında işletilip, YEKDEM'e bir takvim yılı için tabii olan üretim lisansı sahipleri, uygulamaya dahil oldukları takvim yılı içerisinde YEKDEM'den çıkamazlar. Yani, YEKDEM'e başvurusu kabul edilen üretim tesisi, ikili anlaşma veya piyasaya satış şeklinde kullanılamaz ve enerji üretimi nedeniyle de dengesizliğe düşmez [17]. Şekil 8 yıllık ortalama düzeyde GÖP [18] ve YEKDEM için karşılaştırmalı fiyat seviyelerini (7.3 USD-cent/kWh ve 11.0 USD-cent/kWh için) göstermektedir.



Şekil 8. Yıllara göre ortalama SGÖF ve YEKDEM fiyatları (Average SGÖF and YEKDEM prices by the years)

Piyasa katılımcılarının üretimi, tüketimi ve teklif edilen enerji miktarı arasında sapmalar oluşursa çift fiyatlandırma mekanizmasına göre düşükleri dengesizlik cezalandırılır. Bu işlemin amacı elektrik sisteminin dengede tutulmasını sağlamak içindir. Çift fiyatlandırma mekanizması 2011 yılından sonra devreye girmiştir. Aşağıdaki denklemler sırasıyla elektrik piyasasında faaliyet gösteren bir enerji santralının enerji dengesizlik tutarını (EDT), GÖP'te faaliyet gösterdiğinde elde ettiği geliri ($G_{GÖP}$) ve YEKDEM'de faaliyet gösterdiğinde elde ettiği geliri (G_{YEKDEM}) göstermektedir [15,17]:

$$EDT = EDM(-).mak(SGÖF, SMF).(1+k) + EDM(+).min(SGÖF, SMF).(1-l) \quad (2)$$

$$G_{GÖP} = E_T . SGÖF + EDT \quad (3)$$

$$G_{YEKDEM} = E_{\bar{U}} . KUR . YEKF \quad (4)$$

Burada $EDM(-)$, $EDM(+)$, $SGÖF$, SMF , KUR , $YEKF$, k ve l ifadeleri sırasıyla negatif veya pozitif yönde enerji dengesizlik miktarını, sistem gün öncesi fiyatını, sistem marjinal fiyatını, ABD doları seviyesini, yenilenebilir enerji destekleme fiyatını ve EPDK tarafından belirlenen katsayıları ifade eder. Buradan görüldüğü MWh başına G_{YEKDEM} seviyesi tamamen kur seviyesine bağlıdır.

5. ELEKTRİK PİYASASI UYGULAMASI (ELECTRICITY MARKET APPLICATION)

Bu bölümde, rüzgâr enerjisi tahminlerinin önemini göstermek üzere RES'lerin rüzgâr enerjisi tahminlerine dayalı olarak GÖP'te ve YEKDEM'de kazançlarının analiz edilmesi amaçlanmıştır. Bunun için RİTM projesinden alınan 01.01.2013-31.12.2013 tarihleri arası

verilere göre Türkiye'deki 14 RES için önceki bölümlerde bahsedilen ilgili mevzuat çerçevesindeki eşitlikler kullanılarak rüzgâr enerjisi tahminlerine dayalı elektrik piyasası uygulaması gerçekleştirilmiştir. Analizler gerçekleştirilirken piyasa durumunun (piyasa fiyatları) sabit kaldığı varsayılmıştır. Şekil 9'daki haritada çalışılan santrallerin Türkiye haritası üzerindeki mevkileri görülmektedir. Çalışmada RES'lerin yoğun olarak bulunduğu bölgeler seçilmiştir.



Şekil 9. Çalışılan RES'lere ait bölgeler (The regions of the studied RESs)

RİTM sisteminde GÖP'te kullanılabilir tahminler ilgili RES'lere her gün 07:45-10:00 saatleri arasında sağlanmaktadır. RES'ler tarafından GÖP'te kullanılmak üzere üretim tahmin ve fiyat teklifleri her gün saat 11:30'a kadar piyasa işletmecisine bildirilmelidir. YEKDEM'e katılacak RES'ler saatlik enerji üretim tahminlerini her bir gün için, önceki gün saat 09:00 itibarıyla sistem işletmecisi tarafından belirlenecek şekilde (fiyattan bağımsız teklif) uygun olarak sistem işletmecisine bildirir. Sürekli devam eden bir piyasa olan GİP kullanıldığı takdirde ise son teklif zamanı elektriğin fiziksel teslimatının iki saat öncesidir. Bu piyasa için verilen teklifler güncellenebilir, iptal edilebilir veya pasif yapılabilir. DGP, sistem

işletmecisine gerçek zamanlı dengeleme için en fazla 15 dakika içinde devreye girebilecek yedek kapasiteyi sağlamakta idi. Bağımsız olarak 15 dakika içerisinde asgari 10 MW yük alabilen veya yük atabilen dengeleme birimleri DGP'ye katılmakla yükümlü olup, RES'ler bu sorumluluktan muafırlar. Bu piyasa, esas olarak ticaret için değil sistemin gerçek zamanda dengede tutulması içindir. Burada ticaret yapmak oldukça risklidir ve ticaret yapılması gereken yer GÖP ve GİP'tir.

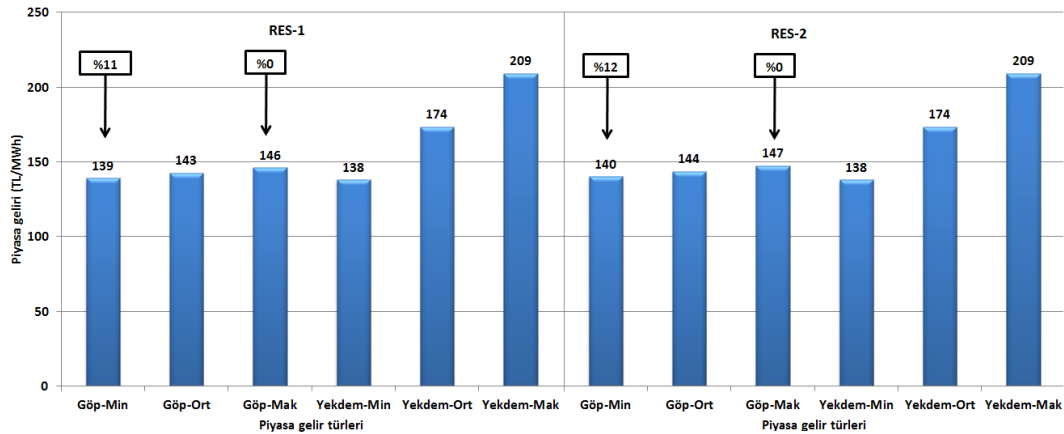
Analizlere ilk olarak RES'lerin üretim profilinin anlaşılması amacıyla RİTM kullanıcı yazılımlarından alınan grafiğin incelenmesiyle başlanmıştır. Şekil 10'da 20.11.2015-24.12.2015 tarih aralığında RİTM projesinden alınan Türkiye genelinde RİTM'e bağlı tüm RES'ler için örnek bir elektrik gücü değişim profili grafiği gösterilmektedir. Grafikteki iniş çıkışlardan görüldüğü gibi rüzgârın değişken yapısına bağlı durumdan kaynaklı gerçek zamanda oluşabilecek dengesizlikler sistem işletmecisi tarafından verilen

talimatlar (yük alma-atma) doğrultusunda diğer elektrik üretim santralleri (dengeleme birimleri) tarafından dengelenmektedir.

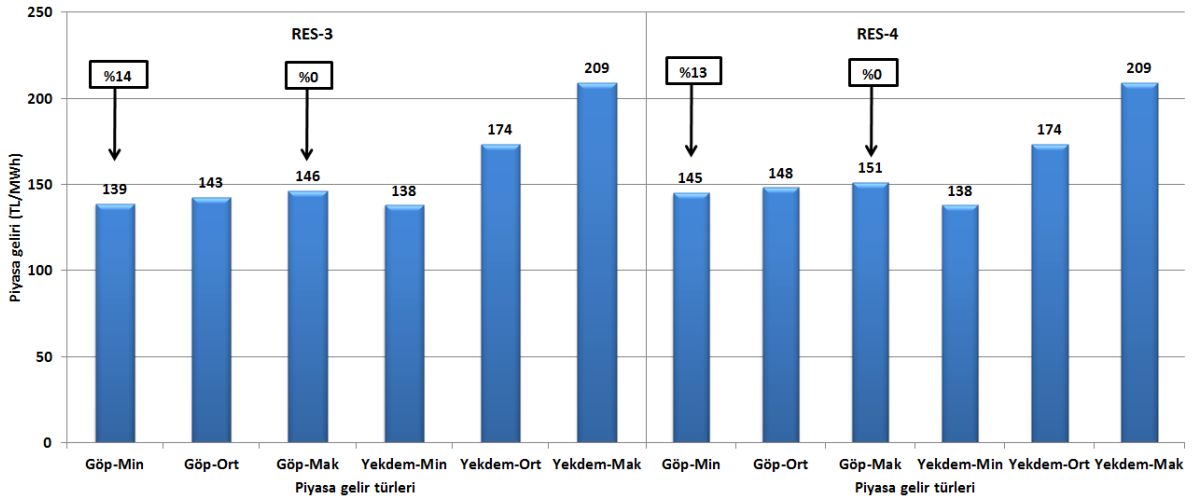
Seçilen 14 adet RES'in her birinde GÖP-YEKDEM piyasa geliri uygulaması gerçekleştirilmiş olup, grafikler Şekil 11(a) ilâ Şekil 11(g)'de aşağıda gösterilmiştir. Bu grafiklerdeki tüm değerler yıllık ortalamalar olmak üzere; Göp-Min, ilgili RES'in GÖP'te hâlihazırdaki tahmin hatası (%NMAE) ile elde ettiği geliri; Göp-Mak %0 tahmin hatası ile teorik olarak ulaşılabilecek en fazla GÖP gelirini; Göp-Ort ise Göp-Min ve Göp-Mak'ın ortalamasını ifade etmektedir. Yekdem-Min, Yekdem-Mak ve Yekdem-Ort ise sırasıyla kWh başına 7.3 USD-cent, 11.0 USD-cent ve bu ikisinin ortalaması kullanılarak piyasada oluşan destek fiyatlarını göstermektedir. Grafiklerden görüldüğü üzere santrallerin hâlihazırdaki tahmin hataları ile GÖP'te Yekdem-Min fiyatlarından daha avantajlı konumda oldukları görülmektedir.



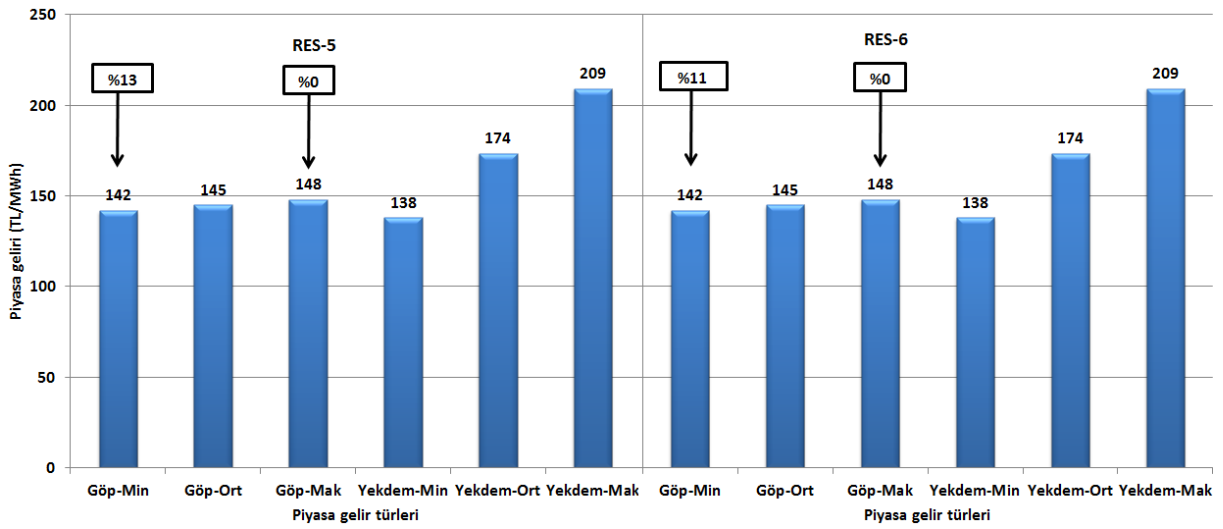
Şekil 10. RES'lerde gerçekleşen örnek bir elektrik üretim profili (Example electricity production profile in the RESs)



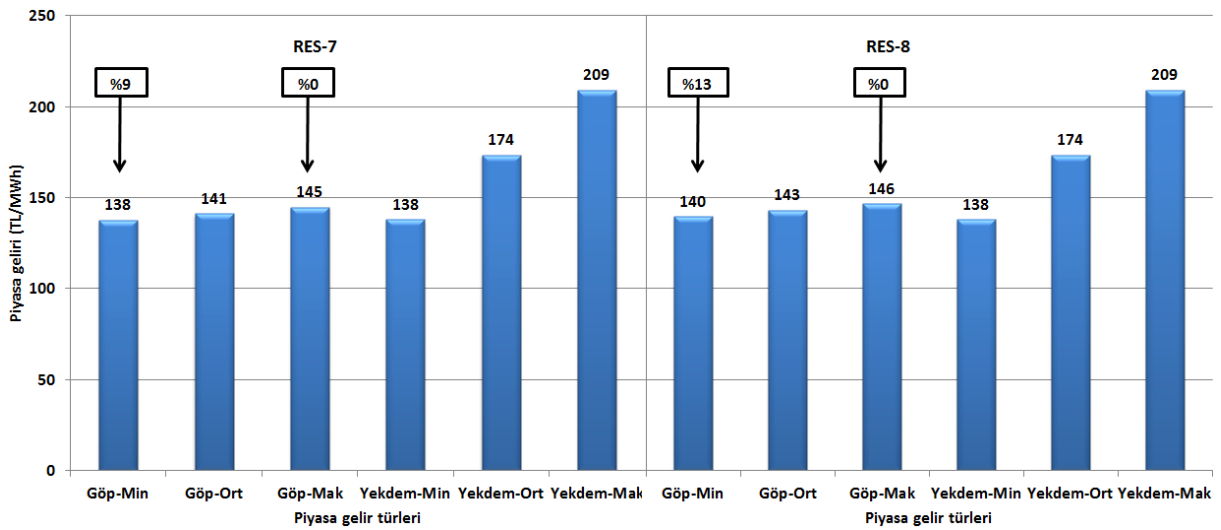
Şekil 11(a). Piyasa gelir düzeyleri (Market revenue level)



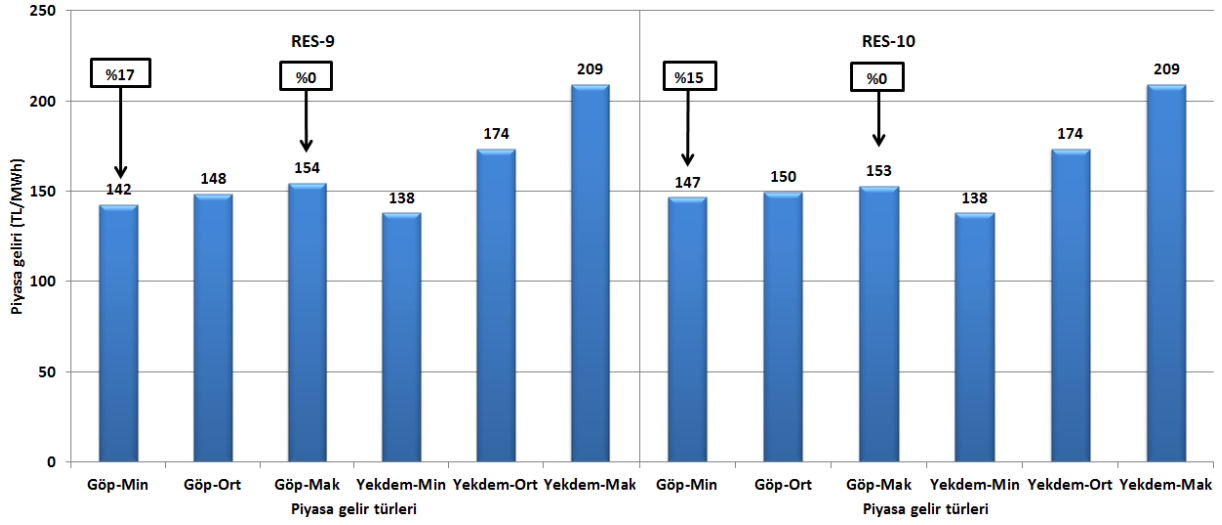
Şekil 11(b). Piyasa gelir düzeyleri (Market revenue level)



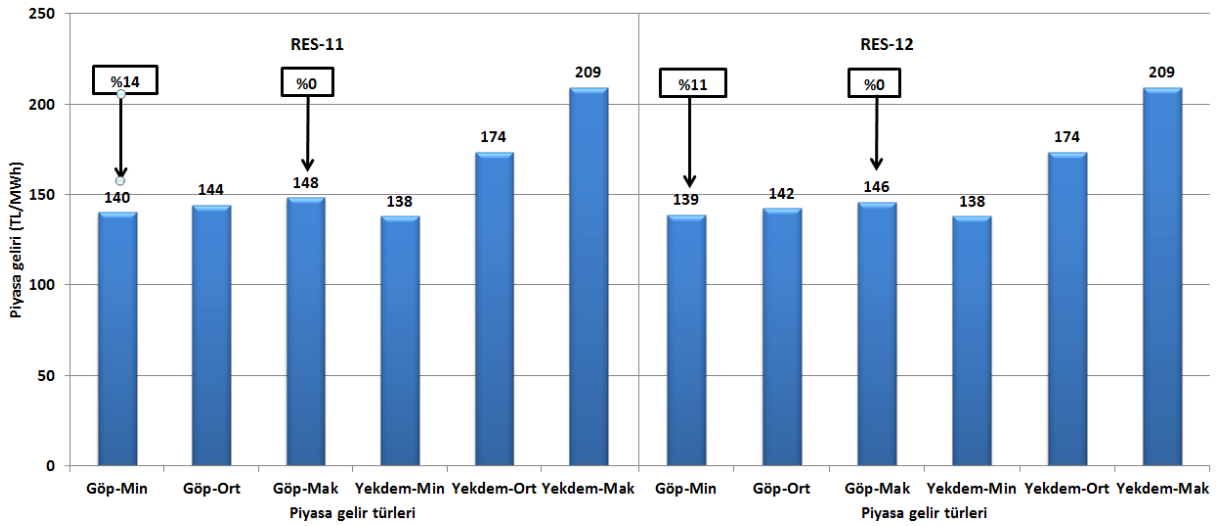
Şekil 11(c). Piyasa gelir düzeyleri (Market revenue level)



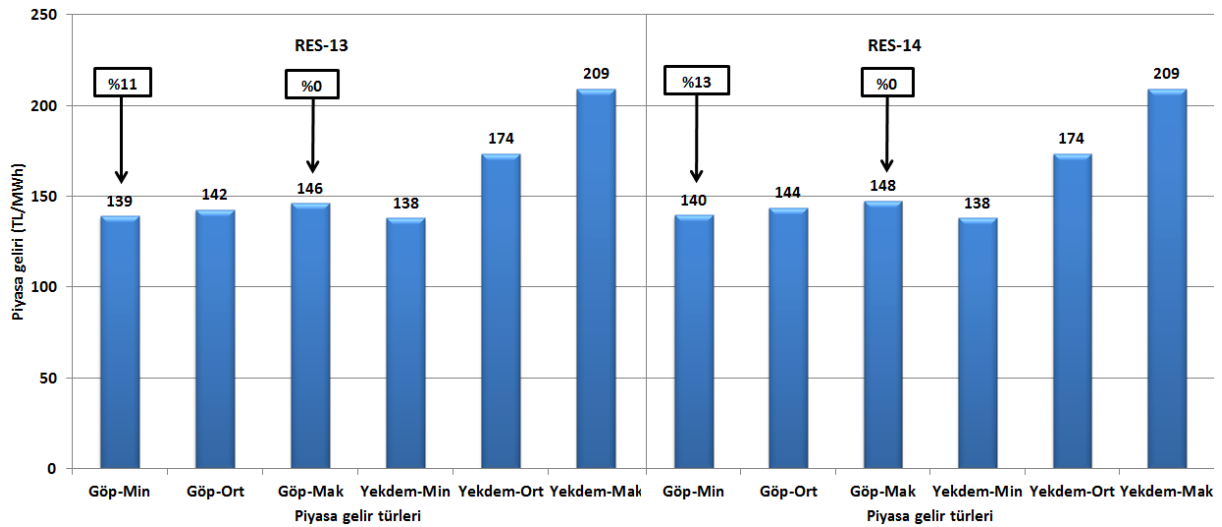
Şekil 11(d). Piyasa gelir düzeyleri (Market revenue level)



Şekil 11(e). Piyasa gelir düzeyleri (Market revenue level)



Şekil 11(f). Piyasa gelir düzeyleri (Market revenue level)



Şekil 11(g). Piyasa gelir düzeyleri (Market revenue level)

Santrallerin hâlihazırda elde ettikleri gelirlerini, tahmin hatalarını azaltarak ve/veya GİP'i etkin kullanarak Göp-Ort düzeylerine çekebilme imkânları bulunmaktadır. Ancak, tüm santrallerin bu grafiklere göre yerli aksam kullanarak YEKDEM'e katılmaları halinde (Yekdem-Ort veya Yekdem-Mak ile) hem piyasa risklerinden korunacağı hem de GÖP fiyatına göre daha avantajlı duruma geleceği açıkça görülmektedir.

6. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Son yıllarda ilgi gören temiz enerji, enerji güvenliği ve çeşitliliği konularına paralel olarak yenilenebilir enerji kaynakları ile elektrik üretimi yapan santrallerin sayısı bütün dünyada önemli ölçüde artmaktadır. Özellikle rüzgâr enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları arasında oldukça fazla ilgi görmektedir ve kurulu gücü diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre daha çok artmaktadır.

Rüzgâr enerjisinden elektrik üretimi oldukça değişken bir profile sahiptir. Sağlıklı bir elektrik piyasası işletimi için üretilen elektrik enerjisinin tahmini büyük önem arz etmektedir. Rüzgâr enerjisinden elektrik üretimini tahmin hata payı; tahmin dönemi kısaltıkça azalmasına karşın bu konuda hâlen fosil kaynak kullanan santrallere göre kötüdür. Bu kaynağın güvenilir, ekonomik ve kaliteli bir biçimde işletilmesi açısından enerji tahmin modelleri büyük önem kazanmıştır. Bu anlamda, 2013 yılı değerleri kullanılarak Türkiye elektrik piyasası için GÖP-YEKDEM karşılaştırmalı olarak 14 adet RES ile tahmin etkileri için analizler gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalarda başlıca şu sonuçlara ulaşılmıştır:

Santraller açısından:

- Santrallerin tahmin hatalarını azaltarak GÖP'te elde ettikleri gelirleri artırma imkânları bulunmaktadır.
- Santrallerin YEKDEM kapsamında yerli ilave fiyatlarından faydalandıkları takdirde gelirlerini artırma ve GÖP risklerinden arınma imkânları bulunmaktadır.
- Özellikle RES'ler için faydalı olacağı düşünülen ve daha kısa süre için tahmin hatalarının daha düşük oluşabileceği piyasa ortamı olan GİP'in etkin kullanılması halinde santrallerin gelirlerini artırma imkânı bulunmaktadır.
- Santrallerin doğru piyasa tercihi yapmaları ve belirtilen faydaları sağlamaları daha çok yatırım yapmalarına imkân sağlayabileceğinden Türkiye'nin kapasite hedeflerine ulaşmada yardımcı olacaktır.

Elektrik piyasası açısından:

- Sağlıklı bir GÖP planlaması yapılması,
- DGP kapsamında yük alma ve yük atma yönündeki talimatların azalması ve dolayısıyla elektrik piyasasında enerji dengesizliklerinin ve maliyetlerinin azalması,

- Sistem işletmecisine bakımlar, kısıt yönetimi, sıcak yedekler, rezerv yönetimi gibi konularda yardımcı olarak işletme maliyetlerinin azalması,
- Üretim portföyünde rüzgâr enerjisine ağırlık verilmesi ile fosil kaynakların daha az kullanılması,
- Şebekeye daha fazla yenilenebilir enerji kaynağı entegrasyonu sağlanması,

yönünde faydalar sağlanabilecektir. YEKDEM'e katılan tesislerin RES kurulu gücü 2011–2015 yıl periyodunda en fazla 2731 MW olurken, 2016 yılı için bu değer 4319 MW'a ulaşmıştır [19]. EPDK'ya 2016 yılı için YEKDEM'e dahil olmak üzere başvuran tüm santrallerin kurulu gücünün 15000 MW'ı geçmesi ve ayrıca dengeleme birimlerinin de YEKDEM'e girmesi sonucu, elektrik piyasasındaki olumsuzlukları asgari düzeye indirmek için yeni düzenleme yapma çalışmalarına hız verilmiştir [20].

Bu makaledeki analizlerin yapıldığı tarihlerde YEKDEM kapsamında bulunan ve sistem dengesizliklerinden muaf olan piyasa katılımcılarının dengelemeye katkıda bulunacağı ve katkıda bulunduğu ölçüde daha fazla gelir elde edeceği bir mekanizma değişikliği üzerinde çalışılmaktaydı. Bu amaçla, 29 Nisan 2016 tarihinde yayınlanan yeni yönetmelik [21] ile piyasada üretim miktarlarını doğru tahmin ederek dengesizliklerini en aza indirecek olan üreticilerin daha fazla gelir elde etmesi ve karşılığında daha dengeli teklif setleri vermesi hedeflenmiştir. Yeni YEKDEM dizaynı ile üretimlerini GÖP, GİP'te ve ikili anlaşmalar ile uzun vadede enerjisini satabilen, daha fazla risk alan buna karşılık daha çok finansal kazanç elde edebilecek üretici portföylerinin oluşması beklenmektedir.

Bu çalışmada, genel anlamda RES'lerin enerji üretimlerine ve tahminlerine dayalı olarak elektrik piyasası ve fiyat etkileri araştırılmıştır. Her ne kadar RES'ler tarafından 2015 ve 2016 yıllarında 10 yıl ile sınırlı YEKDEM daha çok tercih edilmiş olsa bile, önemli bir başvuru teşkil eden GÖP ile karşılaştırmalı analizler güncelliğini kaybetmeyecek önemli bir konudur.

Sonuç olarak ülkemizde cari işlemler dengesinde büyük pay sahibi olan fosil yakıtlara bağımlılığın azaltılması için yenilenebilir enerji kaynakları arasında önemli bir yere sahip olan rüzgâr enerjisinin elektrik piyasasında doğru yönetilmesi gereklidir. Türkiye'nin elektrik talebinin artışı ve yüksek rüzgâr enerjisi potansiyeli düşünüldüğünde bunun için ulusal tahmin sistemlerinin oluşturulması, yönetilmesi ve geliştirilmesi önemli bir yere sahiptir. Bu anlamda RİTM projesi ve yeni YEKDEM yönetmeliği Türkiye için önemli bir başlangıçtır.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu makaleye sağladıkları katkılardan dolayı dergi hakemlerine çok teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun (Kanun no. 5346). Resmi Gazete, 25819, (2005).
- [2] <http://data.iea.org/>, Erişim Tarihi: 06.05.2016.
- [3] http://www.gwec.net/wp-content/uploads/vip/GWEC-PRstats-2015_LR.pdf, Erişim Tarihi:12.05.2016.
- [4] T.C. ETKB, Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, 2014 Yılı Denge Tablosu, 13.11.2015.
- [5] <http://www.teias.gov.tr/YukTevziRaporlari.aspx>, Erişim Tarihi:04.04.2016.
- [6] T.C. ETKB, Nükleer Santraller ve Ülkemizde Kurulacak Nükleer Santrale İlişkin Bilgiler, Nükleer Enerji Proje Uygulama Dairesi Başkanlığı, Yayın No. 2.
- [7] Aras, H., “Wind energy status and its assessment in Turkey”, *Renewable Energy*, 28, 14:2213-2220, (2003).
- [8] Elektrik Piyasası Kanunu (Kanun no. 4628). Resmi Gazete, 24335, (2001).
- [9] Elektrik Piyasası Kanunu (Kanun no. 6446). Resmi Gazete, 28603, (2013).
- [10] TÜREB (Türkiye Rüzgâr Enerjisi Birliği), Türkiye Rüzgâr Enerjisi İstatistik Raporu, (2016).
- [11] http://www.mgm.gov.tr/FILES/haberler/2010/rets-seminer/2_Mustafa_CALISKAN_RITM.pdf, Erişim Tarihi: 09.07.2015.
- [12] <http://www.ritm.gov.tr>, Erişim Tarihi: 06.05.2016.
- [13] Akmandor İ. S., Akgün N., Altuntaşoğlu Z.T., Malkoç Y. ve Ayaz F., “Kısa Süreli Rüzgâr Enerjisi Tahminleri ve Tahmin Sistemleri-Rüzgâr Enerjisi Tahminleri, Tahmin Sistemleri ve Değişkenliği”, Dünya Enerji Konseyi-Türk Milli Komitesi, (2009).
- [14] Terciyanlı E., Demirci T., Küçük D., Saraç M., Çadırcı I. ve Ermiş M., “Enhanced Nationwide Wind-Electric Power Monitoring and Forecast System”, *IEEE Transactions On Industrial Informatics*, 10(2): 1171-1184, (2014).
- [15] Elektrik Piyasası Dengeleme ve Uzlaştırma Yönetmeliği. Resmi Gazete, 27200, (2009).
- [16] Camadan E. and Erten I.E., “An evaluation of the transitional Turkish electricity balancing and settlement market: Lessons for the future”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15: 1325-1334, (2011).
- [17] Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Belgelendirilmesi ve Desteklenmesine İlişkin Yönetmelik. Resmi Gazete, 28782: (2013).
- [18] <https://rapor.epias.com.tr/rapor/>, Erişim Tarihi: 01.01.2016.
- [19] <http://www.epdk.org.tr/index.php/elektrik-piyasasi/yekdem>, Erişim Tarihi: 31.12.2015.
- [20] <http://www.epdk.org.tr/TR/Anasayfa>, Erişim Tarihi: 12.05.2016.
- [21] Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Belgelendirilmesi ve Desteklenmesine İlişkin Yönetmelik. Resmi Gazete, 29698:(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>

Ters sarkaç sisteminin yapay arı kolonisi algoritması ile optimizasyonu

Optimization of an inverted pendulum system by the artificial bee colony algorithm

Yazar(lar) (Author(s)): Hüseyin Oktay ERKOL

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Erkol H. O., "Ters sarkaç sisteminin yapay arı kolonisi algoritması ile optimizasyonu", *Politeknik Dergisi*, 20(4): 863-868, (2017).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.369045

Ters Sarkaç Sisteminin Yapay Arı Kolonisi Algoritması ile Optimizasyonu

Araştırma Makalesi / Research Article

Hüseyin Oktay ERKOL

Karabük Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Karabük, Türkiye

(Geliş/Received : 07.11.2016 ; Kabul/Accepted : 31.01.2017)

ÖZ

Bu çalışmada, kullanımı gittikçe yaygınlaşan Yapay Arı Kolonisi Algoritması kullanılarak ters sarkacı denetleyen Oransal-İntegral-Türevsel kontrolcünün optimizasyonu yapılmıştır. Ters sarkacın modellenmesi ve kontrolü simülasyon ortamında yapılmış olup, simülasyon sonucunda elde edilen veriler Yapay Arı Kolonisi algoritmasının geleneksel yöntemlerden daha iyi ve hızlı sonuç verdiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Yapay arı kolonisi, ters sarkaç, oransal-integral-türevsel kontrolcü, optimizasyon.

Optimization of an Inverted Pendulum System by the Artificial Bee Colony Algorithm

ABSTRACT

In this study, optimization of a Proportional-Integral-Derivative controller for an Inverted Pendulum System was realized by the Artificial Bee Colony algorithm which is becoming widely used. A computer simulation was made to test the optimized system. The simulation results show that the Artificial Bee Colony algorithm is faster and give better results than traditional methods.

Keywords: Artificial bee colony, inverted pendulum, proportional-integral-derivative controller, optimization.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Optimizasyon “en iyi duruma getirme” anlamına gelmektedir ve bir problem için muhtemel çözümler içerisinde en iyisini bulma işlemidir. Problem karmaşıklıkça, en iyi çözümü bulma işi de zorlaşmaktadır. Bu zorluğu aşmak için birçok yöntem geliştirilmiştir. Günümüzde yapay zeka tabanlı optimizasyon algoritmalarının kullanımı gittikçe yaygınlaşmaktadır. Bu algoritmalar içerisinde ise önemli bir yeri sürü zekâsından esinlenerek geliştirilen algoritmalar tutmaktadır. Doğada sürü olarak yaşayan canlılardan esinlenerek karınca kolonisi algoritması, genetik algoritma, parçacık sürüsü optimizasyonu gibi birbirinden farklı temellere dayanan algoritmalar geliştirilmiştir [1]–[3]. Bu tür algoritmalar problem için en iyi çözümün bulunacağını garanti etmezler ancak en iyi çözüme yakınsarlar [4].

Sürü zekâsını temel alan ve gün geçtikçe yaygınlaşan algoritmalarından biri de Yapay Arı Kolonisi (YAK) algoritmasıdır [5]. İşçi, gözcü ve kâşif arılardan oluşan sürülerinin yiyecek bulmak ve toplamak için sergiledikleri davranışlardan esinlenilerek D. Karaboğa tarafından 2005 yılında önerilmiştir [6].

Bu çalışmada YAK algoritması, kontrol teorisinin temel problemlerinden biri olan ters sarkaç sistemine uygulanmıştır. Sistem PID (Proportional-Integral-Derivative, Oransal-İntegral-Türevsel) denetleyici ile kontrol edilmektedir [7]. Kullanılan denetleyici üç farklı katsayıya

sahiptir ve bu katsayılar denetleyicinin karakteristik özellikleri üzerinde etkilidir. Sistemin belirlenen kriterler ile kontrol edilebilmesi için bu katsayıların doğru ayarlanması gerekir. Bu katsayıları ayarlamak için çeşitli yöntemler tanımlanmış olmakla birlikte en iyi katsayıları garanti eden bir yöntem yoktur. Ele alınan arabalı ters sarkaç sistemi simülasyon ortamında modellenmiş, Ziegler-Nichols yöntemi ve YAK algoritması ile optimize edilmiştir. Çalışma sonunda YAK algoritması ile sistem daha kısa sürede, daha yüksek performans gösterecek şekilde optimize edilmiştir.

2. GEREÇ VE YÖNTEM (MATERIAL AND METHODS)

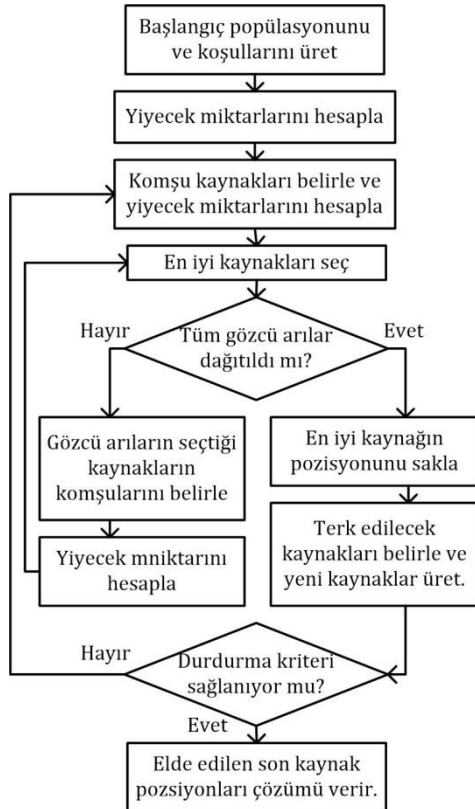
2.1. Yapay Arı Kolonisi Algoritması (Artificial Bee Colony Algorithm)

Yapay Arı Kolonisi algoritması doğada bulunan arıların davranışlarından esinlenilerek geliştirilmiş bir optimizasyon algoritmasıdır. İlk olarak Derviş Karaboğa tarafından 2005 yılında önerilmiştir [6]. Bir arı kolonisinde üç tür arı vardır. Bunlar işçi arı, gözcü arı ve kâşif arıdır. Bilinen bir kaynaktan yiyecek taşıyan arıya işçi arı denir. Arılar yiyecek kaynağı bulduklarında bunu diğer arılara dans ederek bildirirler. Dans alanında bekleyerek, gelen bilgilere göre yiyecek kaynağını seçen arılara gözcü arı denir. Rastgele dolaşarak yiyecek arayan arıya ise kâşif arı adı verilir. Koloninin yarısı işçi, yarısı gözcü arılardan oluşur. Her yiyecek kaynağında yalnızca bir işçi arı vardır. Dolayısı ile kolonideki işçi arı veya gözcü arı sayısı çözüm sayısına eşittir. Yiyecek kaynağı tükenen her arı

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : oktayerkol@karabuk.edu.tr

kâşif arıya dönüşür ve yeni bir kaynak arar. Yiyecek kaynağının pozisyonu optimize edilen problem için çözümlerden birini temsil eder. Kaynaktaki yiyecek miktarı ise çözümün uygunluğunun bir ölçüsüdür.

Algoritmanın genel yapısı Şekil 1’de verilmiştir [8]. Öncelikle başlangıç popülasyonu ve işçi arılar için başlangıç pozisyonları belirlenir. İşçi arıların gönderildiği yiyecek kaynağındaki (pozisyonadaki) yiyecek miktarı ve bu kaynağın etrafındaki muhtemel yiyecek kaynaklarında bulunan yiyecek miktarları hesaplanır. En fazla yiyecek bulunan kaynağı işçi arı gözcü arılara haber verir. Gözcü arılar çeşitli olasılık hesapları ile kendilerine bildirilen kaynaklardan birini seçer ve kaynağa giderler. Eğer tüm gözcü arılar kendine bir kaynak bulamamışsa, kendine kaynak bulan gözcü arıların komşulukları belirlenir ve buralardaki yiyecek miktarları hesaplanır. Belirlenen yeni kaynaklar tekrar gözcü arılarla paylaşılır ve gözcü arıların kendine yiyecek kaynağı bulması sağlanır. Bu işlem tüm gözcü arılar bir yiyecek kaynağı bulana kadar devam eder.



Şekil 1. Yapay arı kolonisi algoritması akış diyagramı (Flow chart of the artificial bee colony algorithm)

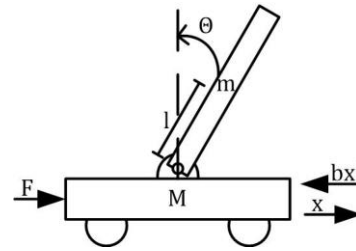
Tüm gözcü arılar yiyecek kaynaklarına dağıtıldıktan sonra en iyi kaynağın pozisyonu hafızaya alınır ve terk edilecek kaynaklar belirlenir. Yiyecek kalitesi ve miktarı bakımından yetersiz görülen kaynaklar terk edilir. En iyi kaynak, optimize edilen problem için çözüme en yakın olan pozisyonudur. Terk edilen kaynaklar ise çözüme uzak olan pozisyonlardır.

Terk edilen kaynaktaki işçi arı kâşif arıya dönüşür ve kendisine rastgele yeni bir yiyecek kaynağı bulur. Temel

ABC algoritmasında her çevrimde yalnızca bir kâşif arının çıkmasına izin verilir [8]. Bulunan tüm kaynaklar değerlendirilir ve en iyi kaynağın durdurma kriterlerini sağlayıp sağlamadığına bakılır. Eğer durdurma kriterleri sağlanıyorsa işlem sona erer. Eğer durdurma kriterleri sağlanmıyorsa elde edilen kaynakların komşulukları incelenerek yeni kaynaklar belirlenir ve algoritma bu döngü içerisinde devam eder. Burada bahsedilen hesaplamaların çoğu çeşitli olasılık işlemleri içermektedir. Ayrıntılar için [8]–[11] numaralı kaynaklar incelenebilir.

2.2. Arabalı Ters Sarkaç (Inverted Pendulum on a Cart)

Ters sarkaç kontrol teorisinde en çok kullanılan problemlerden biridir [12]. Bu çalışmada ele alınan arabalı ters sarkacın yapısı Şekil 2’de, özellikleri Çizelge 1’de verilmiştir. M kütleli bir araba üzerine yerleştirilmiş m kütleli ve $2l$ uzunluğunda ters sarkaçtan oluşan sisteme F kuvveti etki etmektedir. Sarkacın ağırlık merkezi ile arabaya bağlı olduğu mafsal arasındaki mesafe l ile gösterilmiştir. Sürtünme kuvveti bx' F kuvvetine ters yöndedir ve F kuvveti ile aynı yönde x yer değiştirmesi meydana gelmektedir. Arabaya herhangi bir zaman etkiyen F kuvveti nedeniyle araba kuvvet sıfırlansa dahi sarkaç dengesini kaybederek devrilir. Devrilmeye başlayan sarkacın başlangıç pozisyonunu koruması için arabayı ileri geri hareket ettirerek sarkacın başlangıç pozisyonuna gelmesini sağlamak ve üzerine etkiyen yatay kuvvetlerin bileşkesinin de sıfır olmasını sağlamak gerekmektedir.



Şekil 2. Arabalı ters sarkaç sistemi (Inverted pendulum on a cart)

Çizelge 1. Ters sarkaç sisteminin fiziksel özellikleri (The physical properties of the inverted pendulum system)

Sembol	Açıklama	Değer
M	Arabanın ağırlığı	0.5kg
m	Sarkacın ağırlığı	0.2kg
l	Sarkaç uzunluğunun yarısı	0.3m
g	Yer çekim ivmesi	9.81m/s ²
I	Sarkacın atalet momenti	0.006kg.m ²
b	Sürtünme katsayısı	0.1N/m.s ⁻¹
F	Arabaya uygulanan kuvvet	- N
θ	Sarkacın düşey düşey eksenle yaptığı açı	- derece

Şekil 2 'de verilen sisteme ait eşitlikler denklem (1) ve denklem (2)'de verilmiştir. Bu denklemler lineer değildir. Sistemi lineerleştirmek için $\sin\theta \approx 0$, $\cos\theta \approx 1$, $(\theta')^2 \approx 0$ varsayımları yapılmıştır. Bu varsayımlar sarkacın kararlı olduğu hale göre büyük değişimler göstermediği sürece doğrudur. Bu varsayımla birlikte denklem (1) ve (2) yeniden düzenlenirse (3) ve (4) numaralı denklemler elde edilir.

$$F = (M + m) \frac{dx^2}{dt^2} + b \frac{dx}{dt} + ml \frac{d\theta^2}{dt^2} \cos\theta - ml \sin\theta \quad (1)$$

$$(I + ml^2) \frac{d\theta^2}{dt^2} = mgl \sin\theta - ml \cos\theta \frac{dx^2}{dt^2} \quad (2)$$

$$\frac{dx^2}{dt^2} = F \frac{I + ml^2}{I(M + m) + Mml^2} - \frac{dx}{dt} \frac{b(I + ml^2)}{I(M + m) + Mml^2} - \theta \frac{m^2 l^2 g}{I(M + m) + Mml^2} \quad (3)$$

$$\frac{d\theta^2}{dt^2} = -F \frac{ml}{I(M + m) + Mml^2} - \frac{dx}{dt} \frac{mlb}{I(M + m) + Mml^2} - \theta \frac{mgl(M + m)}{I(M + m) + Mml^2} \quad (4)$$

2.3. PID Denetleyici (PID Controller)

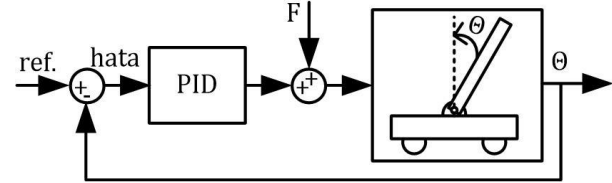
En yaygın kullanılan kontrol yöntemlerinden biri PID'dir. PID ile kontrol için sistemin kapalı çevrim olarak tasarlanması gerekir. Kontrolcü girişine, sisteme girişi olarak verilen referans ve geri besleme olarak alınan sistem çıkış değerinin karşılaştırılmasıyla elde edilen hata değeri verilir ve kontrolcü bu hatayı sıfırlamak için gerekli çıkışı üretir. PID kontrolcünün zaman domeninde genel yapısı denklem (5)'de verilmiştir [13]. Burada K_p oransal kazanç, K_d türevsel kazanç ve K_i integral kazanç katsayısıdır. Bu katsayıların her biri kontrolcünün karakteristik yapısını etkiler ve ilgili sistemin kontrol edilebilmesi için uygun katsayıların belirlenmesi gerekir. Bu belirleme işlemi için kullanılan en klasik yöntem Ziegler-Nichols yöntemidir [14].

$$U(t) = K_p e(t) + K_d \frac{de(t)}{dt} + K_i \int e(\tau) d\tau \quad (5)$$

3. BULGULAR VE TARTIŞMA (FINDINGS and DISCUSSION)

Modellenen arabalı ters sarkaç ve PID denetleyiciden oluşan sistem Şekil 3'de verilmiştir. Sistemin çıkışı sarkacın düşey eksen ile yaptığı açıdır. Sistemin girişine verilen referans değeri, amaç sarkacı dik tutmak olduğu için, sıfırdır. Sistem çıkışındaki değişiklikler referans ile karşılaştırılarak bir hata değeri elde edilir ve bu hata PID

denetleyicinin girişine uygulanır. PID denetleyicinin çıkışına eklenen F kuvveti, herhangi bir zamanda araca etkiyerek sarkacın dengesini bozan F kuvvetidir. Burada ki uygulama için F kuvveti sürekli değildir ve sisteme bozucu giriş etkisi yapmaktadır. Şekil 3'de verilen sistem, Matlab programı kullanılarak, simülasyonu yapılmış ve sistemi kontrol eden PID denetleyicinin katsayıları hem Ziegler-Nichols hem de ABC algoritması ile belirlenerek sonuçlar tartışılmıştır.



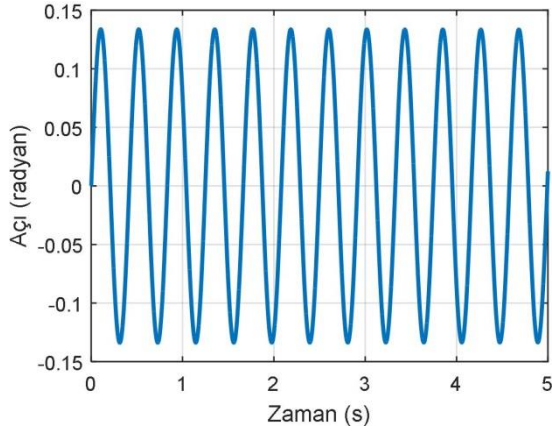
Şekil 3: Denetleyici ve sarkaçtan oluşan kapalı çevrim sistem (Closed-loop system composed of the controller and the pendulum)

PID denetleyici denklem 5'de görüldüğü gibi K_p , K_d ve K_i olmak üzere üç farklı katsayıya sahiptir. Ziegler-Nichols yöntemi uygulanırken başlangıç olarak bu katsayıların hepsi sıfırlanır. Daha sonra sistem çıkışı sabit bir salınım yapana kadar K_p değeri artırılır ve sabit salınım yapmaya başladığı andaki K_p değeri K_u olarak adlandırılır. Sistem çıkışında meydana gelen dalgalının periyodu ise P_u olarak adlandırılır. Bu iki değer yardımı ile PID denetleyicinin katsayıları Çizelge 2'de gösterildiği gibi hesaplanır [15].

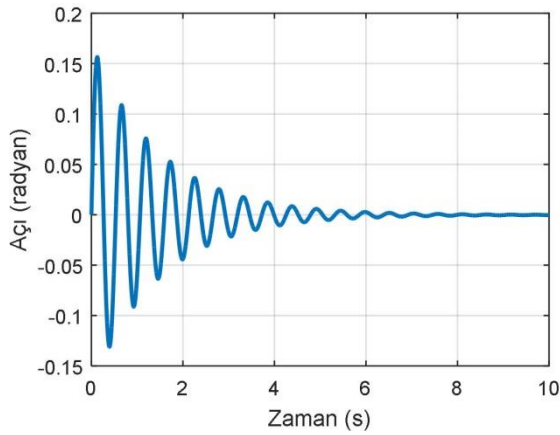
Çizelge 2. Ziegler-Nichols yöntemine göre PID katsayılarının hesabı (Ziegler-Nichols calculation for the PID parameters)

	K_p	T_i	T_d
P	$K_u/2$		
PI	$K_u/2.2$	$P_u/1.2$	
PID	$K_u/1.7$	$P_u/2$	$P_u/8$

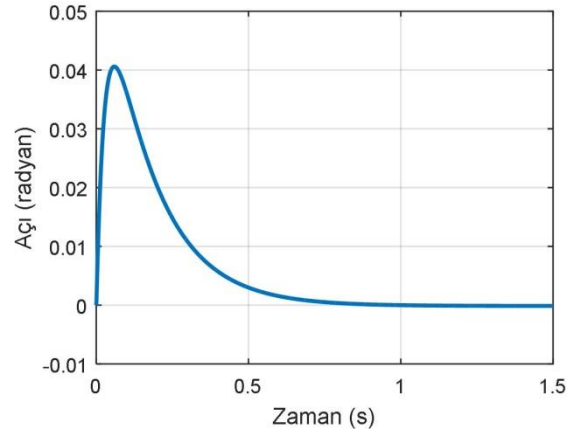
Bu çalışmada sunulan sistemin çıkışının osilasyona girdiği K_p değeri 106, P_u değeri ise 0.43 olarak belirlenmiştir. Osilasyona giren sistem çıkışı Şekil 4'de verilmiştir. Dolayısı ile $K_p=62.352$, $K_i=0.215$ ve $K_d=0.654$ olarak hesaplanmıştır. Bu katsayıların kullanıldığı PID denetleyici ile elde edilen sistem çıkışı Şekil 5'de verilmiştir. Sistemin oturma zamanı 8 saniyeden uzundur ve salınım oldukça fazladır. Sistem parametreleri deneysel olarak değiştirildiğinde sistem çıkışında bir iyileşme gözlenmektedir ve salınım azalmakta, oturma zamanı ise yaklaşık 0.9 saniye olmaktadır. Elde edilen sistem çıkışları; araç pozisyonu, araç hızı, sarkaç açısal pozisyonu ve sarkaç açısal hızı birlikte Şekil 6 ve Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 4. Osilasyona giren sistemin çıkış grafiği (The oscillating output signal of the system)

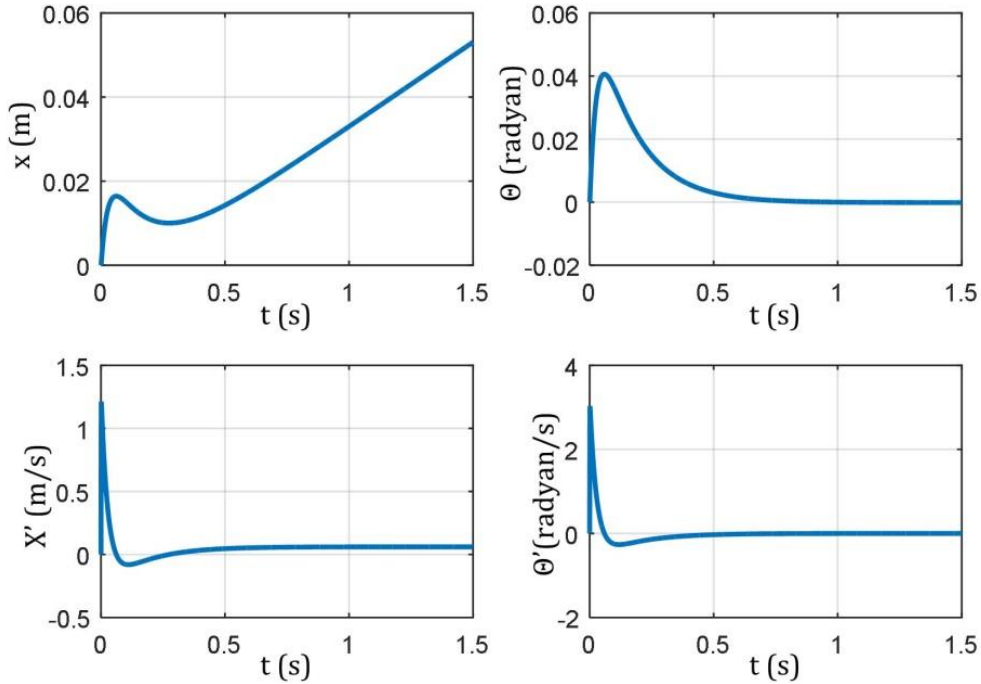


Şekil 5. Ziegler-Nichols yöntemi ile optimize edilen sistemde sarkaç açısının grafiği (Pendulum angle of the system optimized by the Ziegler-Nichols method)



Şekil 6. Deneysel olarak katsayıları iyileştirilmiş sistemde sarkaç açısının grafiği (Pendulum angle of the experimentally tuned system)

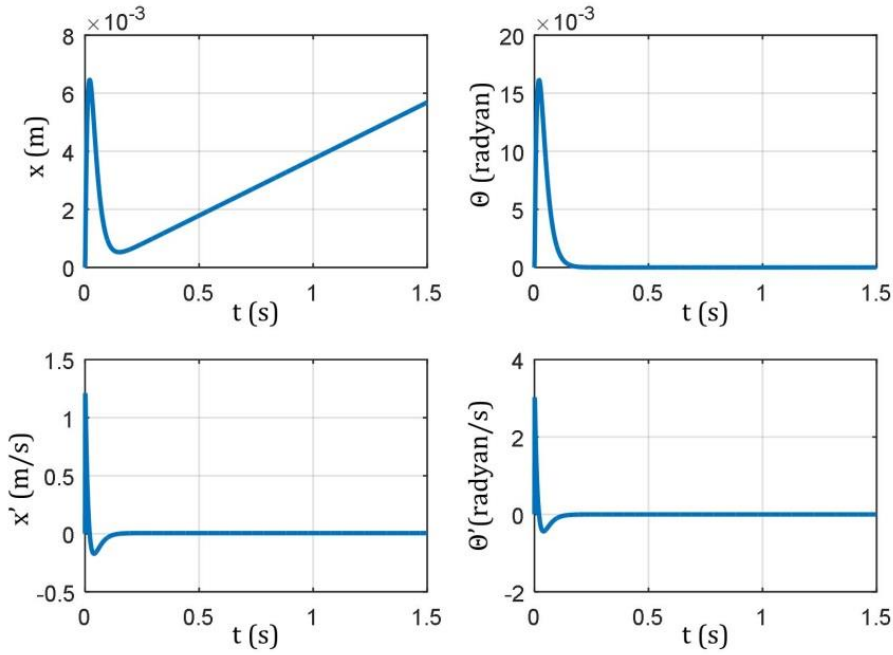
Aynı sisteme ait kontrolcünün optimizasyonu için ABC algoritmasını kullanmak mümkündür. Burada kullanılan ABC algoritmasının detayları için [9], [16], [17] numaralı kaynaklar incelenebilir. ABC ve benzeri sürü algoritmaları ile bir sistemin optimizasyonunu gerçekleştirmek için öncelikle amaç fonksiyon tanımlamak gerekmektedir. Optimizasyon algoritmasının amacı tanımlanan amaç fonksiyonu minimize etmektir. PID denetleyicinin optimizasyonu için literatürde tanımlanmış farklı amaç fonksiyonlar mevcuttur. Mutlak hatanın toplamı (Integral Absolute Error (IAE)), hata karelerinin toplamı (Integral Squared Error (ISE)), zaman ağırlıklı hata karelerinin toplamı (Integral Time-weighted Squared Error (ITSE)) gibi fonksiyonlar önerilmiştir [18]. Bu fonksiyonlar PID



Şekil 7. Katsayıları deneysel olarak iyileştirilen sistemin çıkış grafikleri (Output signals of the experimentally tuned system)

denetleyicinin kontrol ettiği sistemde meydana gelen hataların çeşitli işlemler ile toplamını vermektedir. Bu fonksiyon optimizasyon algoritmasına uygulandığında, belirlenecek PID parametreleri, sistemde minimum hata meydana getiren parametreler olacaktır. Bu çalışmada amaç fonksiyon olarak, denklem (6)'da verilen IAE fonksiyonu kullanılmıştır [18], [19]. Ayrıca kullanılan ABC algoritmasında koloni büyüklüğü 20 (işçi ve gözcü arıların toplam sayısı), maksimum iterasyon sayısı 100 olarak ayarlanmıştır. Değişkenler için başlangıç değerleri atanmamış, sınırları 0-2000 olarak ayarlanmış ve özel bir durdurma kriteri belirlenmemiştir. Algoritmanın ürettiği PID katsayıları; $K_p=1112.298$, $K_d=46.734$ ve $K_i=0$ 'dır. Elde edilen yeni katsayılar ile sisteme ait grafikler Şekil 8'de verilmiştir. Sistemin denge pozisyonuna ulaşma süresi 0.24s'ye düşmüş, ayrıca sarkacın yaptığı maksimum salınım 0.04 dereceden 0.016 dereceye gerilemiştir. Sistemde konum kontrolü yapılmadığı için konum sürekli değişmektedir.

$$f_{IAE} = \int_0^T |e(t)| dt \quad (6)$$



Şekil 8. Yapay arı kolonisi algoritması ile optimize edilen sistemin çıkış grafikleri (Output signals of the system optimized by the artificial bee colony)

4. SONUÇLAR (CONCLUSION)

Bu çalışmada arabalı ters sarkacın PID ile kontrolü gerçekleştirilmiş ve PID parametreleri Ziegler-Nichols yöntemi ve ABC algoritması ile ayarlanmıştır. Ziegler-Nichols yönteminde ilk elde edilen parametreler sistem için uygun parametreler değildir. Deneysel olarak parametrelerin değiştirilmesiyle daha iyi bir sonuç elde edilmiştir. Ancak bu deney sayısı ile orantılı olarak zaman kaybına neden olmaktadır. ABC algoritması ile elde edilen sonuçlar ise Ziegler-Nichols yöntemi ile bulunandan çok daha iyi bir performans sağlamıştır. Bu sonuçlar çok kısa bir sürede (yalnızca 100 iterasyon ile)

elde edilmiş ve tekrar müdahaleye gerek kalmamıştır. Çalışma sonunda ABC algoritmasının kullanıcıya PID optimizasyonunda kolaylık sağladığı ve zaman kazandırdığı görülmüştür. İlerleyen çalışmalarda genetik algoritma, parçacık sürüsü optimizasyonu ve karınca kolonisi gibi algoritmalar ile ABC'nin karşılaştırmalı olarak performans değerlendirmesi planlanmaktadır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Blum C., "Ant Colony Optimization: Introduction and Hybridizations", *7th International Conference on Hybrid Intelligent Systems*, Kaiserlautern, Germany, 353-373, (2007).
- [2] Asteroth A. and Hagg A., "How to Successfully Apply Genetic Algorithms in Practice: Representation and Parametrization", *International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications*, Madrid, Spain, 1-6, (2015).
- [3] Marini F. and Walczak B., "Particle Swarm Optimization (PSO). A Tutorial", *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 149: 153-165, (2015).
- [4] Akyol S. and Alataş B., "Güncel Sürü Zekâsı

Optimizasyon Algoritmaları", *Neşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 1: 36-50, (2012).

- [5] Karaboga 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).
- [6] Yan G. and Li C., "An Effective Refinement Artificial Bee Colony Optimization Algorithm Based on Chaotic Search and Application for PID Control Tuning", *Journal of Computational Information Systems*, 7(9): 3309-3316, (2011).
- [7] Kumar R. and Singla S.K., "A Comparative Analysis of Different Methods for the Tuning of PID Controller",

- International Journal of Electronics Communications and Electrical Engineering*, 3(2): 1–17, (2013).
- [8] Karaboğa D., "Yapay Zeka Optimizasyon Algoritmaları", Üçüncü baskı, *Nobel*, Ankara, (2014).
- [9] Karaboga D. and Akay B., "A Survey: Algorithms Simulating Bee Swarm Intelligence", *Artificial Intelligence Review*, 31(1-4): 61–85, (2009).
- [10] Mishra A.K., Khanna A., Singh N.K. and Mishra V.K., "Speed Control of Dc Motor Using Particle Swarm Optimization Technique", *Universal Journal of Electrical and Electronic Engineering*, 1(3): 68–75, (2013).
- [11] Verma B.K. and Kumar D., "A review on Artificial Bee Colony Algorithm", *International Journal of Engineering and Technology*, 2(3): 175–186, (2013).
- [12] Jain N., Gupta R. and Parmar G., "Intelligent Controlling of an Inverted Pendulum Using PSO-PID Controller", *International Journal of Engineering Research and Technology*, 2(12): 3712–3716, (2013).
- [13] Montiel O., Sepulveda R., Melin P., Castillo O., Porta M.A. and Meza I.M., "Performance of a Simple Tuned Fuzzy Controller and a PID Controller on a DC Motor", *IEEE Symposium on Foundations of Computational Intelligence*, Honolulu, Hawaii, 531-537, (2007).
- [14] Ziegler J.G. and Nichols N.B., "Optimum Settings for Automatic Controllers", *Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control*, 115(2B): 759-765, (1993).
- [15] Khan M.R., Khan A.A. and Ghazali U., "Speed Control of DC Motor Under Varying Load Using PID Controller", *International Journal of Engineering*, 9(3): 38–48, (2015).
- [16] Karaboga D., Gorkemli B., Ozturk C. and Karaboga N., "A Comprehensive Survey: Artificial Bee Colony (ABC) Algorithm and Applications", *Artificial Intelligence Review*, 42(1): 21–57, (2014).
- [17] Saab S.M., El-Omari N.K.T. and Owaied H.H., "Developing Optimization Algorithm Using Artificial Bee Colony System", *Ubiquitous Computing and Communication Journal*, 4(5): 15–19, (2009).
- [18] Campo A.B., "PID Control Design, MATLAB - A Fundamental Tool for Scientific Computing and Engineering Applications - Volume 1", *InTech*, (2012).
- [19] Hussain K.M., Zepherin R.A.R. and Kumar M.S., "Comparison of Tuning Methods of PID Controllers for FOPTD System", *International Journal of Innovative Research In Electrical, Electronics, Instrumentation and Control Engineering*, 2(3): 1177–1180, (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>

Identification of critical values based on natural ester oils as potential insulating liquid for high voltage power transformers

Yüksek gerilim güç transformatörleri için potansiyel yalıtım sıvısı olarak doğal ester yağlarına dayalı kritik değerlerin tespit edilmesi

Yazar(lar) (Author(s)): Nihat PAMUK

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Pamuk N., " Identification of critical values based on natural ester oils as potential insulating liquid for high voltage power transformers, *Politeknik Dergisi*, 20(4): 869-877, (2017).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.369050

Identification of Critical Values Based on Natural Ester Oils as Potential Insulating Liquid for High Voltage Power Transformers

Araştırma Makalesi / Research Article

Nihat PAMUK

Turkish Electricity Transmission Company, Sakarya, Turkey

(Geliş/Received : 24.06.2017 ; Kabul/Accepted : 03.03.2017)

ABSTRACT

This study tries to bring a complex summary of properties of natural ester fluids from the point of view of electrical insulation fluid for high voltage power transformers. Although many papers have been published in this area, this study try to address some less known problems which however plays a key role in new fluid practical applications. Some differences compared to mineral oils are discussed in study. The critical values that might occur in the future for industrial applications are proposed, evaluated and discussed.

Keywords: Natural esters, insulating liquid, power transformer, mineral oils.

Yüksek Gerilim Güç Transformatörleri için Potansiyel Yalıtım Sıvısı Olarak Doğal Ester Yağlarına Dayalı Kritik Değerlerin Tespit Edilmesi

ÖZ

Bu çalışma, elektriksel yalıtım akışkanları açısından yüksek gerilim güç transformatörleri için, doğal ester akışkan özelliklerinin karmaşık bir özetini çıkarmaya çalışmaktadır. Bu alanda birçok makale basılmış olmasına rağmen, bu çalışma yeni akışkan pratik uygulamalarında kilit bir rol oynayan ancak daha az bilinen bazı sorunları belirtmeye çalışmaktadır. Çalışmada, mineral yağlarla kıyaslanan bazı farklılıklar gösterilmiştir. Endüstriyel uygulamalar için, gelecekte oluşabilecek kritik değerler önerilmiş, değerlendirilmiş ve tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Doğal esterler, yalıtım sıvısı, güç transformatörü, mineral yağlar.

1. INTRODUCTION

The oiled-paper electrical insulation system is crucial for many power engineering applications. Particularly, oiled-paper system virtually allows power transformer voltage level and power transformer new design. Mineral oils are mainly used for these power engineering applications. However, these applications are complicated issue by their uncertain degradation. They have negative impact on the environment and human health. In the concept of the European Union (EU) are also virtually no mineral oil resources. Therefore, other options are searched to either fully or partially replace mineral oils by renewable resources. An enormous effort was done in this crucial area and some perspective alternatives were chosen during the last decade. But further research is necessary for industrial use. Principally methodology of evaluation and criteria parameters must be set to ensure highest reasonable

reliability of power transformers filled with such an insulating liquid. High voltage power systems operator is specially concern not only some of their different characteristic parameters of new insulating liquids but also standardized limit values for industrial use.

2. DESCRIBING INSULATION FLUIDS FOR POWER TRANSFORMER

In principle, two perspective ways of searching suitable insulating liquids are possible. The first has a basis in chemical industry. In laboratory conditions were synthesized substances with convenient insulating properties and sufficient biodegradability simultaneously. On the other hand, it was proven, that appropriate fluids may be found in nature [1]. Vegetable oils (natural based esters) exhibit suitable properties in some aspects and some limitations in other [2-3]. Further research is focused on finding additives to improve particular negative characteristics. In table 1 some common known features of electro insulating fluids are compared [4]. Natural esters have some outstanding

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : nihatapamuk@gmail.com

properties in comparison with mineral or synthetic oils.

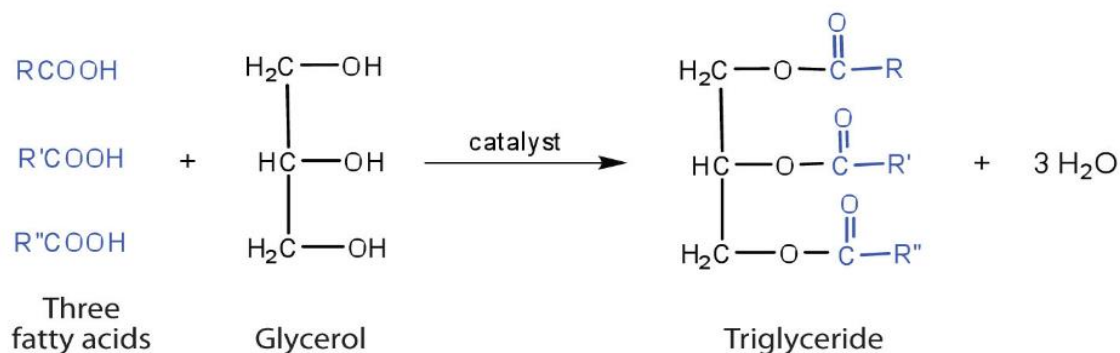


Figure 1: The chemical model for triglyceride genesis

Toxicity	Low/Semi/High	Semi/High	Low
Dissipation Factor	Low/Semi	Low	Acceptable
Water Content	Very Low	Low	Very Low
Oxidation Stability	Low/Semi/High	High	Low/Semi
Biodegradability	Low/Semi/High	Very Low	Very High
Breakdown Voltage	High	High	High
Renewable Energy Source	Yes/No	No	Yes

The first excellent properties are low flammability (flash point min. 300 °C). Another one is a very good biodegradability (vegetable oil e.g. sunflower oil is fully biodegradable after 7 days). Other properties are not significantly different and are sufficient for industrial application according to requirements, but it is necessary to do some improvement.

The aim of the study is presented for aging model of IEEE and IEC standards using biodegradability model of oil-immersed power transformer for natural ester and mineral oil. Aging model of the power transformer is based on thermal - electrical analogy that is calculated separately for natural and mineral oils covering top-oil and hot-spot temperatures. The hot - spot temperature values each ester oil are used to calculate aging parameters which include the aging acceleration factor, time dependent relative aging rate and insulation life loss variations. In literature, also there are more studies about natural ester and mineral oil. Moisture effects on the electric breakdown strength of transformers boards under voltage in oil are examined. Natural ester has higher absolute humidity and acidity during the long ageing period. Power transformer paper in vegetable oil had larger activation energy. Due to the larger interaction force between water and natural ester molecules, water

molecule was easily bonded with natural ester, weakening the hydrolysis process of cellulose. Cellulose is chemically modified by natural ester during thermal aging process. This study suggests that determining the difference of aging period between natural ester and mineral oil should be used factor. So it is possible to predict the lifetime of natural ester oil - immersed power transformers easily and nearly correct.

3. CHEMICAL STRUCTURE OF NATURAL ESTER OILS

When searching material with appropriate electro insulating properties, the first sight must focus on its chemical structure. An ideal electrical insulating fluid is non-polar; hence the dielectric losses by polarization are limit close to zero [5]. Traditionally used mineral oils are slightly polar, very close to ideal fluids. Their dissipation factor is given by conductivity, which rises with temperature [6]. On contrary vegetable oils (proposed substitutes) are based on ester bonds, which are in general polar. This is also reason why they can absorb significantly greater moisture content than mineral oils. Natural based esters are glycolipids esters of fatty acids, as shown on figure 1.

Common natural oils have similar chemical structure, but differ in particular fatty acid ratios. Synthetic esters for electrical insulation purposes are synthesized in various structures which is hard to generalize. Recently the most promising esters are based on pentaerythritol [7]. Pentaerythritol chemical model is shown on figure 2.

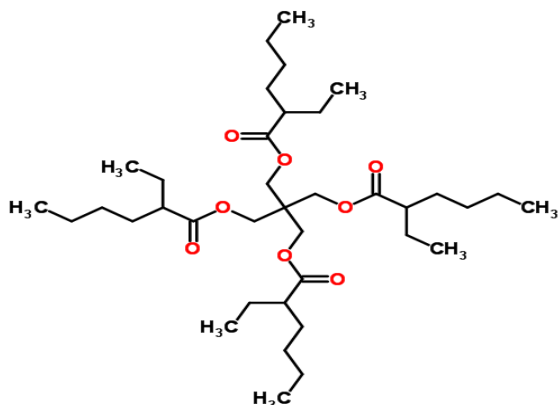


Figure 2: The chemical model for pentaerythritol

However, some common features can be observed. Usually short chain compounds are chosen, hence they ensure low viscosity. Also biodegradability depends on molecular complexity. Shorter molecular chains are better biodegradable.

4. IDENTIFICATION OF CRITICAL VALUES

Experimental work demonstrated great differences of particular insulating fluid on behavior of whole paper-oil system [8-9]. For traditionally used mineral oils its behavior with cellulose elements is well known and criteria for use are set in standard IEC 60422/2013 [10].

The standard is dividing properties to three categories as follows:

✚ Good factor sequences of values detected as per IEC 60422/2013 for the factor as a good situation and it is feasible to provide the present gap for exemplification.

✚ Bad factor sequences of values detected as per IEC 60422/2013 for the factor as an insufficiently condition and it is hence essential to salvage oil factors by barter or regeneration.

The IEC 60422/2013 standard also characteristics the time gap for receiving oil patterns. The gap is attached to the condition of fluid. The critical values are disunited as per the kind of implementation and the nominal voltage (V_n) of the instruments for each class. High voltage power transformer values are dedicated to the class;

✚ Class number is 1, and it is shown ($V_n > 420$ kV) voltage values,

✚ Class number is 2, and it is shown (170 kV $< V_n < 420$ kV) voltage values,

✚ Class number is 3, and it is shown (72.5 kV $< V_n < 170$ kV) voltage values,

Medium voltage power transformer value is dedicated to the class;

✚ Class number is 4, and it is shown ($V_n < 72.5$ kV) voltage values.

The last class (number 4) is characterized with distribution transformers. However, for alternative fluids it is not possible to use the same criteria as for mineral oils, because of different nature and behavior of the fluids. First attempts of unification and evaluation of natural and synthetic esters were set in standards. However, these values greatly differ over each standard (EN, IEC, IEEE, ASTM, etc.) or company recommendation. Recommended values of important parameters of transformer oil according to valid standards are shown in table 2 and table 3 respectively [11].

Table 2: Suggested limit values for novel rock oil according to EN60422 [11]

Parameter	Standard	The voltages in each class (kV)		
		Class 4	Class 3	Class 2
Dissipation Factor 90 °C (-)	EN 60247	$V_n \leq 0.015$	$V_n \leq 0.015$	$V_n \leq 0.010$
Breakdown Voltage 2,5 mm (kV)	EN 60156	$V_n > 55$	$V_n > 60$	$V_n > 60$
Water Content (mgH ₂ O/kg)	EN 60814	$V_n < 20$	$V_n < 10$	$V_n < 10$
Acid Number of Oil (mgKOH/g)	EN 62021-1	$V_n \leq 0.03$	$V_n \leq 0.03$	$V_n \leq 0.03$
Resistivity 90 °C (GΩ.m)	EN 60247	$V_n > 60$	$V_n > 60$	$V_n > 60$

✚ Executively factor sequences of values detected as per IEC 60422/2013 for the factor as a executively situation and it is hence essential to progress to the common receiving patterns, respectively to control other connected factors.

Table 3: Suggested limit values for used rock oil according to EN60422 [11]

Parameter	Class Number	The recommended limit values (kV)		
		Good	Medium	Bad
Dissipation Factor 90 °C (-)	1 - 2	$V_n < 0.10$	$0.10 < V_n < 0.20$	$V_n > 0.20$
	3	$V_n < 0.10$	$0.10 < V_n < 0.50$	$V_n > 0.50$
Breakdown Voltage 2,5 mm (kV)	1 - 2	$V_n > 60$	$50 < V_n < 60$	$V_n < 50$
	3	$V_n > 50$	$40 < V_n < 50$	$V_n < 40$
Water Content (mgH ₂ O/kg) 20 °C	1 - 2	$V_n < 5$	$5 < V_n < 10$	$V_n > 10$
	3	$V_n < 5$	$5 < V_n < 10$	$V_n > 15$
Acid Number of Oil (mgKOH/g)	1 - 2	$V_n < 0.10$	$0.10 < V_n < 0.15$	$V_n > 0.15$
	3	$V_n < 0.10$	$0.10 < V_n < 0.20$	$V_n > 0.20$
Resistivity 20 °C (GΩ.m)	1 - 2	$V_n > 200$	$20 < V_n < 200$	$V_n < 20$
	3	$V_n > 60$	$4 < V_n < 60$	$V_n < 4$
Resistivity 90 °C (GΩ.m)	1 - 2	$V_n > 10$	$1 < V_n < 10$	$V_n < 1$
	3	$V_n > 3$	$0.2 < V_n < 3$	$V_n < 0.2$

In this instance of some factors of used rock oils (for example tan δ) are circumscribes adjust upper value, as shown by the conclusions of heat-treated rock oil. So, it is suitable to use the dissipation parameter boundary value suggested by IEC 60422/2013 standard for a novel rock oil, ie. 1.5%. In the case of perspective oil is still missing a complete and unified overview applicable for power transformers based on IEC standards. Here are described some currently available standards for determining the values of criteria focusing on IEC standards and suggests a suitable equivalent values, including the possible approaches applicable for power transformers according to category of nominal voltage (Class 1, Class 2, and Class 3). Liquids based on organic and synthetic esters are described in Standard IEC 1203/1905.

The IEC 1203/1905 standard concentrates on the practice of non-rock oil on distribution power transformers with rated voltage up to 36 kV [12]. Isolation fluids occur synthetic organic esters are separated into three categories [13].

- ✚ Isolation fluids appropriate for regular process. For the practice of high voltage power transformers are characterized factor values listed in table 4 [14].
- ✚ Esters, which are to be regulated by a suitable recover method that they can be worked in the electrical power equipment.
- ✚ Unusable esters.

Table 4: The compared parameter values according to IEC 1203/1905 [12] and according to IEC 61099/2010 [14]

Parameter	IEC 1203/1905 Standard [12]	IEC 61099/2010 Standard [14]
Dissipation Factor 20 °C (-)	≤ 0.01	≤ 0.03
Breakdown Voltage 2,5 mm (kV)	> 30	≥ 45
Water Content (mgH ₂ O/kg) 20 °C	≤ 400	≤ 200
Acid Number of Oil (mgKOH/g)	≤ 2.0	≤ 0.30
Resistivity 20 °C (GΩ.m)	≥ 6	≥ 2
Viscosity (mm ² /s) 40 °C	-	≤ 35
Fire Point (°C)	> 300	≥ 300

5. KINEMATIC VISCOSITY AND FLASH POINT

Insulating liquids in power transformer fulfill insulating function. As oil is heated by winding and core losses, they move and circulate over power transformer tank and radiators. This so called thermo siphon effect yields thermal transfer and enables higher loading. When alternative insulating fluids are concerned for use, their cooling properties must be considered. For usable alternative liquids heat transfer coefficient and thermal capacity are similar [15]. The greatest difference is in case of viscosity. The higher is the viscosity, the worse are cooling abilities. The topic is even more complicated, because the nature of flow is changing from turbulent to laminar and cooling is limited even more. The viscosity depends on chemical structure. A general idea is that the more complex is molecular chain, the greater is the viscosity. Hence natural oils are cleaving into monoesters with linear molecular chains. In case of synthetic esters, the required properties are achieved by blending suitable compounds, thus low molecular chains are picked. Furthermore, it is necessary to examine viscosity dependence on temperature. Especially natural esters tend to freeze in temperature range -10 to -27 °C [16].

A great number of power transformers may approach such a low temperature during operations, thus additional actions for lowering the pour point must follow. There are depressants which may improve the pour point of subjected liquid. The other way is to modify vegetable oil by shortening its chains. One of the three fatty acid chains in natural ester molecule may be exchanged for a shorter acetate chain, which yields lowering the viscosity [15]. Also decomposition of natural ester to mono ester compounds leads to lowering the viscosity [17]. On the other side of temperature scale, flash point is also evaluated. Natural and synthetic esters have in general higher flash point than mineral oils, so there is no improvement necessary. Pure point and flash point goes usually "hand in hand" both up or both down, so fluids with very low pure point has also low flash point. In the case of esters, researcher can by lowering pure point lose partially fire safety feature. In case of viscosity and pour point respectively, power transformer operators will follow current regulations. In the case of natural esters, researcher must strive to these values as closely as possible.

6. DIELECTRIC PROPERTIES OF MINERAL OIL

For proper function, alternative fluid must satisfy all required dielectric parameters. These are breakdown voltage, dissipation factor, permittivity and resistivity. The breakdown voltage value according to IEC standards should be higher than 30 or 45 kV/2.5 mm (for distribution power transformer) [14]. It was proved, that common pure natural esters fulfill this requirement when they are dried (also in table 5). However, this may not be valid for ester mixtures, especially with particular additives.

Table 5: The breakdown voltage values according to high temperature degree [14]

Breakdown Voltage 2,5 mm (kV) / Temperature	Soybean Oil	Palm Oil
20 °C	61	63
- 5 °C	59	-
-14 °C	55	-
- 27 °C	57	59

The dissipation factor of ester insulating fluids greatly differs from rock oil. Rock oils are non-polar or very lightly polar materials, that electron neutralization is an overpowering mechanism of neutralization. So, dissipation parameter of rock oils at 60 loops is made by conductivity that increases with high temperature degree. However, when comparing with inherent based on esters (palm oil): it is known that inherent based on esters are robustly polar materials, where dipole neutralization takes principal act in electron losses.

Hence dissipation parameter is importantly higher than of rock oils. The dissipation parameter of inherent based on esters are affected either by conductivity and dipole neutralization. Dipole neutralization losses are detected by kinematic viscosity and frequency. An electron increase of dipole neutralization losses on frequency is monitored in the event of inherent oils. However, dissipation factor of natural ester can meet the critical values set for mineral oil [18].

Dissipation factor of natural oils can be slightly lowered by adding significant amount of mineral compound [19]. My experiment proved that 20 % of mineral compound in mixture still provides excellent biodegradability in closed bottle test. Temperature dependence of dissipation factor of mixture based on palm oil is shown in figure 3.

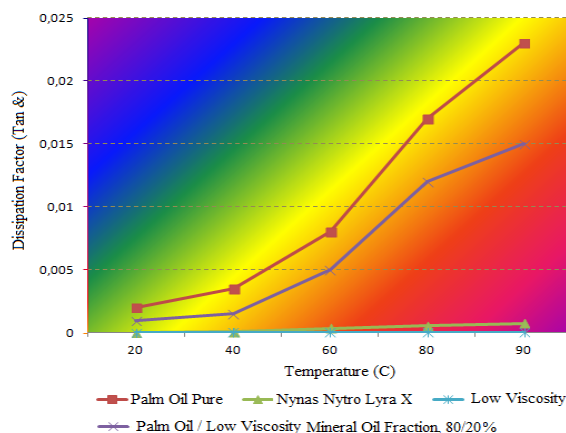


Figure 3: Temperature dependence of dissipation factor of mixture based on palm oil

When mixing mineral compound with natural oil, the special bacteria reduce the inherent oil at first, which efficiencies in raising the operative surface submitted to oxidative enzymes. Scarcely violable molecules of substance oil are decomposed and crumbled; thereby they are easily obtainable by oxidative enzymes. Finally, it is feasible to use rock oil in higher volume ratios while preserving biodegradability. Biodegradability of ester liquids with mineral compound mixtures is shown in figure 4.

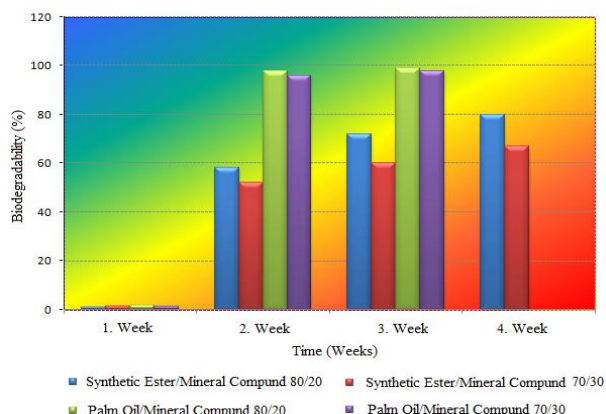


Figure 4: Biodegradability of ester liquids with mineral compound mixtures

7. INTERFACIAL TENSION

Interfacial tension is one of the weak points of natural esters. As the oxidative atmosphere and elevated

temperature are present, natural oils tend to thicken. The answer is again in the chemical structure, where polymerization takes place and each ester molecules are bonding together to form longer chains. Hence the oil is getting thicken and losses its cooling function. However, with proper additives, natural oils may improve its interfacial tension. A simple experiment has been performed using Shell Diala S3 ZX-I, Nynas Nytro Lyra X, and Power Oil 1020-60 UX tester.

Mineral, synthetic and natural oils have been compared. Mineral oils are composed of hydrocarbons and just on bonds between carbon and hydrogen oxidation reactions are taking place. This is accelerated by heat or light oxidation product later undergoes subsequent reaction as polymerization or condensation reaction therefore acid number and viscosity of oil is increased. The stability is evaluated according to the degree of deterioration of the electrical, physical or chemical properties such as dissipation factor, the interfacial tension at the interface of water-oil, and others.

The copper slice is loaded into the oil. The oil in sealed container is heated to a predefined temperature, which must be open for 1 minute after 24 hours of heating of oil. Mineral oil has been tested using temperature 160 °C, 600 (kPa) [20] and cerium steorage as tension stabilizer. Interfacial tension machine is shown in figure 5. Interfacial tension results of various oil types are shown in table 6.



Figure 5: Interfacial tension machine

Table 6: The interfacial tension results of various oil types [20]

Type of Oil	Inhibitor	Interfacial Tension
Nynas Nytro Lyra X	Inhibited Oil	87
Nynas Nytro Lyra X regeneration	Inhibited Oil	184
Power Oil 1020-60 UX	Inhibited Oil	216
Shell Diala S3 ZX-I	Inhibited Oil	129
Shell Diala D	No Inhibitor	99
Shell Diala D regeneration	Inhibited Oil	245
Synthetized Ester 22	No Inhibitor	53
Synthetized Ester 22	Phenolic 0.4%	253
Synthetized Ester 22	Amine 0.4%	1110
Synthetized Ester 22 + 20% HCIO	No Inhibitor	25
Synthetized Ester 22 + 20% HCIO	Phenolic 0.4%	170
Synthetized Ester 22 + 20% HCIO	Amine 0.4%	969
Environmental Temp FR3	-	75
Soybean Oil	No Inhibitor	54
Soybean Oil	Phenolic 0.4%	262
Soybean Oil	Phenolic 0.8%	353
Soybean Oil	Amine 0.2%	60
Soybean Oil	Amine 0.4%	60
Palm Oil	No Inhibitor	36
Palm Oil	Phenolic 0.4%	166
Palm Oil	Phenolic 0.8%	216
Palm Oil	Amine 0.2%	41
Palm Oil	Amine 0.4%	45
Palm Oil	Amine 0.8%	45

As criteria was used pressure drop of 10 %. Synthetic esters have been tested using the same procedure. Subjected synthetic ester is a mixture of various hydrocarbons with viscosity of 22 (mm²/s). Both amine and phenol antioxidants have been added. Natural oils were tested under lower temperature (130°C) and no oxidative catalyst was used.

8. WATER CONTENT

One of the great differences between traditionally used mineral oils and proposed alternatives is the ability to absorb moisture. In past, it was shown, that saturation limit of natural oils is over 1000 ppm of water at 20 °C, while mineral oils are fully saturated at 30 – 60 ppm (depend on particular oil). Saturation limit for mineral oils and ester insulating liquids chart is shown in figure 6.

This phenomenon is caused by differences in chemical structure. As natural oils are slightly polar, they bond water molecules by electrostatic forces and prevails

drying. The simplified chemical model for polar glycolipids is shown in figure 7.

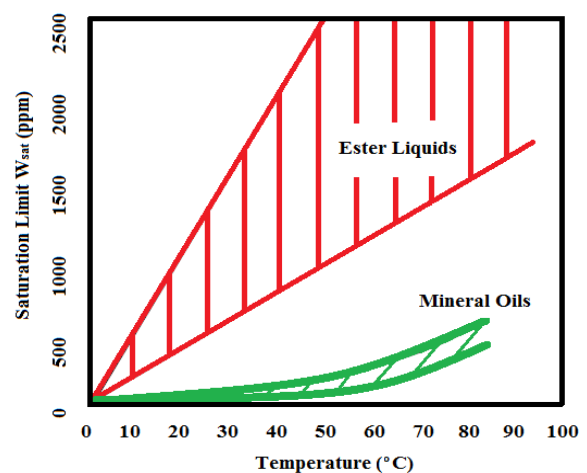


Figure 6: Saturation limit for mineral oils and ester insulating liquids chart

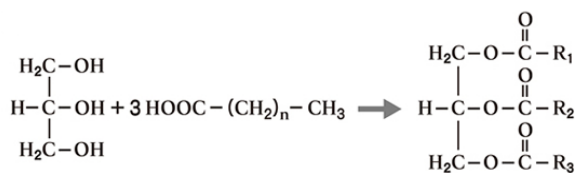


Figure 7: The simplified chemical model for polar glycolipids by electrostatic forces

When dried using standardized hot oven procedure, mineral oils lose their water content easily. Widely used procedure is to heat up the oil to the temperature class (110°C for class number 1) and leave in circulating air for 1 hour at least. Water content by this procedure reduces to approx. 5-10 ppm. By the same procedure in natural oils water content reduces to approx. 100-200 ppm, depending on the particular oil composition. The similar behavior was observed in case of synthetic esters, however, their molecules are not as complex and further exhibit less dipole moments, and hence they are dried more easily.

It was monitored that even after long term of hot-air dehydration the humidity substance under specific grade in inherent based on esters has no trends to vaporize. Of course it is feasible to dehydration the mineral oil further, e.g. using particle sieve with suitable net sizes, however this method is not appropriate for industrial use and moreover powder molecules from the sieve are getting into the mineral oil, affecting electrical features or vacuum. The positive effect of this behavior is that both esters and mineral oils act similarly when relative moisture is concerned. The relative moisture [21] is given by equation 1.

$$W_{rel} = \frac{W_{abs}}{W_{sat}} \quad (1)$$

In equation 1, W_{abs} is absolute water content (ppm) and W_{sat} is saturation limit (ppm). When e.g. breakdown voltage dependence on relative moisture content is plotted, the curves for mineral oil and ester based insulating liquids are very close. Thus ester based insulating liquids may be used in applications, where moisture causes troubles. Especially esters can be recommended for small distribution transformers, which are not equipped with dehydrators.

9. CONCLUSIONS

As alternative insulating liquids behave differently than traditionally used mineral oils, their behavior in insulating system must be examined experimentally. Some researches focuses on acidity of oils [19] and others prove low impact on de-neutralization factor of paper in the system. Main problems are dielectric properties of mineral oil and oxidative stability. Hermetic power transformers are required when natural esters are to be used. However also proper antioxidants can improve this feature as presented, and here is the same

problem as with the absence of critical values of electric parameters there is not standardized technique for oxidation stability testing of natural esters. Finally, possibilities of establishing of critical values of parameters for natural esters are partially presented in the paper.

REFERENCES

- 1) Perkasa, C.Y., Lelekakis, N., Czaszejko, T., Wijaya, J., Martin, D., "A comparison of the formation of bubbles and water droplets in vegetable and mineral oil impregnated transformer paper", *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 21(5): 2111-2118, (2014).
- 2) Pamuk, N., "Investigation of the usage of palm oils with the aim of insulation in high voltage power system equipments", *Technical Gazette*, 22(5): 1287-1296, (2015).
- 3) Tenbohlen, S., Koch, M., "Aging performance and moisture solubility of vegetable oils for power transformers", *IEEE Transactions on Power Delivery*, 25(2): 825-830, (2010).
- 4) Ruijin, L., Jian, H., Chen, G., Zhiqin, M., Lijun, Y., "A comparative study of physicochemical, dielectric and thermal properties of pressboard insulation impregnated with natural ester and mineral oil", *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 18(5): 1626-1637, (2011).
- 5) Lelekakis, N., Martin, D., Wijaya, J., "Ageing rate of paper insulation used in power transformers part 1: oil / paper system with low oxygen concentration", *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 19(1): 1999-2008, (2012).
- 6) Lundgaard, L.E., Hansen, W., Linhjell, D., Painter, T.J., "Aging of oil-impregnated paper in power transformers", *IEEE Transactions on Power Delivery*, 19(1): 230-239, (2004).
- 7) Sander, A., Kardum, J.P., "Pentaerythritol crystallization - influence of the process conditions on the granulometric properties of crystals", *Advanced Powder Technology*, 23(2): 191-198, (2012).
- 8) Pamuk, N., "Investigation of the long term degradation of cellulosic insulating materials in high voltage power transformer", *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*, 16(3-4): 422-428, (2014).
- 9) Griffin, P., Lewand, L., Heywood, R., Lapworth, J., "Gassing characteristics of transformer oils at modest temperatures part 1: transformer experiences", *Doble Conference*, Boston, USA, 43-51, (2004).
- 10) IEC 60422/2013 International Standard, "Mineral Insulating Oils in Electrical Equipment - Supervision and Maintenance Guidance", *International Electrotechnical Commission*, (2013).
- 11) Oommen, T.V., Prevost, T.A., "Cellulose insulation in oil-filled power transformers: part II: maintaining insulation integrity and life", *IEEE Electrical Insulation Magazine*, 22(1): 5-14, (2006).
- 12) IEC 1203/1905 International Standard, "Synthetic Organic Esters for Electrical Purposes - Guide for Maintenance of Transformer Esters in Equipment", *International Electrotechnical Commission*, (2013).

- 13) Janes, A., Lust, E., "Organic carbonate - organic ester - based non-aqueous electrolytes for electrical double layer capacitors", *Electrochemistry Communications*, 7(5): 510-514, (2005).
- 14) IEC 61099/2010 International Standard, "Insulating Liquids - Specifications for Unused Synthetic Organic Esters for Electrical Purposes", *International Electrotechnical Commission*, (2010).
- 15) Adejumobi, I.A., Oyagbirin, S.G., "Insulation deterioration and its effects on power systems", *Journal Engineering and Applied Sciences*, 2(5): 870-873, (2007).
- 16) Gallagher, T.J., "Simple dielectric liquids - mobility, conduction and breakdown", *Clarendon Press, Oxford*, 59-63, (1975).
- 17) Gernandt, R., Wagberg, L., Gardlund, L., Dautzenberg, H., "Polyelectrolyte complexes for surface modification of wood fibres part-I: preparation and characterization of complexes for dry and wet strength improvement of paper", *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 213(1): 15-25, (2003).
- 18) Pamuk, N., "Statistical analysis of electrical and mechanical breakdown stress for insulation performance in high voltage power transformer", *Technical Gazette*, 21(3): 495-503, (2014).
- 19) Radakovic, Z.R., Sorgic, M.S., "Basics of detailed thermal-hydraulic model for thermal design of oil power transformers", *IEEE Transactions on Power Delivery*, 25(2): 790-802, (2010).
- 20) Pamuk, N., "Investigation of destructive and healing effects on the temperature and moisture rise in terms of dielectric strength of transformer insulation oil", *International Journal of Scientific and Technological Research*, 1(10): 20-31, (2015).
- 21) Han, S., Li, Q., Li, C., Yan, J., "Electrical and mechanical properties of the oil-paper insulation under stress of the hot spot temperature", *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 21(1): 179-185, (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>

Yapı makinesi satın alımında VIKOR çok kriterli karar verme yönteminin uygulanması

Application of the VIKOR multi-criteria decision method for construction machine buying

Yazar(lar) (Author(s)): Latif Onur UĞUR

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Uğur L. O., "Yapı makinesi satın alımında VIKOR çok kriterli karar verme yönteminin uygulanması, *Politeknik Dergisi*, 20(4): 879-885, (2017).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.369058

Yapı Makinesi Satın Alımında VIKOR Çok Kriterli Karar Verme Yönteminin Uygulanması

Araştırma Makalesi / Research Article

Latif Onur UĞUR

Düzce Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Konuralp / DÜZCE

(Geliş/Received : 16.09.2016 ; Kabul/Accepted : 26.01.2017)

ÖZ

Orta ve büyük ölçekli yapım projelerinde makine donanımı büyük önem arz etmekte; kule vinci, mobil vinç, beton pompası, beton mikseri, kamyon, greyder, ekskavatör, dozer vb. pek çok yapı makinesinin temini, önemle üzerinde durulması gereken hususlar arasında yer almaktadır. Böyle durumlarda karar vericilerin ihtiyaçlarını, amaçlarını, değerlendirme kriterlerini, bu kriterlerin kendileri için önemlerini belirleyerek alternatiflerini oluşturmaları gerekmektedir. Bu noktadan itibaren yapılacak seçim de bir çok kriterli optimizasyon problemine dönüşecektir. Uygun yöntemin seçilmesi ve uygulanması ile fayda maksimizasyonu ve katlanılan külfetlerin minimizasyonu mümkün olacaktır. Bu çalışmada yüklenimi altındaki bir yapım projesinde kullanılmak üzere kule vinci satın almak isteyen bir inşaat firmasının seçim kararı analiz edilmiştir. Bu seçim için çok kriterli karar verme yöntemlerinden VIKOR yöntemi kullanılmıştır. Araştırma sonuçları bu konuda VIKOR yönteminin başarı ile kullanılabileceğini göstermektedir. Yöntem genişletilerek, bulanık mantıkla harmonize edilerek ya da diğer çok kriterli karar verme yöntemleri ile hibrit bir şekilde de kullanılabilir.

Anahtar kelimeler: Yapı makineleri, kule vinç, ekipman temini, VIKOR yöntemi, çok kriterli karar verme.

Application of the VIKOR Multi-Criteria Decision Method for Construction Machine Buying

ABSTRACT

Machinery equipment in medium and large scale construction projects has great importance. Buying mobile cranes, tower cranes, concrete pumps, concrete mixers, trucks, graders, excavators, bulldozers etc., emphasis on among the issues to be dealt with. In such cases the decision makers' needs, goals, evaluation criterias, it is necessary to create alternatives for themselves by determining the importance of these criteria. From this point, the election will turn into a multi-criteria optimization problem. With selection and application of the appropriate methods, the implementation of utility maximization and minimizing the burden incurred may be possible. In this study, the decision to buy a tower crane of a construction company which wanted for use it in a construction project under it's underwriting, analyzed. For this choosing, VIKOR multi criteria decision making method is used. The survey results demonstrate the success of the VIKOR method can be used with it. The method can be use also with expanding, incorporating with fuzzy logic or other multi criteria decision making methods as hybrid manner.

Keywords: Building machinery, tower cranes, equipment supply, VIKOR method, multi-criteria decision making.

1.GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kule vinçler sayesinde her türlü yükün inşaat alanında transferi eskiye nazaran çok daha hızlı yapılabilmektedir. Böylece verimlilik artarken maliyetler azalabilmektedir. Kule vinçler üzerinde yapılacak çalışmalara olan ihtiyaç da günden güne artmaktadır [1]. Kule vinçler, inşaat mühendislerinin kullanım alanında olan, makine mühendislerinin tasarımı iş makineleridir. Kule vinçler teknoloji harikası olmayan basit bir sisteme dayalı da olsa sektörün yıllarca süren projelerinde önemli hız artışları sağlamış, taşıyıcı işçilerin yaptığı yüzlerce katını daha az maliyet ve güven ile yapmayı başarmıştır. Kule vinçler parçalarının inşaat alanına getirilerek tek tek birleştirilmesi ile bir kaç gün içinde kurulup sökülebilmektedirler [2]. Belli bir alana yapılan çok sayıda bina için tek bir kule

vinç yeterli olabilmektedir. Ağır yüklerin zor yollardan taşınmasındaki tüm zorlukları ortadan kaldırıp, ilave kaldıraç ve taşıma aracı masrafı da gerektirmemektedir. Kule vinçlerin kurulumuna, yere açılan 10×10 m boyutlarında veya zemine göre küçük-büyük olabilen çukurların içerisine beton doldurularak metal hasırlarla güçlendirilerek ve sabit yere monte edilerek başlanır. Zemin hazır olan yere parçalar bir iki kademe yerleştirilir. Dışarıdan tahsis edilen mobil vinç yardımı ile kısa gövdeye bom ve beton dengeler yerleştirilir. Bundan sonra kule vinç kendisini yükseltme özelliğini kullanarak yapı ile birlikte yükselir ya da bilinen bir yüksekliğe göre sabit gövde ile de kurulabilir. Boy yükseltilmesi ise gövde üzerinde bulunan, teknikerlerin kontrolünde çalışan hidrolik sistemli bir yükseltici yardımı ile modül adı verilen parçaları tek tek gövdeye yerleştirmek suretiyle istendiği zaman yüksekliği artırılabilir şekilde sağlanır. Böylece mekanik kurulum tamamlanmış olmaktadır. En çok kullanılan modeller genelde bom ucunda 1.250 kg taşırlar.

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : latifugur@duzce.edu.tr

Gövdeye yakın yerde ise 6.000 kg taşıyabilirler. Kule gövdesine en yakın bölgeler ağırlığın kaldırılacağı en uygun bölgelerdir. Kule vinçlerin periyodik kontrol ve bakımları makine mühendisleri tarafından yapılmalıdır [2]. Kule vinçler inşaat halindeki bir yapının iç veya dış bölümüne konumlandırılırlar. Yapı yükseldikçe destek yapıları üzerinde yükselebilirler. Kule vinçler 0,5 ton ile 22 ton arasında yük taşıyabilirler. Bununla birlikte, 15 m ile 75 m arasında değişen yüksekliklere sahiptirler [3]. Kule vinçler, Avrupa Yük Kaldırma Federasyonu (Federation of Material Handling-FEM)- Uluslararası Standart Teşkilatı (International Organization for Standardization-ISO) standartlarına göre vinç sınıflandırmasında H1 kaldırma sınıfında, B3 yükleme grubunda yer alan elektrikli vinç sınıfındadır [4]. Kule vinçler kule yapılarına, vinç kollarına ve üzerinde buldukları zemin yapılarının özelliklerine göre çeşitlendirilirler.

Bir yapım projesi için gereken makinelerin temini hem başlangıç maliyeti, hem işletme giderleri hem de amortisman maliyetlerinin hesaba katılması gereken bir seçimken aynı zamanda nakil, kurulum, kullanım, bakım, onarım, iş güvenliği vb. gibi unsurların da dahil olduğu bir optimizasyon problemi mahiyeti arz eder. Kule vinçleri de tamamen bu kapsam içinde değerlendirilerek satın alınmalı, kullanılmalı, gerektiğinde de elden çıkarılmalıdır. Böyle bir satın alma kararı verileceğinde, bu karar birden çok kriterin söz bir konusu olacağı tercihi gerektirecektir.

Çok kriterli karar verme, belirlenmiş kurallara göre olası en iyi sonuca ulaşma sürecidir. Gerçek hayat problemleri genellikle aynı ölçükle ifade edilemeyen ve birbirleriyle çelişen kriterler içermektedir. Bu nedenle, seçim kriterlerinin tümünü tatmin eden bir çözüme ulaşmak çok zordur. Bu tür problemlerde genellikle, önceden belirlenmiş kurallar ışığında uzlaştırıcı bir çözüm aranır [5].

Uzlaşık çözümün temelleri, Yu [6] tarafından atılmıştır. Uzlaşık çözüm, ideale en yakın uygun çözümdür ve uzlaşma, ortak kabul üzerinde anlaşmaya varmaktır [7]. VIKOR yöntemi, birbiri ile çelişen kriterlerin olması durumunda alternatifler kümesinden birinin seçilmesi ya da alternatiflerin sıralanmasını ele alır [8]. Her alternatifin her kriter için değerlendirildiği varsayımı altında, ideal alternatife yakınlık değerleri karşılaştırılarak uzlaşık sıralamaya ulaşılır [9].

2. VIKOR YÖNTEMİNİN KULLANILDIĞI ALANLAR (FIELDS OF THE VIKOR METHOD USED)

Özellikle 2007-2015 yılları arasında kullanımı artan VIKOR yaklaşımı ile ilgili bazı çalışmalar aşağıdaki gibidir. Chang ve Hsu, Tseng-Wen rezervuar havzasında arazi kullanımı kısıtlama stratejilerinde öncelik için VIKOR yöntemi ile çok kriterli bir analiz yapmışlardır [10]. San Cristóbal, İspanyol Hükümeti tarafından başlatılan Yenilenebilir Enerji Planı dahilinde yenilenebilir enerji projesi seçiminde VIKOR yönteminden faydalanarak yedi kritere göre on üç alternatif arasında sıralama yapmıştır [11]. Yang ve arkadaşları, bilgi güvenliği risk geliştirilmesi konusundaki boşlukların doldurulmasının daha iyi

kavranabilmesi için bu yaklaşımı kullanmış ve üç proje arasında seçim yapmışlardır [12]. Paksoy, Türkiye ve Avrupa ülkelerinin performanslarını ve gelişmişlik düzeylerini ölçmek için farklı kurumlar tarafından geliştirilen bileşik göstergeleri, VIKOR yöntemi ile bir arada değerlendirmiş ve analiz etmiştir [13]. Özden ve arkadaşları İMKB’de işlem gören çimento sektöründeki şirketlerin finansal performanslarının VIKOR yöntemiyle sıralanmışlardır [14]. Kaya vd., Avrupa Birliği (AB) ve aday ülkelerin yaşam kalitelerini bir ÇKKV yöntemi olan VIKOR yöntemine göre analiz etmişlerdir [15]. Özden, AB’ye üye ülkelerin ve Türkiye’nin ekonomik performanslarına göre VIKOR yöntemi ile sıralanmasını gerçekleştirmiştir. Çalışmada AB’ye üye ülkeler ve bu birliğe aday olan Türkiye alternatif olarak analize alınmıştır. Bu durumda analizde 28 alternatif yer almıştır. Kriter olarak kullanılan 2010 yılına ilişkin 8 ekonomik gösterge ile analiz yapılmıştır. Yapılan analiz sonucunda ekonomik performansı en yüksek olan ülke Lüksemburg, en düşük olan ülke Yunanistan olarak saptanmıştır. 28 ülke arasında Türkiye 24’üncü sırada yer almıştır [16].

Opricovic [17], 2009 yılında yapmış olduğu çalışmasında, VIKOR yöntemini su kaynakları planlamasında kullanmıştır. Karar verme problemi, VIKOR ile modellenmiş ve uzlaşık çözüme ulaşılmıştır. Ertuğrul ve Karakaşoğlu [18], Ege bölgesindeki banka şubelerinin performansını ölçmek amacıyla on adet kriter belirlemiş ve VIKOR yöntemiyle performans ölçümü yapmışlardır. Sanayei vd. [19], bulanık ortamdaki tedarikçi seçim problemi için VIKOR yöntemini kullanmışlardır. Mulavdic [20], sürdürülebilir gelişim çerçevesinde, konut tipi seçimine ilişkin çalışmasında VIKOR yöntemini uygulamışlardır. Opricovic ve Tzeng [9], genişletilmiş VIKOR yöntemini TOPSIS, PROMETHEE ve ELECTRE yöntemleri ile karşılaştırmışlardır. Çalışmalarında, VIKOR yönteminde doğrusal normalizasyon, TOPSIS yönteminde vektör normalizasyonu kullanıldığını ve VIKOR yönteminin ideal çözüme yakınlığı temsil eden toplama fonksiyonuna dayanırken, TOPSIS yönteminde iki referans noktası tanımlandığını belirtmişlerdir. Ancak TOPSIS yönteminin bu referans noktalarına olan uzaklıklarının göreceli önemlerini dikkate almadığına değinmişlerdir. PROMETHEE yöntemi ile elde edilen sonuçların maksimum grup faydasına dayandığını ve VIKOR yönteminin maksimum grup faydası ile minimum kişisel pişmanlığı birleştirdiğini ifade etmişlerdir. Ayrıca, ELECTRE ve VIKOR yöntemlerinin benzer temellere dayandığını belirtmişlerdir [21].

3. VIKOR YÖNTEMİ’NİN TEMELLERİ (FUNDAMENTALS OF VIKOR METHOD)

VIKOR yönteminin temelinde, alternatifler ışığında ve değerlendirme kriterleri kapsamında bir uzlaşık çözümün tespit edilmesi vardır. Bu uzlaşık çözüm, ideal çözüme en yakın çözüm olarak ortaya çıkmaktadır [7,22]. Uzlaşık çözüm ifadesiyle, alternatifler için çok kriterli sıralama indeksi oluşturularak, belirli koşullar kapsamında ideal çö-

zümeye en yakın kararın verilmesi anlaşılmaktadır. Her alternatifin, karar verme kriterleri bazında değerlendirildiği varsayımı altında, ideal alternatife yakınlık değerleri karşılaştırılarak uzlaşık sıralamaya ulaşılır [23]. Yöntem ayrıca, karar verici grubun sonuç üzerinde etkili olabilmesine de imkan

vermektedir. Maksimum grup faydasının ve buna bağlı olarak karşıt görüştekilerin minimum

pişmanlığının sonuca etki ettirilebilmesi söz konusudur.

VIKOR yönteminin adımları şu şekilde özetlenebilir:

1. Adım: Her bir kriter için en iyi (f_i^*) ve en kötü (f_i^-) değerler belirlenir. Eğer i kriteri oluşturulan model açısından “fayda” anlamında bir değerlendirme kriteri ise, $i = 1, 2, \dots, n$ için;

$$f_i^* = \max_j f_{ij} \quad (a) \quad \text{ve} \quad f_i^- = \min_j f_{ij} \quad (b) \quad (1)$$

şeklinde ifade edilebilir.

2. Adım: Her bir alternatif için S_j ve R_j değerleri hesaplanır. w_i , kriter ağırlıklarını ifade etmektedir.

$$S_j = \sum_{i=1}^n w_i (f_i^* - f_{ij}) / (f_i^* - f_i^-) \quad (2)$$

$$R_j = \max [w_i (f_i^* - f_{ij}) / (f_i^* - f_i^-)] \quad (3)$$

3. Adım: Her bir alternatif veya değerlendirme birimi için Q_j değerleri hesaplanır.

$$Q_j = v (S_j - S^*) / (S^- - S^*) + (1 - v) (R_j - R^*) / (R^- - R^*) \quad (4)$$

Yukarıdaki denklemden,

$$S^* = \min_j S_j$$

$$S^- = \max_j S_j$$

$$R^* = \min_j R_j \quad \text{ve}$$

$R^- = \max_j R_j$ değerlerini ifade etmektedir. v değeri, maksimum grup faydasını sağlayan strateji için ağırlığı ifade ederken, $(1 - v)$ değeri karşıt görüştekilerin minimum pişmanlığının ağırlığını ifade etmektedir. [49], Genellikle $v = 0,5$ kullanılır [24].

4. Adım: Elde edilen Q_j , S_j , R_j değerleri sıralanır. En küçük Q_j değerine sahip alternatif yada değerlendirme birimi, alternatifler grubu içerisindeki en iyi seçenek olarak ifade edilir.

5. Adım: Elde edilen sonucun geçerli olması için iki koşul sağlanmalıdır. Ancak bu şekilde, minimum Q değerine sahip alternatif, en iyi olarak nitelendirilebilir. Bu koşullar, şu şekilde ifade edilebilir.

Koşul 1 (Kabul Edilebilir Avantaj): En iyi ve en iyiye en yakın seçenek arasında belirgin bir fark olduğunun kanıtlanmasını içeren koşuldur.

$$Q(P2) - Q(P1) \geq D(Q) \quad (5)$$

(5) numaralı eşitsizlikte $P1$, en az Q değerine sahip olan birinci en iyi alternatif, $P2$ ise ikinci en iyi alternatiftir. $D(Q)$ değeri (8) numaralı eşitlikte ifade edilmiştir. j , alternatif sayısını göstermektedir.

$$D(Q) = 1 / (j - 1) \quad (6)$$

Koşul 2 (Kabul Edilebilir İstikrar): Elde edilen uzlaşık çözümün istikrarlı olduğunun kanıtlanması açısından şu koşulun sağlanması gerekir: En iyi Q değerine sahip $P1$ alternatifi, S ve R değerlerinin de en az bir tanesinde en

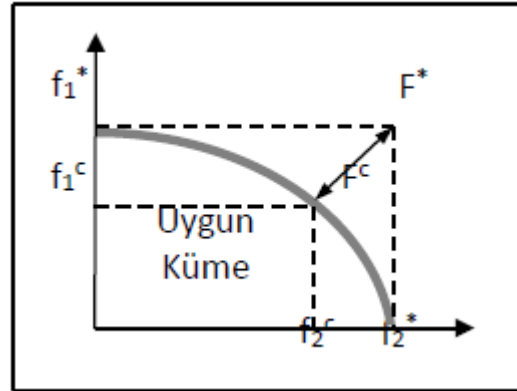
iyi skoru elde etmiş olmalıdır. Belirtilen iki koşuldan bir tanesi sağlanamazsa uzlaşık çözüm kümesi şu şekilde önerilir:

- Eğer Koşul 2 sağlanmıyorsa $P1$ ve $P2$ alternatifleri,

- Eğer Koşul 1 sağlanmıyorsa $P1, P2, \dots, PM$ alternatifleri dikkate alınarak eşitsizlik şu şekilde ifade edilir:

$$Q(PM) - Q(P1) < D(Q) \quad (7)$$

Uzlaşık çözüm kümesi dahilinde Q değerlerine göre sıralama yapılır. En iyi alternatif, minimum Q değerine sahip alternatiflerden biridir [23]. Şekil 1., ideal ve uzlaşık çözümlerin grafiksel ifadesidir.



Şekil 1. İdeal ve uzlaşık çözümler (Ideal and compromise solutions)

4. VIKOR YÖNTEMİNİN ÖZELLİKLERİ (CHARACTERISTICS OF THE VIKOR METHOD)

Çok kriterli karar verme yöntemlerinden VIKOR yönteminin bazı önemli özellikleri aşağıda verilmiştir [14].

- VIKOR yaklaşımı ile karar vericilerin fikir ayrılıkları uzlaşarak çözülebilir olmalıdır.
- Karar verici, ideal çözüme en yakın çözümü kabul etmeye istekli olmalıdır.
- Fayda ile her kriter fonksiyonu arasında doğrusal bir ilişki vardır.
- Alternatifler, belirlenen tüm kriterler için değerlendirilir.
- Karar vericinin tercihleri ağırlıklar ile ifade edilir.
- VIKOR yöntemi, karar vericinin etkileşimli katılımı olmadan başlar fakat karar verici nihai çözümü onaylamaktan sorumludur. Karar verici, bu nihai çözüme kendi tercihlerini de dahil edebilir [9].
- VIKOR yöntemi, özellikle sistem tasarımının başında karar vericinin deneyimli olmadığı veya tercihini belirtmeyi bilmediği durumlarda etkili bir yöntemdir.
- VIKOR’la elde edilen çözüm karar vericiler tarafından kabul edilebilirdir. Çünkü bu yöntem “çoğunluğun” maksimum grup faydasını ve “karşıtın”

minimum bireysel pişmanlığını sağlar. VIKOR'da alternatif kümesine yeni bir alternatifin dahil edilmesi (ya da çıkarılması), alternatiflerin sıralamasını değiştirebilir [14].

Bu çalışmada yüklenimi altındaki bir yapım projesinde kullanmak üzere kule vinci almak isteyen bir inşaat firmasının gereksinimlerini maksimize ve yüklerini minimize edecek bir vinç seçimi kararı analiz edilmiştir. Seçim için çok kriterli karar verme yöntemlerinden VIKOR yöntemi kullanılmıştır.

5.UYGULAMA (APPLICATION)

Bir inşaat firması, yapımını aldığı bir inşaat projesi için bir kule vinç alacaktır. Yalnızca bu proje için ihtiyaç duyulan vinç için yeni değil, kullanılmış bir model alınması firma yönetimine uygun bulunmuştur. Proje müdürü ve

sonucunda karar vericilerin birlikte oluşturdukları ve toplamı %100 eden önem değerleri belirlenmiştir. Kriterlerin bir kısmının en fazla, bir kısmının da en az olması tercih edilmektedir. Örneğin taşıma kapasitesi ve bakımlılığın maksimum düzeye yakın olması istenirken yaş ve fiyatın minimum düzeye yakın olması arzulanmaktadır. Çizelge 2., kriter özellikleri, numaraları ve ağırlıkların eklendiği veri setini içermektedir.

Karar matrisinin oluşturulmasının ardından, kriterlerin fayda ve maliyet özelliklerine sahip olma durumları dikkate alınarak her bir kriter için en iyi ve en kötü değerler belirlenmelidir. Bu aşamada fayda özelliği taşıyan kriterler için Eşitlik (1a), maliyet özelliği taşıyan kriterler için Eşitlik (1b) kullanılmıştır. Çizelge 3., bu değerleri içermektedir.

Çizelge 2. Kriter özellikleri ve ağırlıkların eklendiği veri seti (Criteria features and the data set is added to the weight

Ağırlıklar (w _i)	14%	10%	23%	5%	8%	12%	9%	8%	4%	7%
X	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10
	min	maks	min	maks	maks	maks	maks	maks	maks	maks
Soima1	3	40	65.000	4	36	4	8	3	2	2
Soima2	3	55	85.000	6	52	3	9	3	1	2
TGM	3	60	89.233	8	51,6	5	8	2	1	2
Terex Comedi	5	65	169.000	8	50	4	5	3	2	2
FM Gru	2	65	165.000	8	55	3	9	3	2	3
Liebherr1	11	55	185.000	8	50	4	6	5	1	5
Liebherr2	11	50	165.000	8	35,9	4	5	5	2	5
Panel	9	60	119.500	8	48	5	6	2	1	3
Potain	4	60	294.469	8	113	2	8	4	1	4
Liebherr3	29	55	119.500	8	47	3	3	4	2	4

Makine parkından sorumlu grup şefinin birlikte oluşturdukları kriterler iki grup altında toplanmıştır. İlk grupta makinenin yaşı, büm uzunluğu, tonajı, yüksekliği, garanti süresi ve fiyatı gibi rakamla ifade edilebilen nitel kriterler bulunmaktadır. İkinci grupta ise kurulum kolaylığı, bakımlı olma derecesi, kullanım kolaylığı ve yedek parça temini kolaylığı gibi nicel kriterler yer almaktadır. Karar vericiler bu nitel kriterleri birlikte değerlendirerek kurulum, kullanım kolaylığı ve yedek parça temini konularında 1'den 5'e kadar (5 en iyi olmak üzere) ve bakımlılık düzeyi için de 1'den 10'a kadar (10 en iyi olmak üzere) puanlandırma yapmışlardır. Yapılan piyasa araştırması sonucunda şantiyeye uygun mesafede bulunan 10 seçenek nihai değerlendirilmeye tabi tutulmak üzere seçilmiştir. Seçimde VIKOR çok kriterli seçim yöntemi uygun bulunmuş ve hesaplamalar bu yöntem ile yapılmıştır. Çizelge 1.'de kule vinçi satın alma kararına ait veri seti sunulmuştur. Çizelgede görülen değerler, karar vericilerin ortaklaşa atadıkları puanlardır.

VIKOR yönteminin başlangıcında her bir karar kriterinin öneminin belirlenmesi gerekmektedir. Mesleki tecrübe ve sezgilerin devreye girdiği bu oranlama çalışmasının

Çizelge 3. En iyi ve en kötü kriter değerlerinin belirlenmesi (Identification of the best and worst values of criteria)

wi	14%	10%	23%	5%	8%	12%	9%	8%	4%	7%
X	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10
	min	maks	min	maks	maks	maks	maks	maks	maks	maks
Soima1	3	40	65.000	4	36	4	8	3	2	2
Soima2	3	55	85.000	6	52	3	9	3	1	2
TGM	3	60	89.233	8	51,6	5	8	2	1	2
Terex Comedi	5	65	169.000	8	50	4	5	3	2	2
FM Gru	2	65	165.000	8	55	3	9	3	2	3
Liebherr1	11	55	185.000	8	50	4	6	5	1	5
Liebherr2	11	50	165.000	8	35,9	4	5	5	2	5
Panel	9	60	119.500	8	48	5	6	2	1	3
Potain	4	60	294.469	8	113	2	8	4	1	4
Liebherr3	29	55	119.500	8	47	3	3	4	2	4
f_j^*	2	65	65.000	8	113	5	9	5	2	5
f_j^-	29	40	294.000	4	35,9	2	3	2	1	2

Kriterlerin birimden arındırılması için gerçekleştirilen normalizasyon işlemi, lineer normalizasyon işlemi esaslarına dayanmakta olup Eşitlik (8) yardımı ile hesaplanmıştır.

Q_i değerlerinin hesaplanması adımıyla kullanılan S^* , S^- , R^* ve R^- parametreleri aşağıdaki eşitliklere göre hesaplanmıştır (Bkz Çizelge 6.);

Çizelge 4. Normalizasyon matrisi (Normalization matrix)

wi	14%	10%	23%	5%	8%	12%	9%	8%	4%	7%
R	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10
	min	maks	min	maks	maks	maks	maks	maks	maks	maks
Soima1	0,037	1,000	0,000	1,000	0,999	0,333	0,167	0,667	0,000	1,000
Soima2	0,037	0,400	0,087	0,500	0,791	0,667	0,000	0,667	1,000	1,000
TGM	0,037	0,200	0,106	0,000	0,796	0,000	0,167	1,000	1,000	1,000
Terex Comedi	0,111	0,000	0,454	0,000	0,817	0,333	0,667	0,667	0,000	1,000
FM Gru	0,000	0,000	0,437	0,000	0,752	0,667	0,000	0,667	0,000	0,667
Liebherr1	0,333	0,400	0,524	0,000	0,817	0,333	0,500	0,000	1,000	0,000
Liebherr2	0,333	0,600	0,437	0,000	1,000	0,333	0,667	0,000	0,000	0,000
Panel	0,259	0,200	0,238	0,000	0,843	0,000	0,500	1,000	1,000	0,667
Potain	0,074	0,200	1,002	0,000	0,000	1,000	0,167	0,333	1,000	0,333
Liebherr3	1,000	0,400	0,238	0,000	0,856	0,667	1,000	0,333	0,000	0,333

$$r_{ij} = (f_j^* - x_{ij}) / (f_j^* - f_j^-) \quad (8) \quad S^* = \min_i S_i$$

$$\text{Normalizasyon edilmiş matris Çizelge 4.'te verilmiştir.} \quad S^- = \max_i S_i$$

Çizelge 5. Ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi (Weighted normalized decision matrix)

wi	14%	10%	23%	5%	8%	12%	9%	8%	4%	7%
V	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10
	min	maks	min	maks	maks	maks	maks	maks	maks	maks
Soima1	0,005	0,100	0,000	0,050	0,080	0,040	0,015	0,053	0,000	0,070
Soima2	0,005	0,040	0,020	0,025	0,063	0,080	0,000	0,053	0,040	0,070
TGM	0,005	0,020	0,024	0,000	0,064	0,000	0,015	0,080	0,040	0,070
Terex Comedi	0,016	0,000	0,104	0,000	0,065	0,040	0,060	0,053	0,000	0,070
FM Gru	0,000	0,000	0,100	0,000	0,060	0,080	0,000	0,053	0,000	0,047
Liebherr1	0,047	0,040	0,121	0,000	0,065	0,040	0,045	0,000	0,040	0,000
Liebherr2	0,047	0,060	0,100	0,000	0,080	0,040	0,060	0,000	0,000	0,000
Panel	0,036	0,020	0,055	0,000	0,067	0,000	0,045	0,080	0,040	0,047

Her bir alternatif için ortalama ve en kötü grup skorlarını gösteren S_i ve R_i değerlerinin hesabı Eşitlik (2) ve Eşitlik (3) yardımı ile yapılarak normalize matris ağırlıklandırılmıştır (Bkz. Çizelge 5.).

$$R^* = \min_i R_i$$

$$R^- = \max_i R_i$$

Çizelge 6. Q_i değerlerinin hesaplamasında kullanılacak S^* , S^- , R^* ve R^- parametrelerinin değerleri (S^* , S^- , R^* and R^- values of the parameters, to be used in the calculation of the Q_i value)

S^*	0,318
S^-	0,523
R^*	0,08
R^-	0,14

$q = (0,00; 0,25; 0,50; 0,75; 1,00)$ parametresine göre grup faydası değerleri için Eşitlik (4) yardımı ile Q_i değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen değerler Çizelge 7.'de verilmiştir.

Çizelge 7. Hesaplanan S_i , R_i ve Q_i değerler

Q	S_i	R_i	0,00	0,25	0,50	0,75	1,00
			$Q_i (q=0,00)$	$Q_i (q=0,25)$	$Q_i (q=0,50)$	$Q_i (q=0,75)$	$Q_i (q=1,00)$
Soima1	0,413	0,100	0,333	0,366	0,399	0,432	0,465
Soima2	0,397	0,080	0,000	0,096	0,192	0,289	0,385
TGM	0,318	0,080	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001
Terex Comedi	0,409	0,104	0,400	0,411	0,421	0,432	0,443
FM Gru	0,341	0,100	0,333	0,278	0,222	0,166	0,110
Liebherr1	0,398	0,121	0,683	0,610	0,536	0,462	0,388
Liebherr2	0,387	0,100	0,333	0,334	0,335	0,336	0,337
Panel	0,390	0,080	0,000	0,088	0,176	0,264	0,352
Potain	0,486	0,230	2,500	2,080	1,659	1,239	0,819
Liebherr3	0,523	0,140	1,000	1,000	1,001	1,001	1,001

Her bir alternatif için Q değerleri hesaplandıktan sonra bu değerler baz alınarak tüm alternatifler sıralanmıştır (Bkz. Çizelge 8.). Burada $q=0,00$ parametresine göre birinciliği üç seçenek (Soima2, TGM ve Panel) paylaşmıştır.

Çizelge 8. Sıralama sonuçları (Sort results)

	$Q_i (q=0,00)$	$Q_i (q=0,25)$	$Q_i (q=0,50)$	$Q_i (q=0,75)$	$Q_i (q=1,00)$
Soima1	4	6	6	7	8
Soima2	1	3	3	4	5
TGM	1	1	1	1	1
Terex Comedi	7	7	7	6	7
FM Gru	4	4	4	2	2
Liebherr1	8	8	8	8	6
Liebherr2	4	5	5	5	3
Panel	1	2	2	3	4
Potain	10	10	10	10	9
Liebherr3	9	9	9	9	10

Yapılan sıralamaların uzlaşık çözümü yansıtıp yansıtmadığını belirlemek üzere Kabul Edilebilir Avantaj ve Kabul Edilebilir İstikrar koşullarını sağlayıp sağlamadıklarına bakılır. Bu aşamada Eşitsizlik (5), Eşitlik (6) ve Eşitlik (7) kullanılır. Bu ifadelerle göre yapılan hesaplama ve değerlendirmelerin sonuçları Çizelge 9.'da verilmiştir.

Çizelge 9. Koşulların denetlenmesi (Inspection of the requirements)

$Q(A^2)$	0,333	0,088	0,176	0,166	0,110
$Q(A^1)$	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001
$Q(A^2)-Q(A^1)$	0,333	0,088	0,175	0,165	0,109
DQ	0,111	0,111	0,111	0,111	0,111
Koşul 1	DOĞRU	YANLIŞ	DOĞRU	DOĞRU	YANLIŞ
Koşul 2	DOĞRU	DOĞRU	DOĞRU	DOĞRU	DOĞRU

Kule vinci satın alma kararı amacıyla yapılan VIKOR analizi sonucunda $q=0,00$, $q=0,50$ ve $q=0,75$ değerleri için Kabul Edilebilir Avantaj ve Kabul Edilebilir İstikrar Koşulları'nı aynı anda sağlayan TGM marka vinç, En İyi Alternatif olarak belirlenmiştir. $q=0,25$ ve $q=1,00$

değerleri için ise Kabul Edilebilir İstikrar Koşulu sağlanmadığından, birinci ve ikinci sırada yer alan araçların her ikisi de Uzlaşık Ortam Çözümü olarak kabul edilmiştir.

6.SONUÇ (RESULTS)

Orta ve büyük ölçekli yapı projelerinde makine donanımı büyük önem arz etmekte, yalnızca kule vinci değil mobil vinç, beton pompası, beton mikseri, kamyon, greyder, ekskavatör, dozer vb. pek çok yapı makinesinin temini, bakımı ve verimli kullanımı önemle üzerinde durulması gereken hususlardandır. Karar vericilerin ihtiyaçlarını, amaçlarını, değerlendirme kriterlerini, bu kriterlerin kendileri için önemlerini belirleyerek alternatiflerini oluşturmaları gerekmektedir. Bu noktadan

İtibaren yapılacak seçim/ verilecek karar da bir çok kriterli optimizasyon problemine dönüşecektir. Uygun yöntemin seçilmesi ve uygulanması ile fayda maksimizasyonu ve katlanılan külfetlerin minimizasyonu mümkün olacaktır. Araştırma sonuçları yapı makinesi (özelde kule vinci) satın alınması kararı konusunda VIKOR yönteminin başarı ile kullanılabileceğini göstermektedir. Yöntem genişletilerek, bulanık mantıkla harmonize edilerek ya da diğer çok kriterli karar verme yöntemleri ile hibrit bir şekilde kullanılabilir.

VIKOR yöntemi; hesap kolaylığı ve nispeten basitliği sebebi ile özel bir yazılım gerektirmemektedir. Bu özelliği ile kısa sürede ve az işlem yaparak nihai sonuca ulaşılmasını mümkün kılabilir.

Yapılan analizde yalnızca sayısal değerler değil karar vericinin sezgilerine, tecrübelerine ve uzmanlığına dayanarak verdiği subjektif değerlendirmelerin, "sayısallaştırmak" ve "ağırlıklandırmak" aşamalarında sürece öznellik kazandırdığının da altı çizilmelidir. Buna dayanarak; elde edilen sonuçların karar vericinin görüşlerini yansıtan ve ideal derecesinin karar vericiye bağlı olduğu durumda belirlen sonuçlar olduğu ifade edilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Kule Vinçlerde Yüksek Güvenlik ve Verimlilik, Erişim Tarihi: 05.05.2014, URL: <http://www.makina-market.com.tr/cpt/detay/7406/kule-vinclerde-yuksek-guvenlik-ve-verimlilik>
- [2] Kule Vinç (Tower Crane) Nedir? Nasıl Kullanılır?, Erişim Tarihi: 05.05.2014, URL: <http://www.bilgiustam.com/kule-vinc-tower-crane-nedir-nasil-kullanilir/>
- [3] Neitzel, R. L., Noah S. Ss, ve K. K. Ren., "A review of crane safety in the construction industry", *Applied Occupational and Environmental Hygiene*, 16: 1106-1117, (2010).
- [4] TEVİD. Elektrikli Vinç Kitabı Pratik Bilgiler. İstanbul; (2012).
- [5] Vahdani B., Hadipour H., Sadaghiani J.S. and Amiri, M., "Extension of VIKOR method based on interval-valued fuzzy sets", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 47(9-12):1231- 1239, (2010).
- [6] Yu P. L., "A class of solutions for group decision problems", *Management Science*, 19 (8): S.936-946, (1973).
- [7] Opricovic S. and Tzeng G.H., "Compromise solution by MCDM methods: a comparative analysis of VIKOR and TOPSIS", *European Journal of Operational Research*, 156: 445-455, (2004).
- [8] Büyüközkan, G. and Ruan, D., "Evaluation of software development projects using fuzzy multi-criteria decision approach", *Mathematics and Computers in Simulations*, 77 (5-6): 464-475, (2008).
- [9] Opricovic, S. and Tzeng, G.H., "Extended VIKOR method in comparison with other outranking methods", *European Journal of Operational Research*, 178: 514-529, (2007).
- [10] Chang C. and Hsu C., "Multi-criteria analysis via the VIKOR method for prioritizing land-use restraint strategies in the Tseng-Wen reservoir watershed", *Journal of Environmental Management* 90: 3226-3230, (2009).
- [11] San Cristóbal J. R., "Multi-criteria decision-making in the selection of a renewable energy project in Spain: the VIKOR method", *Renewable Energy*, 36: 498-502, (2011).
- [12] Ou Yang Y. and Shieh H., Leu J., "A VIKOR-based multiple criteria decision method for improving information security risk", *International Journal of Information Technology & Decision Making* 8(2): 267-287, (2009).
- [13] Paksoy S., "Ülke Göstergelerinin VIKOR Yöntemi İle Değerlendirilmesi", *Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 11(2): (2015).
- [14] Özden Ü. H., Deniz Basar Ö. Ve Bağdatlı Kalkan S., "İMKB'de işlem gören çimento sektöründeki şirketlerin finansal performanslarının VIKOR yöntemiyle sıralanması", *Ekonometri ve İstatistik*, 17: 23-44, (2012).
- [15] Kaya P., İpekçi Çetin E. ve Kuruüzüm A., "Çok kriterli karar verme ile avrupa birliği ve aday ülkelerin yaşam kalitesinin analizi", *Ekonometri ve İstatistik*, 13: (12. Uluslararası Ekonometri, Yöneylem Araştırması, İstatistik Sempozyumu Özel Sayısı) 80-94, (2011).
- [16] Özden Ü. H., "AB'ye üye ülkelerin ve türkiye'nin ekonomik performanslarına göre VIKOR yöntemi ile sıralanması", *İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 21(1): 455-468, (2012).
- [17] Opricovic S., "A Compromise solution in water resources planning", *Water Resources Management*, 23: 1549-1561, (2009).
- [18] Ertuğrul İ. ve Karakaşoğlu N., "Banka şube performanslarının VIKOR yöntemi ile değerlendirilmesi", *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 20(1): 19-28, (2009).
- [19] Sanayei A., Mousavi S.,F. and Yazdankhah A., "Group decision making process for supplier selection with VIKOR under fuzzy environment", *Expert Systems with Applications*, 37: 24-30, (2010).
- [20] Mulavdic E., "Multi-criteria optimization of construction technology of residential building upon the principles of sustainable development", *Thermal Science*, 9(3): 39-52, (2005).
- [21] Ertuğrul İ. ve Karakaşoğlu N., "Banka şube performanslarının VIKOR yöntemi ile değerlendirilmesi", *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, YA/EM 2008 Özel Sayısı, 20(1): 19-28, (2009).
- [22] Chen L.Y. and Wang T., "Optimizing partners' choice in IS/IT outsourcing process: the strategic decision of fuzzy VIKOR", *International Journal of Production Economics*, 120: 233-242, (2009).
- [23] Opricovic S. and Tzeng, G.H., "Extended VIKOR method in comparison with other outranking methods", *European Journal of Operational Research*, 178: 514-529, (2007).
- [24] Lixin D., Ying L. and Zhiguang Z., "Selection of logistics service provider based on analytic network process and VIKOR algorithm", *Networking, Sensing and Control, ICNSC 2008, IEEE International Conference Proceedings*: 1207- 1210, (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>

Ilıca (Kütahya) bazaltının beton agregası olarak kullanılabilirliğinin araştırılması

Investigation of the usability of Ilıca (Kütahya) basalt as concrete aggregate

Yazar(lar) (Author(s)): Mustafa Yavuz ÇELİK, Ahmet ŞAHBAZ

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Çelik M. Y., ve Şahbaz A., “Ilıca (Kütahya) bazaltının beton agregası olarak kullanılabilirliğinin araştırılması”, *Politeknik Dergisi*, 20(4): 887-898, (2017).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.369061

Ilıca (Kütahya) Bazaltının Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması

Araştırma Makalesi / Research Article

Mustafa Yavuz ÇELİK^{1*}, Ahmet ŞAHBAZ²

¹Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon Meslek Yüksek Okulu, Doğal Yapıtaşları Teknolojisi Programı, Ali Çetinkaya Kampüsü, 03100, Afyonkarahisar

²Maden Mühendisi, Serbest

(Geliş/Received : 02.11.2016 ; Kabul/Accepted : 10.11.2016)

ÖZ

Agregalar; beton için önemli bir bileşendir ve beton içerisinde hacimsel olarak yaklaşık %75 oranında kullanılırlar. Betonda kullanılan agregalar TS 706 EN 12620+A1 standardına uygun olmalıdır. Bazalt, günümüz inşaat ve ulaştırma sektöründe; karayolları, demiryolları, liman ve havalimanları inşaatlarında sağlam ve dayanıklı olmasından dolayı tercih edilmektedir. Bu çalışmada Ilıca (Kütahya) yöresindeki bazaltlardan üretilen kırma taşların, beton agregaları standardına uygunluğu araştırılmıştır. Alınan numuneler, boyut küçültme, numune azaltma ve boyuta göre sınıflandırma işlemine tabi tutulduktan sonra ince (0-4 mm) ve iri (4-11,2 mm ve 11,2-22,4 mm) agrega olarak sınıflandırılmıştır. Bazaltların petrografik-mineralojik (polarizan mikroskop, SEM ve XRD), kimyasal, fiziksel ve mekanik özelliklerinin yanı sıra, agrega olarak kullanım özellikleri araştırılmıştır. Bazalt agregalara ait veriler TS 706 EN 12620+A1 "Beton Agregaları" standardında öngörülen verilere uygunluğu nedeniyle betonda agrega olarak kullanılabilmesi sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bazalt, beton agregası, beton, Ilıca (Kütahya).

Investigation of the Usability of Ilıca (Kütahya) Basalt as Concrete Aggregate

ABSTRACT

Aggregates are important for concrete since %75 of the concrete consists of them. However, the used aggregates must comply with TS 706 EN 12620+A1 standard. Basalt, today's construction and transport sectors; highways, railways, ports and airports in the construction is preferred due to the robust and durable. Basalt, today's construction and transport sectors; highways, railways, ports and airports in the construction is preferred due to the robust and durable. In this research, the conformity of crushed stones to concrete aggregates standard is investigated. The stones were produced in the crushing-screening plant of Ilıca (Kütahya) quarry. Taken samples were subjected to size reduction, sample reduction and classification by size processes. After that, they were classified as thin (0-4 mm) and large (4-11,2 mm and 11,2-22,4 mm) aggregates. Moreover, in order to determine the characteristics of the samples petrographic, mineralogical (polarizing microscope, SEM-EDS and XRD), chemical, physical and mechanical tests were applied. According to these tests and analysis; it is determined that basalt aggregates conforms to "TS 706 EN 12620+A1 Concrete Aggregates" standard and crushed stones can be used as aggregate in ready-mixed concrete.

Keywords: Basalt, concrete aggregate, concrete, Ilıca (Kütahya).

1.GİRİŞ (INTRODUCTION)

Heterojen bir içyapıya sahip olan betonun özellikleri, betonda kullanılan malzemeler tarafından belirlenir. Beton hacminin yaklaşık %75'ini oluşturan agregaların kalitesi betonun performansını ve durabilitesini büyük ölçüde etkilemektedir. İyi bir beton elde edilebilmesi için uygun agrega kullanılması gerektiği bilinen bir gerçektir. Agreganın kimyasal ve mineralojik bileşimi, petrografik yapısı, özgül ağırlığı, sertliği, dayanımı, fiziksel ve kimyasal kararlılığı, boşluk yapısı ve rengi gibi özellikleri elde edildiği kayacın özelliklerine bağlıdır. Tüm bu özelliklerin beton kalitesi üzerindeki etkisi büyüktür [1]. Bazalt, yeryüzünde en çok rastlanan, masif ve sütünsal

yapılı, gri-siyah renkli volkanik bir kayadır. Basınç ve aşınma dayanımları yüksek olan bazaltlar inşaat sektöründe, dış döşemelerde ve kaplamalarda yapı taşı, çevre düzenlemelerinde parke taşı olarak kullanılmaktadır. Bazalt, günümüz inşaat sektörünün yanı sıra ulaştırma sektöründe; karayolları, demiryolları, liman ve havalimanları inşaatlarında kalite ve uzun ömürlü kullanım açısından en fazla tercih edilen doğal taşlardan birisidir. Son yıllarda yüksek dayanımlı beton yapı elemanları üretiminde kullanılmaktadır. Düzbasan vd. [2] 792 adet I 195 tipindeki ön germeli kiriş üretiminde kullanılan C 40/50 sınıfındaki betonda, kalker agrega yerine bazalt agrega kullanılmasıyla 28 günlük basınç dayanımında %14,7 artış olduğunu bildirmişlerdir.

Yol ve yapı sektöründe aranan ve önemli bir kırma taş (agrega) malzemesi olan bazaltlar, oldukça değerli

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : mycelik@aku.edu.tr

bileşime ve dokusal özelliklere sahiptir. Bundan dolayı bazaltlar, beton agregası olarak kullanıldıklarında, alkali-silisi reaksiyonu oluşturabilen potansiyel kayalar arasında yer almaktadır. Bu nedenle beton agregası olarak kullanılacak bazaltların tüm özelliklerinin incelenmesi gerekmektedir.

Literatürde bazaltların, beton üretiminde agrega olarak [3-6] ve asfalt agregası olarak kullanılmasını [7-10] inceleyen bazı çalışmalar bulunmaktadır. Volkanik kayalardan üretilen agregaların alkali miktarı büyük önem taşımaktadır. Çimentoda ve agregalarda alkali miktarı arttıkça alkali silika reaksiyonu (ASR) potansiyeli de artar. Bu neden volkanik kayalarda ASR, çeşitli araştırmacılar [11-14] tarafından incelenmiştir. Bu çalışmada, Ilıca (Kütahya) yöresinde üretilen bazalt kırmataşların TS 706 EN 12620+A1 [15] beton agregaları standardına uygunluğu araştırılmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM (MATERIAL and METHOD)

2.1. Materyal (Material)

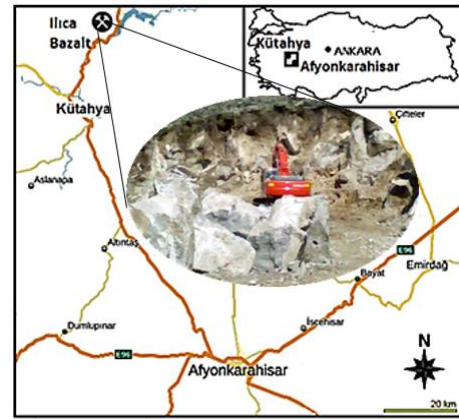
Deneylerde kullanılan numuneler, Kütahya merkez Ilıca köyü civarında bulunan bazalt ocağından alınmıştır. Bazaltlar boz, siyah renkli olup yer yer kahverengi görünümlüdür. Çok küçük gaz boşluklu olup bu boşluklar yer yer kalsit dolguludur. Numune temininde TS 706 EN 12620+A1 [15] standardına uygun hareket edilmiştir. Numunelerin alındığı ocak lokasyon haritası ve ocağın görüntüsü Şekil 1’de verilmiştir.

2.3. Yöntem (Method)

Malzeme karakterizasyonu için numunelere mineralojik-petrografik (polarizan mikroskop, XRD ve SEM) ve kimyasal analizler uygulanmıştır. Petrografik incelemeleri için ince kesitler hazırlanmış ve polarizan mikroskop incelemeleri, Nikon marka LV100POL model polarizan mikroskop ile TS 5694 EN 12670 (2004) [16]

ve TS 10088 EN 932-3/A1 [19] standardı kullanılarak tane büyüklüğü, dokusu, mineralojik bileşimi ve kayaç grubu açısından incelenmiştir. XRD analizleri Çanakkale Seramik Fizik laboratuvarlarında Panalytical X-pert MRD (X-celerator dedektör) ile yapılmıştır SEM analiz için numuneler karbonla kaplanmış ve Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezinde bulunan LEO 1430 VP model SEM cihazı incelemeler yapılarak resimleri çekilmiştir. Kimyasal analiz, Çanakkale Seramik fabrikasında Rigaku marka SYS 3270 model XRF cihazı ile yapılmıştır. Agregada deneylerinde dona dayanıklılık deneyi için MgSO₄ ve organik madde tayinin tespiti için NaOH kullanılmıştır.

Standarta uygun olarak bazalt ocağından alınan numuneler, boyut küçültme, numune azaltma (TS EN 932-2) [17] ve boyuta göre sınıflandırma (TS EN 933-1) [18] işlemine tabi tutulduktan sonra ince (0-4 mm) ve iri (4-11,2 mm ve 11,2-22,4 mm) agrega olarak sınıflandırılmıştır. Agregaların standartlara uygunluğu, TS 706 EN 12620+A1’e [15] uygun olarak incelenmiş, fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla Çizelge 1’de belirtilen test ve/veya analizler yapılmıştır.



Şekil 1. Ilıca bazalt ocağı lokasyon haritası. (Location map of the basalt samples used in the experiments)

Çizelge 1. TS 706 EN 12620+A1 [15] standardına göre bazalt agregalarına yapılan test ve/veya analizler. (Basalt aggregates conducted in testing and/or analysis according to TS 706 EN 12620+A1 [15] standard)

Test ve/veya Analiz	Uygulanan Standart	Kaynak
Petrografik analiz	TS 10088 EN 932-3/A1 [19]	TSE, 2006
Numune alma	TS 706 EN 12620+A1 [15]	TSE, 2009
Laboratuvar numunelerin azaltılması metodu	TS EN 932-2 [17]	TSE, 1999
Tane büyüklüğü dağılımının tayini- Eleme yöntemi	TS EN 933-1 [18]	TSE, 2015
Çok ince malzeme muhtevası	TS EN 933-1 [18]	TSE, 2015
İnce tanelerin tayini- Metilen mavisi deneyi	TS EN 933-9 [20]	TSE, 2014
Tane şekli tayini yassılık endeksi	TS EN 933-3 [21]	TSE, 2012
Parçalanma direncinin tayini (Los Angeles metodu)	TS EN 1097-2 [22]	TSE, 2010
Tane yoğunluğu ve su emme oranının tayini	TS EN 1097-6 [23]	TSE, 2013
Gevşek yığın yoğunluğunun ve boşluk hacminin tayini	TS EN 1097-3 [24]	TSE, 1999
Su muhtevası tayini	TS EN 1097-5 [25]	TSE, 2009
Magnezyum sülfat deneyi	TS EN 1367-2 [26]	TSE, 2011
Kimyasal analiz: Asitte çözünebilen sülfat	TS EN 1744-1+A1 [27]	TSE, 2013
Kimyasal analiz: Toplam kükürt	TS EN 1744-1+A1 [27]	TSE, 2013
Kimyasal analiz: Ateş yayiatı	TS EN 1744-1+A1 [27]	TSE, 2013
Kimyasal analiz: Organik madde tayini deneyi	TS EN 1744-1+A1 [27]	TSE, 2013

3. BULGULAR ve TARTIŞMA (EXPERIMENTAL RESULTS AND DISCUSSIONS)

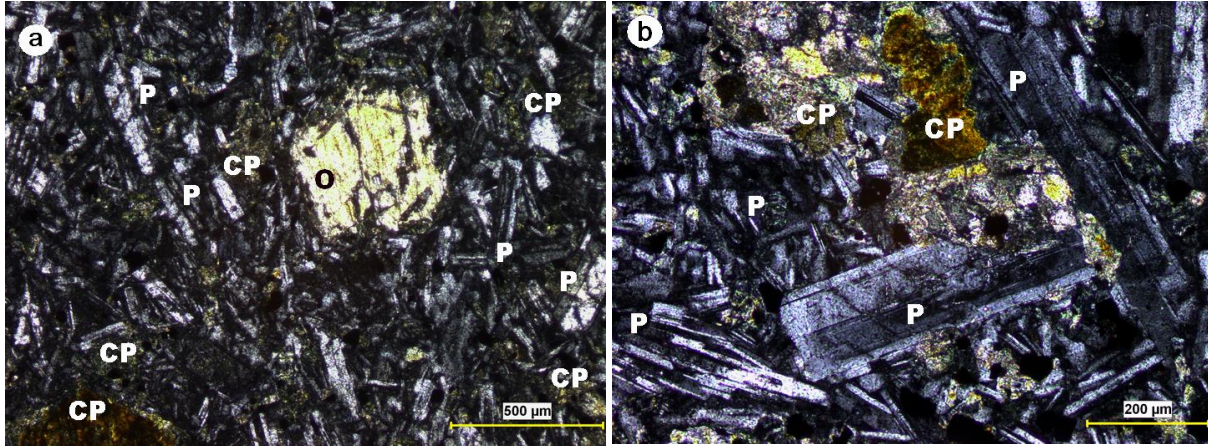
3.1. Mineralojik ve Petrografik Özellikleri (Mineralogical and Petrographic Analysis)

Bazaltların mineralojik bileşimini belirlemek amacıyla ince kesit incelemesi yapılmıştır. Polarizlenmiş mikroskop incelemelerinde, çoğunlukla plajiyoklaz (labrodorit), piroksen, olivin, kuvars, mika ve opak mineralleri tespit edilmiştir (Şekil 2). İnce kesitlerde hâkim mineral olarak

minimum tane boyutu 34,8 µm ve ortalama tane boyutu ise 25,2 µm olarak bulunmuştur (Şekil 3).

3.1.1. XRD analizi (XRD analysis)

Yapılan XRD analizi sonucunda numune içerisinde labrador, piroksen (ojit), muskovit, montmorillonit, az oranda da sanidin ve kuvars mineralleri tespit edilmiştir (Şekil 4). İnce kesitlerde de görüldüğü gibi hâkim mineral, plajiyoklaz grubu minerallerden labrodorit mineralidir.



Şekil 2. Bazalt numunesinde ince kesit resimleri (çift nikol). Plajiyoklaz (labrodorit) (P), klinopiroksen (CP), olivin (O) minerallerinin görünümü. (Microscopic views of basalt samples (cross nicol), plagioclase (labrodorite) (P), clinopyroxene (CP), olivine (O))

ince ve uzun prizmatik kristaller halinde plajiyoklaz mineralleri görülmektedir. Bunların arasında bazıları küçük bazıları iri boyutlu olivinler ve bol miktarda opak mineraller gözlenmektedir. Olivinler altı veya sekiz köşeli çatlaklı yapıda görülmektedir. Piroksenler, kısa-uzun prizmatik sekiz köşeli kristaller halinde klinopiroksen olarak izlenmektedir. Numune, mikroskop incelemelerine göre, mikro fenokristallerin düzensiz yönlendiği pilotaksitik dokuludur. Petrografik çalışmalar sonucunda örnek bazalt olarak tanımlanmıştır.

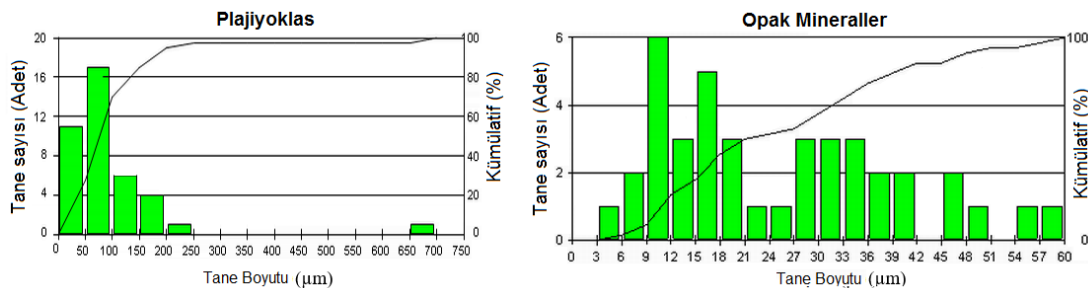
İnce kesitlerde yapılan tane boyut analizinde 40 adet plajiyoklaz tanesine ölçüm yapılmış, maksimum tane boyutu 696,8 µm minimum tane boyutu 29,5 µm ve ortalama tane boyutu ise 101,8 µm olarak bulunmuştur. Küçük tanelere yapılan tane boyut analizinde 40 adet taneye ölçüm yapılmış, maksimum tane boyutu 57,2 µm

3.1.2. SEM incelemesi (SEM analysis)

Bazalt numunesinin SEM analizinde feldspat ve illit mineralleri görülmüştür (Şekil 5). SEM analizinde feldspat grubu plajiyoklaz minerallerinin üzerinde illit mineralleri geliştiği gözlenmektedir.

3.2. Kimyasal Analiz (Chemical Analysis)

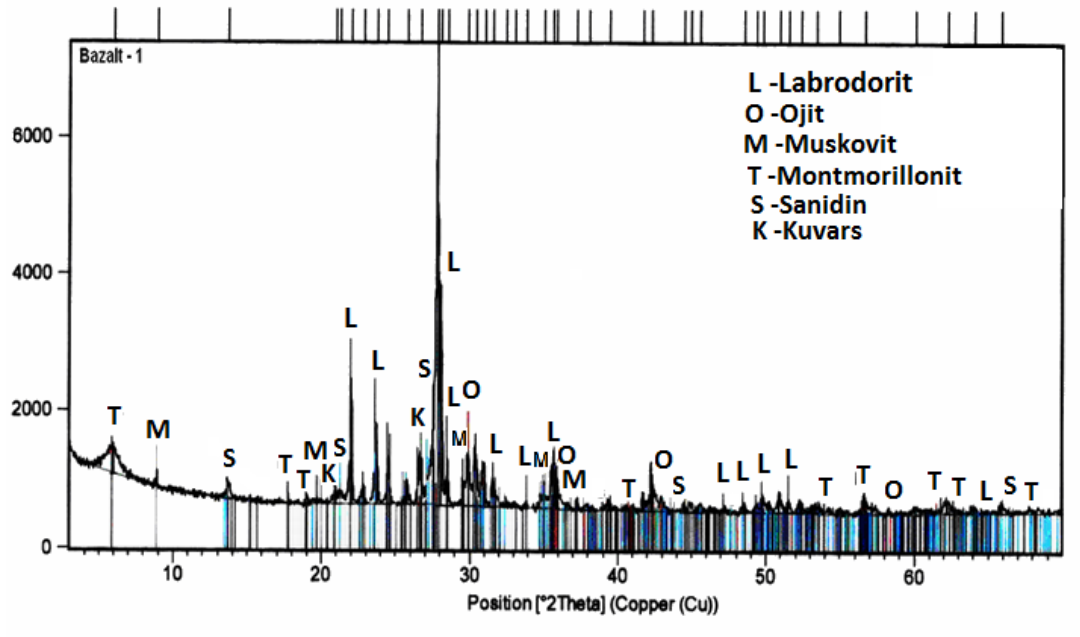
Örnekler üzerinde, XRF yöntemi ile kimyasal analizler gerçekleştirilmiş ve bunlara ait ana element oksit içerikleri Çizelge 2’de verilmiştir. Bazaltlar %52,8 SiO₂ içermektedir. Fe₂O₃ içeriği opak mineraller ve ojit ile ilişkilidir. Rojay et al. (2001) [28] tarafından benzer kayalarda geniş A.Z. (ateş zayıyatı) aralığı (%14,1-16,8), yüksek CaO (ort %22,8) ve düşük SiO₂ oranları bazaltların altere olduğuna delil olarak gösterilmektedir. İncelenen Ilica bazaltının A.Z. %3,42, CaO %9 ve SiO₂ %52,8 olarak tespit edilmiş olup bu verilere göre



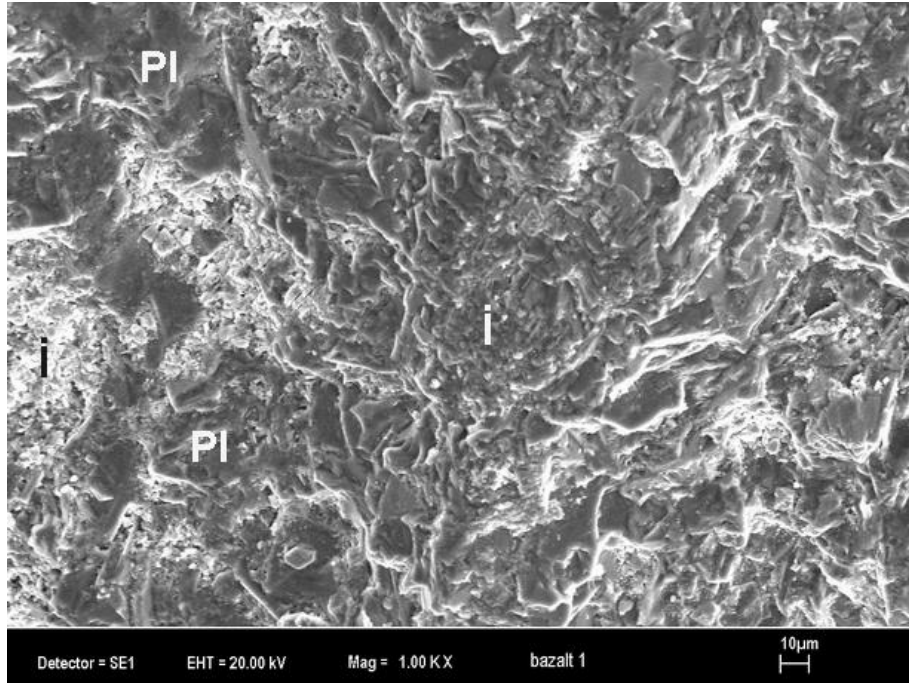
Şekil 3. Bazalt numunesinde plajiyoklaz ve opak minerallerin tane boyut dağılımı. (The particle size distribution of plagioclase and opaque minerals in basalt samples)

herhangi bir ayrışma durumu da söz konusu değildir. Kimyasal analiz verilerine göre; bazaltın bileşimini tespit etmek amacıyla Le Bas, vd. (1992) [29] tarafından

önerilen toplam alkali ve silis diyagramı kullanılmıştır. Buna göre Ilıca bazaltının “bazaltik andezit” bileşimli oldukları belirlenmiştir (Şekil 6).



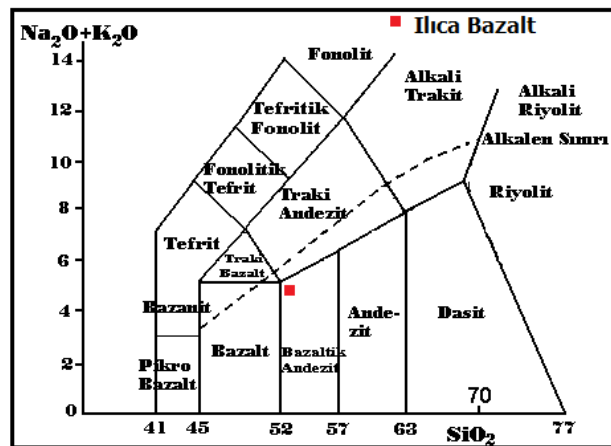
Şekil 4. Bazalt numunesinde XRD analizi. (XRD analyses of basalt sample)



Şekil 5. Bazalt numunesine ait SEM mikro fotosu (PI: feldispat (plajiyoklaz), İ: illit). (Micro photo of basalt sample, PI: feldspar (plagioclase), İ: illite)

Çizelge 2. Bazalt numunesine ait kimyasal analiz sonuçları. (Chemical composition of the basalt sample)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	MnO	A.Z.
52,80	15,60	0,90	8,03	9,00	4,20	2,78	2,46	0,142	3,42



Şekil 6.İlica bazaltının toplam alkali içeriğine karşı silis diyagramında sınıflandırılması [29]. Kesikli çizgi: Alkali-subalkali ayrımı Irvine ve Baragar (1971)'e [30] göredir. (Total alkali vs. silica classification diagram for the basalt. Dashed line: alkaline-subalkaline division according to Irvine and Baragar (1971) [30]).

3.3. Agrega Test ve Deneyleri (Aggregate Testing and Experiments)

3.3.1. Tane büyüklüğü dağılımının tayini- Eleme yöntemi (Determination of particle size distribution-Sieving method)

Agrega içindeki değişik boyuttaki tanelerin oranı, agreganın kullanım amacına ve yerine göre önem taşımaktadır. Yapılarda kullanılacak agregalar, hacim içerisinde, birbirlerinin oluşturdukları boşluklarını

elde etmek mümkün olabilecektir. Ayrıca tane boyutları küçüldükçe toplam yüzey alanı artar ve bunun sonucu su ihtiyacı fazla olur [31].

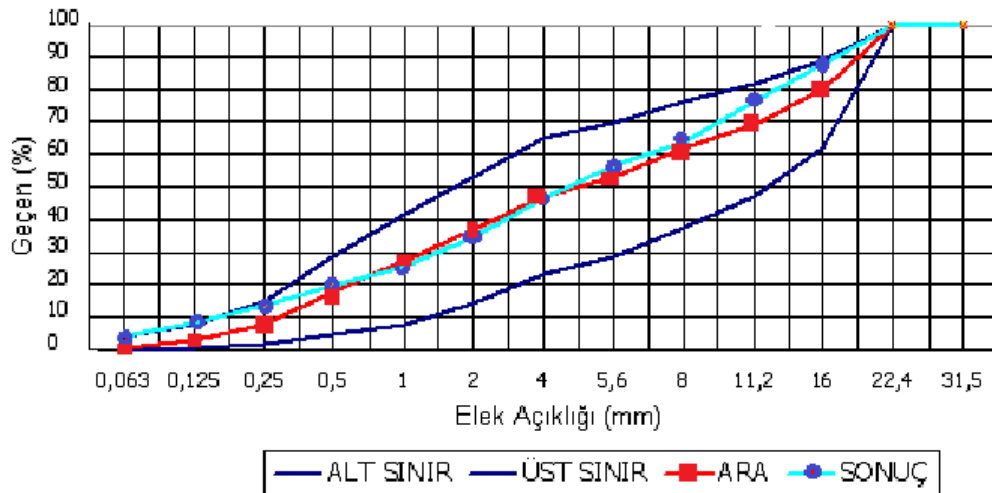
Beton üretiminde kullanılacak karışım agregasının granülometrisi “ideal granülometri eğrileri” ile uyumlu veya “ideal bölge” içinde kalmalıdır. Kompartitenin yüksek olmasının en önemli şartlarından biri ideal granülometri eğrisine sahip agrega kullanılmalıdır. Bu nedenle agregalara TS EN 933-1 [18] standardına uygun

Çizelge 3. Kıırma bazalt agregasının elek analizi sonuçları (The results of sieve analysis of the crushed basalt aggregates)

Elek Göz Açıklığı (mm)	0-4 mm			4-11,2 mm			11,2-22,4 mm		
	Küm. Kalan (gr)	% Kalan	% Geçen	Küm. Kalan (gr)	% Kalan	% Geçen	Küm. Kalan (gr)	% Kalan	% Geçen
22,4	-	-	-	-	-	-	0	0	100
16	-	-	-	-	-	-	896	48,40	51,65
11,2	-	-	-	62	4,45	95,55	755	89,10	10,90
8	-	-	-	596	47,96	52,04	202	100	0
5,6	-	-	-	451	80,95	19,05	-	-	-
4	89	10,70	89,32	261	100	0	-	-	-
2	189	33,40	66,63	-	-	-	-	-	-
1	139	50,10	49,94	-	-	-	-	-	-
0,5	101	62,20	37,82	-	-	-	-	-	-
0,25	95	73,60	26,41	-	-	-	-	-	-
0,125	84	83,70	16,33	-	-	-	-	-	-
0,063	75	92,70	7,30	-	-	-	-	-	-
Tava	61	100	0	-	-	-	-	-	-
Toplam	833	-	-	1370	-	-	2238	-	-

dolduracak boyutlarda olmalıdırlar. Ancak uygun boyut dağılımı (agrega granülometrisi) ile işlenebilirliği yüksek, segregasyona uğramamış ve boşluksuz bir beton

olarak elek analizleri yapılmaktadır. Yapılan elek analizleri sonucunda elde edilen ince (0-4 mm) ve iri (4-11,2 mm ve 11,2-22,4 mm) agregası sonuçları Çizelge 3’de



Şekil 5. Kıırma bazalt agregasına ait granülometri eğrisi (Grading curve of the crushed stone basalt aggregates)

verilmiştir. Elek analizi sonucunda betonda kullanılacak agreganın granülometri eğrileri çizilmiştir (Şekil 5). Bazalt agregalarına yapılan elek analizi sonucunda çıkan granülometri eğrileri, TS 706 EN 12620+A1 [15] standardı granülometri eğrisi sınırları içerisinde kalmaktadır.

İncelik modülü, agreganın gradasyonunun bileşimi hakkında bilgi veren bir sayıdır. İncelik modülü delik açıklığı birbirinin iki misli artan elekler üzerinde kalan malzemenin yığışlımı yüzdelere toplamının yüze bölünmesiyle elde edilen rakamdır. Agregada daneleri küçüldükçe incelik modülü azalır, taneler irileştikçe incelik modülü büyür [32]. Elek analizi deneyi sonucu her elek üzerinde kalan agregaların yığışlımı ağırlık yüzdeleri toplanarak yüze (100) bölünmesi ile incelik modülü (İM) bulunur. Beton karışım hesaplarında, ince agreganın (0-4 mm) incelik modülü kullanılmaktadır [33]. İnce bazalt agregasının ortalama incelik modülü 2,3 bulunmuştur. İncelik modülü sıfır ile granülometri deneyinde kullanılan elek sayısı arasındaki değerler olabilir. Yani yukarıdaki örnekte 0 ile 8 arasında olabilir. İncelik modülü şu şekilde yorumlanır: Değer büyükse

elekler üzerinde kalan malzeme çoktur. Yani malzeme iridir. Değer küçükse malzemenin çoğu eleklerden geçmiştir. Yani malzeme incedir.

TS 706 EN 12620+A1 [19]'e göre; ince agregada bulunan toplam çok ince malzeme muhtevası, %3'ten (veya agreganın kullanıldığı yerde geçerli olan mevzuata göre belirtilmiş olan başka bir değerden) daha az olması durumunda zararsız olarak kabul edilmektedir. Çok ince malzeme muhtevası yüksek oranlara ulaştığı takdirde beton mukavemetinin azalması, su ihtiyacının artması, işlenebilmesi ve betonun büzülmesi gibi bazı olumsuz etkilere yol açmaktadır.

Bazalt numunesinde çok ince malzeme muhtevası değerleri, iri agregalarda (4-11,2 mm ve 11,2-22,4 mm) ortalama olarak sırasıyla %0,5 ve %0,65 bulunmuştur. İnce agregada (0-4 mm) numunenin ise ortalama olarak çok ince malzeme muhtevası %3'dür (Çizelge 4). Çok ince malzeme muhtevası, ilgili kategoriye uygun olarak, iri agregalar için $f_{1,5}$, ince malzemeler için de f_3 olarak bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar ilgili standarda göre uygundur.

Çizelge 4. Kıırma bazalt agregasına ait çok ince malzeme muhtevası değerleri (Very fine material content values of crushed basalt aggregates)

Agrega Boyutu (mm)	(M ₁) (g)	(M ₂) (g)	(M _y) (%)	(M _o) (%)
0-4	1000	969	3,10	3,00
	1003	972	3,10	
	998	970	2,80	
4-11,2	2000	1986	0,70	0,65
	2000	1988	0,60	
	2001	1988	0,65	
11,2-22,4	2000	1992	0,40	0,50
	2002	1990	0,60	
	2000	1990	0,50	

(M₁: Deney numunesinin ilk kuru ağırlığı, M₂: Yıkanan deney numunesinin kuru ağırlığı, M_y: 0,063 mm göz açıklıklı elekten geçen kütlece yüzde, M_o: 0,063 mm göz açıklıklı elekten geçen ortalama değer)

3.3.2. Sıkışık ve gevşek yığın yoğunluğu tayini
(Determination of cramped and loose bulk density)

Agregaların sıkışık ve gevşek yığın yoğunluğu tayini deneyi, TS EN 1097-3 [24] standardına göre yapılmıştır. Doğal agregaların sıkışık yığın yoğunluğu genel olarak 1.500 ile 1.900 kg/dm³ arasındadır. Testler, en az üç numune üzerinde tekrarlanmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 5’de verilmiştir. Çizelge 5’de görüldüğü üzere bazalt agregalarının beton için gerekli yığın yoğunluğu, TS EN 1097-3 [24] standardında öngörülen sınır değerleri içerisinde yer almaktadır. İri agregalar (4-11,2 ve 11,2-22,4 mm) ortalama 1.504 ve 1.543 kg/dm³ değerlerine sahiptir. 0-4 mm boyutlu ince agregada ise 1.631 kg/dm³ değeri ile üst sınıra yaklaşmıştır.

3.3.3. Tane yoğunluğu ve su emme oranının tayini
(Determination of particle density and water absorption)

TS EN 1097-6’ya [23] göre uygun olarak hazırlanan numunelerle gerçekleştirilen testlerde yoğunluk ve su emme değerleri; iri ve ince agregalar için Çizelge 6’da verilmiştir. Yoğunluklar, iri agregalar (4-11,2 mm ve 11,2-22,4 mm) için 2,72 ve 2,75 kg/dm³, ince agrega (0-4 mm) için ise 2,71 kg/dm³ dür. TS EN 206-1 standardının öngördüğü limit yoğunluk değerleri 2,50–2,70 kg/dm³ arasında olduğundan, araştırmaya konu iri ve ince agregalar, önerilen sınır değerleri içinde yer almaktadır. Agregaların yüksek yoğunluk değerlerine sahip olması, boşluksuz ve sağlam olarak değerlendirildiğinden dolayı incelenen agregaların

Çizelge 5. Kırma bazalt agregalarına ait sıkışık ve gevşek birim ağırlık değerleri (Cramped and loose bulk density of crushed basalt aggregates)

Agrega sınıfı	Agrega Boyutu (mm)	Gevşek yığın yoğunluğu (kg/dm ³)	Referans Değer [34] (kg/dm ³)	Sıkışık yığın yoğunluğu (kg/dm ³)	Referans Değer [34] (kg/dm ³)
İnce agrega	0-4	1.547	≥1,35	1.631	1,5-1,9
İri agrega	4-11,2	1.447	≥1,25	1.543	1,5-1,9
İri agrega	11,2-22,4	1.392	≥1,25	1.504	1,5-1,9

Gevşek yığın yoğunluğu, agreganın tane şekli ve yoğunluğuyla yakından ilgilidir. Agregada bulunan kusurlu tane oranı arttıkça boşluk miktarı artar ve gevşek yığın yoğunluğu da düşer. Agreganın boşluklu olması, betonun dış etkenlere karşı dayanımını olumsuz olarak etkileyeceğinden, bunu önlemek için tane granülometri eğrisinden yararlanılarak betonun boşluğu azaltılabilir. Çizelge 5’de görüldüğü gibi, gevşek yığın yoğunluğu değerleri ortalamaları sırasıyla 11,2-22,4 mm boyutlu iri agrega için 1.392 kg/dm³, 4-11,2 mm boyutlu agrega için 1.457 kg/dm³ ve 0-4 mm boyutlu ince agrega için ise 1.547 kg/dm³ olarak bulunmuştur. Yığın yoğunluğu değerleri dikkate alındığında agregalar beton yapımında kullanılabilir özelliktedir.

kaliteli olduğu söylenebilir ve beton yapımında kullanılabilir.

Agregaların su emme değerleri, dona karşı mukavemeti ve dayanımı etkilemektedir. Agreganın tane yoğunluk ve su emme oranı, esas olarak beton karışım hesaplarında kullanılmaktadır. Bazalt agregaların su emme oranı 4-11,2 mm ve 11,2-22,4 mm boyutlu iri agregalar için sırasıyla %2,51 ve %1,55, 0-4 mm boyutlu ince agregalar için %1,12’dir. Beton yapımında kullanılacak agregaların TS EN 1097-5 [25] standardına göre; %10 su emme oranını geçmemesi istenmektedir. Bu durumda bazalt agregaların standartlara uygun olduğu söylenebilir.

Çizelge 6. İri ve ince kırma bazalt agregaların ortalama yoğunluk ve su emme oranları. (The average particle density and water absorption of coarse and fine crushed basalt aggregates)

Agrega Boyutu (mm)	(M ₁) (gr)	(M ₂) (gr)	(M ₃) (gr)	(M ₄) (gr)	Kuru yoğunluk (kg/dm ³)	Doygun Kuru Yüzey yoğunluk (kg/dm ³)	Yoğunluk (kg/dm ³)	Su Emme (%)
0-4	491,00	3028,33	2723,00	479,00	2,58	2,65	2,75	2,51
4-11,2	1238,33	3497,33	2725,00	1219,33	2,61	2,65	2,72	1,55
11,2-22,4	993,67	3344,67	2725,00	982,67	2,62	2,65	2,71	1,12

(M₁: doygun kuru yüzey ağırlığı, M₂: ölçü kabı, su ve numune ağırlığı, M₃: ölçü kabı ve su ağırlığı)

3.3.4. Yassılık indeksi deneyi (Flatness index test)

Agrega tanelerinin şekli, taze betonun işlenebilirliği özelliğini doğrudan etkilemektedir. Agregaların yassılık indeksinin tayini agregalarda, tane büyüklüğü 4 mm ile 80 mm arasında olan agregalarda aranan bir özelliktir. Yassılık indeksi için üst limit %55'dir ve agregaların bu değeri aşması istenmez. Agregaların şekli belirlenmek için yassılık indeksi deneyi TS EN 933-3'e [21] göre yapılmıştır. Buna göre bazalt agregaları %12,26 yassılık değerine sahiptir (Çizelge 7). Bu yassılık indeksi değeri ile TS 706 EN 12620+A1 [15] standardına göre FI₁₅ kategorisinde yer almaktadır. Çıkan sonucun, standartlarda öngörülen sınır değerinin altında olması nedeniyle bazalt agregaları beton yapımında kullanılabilir özelliktedir.

olmuştur (Çizelge 8). Deneylerde sırasıyla sonuçlar, %0,72, %0,73 ve %0,75 olarak bulunmuştur. Metilen mavisi sınır değeri (MB) (%1) olmasından dolayı bu durum, agreganın ince madde içermediğine işaret etmektedir. Ayrıca çok ince malzeme muhtevası değerinin de düşük olması metilen mavisi sonucunu desteklemektedir.

3.3.6. Parçalanma direncinin tayini (Determination of resistance of fragmentation)

Agreganın aşınmaya karşı dayanıklılığı TS EN 1097-2 [22] standardına göre yapılmıştır. İri agreganın aşınma miktarı, aşındırıcı bir yük kullanarak Los Angeles makinesi ile tayin edilmektedir. Beton agregalarında TS 706 EN 12620+A1 [15] standardına göre tamburun 500

Çizelge 7. Kıırma bazalt agregalarının yassılık indeksi değeri (Flakiness index value of crushed basalt aggregates)

Numune No	Deneye Giren Toplam Malzeme Miktarı (gr)	Yassı Malzeme Miktarı (gr)	Yassılık Endeksi Değeri (%)	Ortalama Yassılık Endeksi FI (%)
1	1088	128	12,00	
2	1174	156	13,30	12,26
3	1046	120	11,50	

3.3.5. İnce tanelerin tayini-metilen mavisi deneyi (Assessment of fine particles-methylene blue test)

Metilen mavisi deneyi, TS EN 933-9 [20] standardına göre yapılmış olup bu deney malzeme içerisindeki kirlilik ve kil oranını göstermektedir. Sadece ince

devir dönmesi sonucunda oluşan aşınma oranı maksimum %50 olmalıdır. Los Angeles test sonuçları Çizelge 9'da verilmiştir. Yapılan üç adet aşınmaya karşı dayanıklılık deneyinin aşınma oranları ortalaması, 4-11,2 mm boyutlu agregalar için %14,8, 11,2-22,4 mm boyutlu

Çizelge 8. Kıırma bazalt numunesine ait metilen mavisi değeri (Methylene blue value of crushed basalt samples)

Numune No	Deneye Giren Numune Miktarı (gr)	İlave Edilen Metilen Mavisi Çözeltisi (ml)	Metilen Mavisi Değeri (MB) (%)	Metilen Mavisi Sınır Değeri (MB) (%)
1	210	15	0,72	
2	206	15	0,73	1
3	200	15	0,75	

malzemeye uygulanan bu deneyde, üst limit %1,5'dir. Bu değer üstündeki malzeme killi kabul edilir ve beton üretiminde kullanılamaz. 0-2 mm boyutundaki agregalarda, beher kilogram başına tüketilen metilen mavisinin gram cinsinden ifadesi metilen mavisi değeridir. Bazalt numunesinde kil varlığını tespit için, üç ayrı örnekte de 15 ml metilen mavisi çözeltisi yeterli

agregalar için %12,8 olarak bulunmuştur. Buna göre; Los Angeles katsayısı, LA₁₅ kategorisine uymaktadır. Bu verilere göre bazalt agregaları, standartlarda öngörülen sınır değerlerin altında yer almakta olup beton üretiminde kullanılabilir özelliktedir.

Çizelge 9. Kıırma bazalt agregalarının Los Angeles aşınma dayanım değerleri (Los Angeles abrasion durability value of crushed basalt aggregates)

Agrega Boyutu (mm)	Numune No	İlk Ağırlık (M ₁) (gr)	1.6 mm'lik Elekte Kalan (M ₂) (gr)	Aşınma Oranı (%)	Ortalama Aşınma Oranı (%)
4-11,2	1	5000	4289	14,30	
	2	5001	4211	15,80	14,80
	3	5004	4301	14,10	
11,2-22,4	1	5002	4393	12,20	
	2	5002	4328	13,50	12,80
	3	5000	4361	12,80	

3.3.7. Magnezyum sülfat deneyi (Magnesium sulfate test)

Bu test, agregaların donma ve çözölmeye karşı dayanımlarının belirlenmesinde çabuklaştırılmış bir deneydir. Magnesium sülfat çözöltisi ile TS EN 1367-2 [26] standardına göre yapılmıştır. Bazalt agregalarında 11,2-22,4 mm boyutlu iri numunenin donma ve çözölmeye karşı kütle kaybı değeri ortalama %3,23, daha ince olan 4-11,2 mm boyutlu numunenin kütle kaybı değeri ise %9,23 bulunmuştur. İnce boyutlu agregaların yüzey alanı, iri boyutlu agregalara göre daha fazla olduğu için çözölmeye karşı kütle kaybı değeri daha fazla olarak ölçölmüştür. Her iki boyutlu numune de TS 706 EN 12620+A1 [15] standardına göre MS₁₈ kategorisinde yer almaktadır.

tür tuzlar, betonun toplam klorür ve alkali muhtevasını artırır. Betonun ihtiva ettiği metalin korozyon riskini en aza indirmek amacıyla, betondaki toplam klorür miktarının sınırlandırılması gerekmektedir. Suda çözönelir klorür miktarı deneyi TS EN 1744-1 [27] standardına uygun olarak yapılmıştır. Yapılan deney sonucunda bazalt agregaları içerisinde klorür miktarları sınır değerin (%0,01) altında, eser miktarda (%0,0024) bulunmuştur.

3.3.10. Asitte çözönelir sülfat tayini (Determination of acid-soluble sulfate)

Agregalarda bulunan sülfatlar, betonda ivmeye bağlı hasara sebep olabilirler. Belirli şartlar altında agregalarda mevcut olan diğer kükürt bileşikleri, sülfatları

Çizelge 10. Kıırma bazalt agregalarının kütle kaybı değeri (Mass loss value of basalt crushed aggregate)

Agrega Boyutu (mm)	İlk Ağırlık (gr)	Elekte Kalan (gr)	Kütle Kaybı (%)	Ortalama Kütle Kaybı (%)
4-11,2	412	379	8,00	9,23
	410	386	6,90	
	415	362	12,80	
11,2-22,4	400	388	3,00	3,23
	403	390	3,22	
	408	394	3,47	

3.3.8. Organik madde (humus) tayini deneyi

(Experimental determination of organic matter)

Bazalt agregalarında organik madde tayini deneyi, TS EN 1744-1 [27] standardı kullanılarak yapılmıştır. Agregada içinde çürümüş bitki kökleri, meyveleri veya yaprakları çeşitli asit ve türevlerini oluşturmaktadır. Agregada içindeki organik kökenli maddenin çok olması durumunda betonun katılaşması gecikir veya gerçekleşmeyebilir. Bu da betonun ilk günlerdeki dayanımını olumsuz yönde etkiler.

Bir cam şişeye, 80 mm yüksekliğe kadar %3'lük NaOH çözöltisi konulur. Takiben çözölti ve agregada yüksekliği 120 mm oluncaya kadar deney numunesi parçaları eklenir. Şişenin tapası kapatılır ve 1 dakika kuvvetlice çalkalanır ve beklemeye bırakılır. 24 saat sonra, benzer şişede bulunan standart renk çözöltisi ile oluşan çözöltinin rengi mukayese edilir. Humusun NaOH ile reaksiyona girmesiyle gelişen koyu renk esas alınır. Rengin yoğunluğu humus muhtevasına bağlıdır. Çözöltide hiç ya da çok hafif renklenme varsa, agregada kayda değeri miktarda humus olmadığı anlaşılır [35].

Bazalt numunesinin üzerinde oluşan eriyik, hafif sarı ve renksiz sayılabilecek bir değişim göstermiştir. Bu da renk skalasına göre 1-2 referans değeri arasında olduğunu göstermektedir. Bu sonuca göre incelenen bazalt agregası, organik madde bakımından beton yapımına uygundur denilebilir.

3.3.9. Suda çözönelir klorür tayini (Determination of water soluble chloride)

Klorürler, agregada kaynağına bağlı olarak, agregalarda sodyum ve potasyum tuzları halinde bulunabilirler. Bu

oluşturmak üzere beton içinde indirgenebilirler. İncelenen bazalt agregasının asitte çözönelir sülfat miktarı TS EN 1744-1 [27] standardında madde 12'ye göre tayin edilmiştir.

Bazalt agregalarında asitte çözönelir sülfat muhtevası, kütlece yüzde %0,02 olarak tespit edilmiş olup, AS_{0,2} kategorisinde yer almaktadır. Asitte çözönelir sülfat miktarı kütlece %0,8 değeri aşmamalıdır. TS 706 EN 12620+A1 [15] standardına göre yapılan değerlendirmede agregalar asitte çözönelir sülfat miktarı bakımından kullanıma uygundur.

3.3.11. Toplam kükürt miktarının tayini

(Determination of total sulfur content)

Bazalt agregalarında toplam kükürt miktarı TS EN 1744-1 [27] madde 11'e uygun olarak tayin edilmiş olup, %0,022 bulunmuştur. Bu değeri, TS 706 EN 12620+A1'de [15] verilen %2'lik sınır değerin altında olup, söz konusu bazalt agregaları kükürt miktarı bakımından kullanıma uygundur.

3.3.12. Alkali silika reaktivitesi (ASR) (Alkali silica reactivity)

Alkali silis reaktivitesi (ASR), beton agregalarında bulunan reaktif silis ile betonun boşluk çözöltisinde bulunan hidroksil ve alkali iyonlarının reaksiyonudur. Bu reaksiyon, betonda nem etkisiyle gelişen alkali-silis jelinin oluşmasına neden olur. Betonda gelişme sonucu meydana gelen çekme gerilmeleri çatlamaya yol açar [36]. Betondaki alkali miktarı arttıkça ASR potansiyeli de artar. ASR'nin artması sülfat etkileri, tabii don, donma ve çözölmelerin etkilerinin hızlanarak artmasına neden olur [37]. Katayama vd. (1989)'a [38] göre, bazaltlardaki

SiO₂ içeriği %50'den fazla olduğunda, alkali-silisi reaktivitesi açısından andezit gibi davranmakta ve potansiyel reaktif agrega özelliği gösterebilmektedir. Kimyasal analiz sonuçlarından da görüldüğü gibi bazalt agregası SiO₂ oranı %52,80'dir. Bu nedenle bazalt agregaları için alkali reaktivitesi deneyleri yapılması gerekmektedir. Alkali-agrega reaksiyonunun belirlenmesi amacıyla birçok standart geliştirilmiştir. Mevcut yöntemler arasında en çok kullanılanı harç çubuklarının denendiği yöntemdir. ASR deneyi ASTM C 1260 [39] standardına göre yapılmış ve standartta verilen sınırlamalara göre değerlendirilmiştir.

•Güvenli bölge: Genleşme değeri %0,1'in altındaysa ASR problemi yoktur.

•Şüpheli bölge: Genleşme değeri %0,1 ile %0,2 arasındaysa ASR riski muhtemeldir.

•Tehlikeli bölge: Genleşme değeri %0,2 değerinin üzerinde ise ASR açısından tehlikelidir.

Bu deney için oluşturulan beton karışım oranları; 0-4, 4-11,2 ve 11,2-22,4 mm boyutlarındaki agregalar sırasıyla %48, %13, %20, çimento %11,7 ve su %7,3 oranındadır. Deneyde, bazalt agregalarının çimento hamuruyla oluşturabileceği reaksiyon sonucu, genleşmesine bağlı olarak oluşan boy uzamaları belirlenmiştir. Deneyler, üç numune üzerinde tekrarlanmıştır. Bazalt agregalarında, harç çubuğu deney yöntemine göre 21 günlük genleşme oranı ortalaması %0,093 olarak bulunmuştur. Genleşme oranı değeri %0,1 değerinin altında olduğu için alkali silika değeri bakımından güvenli bölgede bulunmaktadır.

4. SONUÇLAR ve ÖNERİLER (RESULTS and SUGGESTIONS)

Türkiye'de oldukça geniş alanlarda bulunan bazaltlar gerek agrega gerekse de yapı ve kaplama malzemesi olarak sınırlı düzeyde kullanılmaktadır. Bu çalışmada, Ilica (Kütahya) yöresi bazaltlarının alternatif beton agregası olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Ilica (Kütahya) yöresinde bulunan ve halen taş ocağı olarak üretim yapılan Ilica bazaltının, malzeme özelliklerinin belirlenmesi amacıyla petrografik-mineralojik (polarizan mikroskop, XRD ve SEM) ve kimyasal analizler yapılmıştır. Ocaktan alınan bazalt numuneleri, ince (0-4 mm) ve iri (4-11,2 mm ve 11,2-22,4 mm) boyutlarına sınıflandırılmış ve bunlara TS 706 EN 12620+A1 standardına uygun test ve deneyler yapılarak agrega olarak kullanılabilirliği incelenmiştir. Bu analiz, test ve incelemeler sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Bazalt numunesinin petrografik ve mineralojik inceleme sonuçlarına göre, labrador, piroksen (ojit), muskovit, montmorillonit, az oranda da sanidin ve kuvars minerallerinden meydana geldiği belirlenmiş olup kayaca kimyasal analiz verileriyle bazaltik andezit tanımlaması yapılmıştır.

Elek analizleri TS 3530 EN 933-1 standardına uygun olarak yapılmış ve granülometri eğrileri çizilmiştir. Bazalt agregalarına yapılan elek analizi sonucunda çıkan

granülometri eğrileri, TS EN 706 standardı granülometri eğrisi sınırları içerisinde kalmaktadır. Agregalarda bulunan ince maddelerin, betonda prize etki etmesi, mukavemeti düşürmesi, çimento hamurunda zararlı kimyasal reaksiyonlara yol açabilmesi ve donatının korozyona karşı korunmasını azaltıcı etkileri bulunmaktadır. İnce maddeler, ayrıca yoğun suyunun miktarını arttırmaktadırlar. Bu olumsuz etkileri yanında, agreganın içinde belli bir miktara kadar bulunabilen ince maddeler, betonun işlenmesinde ve yerleştirilmesinde olumlu rol oynamaktadır. Bazalt agregasının ortalama incelik modülü 2,3 olup uygun özelliktedir.

Genel olarak agreganın birim ağırlığının 1.300-1.900 kg/dm³ arasında olması istenmektedir. Ayrıca sıkışık yığın yoğunluğu ne kadar yüksek ise, basınç dayanımı ve dış etkenlere dayanım da o kadar yüksek olmaktadır. Bazalt agregaları genel olarak beton için gerekli yığın yoğunluğu sınır değerleri içerisinde yer almaktadır. İri agregalar (4-11,2 mm ve 11,2-22,4 mm) ortalama 1.504 ve 1.543 kg/dm³ değerlerine sahiptir, 0-4 mm boyutlu ince agrega ise 1.631 kg/dm³ değerine sahiptir. Sıkışık yığın yoğunluğu sonuçları, agregaların gevşek ve sıkışık yığın yoğunluğu yönünden beton yapımında kullanılabilir olduğu göstermektedir.

Beton karışım hesapları için agregaların özgül ağırlığının bilinmesi gereklidir. Agregaların özgül ağırlıklarının fazla olması ile doku daha kompakt olacağı için kayacın kimyasal ve mekanik etkilere dayanıklılığı da fazla olacaktır. Özgül ağırlıklar, iri agregalar (4-11,2 mm ve 11,2-22,4 mm) için 2,72 ve 2,75 kg/dm³, ince agrega (0-4 mm) için ise 2,71 kg/dm³'dir. TS EN 206-1 standardının öngördüğü limit özgül ağırlık değerleri 2,50-2,70 kg/dm³ arasında olduğundan, iri ve ince agregalar önerilen sınır değerleri içinde yer almaktadır. Su emme miktarı, kayacın fiziksel ve mekanik özelliklerinden başlıca dayanım, büzülme, donma ve durabiliteyi etkilemektedir. Su emme oranı 0-4 mm boyut aralığında yer alan ince agregalar için %1,12, 4-11,2 mm ve 11,2-22,4 mm boyutunda yer alan iri agregalar için sırasıyla %1,55 ve %2,51 olarak tespit edilmiştir. Bazalt agregalarının su emme değerleri standartlara uygun özelliktedir.

Betonda kullanılan agreganın şeklinin küresel veya küreye yakın olması istenmektedir. Şekilce uzun taneler, betonda işlenmeyi zorlaştırır, ayrıca yüksek kesme direnci vermektedir. Betonda yoğun olarak bulunan küresel taneler, daha iyi biçimde yerleşerek, boşlukları minimuma indirmektedir. Yassılık indeksi, tane büyüklüğü 4 mm ile 80 mm olan agregalar için önemlidir. Bazalt agregalarının yassılık değeri %12,26 olarak bulunmuştur. Bu yassılık indeksi değeri ile TS 706 EN 12620+A1 standardına göre FI₁₅ kategorisinde yer almaktadır.

Agregaların aşınma direnci, agrega tanelerinin kırılabilirliği ve sertliği, süreksizlik düzlemleri, minerallerin kenetlenmesi ile taneler arası bağın mukavemetini yansıtmaktadır. Los Angeles (Aşınma) deneyinde, aşınma oranı 4-11,2 mm boyutu için %14,8,

11,2-22,4 mm boyutu için %12,8 olarak bulunmuştur. Buna göre; Los Angeles katsayısı, LA₁₅ kategorisine uymaktadır. Bu değerlere göre bazalt agregaları, aşınmaya karşı oldukça dayanıklıdır.

Atmosfer etkilerine maruz kalan betonların en önemli özelliklerinden birisi de donma ve çözünme etkilerine karşı gösterdiği dirençtir. Bu özellik agregaların porozite, su emme ve taneler arası boşluk gibi özelliklerine bağlıdır. Bazalt agregalarında 11,2-22,4 mm boyutlu iri numunenin donma-çözünme dayanıklılık değeri ortalama %3,23, daha ince olan 4-11,2 mm boyutlu numunenin değeri ise %9,23 bulunmuştur. Donma ve çözülme karşı direnç her iki boyutlu numune MS₁₈ kategorisinde yer almaktadır. Bu verilere göre incelenen bazalt agregaları, donma ve çözünme etkilerine karşı oldukça dayanıklıdır.

Alkali-silis reaksiyonuna neden olan agregalar arasında; bazı asit veya nötr karakterli volkanik kayalar yer almaktadır. Ayrıca, volkan camı, reaksiyon oluşumunda oldukça etkilidir. Nitekim bu konuda son yıllarda yapılan bazı çalışmalarda, bazaltların agrega olarak değerlendirilmesinin önündeki en önemli engelin ASR olduğu belirtilmiştir [40]. Kimyasal analiz sonuçlarından da görüldüğü gibi bazalt agregası SiO₂ oranı %52,80'dir. Bu nedenle bazalt agregaları için alkali reaktivitesi deneyleri yapılması gerekmektedir. Bazalt agregalarında, harç çubuğu deney yöntemine göre 21 günlük genleşme oranı ortalaması %0,093 olarak bulunmuştur. Genleşme oranı değeri %0,1 değerinin altında olduğu için alkali silika değeri bakımından güvenli bölgede bulunmaktadır. Bazalt agregaları ile yapılan alkali-silis reaksiyon deneylerinde, düşük reaktivite gösteren agregalar olduğu belirlenmiştir. Bu tür bazaltların beton agregası olarak kullanılması durumunda; düşük alkaliniteye sahip çimentoların (Na₂O+0,658 K₂O değeri %0,60'dan düşük) kullanılması veya beton içerisine puzzolanik maddelerin katılması uygun olacaktır. Araştırılan bazaltlar, belirtilen limit değerlere göre, alkali-silis reaksiyonu açısından zararsızdır.

Ayrıca metilen mavisi, organik madde tayini, suda çözünebilir klorür tayini, asitte çözünebilir sülfat tayini, toplam kükürt miktarının tayini gibi deney sonuçları da bazalt numunesinin agrega olarak kullanılabilirliğini göstermiştir.

Sonuç olarak; standarda uygun olarak bazalt taş ocağından alınan numuneler, boyut küçültme, numune azaltma ve boyuta göre sınıflandırma işlemine tabi tutulduktan sonra ince (0-4 mm) ve iri (4-11,2 mm ve 11,2-22,4 mm) agrega olarak sınıflandırılmıştır. Sınıflandırılan numunelere uygulanan petrografik ve mineralojik, kimyasal, fiziksel testler ve/veya analizler sonucunda; İlica (Kütahya) bazaltlarının "TS 706 EN 12620+A1 Beton Agregaları" standardında aranan özelliklere uygun olduğu ve İlica yöresi bazaltının, beton agregası olarak kullanılabilirliği tespit edilmiştir. Bazalt, Türkiye'de birçok bölgede yaygın olarak bulunmaktadır. Bazalt son yıllarda, demiryolu balast malzemesi olarak kullanımının artmasıyla birlikte, kırmataş sektöründe

gittikçe önem kazanmaktadır. Aynı şekilde alternatif beton agregası olarak kullanılmaya başlanması durumunda hem bazalt rezervleri değerlendirilmiş hem de ülke ekonomisine katkı sağlanmış olacaktır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Şengül Ö., Taşdemir C., Kuruç Ş. ve Yüceer Z., "Agrega türünün farklı beton sınıflarının aşınma dayanımına etkisi", *5. Ulusal Beton Kongresi*, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, 525-534, İstanbul, (2003).
- Düzbasan S., Uluöz S., Yakıt E. ve Camcıoğlu M., "Kalker agregadaki kristalli kalsitin öngermeli prekast giriş kalitesine etkisi", *Hazır Beton Kongresi Bildirileri*, 247-257, (2011).
- Uz B., "Bazaltların kırmataş yönünden değerlendirilmesi "Trakya-Tekirdağ Bölgesi bazaltları örneği", *2.Ulusal Kırmataş Sempozyumu'99*, 1-12, İstanbul, (1999).
- Korkanç M. ve Tuğrul A., "Evaluation of selected basalts from the point of alkali-silica reactivity", *Cement and Concrete Research*, 35: 505-512, (2005).
- Ingrao C., Giudice A. L., Tricase C., Mbohwa C. and Rana R., (2014) "The use of basalt aggregates in the production of concrete for the prefabrication industry: environmental impact assessment, interpretation and improvement", *Journal of Cleaner Production*, 75: 195-204, (2014).
- Engidasew T. A. and Barbieri G., "Geo-engineering evaluation of Termaber basalt rock mass for crushed stone aggregate and building stone from Central Ethiopia", *Journal of African Earth Sciences*, 99: 581-594, (2014).
- Ibrahim A., Faisal S. and Jamil N., "Use of basalt in asphalt concrete mixes", *Construction and Building Materials*, 23(1): 498-506, (2007).
- Paige-Green P., "Durability testing of basic crystalline rocks and specification for use as road base aggregate", *Bull Eng Geol Environ*, 66:431-440, (2007).
- Iskender E., "Rutting evaluation of stone mastic asphalt for basalt and basalt-limestone aggregate combinations", *Composites: Part B*, 54: 255-264, (2013).
- Weidong C., Shutang L. and Zhigang F., "Comparison of performance of stone matrix asphalt mixtures using basalt and limestone aggregates", *Construction and Building Materials*, 41: 474-479, (2013).
- Alonso E., Martínez L., Martínez W. and Villaseñor L., "Mechanical properties of concrete elaborated with igneous aggregates". *Cement and Concrete Research*, 32(2): 317-321, (2002).
- Korkanç M. ve Tuğrul A., "Evaluation of selected basalts from Nigde, Turkey, as source of concrete aggregate", *Engineering Geology*, 75: 291-307, (2004).
- Çopuroğlu O., Andiç-Çakır Ö., Broekmans M.A.T.M. and Kühnel R., "Mineralogy, geochemistry and expansion testing of an alkali-reactive basalt from western Anatolia, Turkey". *Materials Characterization*, 60(7): 756-766, (2009).
- Tiecher F., Dal Molin D.C.C., Gomes M.E.B., Hasparyk N.P. and Monteiro P.J.M., "Influence of mesostasis in volcanic rocks on the alkali-aggregate reaction", *Cement and Concrete Composites*, 34: 1130-1140, (2012).
- TS 706 EN 12620+A1, "Beton agregaları", *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara. (2009).

16. TS 5694 EN 12670, “Doğal taşlar-Terimler ve tarifler”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (2004).
17. TS EN 932-2, “Agregaların genel özellikleri için deneyler Bölüm 2: Laboratuvar numunelerin azaltılması metodu”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (1999).
18. TS EN 933-1, “Agregaların geometrik özellikleri için deneyler-Bölüm 1: Tane büyüklüğü dağılımının tayini-Eleme yöntemi”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (2015).
19. TS 10088 EN 932-3/A1, “Agregaların genel özellikleri için deneyler Kısım 3: Basitleştirilmiş petrografik tanımlama için işlem ve terminoloji”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (2006).
20. TS EN 933-9, “Agregaların geometrik özellikleri için deneyler- Bölüm 9: İnce tanelerin tayini- Metilen mavisi deneyi”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (2014).
21. TS EN 933-3, “Agregaların geometrik özellikleri için deneyler bölüm 3: Tane şekli tayini yassılık endeksi”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (2012).
22. TS EN 1097-2, “Agregaların Mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler Bölüm 2: Parçalanma direncinin tayini için metotlar”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (2010).
23. TS EN 1097-6, “Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler Bölüm 6: Tane yoğunluğu ve su emme oranının tayini”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (2013).
24. TS EN 1097-3, “Agregaların fiziksel ve mekanik özellikleri için deneyler Bölüm 3: Gevşek yığın yoğunluğunun ve boşluk hacminin tayini”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (1999).
25. TS EN 1097-5, “Hava dolaşımı etüvde kurutma ile su muhtevasının tayini”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (2009).
26. TS EN 1367-2, “Agregaların termal ve bozunma özellikleri için deneyler Bölüm 2: Magnezyum sülfat deneyi”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (2011).
27. TS EN 1744-1+A1, “Agregaların kimyasal özellikleri için deneyler- Bölüm 1: Kimyasal analiz”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (2013).
28. Rojay B., Yalınz K.M. and Altın D., “Tectonic Implications of some Cretaceous pillow basalts from the North Anatolian ophiolitic melange (Central Anatolia-Turkey) to the evolution of Neotethys; Turkish”, *J. Earth Sci.*, 10: 93-102, (2001)
29. Le Bas M.J., Le Maitre R.W. and Woolley A.R., “The construction of the total alkali-silica chemical classification of volcanic rocks”, *Miner Petrol*, 46: 1-22, (1992).
30. Irvine T.N. and Baragar W.R.A., “A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks”, *Canadian Journal of Earth Sciences*, 8: 523-548, (1971).
31. Zimbelmann R., “A contribution to the problem of cement – aggregate bond”, *Cement and Concrete Research*, 15: 801-808, (1989).
32. Erdoğan T. Y., “Beton”, *ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Yayını*, Ankara, (2003).
33. Coşkun E., “TS-802’ye uygun betonlar için agrega gruplarının bilgisayar yardımıyla oranlandırılması”, *Yüksek Lisans Tezi*, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2009).
34. Şimşek O., “Beton Bileşenleri ve Beton Deneyleri”. *Gazi Üniversitesi Yayınları*, Ankara. (2007).
35. Özışık G., “Beton”. *Birsan Yayınevi*, İstanbul, (2000).
36. Kambiz R., “Betonda alkali-silis reaksiyonu bir derleme (Çağrılı Bildiri)” *Beton 2013 Hazır Beton Kongresi*, 21-23 Şubat İstanbul, 289-311, (2013).
37. Arslan M., “Beton (Dökümü, kalıpları, kusurları, dayanıklılığı)”. *Atlas Yayınları*, İstanbul, (2001).
38. Katayama T., St John D.A. and Futagawa T., “The petrographic comparison of rocks from Japan and New Zealand - potential reactivity related to interstitial glass and silica minerals”. In Okada K., Nishibayashi S. and Kawamura M. (Eds.), *8th International conference (on) alkali-aggregate reaction*, 537-541, London, (1989).
39. ASTM C 1260-94, “Standard test method for potential alkali reactivity of aggregates”, *Annual Book of ASTM Standards; Section Concrete and Mineral Aggregates*, Philadelphia, (1997).
40. Pek N.A., “Beton deniz yapılarında bazalt agrega kullanımı”, *İMO Teknik Dergi*, 6849-6866, 422, (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>

Comparison of particle swarm and differential evolution optimization algorithms considering various benchmark functions

Parçacık sürüsü ve diferansiyel evrim optimizasyonu algoritmalarının farklı ölçü fonksiyonları kullanılarak karşılaştırılması

Yazar(lar) (Author(s)): Hasan OZCAN

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Ozcan H., “Comparison of particle swarm and differential evolution optimization algorithms considering various benchmark functions”, *Politeknik Dergisi*, 20(4): 899-905, (2017).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.369076

Comparison Of Particle Swarm And Differential Evolution Optimization Algorithms Considering Various Benchmark Functions

Araştırma Makalesi / Research Article

Hasan OZCAN

Karabuk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Demir Çelik Kampusu 78050 Karabuk, Türkiye
(Geliş/Received : 02.10.2016 ; Kabul/Accepted : 11.10.2016)

ABSTRACT

This study aims to compare Particle Swarm Optimization (PSO) and Differential Evolution (DE) methods for various input parameters. Both optimization methods show high performance in optimization of any physical system including simple and complex constraints and objectives. Average and standard values of both methods were evaluated by utilizing 8 benchmark functions and a graphical representation and comparison of corresponding methods was presented for 50x50 and 100x100 population sizes and dimensionalities. It is concluded that DE and PSO show the best fitness value for Sum of Different Powers benchmark function for both number of populations. Approach to the optimum is found to be faster through the PSO method. Both methods are flexible to be used for simple and complex engineering problems with high performances with ease of programming.

Keywords : Particle swarm, differential evolution, optimization, benchmark function.

Parçacık Sürüsü ve Diferansiyel Evrim Optimizasyonu Algoritmalarının Farklı Ölçü Fonksiyonları Kullanılarak Karşılaştırılması

ÖZ

Bu çalışma parçacık sürüsü optimizasyonu ve diferansiyel evrim algoritmalarını farklı giriş parametreleri kullanarak karşılaştırmayı amaçlamaktadır. Bu iki optimizasyon algoritması basit ve kompleks kısıtlar ve sınırlayıcıları da içine alan herhangi bir fiziksel sistemin optimizasyonunda yüksek performans göstermektedirler. Sekiz adet ölçü fonksiyonu kullanılarak iki algoritma için ortalama ve standart değerler hesaplanmış ve 50x50 ve 100x100 boyutlarında ve uzaylarında ilgili algoritmaların karşılaştırılması yapılmıştır. İki algoritma da (Farklı kuvvetlerin toplamı) ölçü fonksiyonunda en iyi değeri göstermektedir. Optimum değere parçacık sürüsü optimizasyonu ile daha hızlı ulaşılsa da iki metod da basit ve kompleks optimizasyon problemlerinin çözümünde etkin performans ve kolay programlanabilirlik avantajları göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Parçacık sürüsü, diferansiyel evrim, optimizasyon, ölçü fonksiyonu.

1. INTRODUCTION

Optimization's aim is to determine the best solution to a problem under a given set of constraints. Mathematically an optimization problem involves a fitness function describing the problem, under a set of constraints representing the solution space for the problem. Because of difficulties in evaluating the first derivatives to locate the optima for many rough and discontinuous optimization surfaces, several derivative free optimization algorithms have emerged [1].

Holland and his colleagues demonstrated Genetic Algorithms (GA) and shown how biological crossovers and mutations of chromosomes can be realized in the algorithm to improve the quality of the solutions over

successive iterations [2]. In 1990s Eberhart and Kennedy proposed an alternative solution to the non-linear optimization problems by considering behaviors of bird flocks and called it as Particle Swarm Optimization (PSO) [3]. Price and Storn took an attempt to replace classical crossover and mutation operators in GA by alternative operators and came up with a differential operator to handle the problem. The algorithm they proposed is called Differential Evolution (DE) [4]. Many application of these algorithms for engineering systems are performed. Some recent studies based on these algorithms can be found elsewhere [5-7]. An aircooling systems optimization is performed by [5], where it is concluded that both PSO and DE algorithms shows higher performance than that of Lagrangian methodology (LM) for a simple optimization problem. Comparative evaluation of both optimization methodologies are also discussed in [6], and [7].

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : hasanozcan@karabuk.edu.tr

PSO and DE algorithms do not require gradient information for the function to be optimized and conceptually simple. These algorithms can be implemented in all programming languages and require minimum parameter tuning. In this work, MATLAB is used as computer language for both parameters and a detailed analysis of algorithms for various benchmark functions are represented [8]. A brief information for the corresponding algorithms and benchmark functions are given in next section.

2. EXPLANATION OF ALGORITHMS

In this section, a brief explanation for DE and PSO is done and benchmark functions which are going to be used for testing these optimization methods are shown with their features.

A. Differential evolution

Differential evolution is a method that optimizes a problem by iteratively trying to improve a candidate solution with regard to a given measure of quality. Such methods are commonly known as metaheuristics as they make few or no assumptions about the problem being optimized and can search very large spaces of candidate solutions. However, metaheuristics such as DE do not guarantee an optimal solution is ever found [9].

DE optimizes a problem by maintaining a population of candidate solutions and creating new candidate solutions by combining existing ones according to its simple formulae, and then keeping whichever candidate solution has the best score or fitness on the optimization problem at hand. In this way the optimization problem is treated as a black box that merely provides a measure of quality given a candidate solution and the gradient is therefore not needed [10]. Stages of differential evolution are briefly given below:

- Initialization
- Fitness evaluation
- Mutation
- Crossover
- Selection

Procedure of the DE algorithm is given as follows [1]:

Input: Randomly initialized position and velocity of the particle $x_i(0)$

Output: Position of the approximate global optima X^*

Begin

Initialize population

Evaluate fitness

For $i=0$ to max iteration do

Begin

Create difference-offspring;

Evaluate fitness

If an offspring is better than its parent

Then replace the parent by offspring in the next generation;

End If;

End for;

End

B. Particle swarm optimization

Particle swarm optimization is a stochastic population-based metaheuristic inspired from swarm intelligence. It mimics the social behavior of natural organisms such as bird flocking and fish schooling to find a place with enough food. Indeed, in some swarms, a coordinated behavior using local movements emerges without any central control. Originally, PSO has been successfully designed for continuous optimization problems. A template of the particle swarm optimization algorithm is as follows [10,11]:

Random initialization of the whole swarm

Repeat

Evaluate $f(x_i)$;

For all particles I

Update velocities (v_i);

Move to new position

If $f(x_i) < f(pbest_i)$ **Then** $pbest_i = x_i$;

If $f(x_i) < f(gbest)$ **Then** $pbest = x_i$;

Update (x_i, v_i)

End For

Until stopping Criteria

C. Parameter settings

Input parameters for testing DE and PSO are given in Table 1. N_p is the population size, used for both algorithms and the dimensionality of the problem n is taken to be equal to the size of the population. F and C_r are mutation constant and crossover rate for DE, respectively. $C1$ and $C2$ represents learning factors for PSO and taken to be equal. NFC is maximum number of function calls for both algorithms. Number of runs per algorithm per function is taken as 30 and applied to both algorithms.

Table 1. Input Parameters

Algorith m	$N_p=n$	F	$C1=C2$	C_r	NFC
DE	50,100	0.5	-	0.9	5000*n
PSO	50,100	-	2	-	5000*n

D. Benchmark functions

In the field of evolutionary computation, it is common to compare different algorithms using a large test set, especially when the test involves function optimization. However, the effectiveness of an algorithm against another algorithm cannot be measured by the number of problems that it solves better. The "no free lunch" theorem shows that, if we compare two searching algorithms with all possible functions, the performance of any two algorithms will be, on average, the same. Table 2

Table 2. Benchmark functions [12]

Function	Definition	Features
F(1) 1 st De Jong	$f_1(x) = \sum_{i=1}^n x_i^2$ $-5.12 \leq x_i \leq 5.12$ $\min(f_1) = f_1(0, \dots, 0) = 0$	Unimodal, scalable, convex, easy function
F(2) Axis Parallel Hyper-Ellipsoid	$f_2(x) = \sum_{i=1}^n ix_i^2$ $-5.12 \leq x_i \leq 5.12$ $\min(f_2) = f_2(0, \dots, 0) = 0$	Unimodal, Scalable, convex, easy function
F(3) Schwefel's Problem	$f_3(x) = \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^n x_j \right)^2$ $-65 \leq x_i \leq 65$ $\min(f_3) = f_3(0, \dots, 0) = 0$	Unimodal, Scalable
F(4) Rosenbrock's Valley	$f_4(x) = \sum_{i=1}^n [100(x_{i+1} - x_i^2) + (1 - x_i)^2]$ $-2 \leq x_i \leq 2$ $\min(f_4) = f_4(0, \dots, 0) = 0$	Banana function, non-convex, unimodal,
F(5) Rastrigin's Function	$f_5(x) = \sum_{i=1}^n (x_i^2 - 10 \cos(2\pi x_i))$ $-5.12 \leq x_i \leq 5.12$ $\min(f_5) = f_5(0, \dots, 0) = 0$	Highly multimodal, location of the minima is regularly distributed
F(6) Griewangk's Function	$f_6(x) = \sum_{i=1}^n \frac{x_i^2}{4000} - \prod_{i=1}^n \cos\left(\frac{x_i}{\sqrt{i}}\right)$ $+ 1$ $-600 \leq x_i \leq 600$ $\min(f_6) = f_6(0, \dots, 0) = 0$	Many regularly distributed local minima and hard to locate global minimum
F(7) Sum of Different Power	$f_7(x) = \sum_{i=1}^n x_i ^{(i+1)}$ $-1 \leq x_i \leq 1$ $\min(f_7) = f_7(0, \dots, 0) = 0$	Unimodal, scalable
F(8) Ackley's Function	$f_8(x) = -20 \exp \left(-0.2 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n}} \right)$ $- \exp \left(\frac{\sum_{i=1}^n \cos(2\pi x_i)}{n} \right) + 20 + e$ $-32 \leq x_i \leq 32$ $\min(f_8) = f_8(0, \dots, 0) = 0$	

shows the benchmark functions for testing DE and PSO with their solution ranges and various features [12].

3. EXPERIMENTAL RESULTS

The Analysis for both 50 and 100 populations are done with MATLAB 7.5.0 programming language on an Intel Core (I5) CPU 520 @2.40 GHz 1.17 GHz computer.

Both DE and PSO codes are integrated in the main algorithm while function files for algorithms and benchmark functions are coded separately. Figures 1-8 represent performance values of corresponding algorithms for a population size and dimensionality of 50 for a 50,000 iteration over 30 runs. Every figure shows the comparison of algorithms for corresponding benchmark function. Figures 9-16 show performance values of DE and PSO for the population size and dimensionality of 100. The elapsed time for 50 and 100 population size is around 33 hours and 60 hours respectively. Since the 3rd benchmark function (Schwefel's Problem) is programmed with a *for loop*, elapsed time for evaluation of this function is almost 4 times more than other functions' time consumptions.

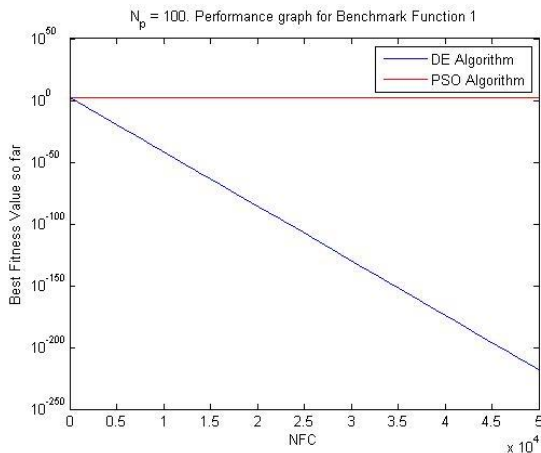


Figure 1. Best fitness value so far for both DE and PSO for function 1 at $N_p=50$.

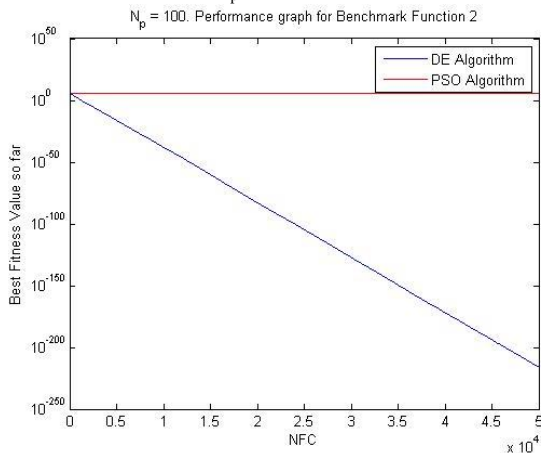


Figure 2. Best fitness value so far for both DE and PSO for function 2 at $N_p=50$.

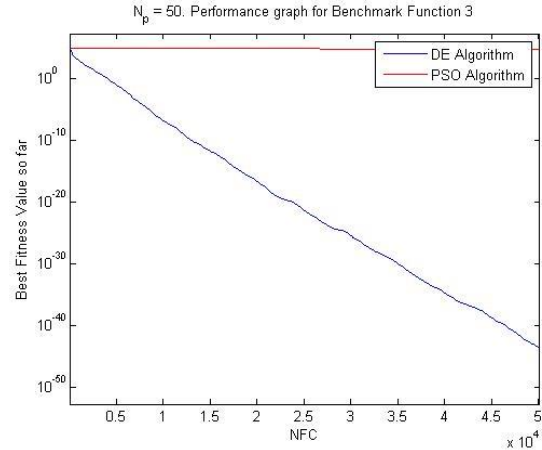


Figure 3. Best fitness value so far for both DE and PSO for function 3 at $N_p=50$.

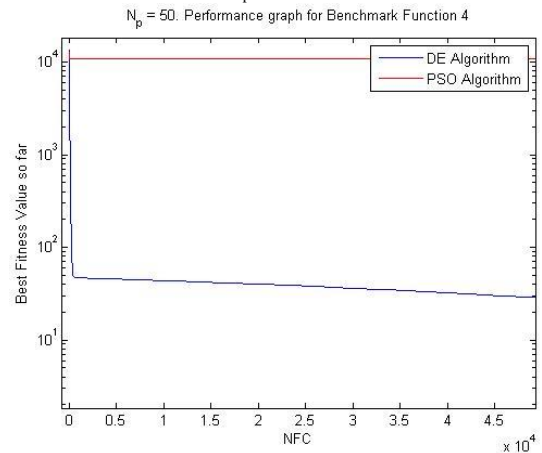


Figure 4. Best fitness value so far for both DE and PSO for function 4 at $N_p=50$.

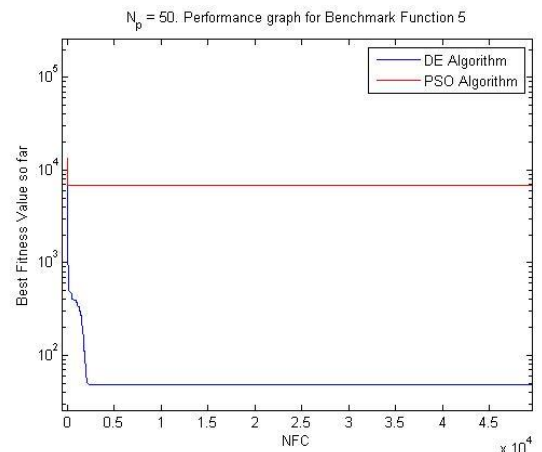


Figure 5. Best fitness value so far for both DE and PSO for function 5 at $N_p=50$.

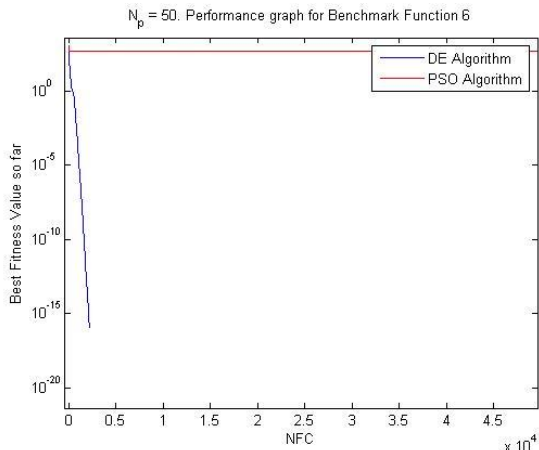


Figure 6. Best fitness value so far for both DE and PSO for function6 at $N_p=50$.

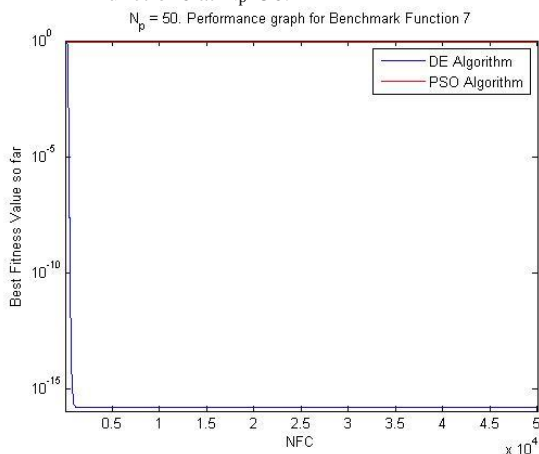


Figure 7. Best fitness value so far for both DE and PSO for function7 at $N_p=50$.

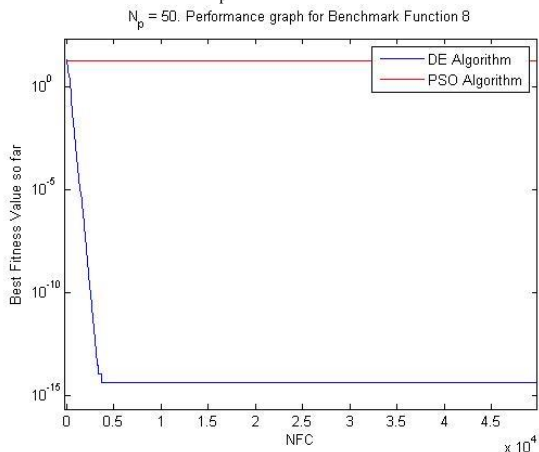


Figure 8. Best fitness value so far for both DE and PSO for function8 at $N_p=50$.

After 2000 iterations we could not gain any results for DE for function 6, however it has given a very close value to zero as 10^{-15} . For almost all functions PSO has found an optimal value after just a few iterations and then did not change. Figures 8-16 show performance values of DE and PSO for the population size and dimensionality of 100 at 100,000 iteration. If more iteration would be implemented to function 3 and 4, better results could be

obtained but also the time span is significantly increasing. Comparison of average and standard values of both algorithms are discussed considering tables 3 and 4.

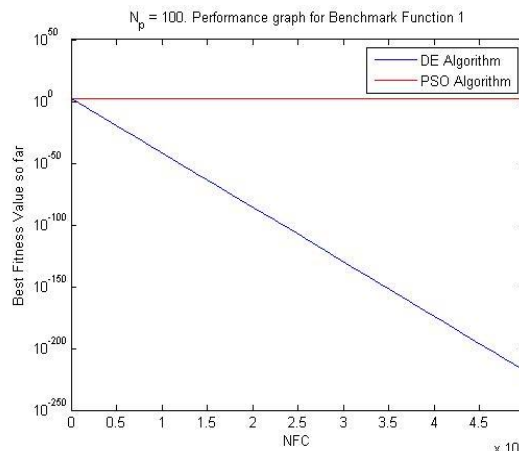


Figure 9. Best fitness value so far for both DE and PSO for function 1 at $N_p=100$

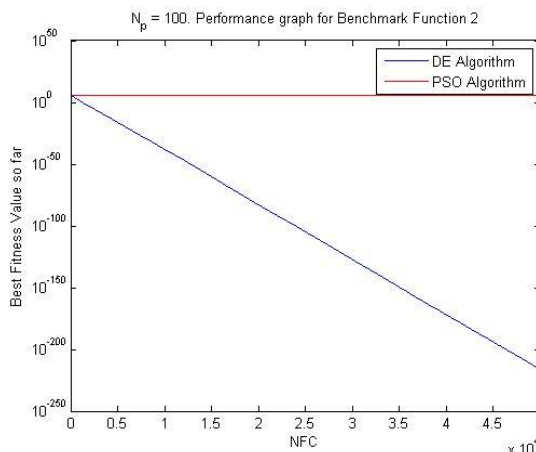


Figure 10. Best fitness value so far for both DE and PSO for function 2 at $N_p=100$

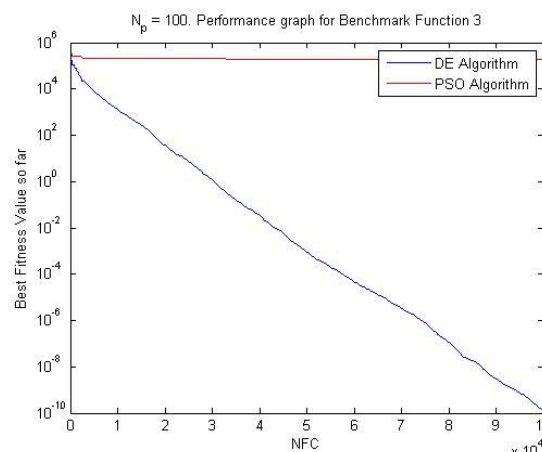


Figure 11. Best fitness value so far for both DE and PSO for function 3 at $N_p=100$

It is clearly seen from the last eight figures (Figs 9-16) that as the the population, dimensionality and iteration numbers are increased best fitness value for function 3

approaches to the desired value after 75,000 iterations. An exact comparison between $N_p=50$ and $N_p=100$ is hard because DE and PSO algorithms create random solutions. If a new evaluation would be assigned to the same software, graphs would not be the same and change as these algorithms are based on approximate algorithms and initiate randomly.

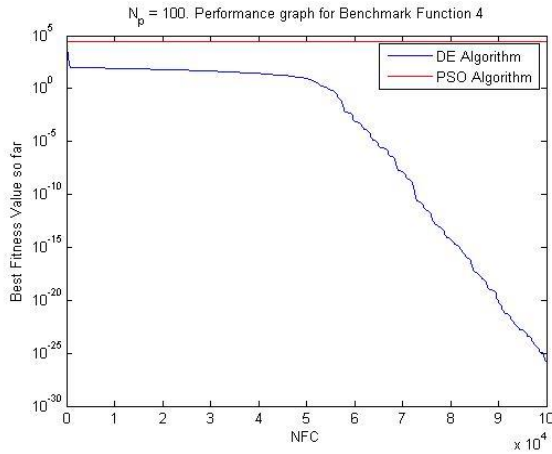


Figure 12. Best fitness value so far for both DE and PSO for function 4 at $N_p=100$.

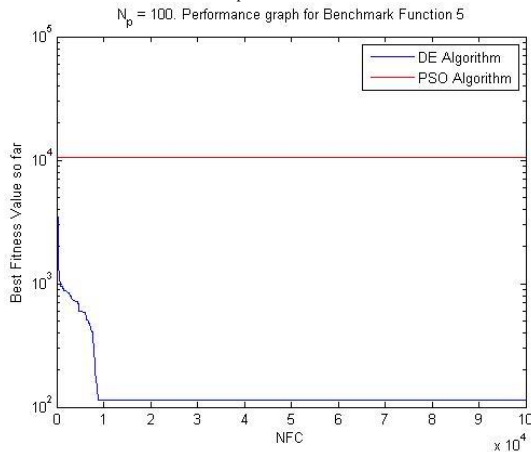


Figure 13. Best fitness value so far for both DE and PSO for function 5 at $N_p=100$.

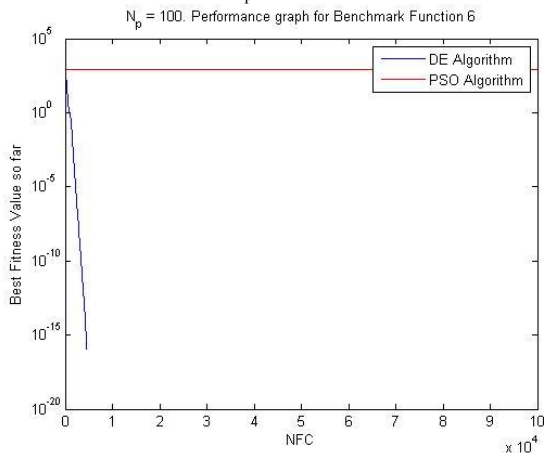


Figure 14. Best fitness value so far for both DE and PSO for function 6 at $N_p=100$.

PSO evaluation stops changing its value after a few iterations just like in $N_p=50$ and 50,000 iterations. Best average and standard values are obtained from function 7 and 8. These benchmark functions are proper functions for testing both algorithms.

Average and standard values of best fitness function for all functions considered are given in table 1. Best fitness values are obtained using functions 1,6,7 and 8 for DE and 7 for PSO. Benchmark function 7 has shown the best performance among other functions for implementation of both algorithms. When increasing the run number of algorithms, Average and standard values are slightly approaching to the desired value. However, as soon as we increase the run number, the time span for the solution increases.

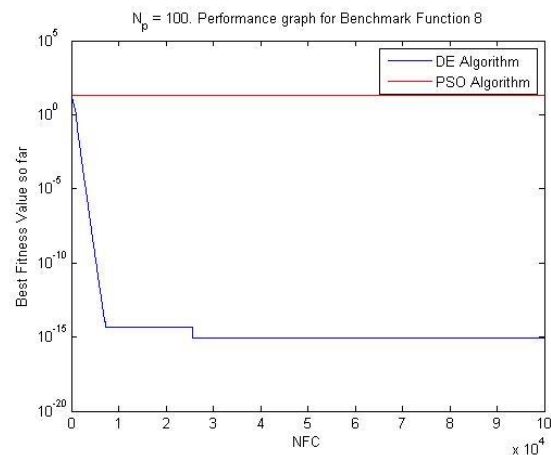


Figure 15. Best fitness value so far for both DE and PSO for function 8 at $N_p=100$.

Comparing $N_p=50$ to $N_p=100$, average values for DE increase at functions 2, 3, 5 and 7; and decrease at functions 1, 4, 6 and 8. Nevertheless standard values increase at functions 1,1,2,3,4,5,6 and 8 and decrease at function 7. When considering the same changes in PSO, average values of PSO increase for all benchmark functions and standar deviation decrease for functions 5,6 and 8. Values of 0 for functions 4 and 7 are due to unchanging evaluation of the PSO algorithm.

Table 3. Avg. and STD. Values OF DE and PSO for all functions at $np=50$

Function s	Avg. DE	Std. DE	Avg. PSO	Std. PSO
f(1)	0.88	10.85	140.02	1.77
f(2)	1061.8 4	12595.1 4	69464.9 3	2450.5 4
f(3)	1825.3 1	9747.53	58474.3 2	1021.9 8
f(4)	114.35	801.11	8438.66	0.00
f(5)	158.88	605.06	4346.03	83.33
f(6)	4.62	53.17	345.95	8.58
f(7)	0.01	0.05	1.11	0.00
f(8)	0.36	2.12	18.19	0.03

Table 4. Avg. and STD. Values OF DE and PSO for all functions at np=100

Functions	Avg. DE	Std. DE	Avg. PSO	Std. PSO
f(1)	0.85	19.30	329.88	1.81
f(2)	1197.68	29694.63	596506.44	2187.51
f(3)	2611.05	15201.29	194284.22	17139.92
f(4)	67.14	886.58	30392.43	0.00
f(5)	190.4	717.06	10568.10	55.09
f(6)	2.60	60.98	849.24	4.17
f(7)	1.17	0.00	1.56	0.00
f(8)	0.08	0.99	19.14	0.01

4. CONCLUSIONS

In this study, a comparison between Differential Evolution and Particle Swarm Optimization algorithms has been studied for various benchmark functions. Following results have been extracted from the analysis:

- Results approach to the desired value as iteration number increases.
- When the number of population and dimensionality increase, process time for the evaluation of both algorithms increase as well, however a slight change in results has been observed.
- Best fitness values obtained from PSO algorithm do not change after a few iterations for most benchmark functions.
- The best average and standard fitness values have been obtained via "Sum of Different Power" test function (Function #7).

It has been concluded that population based metaheuristics are promising optimization methods for large search spaced optimization problems and can be initialized with few input parameters. These algorithms can be implemented to various engineering problems specifically for complex system optimization with various parameters affecting whatsoever parameter under consideration. Approach to the optimum is found to be faster through the PSO method although both methods are flexible to be used for simple and complex engineering problems with high performances with ease of programming.

REFERENCES

- 1) Das S., Abraham A. and Konar A., "Particle swarm optimization and differential evolution algorithms: technical analysis, applications and hybridization perspectives", *Studies in Computational Intelligence*, 116: 1-38, (2008).
- 2) Holland J.H., "Adaptation in natural and artificial systems", *University of Michigan Press*, Ann Arbor, (1975).
- 3) Kennedy J. and Elbehart R., "Particle swarm optimization" in proceedings of *IEEE International Conference on Neural Networks*, 1942-1948, (1995).
- 4) Storn R., and Price K., "Differential evolution – a simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces", *Journal of Global Optimization*, 11(4): 341-359, (1997).
- 5) Ozcan H., Ozdemir K. and Ciloglu H., "Optimum cost of an air cooling system by using differential evolution and particle swarm algorithms", *Energy and Buildings*, 65:93-100, (2013).
- 6) Zhang F., Deb C., Lee S.E., Yang J. and Shah K.W., "Time series forecasting for building energy consumption using weighted Support Vector Regression with differential evolution optimization technique", *Energy and Buildings*, 126: 94-103, (2016).
- 7) Dezelak K., Bracinik P., Höger M. and Otcenasova A., "Comparison between the particle swarm optimisation and differential evolution approaches for the optimal proportional-integral controllers design during photovoltaic power plants modelling", *IET Renewable Power Generation*, 10(4): 522-530, (2016).
- 8) MATLAB Version 7.5.0, The Mathworks Inc., 2007.
- 9) Price K., Storn R.M. and Lampinen J.A., "Differential evolution: a practical approach to global optimization". *Springer*, London, (2005).
- 10) Talbi E.G., "Metaheuristics: from design to implementation", *John Wiley & Sons*, Newyork, (2009).
- 11) Kennedy J., Elbehart R., "Swarm intelligence", *Morgan Kaufmann*, San Francisco, (2001).
- 12) Internet Source: http://www.cs.cmu.edu/afs/cs/project/jair/pub/volume_24/ortiz_boyer_05a-html/node6.html, accessed on May 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>

Yutucu plaka üzerine konik yayların yerleştirildiği güneş enerjili hava kollektörünün bulanık mantık ile modellenmesi

The fuzzy logic modeling of solar air heater having conical springs attached on the absorber plate

Yazar(lar) (Author(s)): Mesut ABUŞKA, Mehmet Bahattin AKGÜL, Volkan ALTINTAŞ

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Abuşka M., Akgül M. B. ve Altıntaş V., “Yutucu plaka üzerine konik yayların yerleştirildiği güneş enerjili hava kollektörünün bulanık mantık ile modellenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 20(4): 907-914, (2017).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.369082

Yutucu Plaka Üzerine Konik Yayların Yerleştirildiği Güneş Enerjili Hava Kolektörünün Bulanık Mantık ile Modellenmesi

Araştırma Makalesi / Research Article

Mesut ABUŞKA¹, Mehmet Bahattin AKGÜL², Volkan ALTINTAŞ³

¹Akhisar Meslek Yüksek Okulu, Makine Bölümü, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Türkiye

²Mühendislik Fakültesi, Makine Müh. Bölümü, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Türkiye

³Akhisar Meslek Yüksek Okulu, Bilgisayar Tek. Bölümü, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 02.10.2016 ; Kabul/Accepted : 26.08.2017)

ÖZ

Güneş enerjili hava kolektörleri (GEHK) genellikle mahal ısıtma ve tarımsal ürünlerin kurutulmasında kullanılmaktadır. GEHK’nde yutucu plaka ve akışkan arasındaki ısı transferinin düşük olmasından dolayı ısı verimleri düşüktür. Bu çalışmada ısı veriminin yükseltilmesine yönelik olarak yeni bir yutucu plaka geometrisi tasarlanmış ve imal edilmiştir. Konik yayların çapraz sıralı olarak monte edildiği yutucu plakalı ve karşılaştırma amaçlı düz yutucu plakalı kolektörlerden ibaret test düzeneği kurulmuştur.

Çapraz sıralı konik yaylarla yüzey alanının, akışkan ile yutucu plaka etkileşiminin ve türbülans etkisinin artırılarak termal verimin yükseltilmesi amaçlanmıştır. Sistemin performansı deneysel olarak test edilmiştir. Deneysel verilerde havanın kolektöre giriş ve çıkış sıcaklıkları, global radyasyon, kolektörden havanın çıkış hızı, yutucu plaka sıcaklıkları, kolektör kasası dış yüzey sıcaklığı ve saydam örtü sıcaklıkları ölçülmüştür. Yapılan ölçümlere dayalı olarak ısı verimi hesaplanmıştır. Elde edilen deneysel verilerle sistemin Bulanık Mantık modeli oluşturulmuş ve üç farklı üyelik fonksiyonuna (Üçgen- Gaussian- Trapez) göre giriş parametrelerine dayalı olarak havanın kolektörden çıkış sıcaklığı ve ısı verim modelenmiştir. Sonuç olarak bulanık mantık ile üçgen üyelik fonksiyonuna göre yapılan modellemenin sıcaklık için % 96, termal verim için ise % 94-95 oranında deneysel verilerle uyumlu olduğu sonucu elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjili hava kolektörü, konik yay, bulanık mantık, modelleme, çıkış sıcaklığı, termal verim.

The Fuzzy Logic Modeling of Solar Air Heater Having Conical Springs Attached on the Absorber Plate

ABSTRACT

Solar air collectors (SAC) are usually used for space heating and drying of agricultural products. In SACs, thermal efficiency is low due to the low heat transfer between the absorber plate and fluid. In this study, a novel absorber plate geometry is designed and manufactured for enhancing the thermal efficiency. A comparative test system consisting of a flat absorber plate with staggered conical springs and a collector with flat absorber plate was established. It is aimed to increase the thermal efficiency by increasing the turbulence effect of the surface area, the interaction between the fluid and the absorber plate with the staggered conical springs. The performance of the systems was tested experimentally. In the experiments, inlet and outlet temperature of the collectors, global radiation, the exit velocity of air from the collectors, the absorber plate temperatures, backside surface temperature and transparent cover temperatures were measured. The thermal efficiency was calculated based on the measurements. Consisting of the fuzzy logic model of the system with the experimental data obtained, the outlet air temperature of the collector and thermal efficiency is modeled based on the input parameters according to three different membership functions (Triangle- Gaussian-Trapeze). As a result, it is concluded that the model based on the triangular membership function with fuzzy logic is 96% for the outlet temperature and 94-95% for the thermal efficiency.

Keywords: Solar air collector, conical spring, fuzzy logic, modeling, outlet temperature, thermal efficiency.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Dünya’da güneş enerjisi kullanımı yaygınlaşmaktadır. Türkiye’de güneş enerjisinden faydalanma genellikle sıcak su hazırlama şeklindedir. Güneş enerjisinin farklı bir faydalanma şekli olan hava ısıtma yönteminin kullanımı da önem kazanmaya başlamıştır. GEHK genellikle mahal ısıtma ve tarımsal ürünlerin kurutulmasında kullanılmak

tadır. Türkiye’nin; ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat (günlük toplam 7,2 saat), ortalama toplam ışınlama şiddeti 1311 kWh/m²-yıl (günlük toplam 3,6 kWh/m²) olmak üzere iyi değerlere sahiptir. Bu çalışmanın icra edildiği Manisa ili için Eylül ayı 4,63 kWh/m² global radyasyon ve 9,26 saat güneşlenme süresi ortalama değerlerine sahiptir [1].

GEHK basit cihazlar olup konvansiyonel bir GEHK iyi izole edilmiş bir kasa, bu kasa içine yerleştirilen bir yutucu plaka ve en üste ise bir saydam örtüden meydana

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : mesut.abuska@cbu.edu.tr

gelir. Hava akımının doğal veya zorlanmış olması durumuna göre de sistemde fan yer alır. Güneş enerjili hava kolektörlerinde yutucu plaka ve hava arasındaki ısı transfer katsayısı düşüktür. Bu nedenle bu kolektörler istenilen ısı verim değerlerinde çalışmamaktadır.

Termal güneş kolektörlerinin performans parametreleri özellikle de çıkış sıcaklığı ve buna bağlı olarak termal verim modellemesi uzun yıllardır araştırılmaktadır. Araştırmacılar açısından modellemelerde en uygun sistem değerlerini makul hassasiyette ve pratiklikte belirlemek önem arz etmektedir. GEHK'nin performansı ışınım, hava sıcaklığı, akışkan debisi gibi başlıca değişkenlere bağlı olup modellenmesi oldukça zordur. Termal sistem mühendisliğinde ana amaç minimum maliyet ve süre ekseninde maksimum sistem verimliliğinin elde edilmesidir. Termal kolektörlerin performans analizleri oldukça karışık olup büyük miktarda bilişim teknolojisi ve zamana ihtiyaç duyulmaktadır.

Literatürde, yutucu plaka ve hava arasındaki ısı taşınım katsayısını artırmak için birçok düzenleme önerilmiştir. Yutucu plaka geometrisinin değiştirilmesi ısı performansı yükseltme metodlarından biridir. Naphon, çift geçişli bir havalı güneş kolektöründe absorber plaka üzerine boyuna doğrultuda kanatçıklar yerleştirilerek ısı verimin değişimini incelemiştir. Çalışmasının sonuçlarına göre kanatçık sayısının ve yüksekliğinin artması ile ısı verimin arttığını belirtmiştir [2]. Hachemi, absorber plaka üzerine kanatçıklar yerleştirilerek ısı performansı deneysel olarak incelemiştir. Hava akışına paralel olarak yerleştirilen kanatçıkların ısı verimi önemli ölçüde artırdığını belirtmiştir [3]. Isı verimi iyileştirmenin diğer bir yolu ise kolektör içerisinde gözenekli yapılar kullanmaktır [4-6]. Aldabbah vd., tek ve çift geçişli güneş enerjili hava kolektörlerinde akışkan yatağı olarak tel örgü yapısını kullanmışlar ve bunun performansını deneysel olarak test etmişlerdir. Tel örgü yapısı ile ısı verimin konvansiyonel yapıdaki düz absorber plakalı güneş kolektörlerine kıyasla önemli bir ölçüde arttığını gözlemlemişlerdir [7]. Çalışmalarda, hava akışına türbülans etkisi verecek engellerin absorber plaka üzerine yerleştirilmesi yoluyla da ısı verimde önemli artışlar sağlandığı belirtilmiştir [8-10]. Esen, güneş enerjili hava kolektöründe absorber plakanın her iki yüzeyine de farklı şekillerdeki engelleri yerleştirilerek enerji ve ekserji analizi yapmıştır. Çalışmasında engellerin şekline göre ısı performansın düz absorber plakalı duruma göre geliştiğini belirtmiştir [11]. Benli, farklı şekillerde absorber plaka yüzeylerine

şahip güneş kolektörünün ısı verimlerini deneysel olarak incelemiştir. Yutucu plaka üzerinde bulunan engellerin artmasıyla ısı transferinin arttığını fakat bunun yanında basınç kayıplarının da önemli ölçüde büyüdüğünü tespit etmiştir [12]. Akpınar vd., çalışmasında dört farklı yutucu plaka tipinin ısı verimini deneysel olarak araştırmışlardır. Yutucu plaka tipi olarak üçgen, yaprak, dikdörtgen engelli ve düz tip yutucu plakalarda en yüksek ısı verim değerinin yaprak tip yutucu plakalı kolektörde tespit etmişlerdir [13]. Gedik vd., zigzag ve düz yutucu plakalı GEHK'ni deneysel olarak enerji ve ekserji analizini yapmışlardır [14]. Altıntaş vd., yutucu plaka üzerine konik yayların yerleştirildiği GEHK'nün ısı verimini ve kolektör çıkış sıcaklığını YSA ile modellemişlerdir [15]. Benli, iki farklı tip güneş enerjili hava kolektörünün ısı verimini deneysel olarak incelemiştir. Çalışmasında ısı verimin tahmini için yapay sinir ağlarını (YSA) kullanmıştır. YSA'nın güneş kolektörlerinin ısı verimini tahmin etmede kullanılabileceğini vurgulamıştır [16]. Esen vd., güneş enerjili bir hava kolektörünün ısı verimini deneysel olarak incelemiş ve sistemin YSA ve dalgacık sinir ağı modelini oluşturmuştur. Çalışmasında YSA'nın ısı verimi yüksek bir hassasiyetle tahmin ettiğini belirtmişlerdir [17]. Abuşka ve Akgül GEHK'nde yutucu plaka üzerine konik yaylar monte ederek sistemin deneysel verilere dayalı olarak ısı transfer analizini yapmışlar ve yutucu plaka üzerindeki konik yayların termal verimi artırdığını belirtmişlerdir [18].

Bu çalışmada ısı verim artışı sağlayacak yeni bir yutucu plaka tasarlanarak imalatı yapılmıştır. Tasarlanan kolektörün ısı verimi ve havanın kolektörden çıkış sıcaklıkları, deneysel veriler baz alınarak bulanık mantık ile modellenerek karşılaştırılmıştır.

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

Bu çalışmada, düz tip yutucu plakalı (Model I) ve düz yutucu plaka üzerine konik yayların monte edildiği (Model II) GEHK'nin deneysel ısı performans incelemesi yapılarak bulanık mantık ile modellenmesi yapılmıştır. Bu amaçla düz yutucu plaka üzerine konik şeklinde yaylar monte edilmiş kolektör ve düz yutucu plakalı kolektörlerden ibaret deney düzeneği kurulmuştur. Kolektörler ana hatları ile kolektör kasası, yutucu plaka, saydam örtü, fan, yardımcı elemanlar ve test cihazlarından oluşmaktadır. Kolektörler aktif tip ve

Çizelge 1. Kolektör teknik özellikleri (Technical specifications of collector)

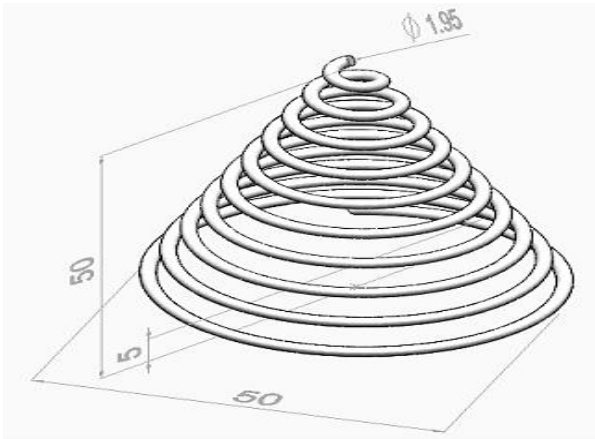
Sistem Elemanları	Teknik Özellikler
Kolektör tipi	Önden, tek geçişli
Kasa	1000x2000x200 mm, 0,8 mm dkp sac
İzolasyon	Taban ve yanlarda 50 mm cam yünü
Yutucu plaka ve boyası	900x1900x0,5 mm, alüminyum Selpa-1A selektif solar boya [19], $\epsilon=0,20-0,49$, $\alpha=0,88-0,94$
Saydam örtü	900x1900x3,2 mm Durasol P ⁺ düşük demirli temperli buzlu cam [20]. $<0,002\% \text{Fe}_2\text{O}_3$, $T_{d65}: \% 92$ ve $T_{sol}: \% 90,7$
Sızdırmazlık	Epdm fitil ve silikon
Fan	2x35 W, 225 m ³ /h, AC 220V, d: 60 mm, l: 300 mm, çapraz akışlı

tek geçişli olarak tasarlanmıştır. Kollektörlerin yutucu plaka geometrisi haricinde tüm özellikleri aynıdır. İmalatı yapılan kollektörlerin teknik özellikleri Çizelge 1.'de verilmiştir. Kollektörlerin izolasyon ve montajı termal kamera yardımı ile test edilmiş ve gerekli iyileştirmeler yapılmıştır. Kurulan deney düzeneği Şekil 2.'de gösterilmiştir.

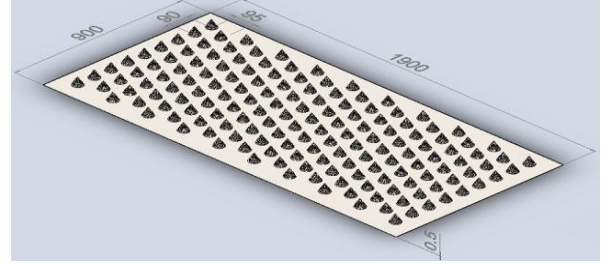


Şekil 2. Deney seti (Experimental setup)

Yutucu plaka, kollektör performansını etkileyen en önemli unsurlardan biridir. Yutucu plaka üzerindeki ısı direnci düşürmek için alüminyum telden imal edilen konik yay şekilli engeller çapraz sıralı olarak yerleştirilmiştir. Böylelikle hem daha fazla yutucu plaka yüzey alanı hem de türbülans etkisinin artırılması amaçlanmıştır. Yapılan yutucu plaka tasarımı ile düz yutucu plaka alanı $1,71 \text{ m}^2$ 'den $2,70 \text{ m}^2$ 'ye çıkarılmıştır. Şekil 3.'de gösterilen bu engeller, 1000 mm uzunluğunda ve 1,95 mm çapındaki alüminyum telden torna tezgâhında çekilerek imal edilmiştir. Yutucu plaka üzerinde toplam 162 adet konik yay engel Şekil 4.'de gösterildiği gibi yerleştirilmiştir. Şekil 5.'de ise yutucu plakanın kollektör içindeki görünümü verilmiştir. Şekil 6.'da ise her iki kollektörün kesit resmi verilmiştir.



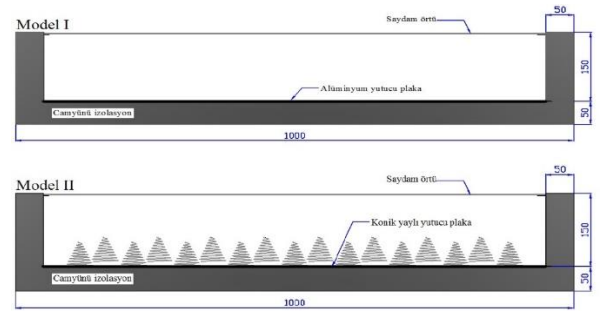
Şekil 3. Konik yay (Conical spring)



Şekil 4. Konik yaylı yutucu plaka (Absorber plate with conical springs)

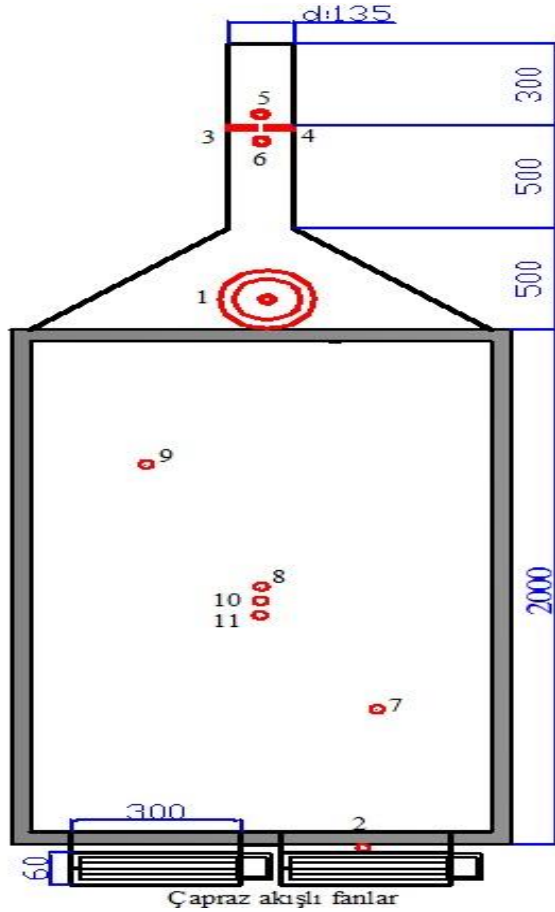


Şekil 5. Konik yaylı yutucu plakalı kollektör resmi (The picture of the collector having conical springs on the absorber plate)



Şekil 6. Kollektörlerin kesit görünüşü (Cross sectional view of collectors)

Deneyler 2014 yılı Eylül ayında $38^\circ 55'$ K ve $27^\circ 50'$ Doğu koordinatlarında olan Akhisar/Manisa'da gerçekleştirilmiştir. Güneş enerjisinin daha verimli kullanımı için güneş ışığının deney sezonu dikkate alınarak kollektör eğimi yaz koşulları için "Enlem-15" prensibince 23° olarak ayarlanmıştır. Deney düzeneğinin kurulumundan sonra sistem açık hava koşulları altında çalıştırılarak gerekli ölçümler yapılmıştır. Deney setindeki ölçüm noktaları Şekil 7.'de verilmiştir. Bu amaçla kollektör girişinden, çıkışından, absorber plaka yüzeyinden, cam örtüden ve kollektör kasasının arka yüzeyinden sıcaklık ölçümü yapılmıştır. Kollektör çıkışında hava hızı ölçümü yapılmıştır. Güneş ışınım değeri kollektör üst bölümünden ölçülmüştür. Veri kaydetme aralığı beş dakika olarak ayarlanmıştır.



Şekil 7. Ölçüm noktaları (Measurement points)

Deney setinde aşağıdaki noktalardan:

1. Global ışınım değeri
2. Kollektör giriş havası sıcaklığı
- 3-4. Havanın Kollektörden ortalama çıkış hızı
 $((V_3 + V_4) / 2)$
- 5-6. Havanın Kollektörden ortalama çıkış sıcaklığı
 $((T_5 + T_6) / 2)$
- 7-8-9. Yutucu plaka ortalama yüzey sıcaklığı
 $((T_7 + T_8 + T_9) / 3)$
10. Cam örtü yüzey sıcaklığı (T_g)
11. Kollektör kasası arka yüzey sıcaklığı (T_{box})

değerleri ölçülmüştür. Testler 9:00'da başlamış ve 17:00'de sonlandırılmıştır.

Deneylerde kullanılan test cihazlarının kontrolü uygulamalı olarak kapalı ortamda yapılmıştır. Hava hızı ölçümünde, çıkış hava kanalına iki adet hotwire tip anemometre yerleştirilmiş ve bunların ortalaması hava hızı olarak alınmıştır. Kollektör giriş sıcaklığı için T tipi ısı çifti kullanılmıştır. Kollektör çıkış hava sıcaklığı ölçümünde, çıkış kanalına iki adet T tipi ısı çifti monte edilerek ölçümlerin ortalaması alınmıştır. Global radyasyon miktarı ölçümü için piranometre kullanılmıştır. Saydam örtünün geometrik ortasına PT1000 tipi yüzey sıcaklık probu monte edilerek sıcaklık

ölçülmüştür. Kollektör kasasının arka yüzeyinin geometrik ortasına PT1000 tipi yüzey sıcaklık probu monte edilerek sıcaklık ölçülmüştür. Yutucu plaka çapraz köşegeni üzerinden üç noktadan T tipi ısı çifti monte edilerek sıcaklık ölçümü yapılmıştır. Deneylerde Comet MS6D-16 kanallı universal ve Comet SO141-4 kanallı sıcaklık veri kayıt ve online izleme cihazı kullanılmıştır. Yapılan ölçüm verileriyle kütleli debi ve ısı verim hesaplamaları yapılmıştır. Kütleli debi ve ısı verime dair toplam belirsizlik analizi değerleri sırasıyla %2,4 ve %1,05 bulunmuştur. Kullanılan test cihazlarının belirsizlik analizi Eşitlik 1 ile belirlenmiştir [21].

$$W_R = \sqrt{[(x_1)^2 + (x_2)^2 + \dots + (x_n)^2]} \quad (1)$$

3. ISIL VERİM ANALİZİ (THERMAL EFFICIENCY ANALYSIS)

Güneş enerjili hava kolektöründe faydalı enerji, kolektörden geçen akışkanın giriş ve çıkış sıcaklığına bağlı olarak,

$$Q_u = \dot{m} c_p (T_o - T_i) \quad (2)$$

şeklinde hesaplanır. Burada \dot{m} , kolektörden geçen havanın kütleli debisi (kg/s), c_p havanın özgül ısıdır (J/kgK), T_i ve T_o sırasıyla kolektör hava giriş ve çıkış sıcaklıklarıdır (°C). Kollektörden geçen havanın kütleli debisi ise,

$$\dot{m} = \rho A_k V \quad (3)$$

şeklinde hesaplanır. Burada ρ havanın yoğunluğu (kg/m³), V hava akış hızı (m/s), A_k ise kolektörün çıkış kesit alanı (m²)'dir. Termodinamiğin I. kanunundan faydalanarak kolektörün ısı verimi

$$\eta = \frac{Q_u}{I A_c} \quad (4)$$

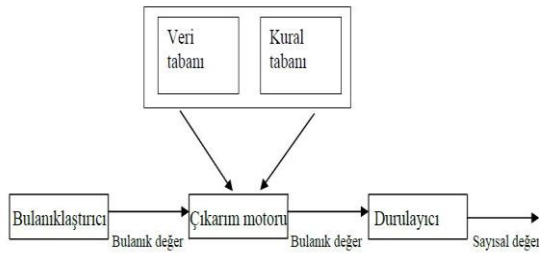
şeklinde belirlenir. Burada, η ısı verimi, I kolektör yüzeyine gelen güneş ışınımı (W/m²), A_c ise güneş ışınımının direkt olarak gördüğü yutucu plaka yüzey alanıdır (m²).

4. BULANIK MANTIK İLE MODELLEME (MODELLING WITH FUZZY LOGIC)

Bulanık mantık, insan bilgi ve tecrübelerinden faydalanarak, bu bilgileri kural tabanlı halde işleyip her bir kural tabanının belirli bir matematik fonksiyona denk gelecek şekilde sonuç elde edilmesidir. Bulanık mantık ile modelleme, çoklu değerlendirme olması sebebiyle modellenen problemin çözülmesinde gerçeğe yakınlık gibi avantajlara sahiptir. İkili sistem de ise karışık problemlere çözüm üretmek kolay olmamaktadır. Problemlere ikili sistemde sadece 0 ve 1 şeklinde çözüm bulma çalışmaları, bulanık mantıkta ara değerler girilerek ortadan kalkmaktadır. Bulanık mantık günlük hayatta kullanılan terimleri, bir probleme uygulanması daha kolaydır. "Az", "Çok", "Normal" vb. kelimeleri ikili sistemde tanımlamak ve problemin çözümü için bir model oluşturmak zordur. Bulanık mantıkta bu ifadeler

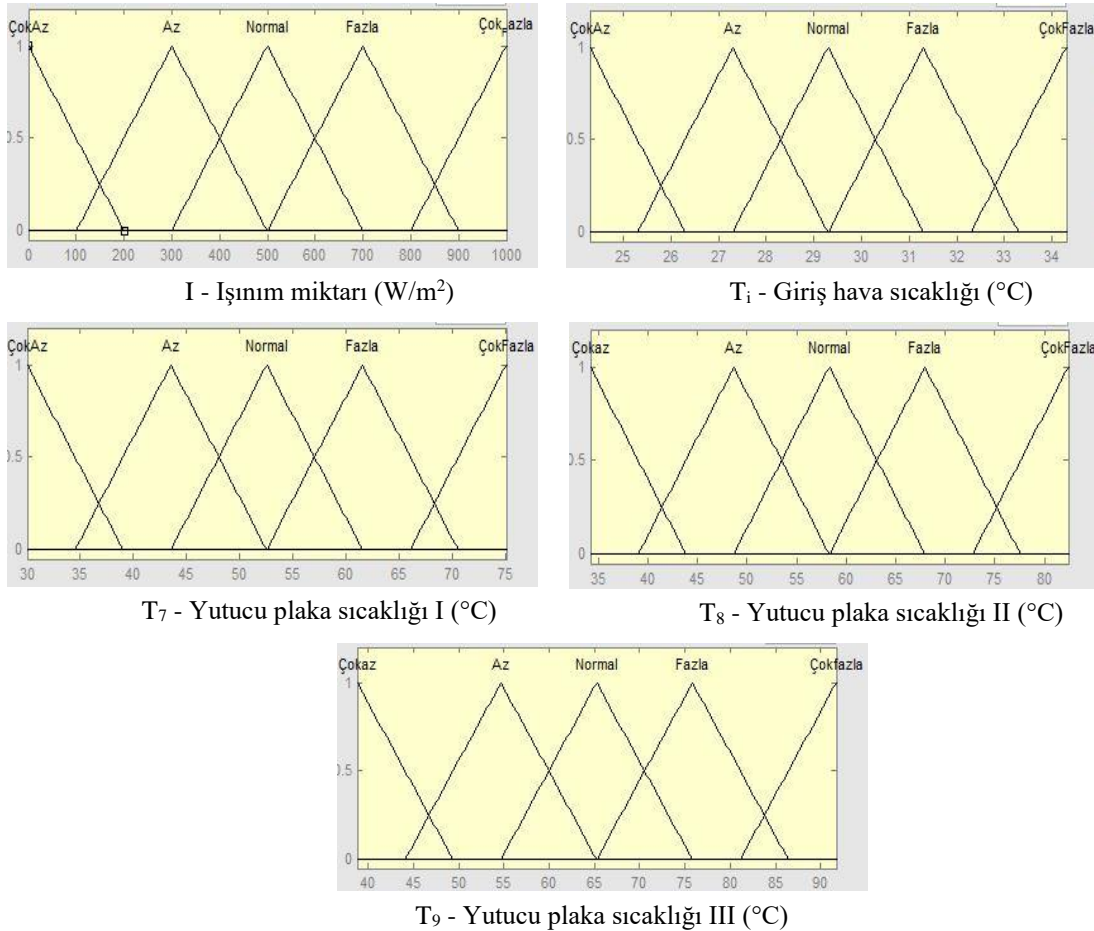
rahatlıkla tanımlanabilmektedir. Bu üstünlükleri dolayısıyla bulanık mantık problemlerin modellenmesinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Bulanık mantığın ilk aşaması problemin tanımlanması ve probleme göre uygun parametrelerin belirlenerek üyelik fonksiyonlarını oluşturmaktadır. Üyelik fonksiyonların oluşturulmasının ardından problemin çözümünü içeren kurallar Çizelgesi oluşturulmaktadır. Daha sonra ise çıkarım yöntemleri belirlenir [22]. En son aşama da ise bulanık mantık modellemesi ile oluşan bulanık sayıların klasik sayılara dönüştürme metodu belirlenir. Bulanık mantık sisteminin çalışma prensibi Şekil 8.'de gösterilmektedir [23].



Şekil 8. Bulanık mantık çalışma prensibi (Fuzzy logic operation principle)

Bu çalışmadaki modelleme düz yutucu plakalı ve konik yaylı yutucu plakalı GEHK için radyasyon miktarı, giriş hava sıcaklığı ve yutucu plaka yüzey sıcaklık değerleri kullanılmıştır. Bulanık mantık kontrol sistemi bulanıklaştırma, berraklaştırma ve çıkarım ünitelerinden oluşmaktadır. Modellemede, radyasyon miktarı 315 ile 972 W/m² arasında, giriş hava sıcaklığı 24,3 ile 34,3°C değerleri arası, yutucu plaka yüzey sıcaklığı olarak üç noktadan sıcaklık değerleri alınmıştır. Birinci yutucu plaka yüzey sıcaklığı 30 ile 75,1°C, ikinci yutucu plaka yüzey sıcaklığı olarak 34,2 ile 82,4°C ve üçüncü yutucu plaka yüzey sıcaklığı olarak 38,8 ile 91,7°C değerleri arasındaki değerler alınmıştır. Bulanık mantık kütüphanesinde birçok üyelik fonksiyonu bulunmaktadır. GEHK sisteminde güneş ışınımı ve sıcaklık değerlerinin gün içindeki değişim eğrisi dikkate alındığında yarım sinüsoidal bir değişim göstermektedir. Bu durum dikkate alındığında mevcut üyelik fonksiyonlarından üçgen, trapez ve gaussian tip üyelik fonksiyonları mevcut sistem parametrelerine uygunluk arz etmektedir. Bu üç tip üyelik fonksiyonu ile yapılan modellemeler sonucunda en uygun tahmin hassasiyetini üçgen tip üyelik fonksiyonu vermiştir. Oluşturulan üyelik fonksiyonları Şekil 9.'da gösterilmektedir.



Şekil 9. Üçgen tip üyelik fonksiyonları (Triangular type membership functions)

Üyelik fonksiyon sayısı, uygulanan deney ortamındaki giriş ve çıkış olarak kullanılabilir parametrelerden oluşmaktadır. Üyelik fonksiyonlarındaki değer aralıkları az, çok az, normal, fazla ve çok fazla şeklinde ayrılmıştır. Bu işlem her bir üyelik fonksiyonu için gün içindeki değişimleri dikkate alınarak belirlenmiştir.

Uygulamada üyelik fonksiyonları oluşturulduktan sonra kural Çizelgesi oluşturulmuştur. Kural Çizelgesi, gerçek deney sonuçlarında bulunan giriş parametrelerinin değişim karakteristiklerine göre oluşturulmuştur. Düz ve konik yaylı yutucu plaka için oluşturulan kurallar Çizelgesi her biri için ayrı olarak 72 adet kuraldan oluşmaktadır. Modellenen sistemde çıkış sıcaklığı ve verim tahmin edilmeye çalışılmıştır. Uygulama, Matlab R2013a paket programının Fuzzy uygulaması kullanılarak modellenmiştir. Üyelik fonksiyonlarında “ÇokAz”, “Az”, “Normal”, “Fazla”, “ÇokFazla” tanımlamalarının sayısal değerleri gösterilmiştir. Kural Çizelgesundan örneklem Çizelge 2.’de gösterilmektedir.

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Bu çalışmada, düz yutucu plakalı ve yutucu plaka üzerine konik yayların yerleştirildiği hava kollektörlerinin ısı performansını deneysel olarak incelenerek ısı verimi ve kollektör çıkış havası sıcaklığı Bulanık Mantıkla üç farklı üyelik fonksiyonu olan üçgen, trapez ve gaussian tip ile modellenmiştir. Modellemelere ait özet veri Çizelgesi Çizelge 3.’de verilmiştir. Şekil 10.’da düz yutucu plakalı kollektörün çıkış sıcaklık değeri ve tahmin edilen sıcaklık değerleri gösterilmiştir.

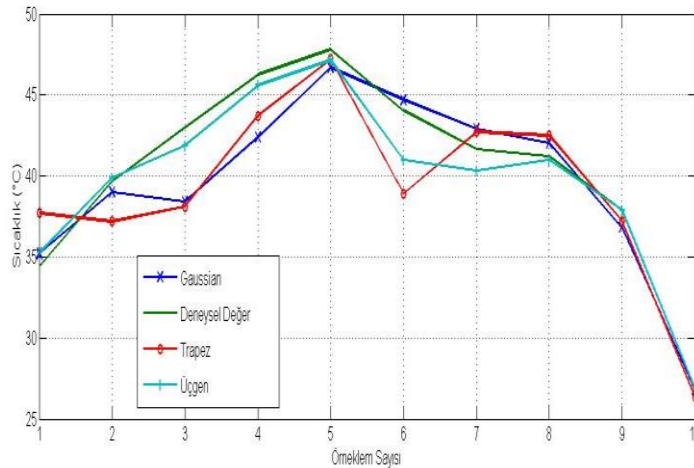
Düz yutucu plakalı kollektör için yapılan çıkış sıcaklık modellemesinde en yakın tahminleme üçgen tip üyelik fonksiyonu ile elde edilmiştir. Modelleme hassasiyeti R^2 yöntemine göre; üçgen tipte %96, gaussian tipte %91 ve trapez tipte %87 oranında elde edilmiştir. Şekil 11.’de düz yutucu plakalı kollektörün ısı verim değeri ve tahmin edilen ısı verim değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 2. Bulanık mantık kural Çizelgesundan örneklem (Samples from the fuzzy rule table)

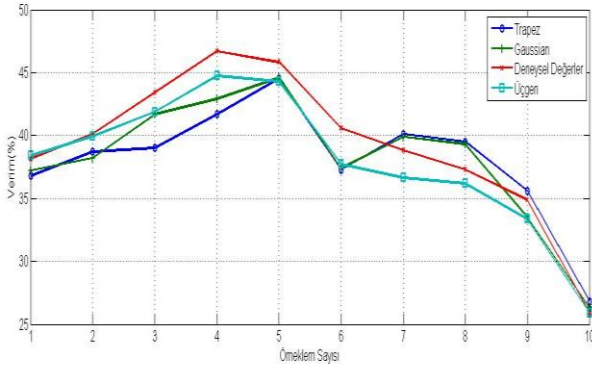
I (W/m ²)	T _i (°C)	Y. Plaka I (°C)	Y. Plaka II (°C)	Y. Plaka III (°C)	T _o (°C)	η (%)
ÇokAz	ÇokAz	ÇokAz	ÇokAz	ÇokAz	ÇokAz	ÇokAz
Normal	Normal	Az	Normal	Az	Normal	Az
Fazla	Fazla	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
Fazla	Fazla	Normal	Fazla	Fazla	Normal	Normal
ÇokFazla	Fazla	Fazla	Fazla	Fazla	Fazla	Fazla
Fazla	ÇokFazla	Fazla	Fazla	Fazla	Fazla	Normal
ÇokFazla	ÇokFazla	ÇokFazla	ÇokFazla	Fazla	ÇokFazla	ÇokFazla

Çizelge 3. Modelleme veri Çizelgesi (Modeling data table)

Üyelik Fonksiyonu	Modelleme Hassasiyeti			
	Düz Yutucu Plaka için		Konik Yaylı Plaka için	
	Çıkış Sıcaklığı (%)	Termal Verim (%)	Çıkış Sıcaklığı (%)	Termal Verim (%)
Üçgen	96	94	96	95
Gaussian	91	91	92	91
Trapez	87	85	89	88

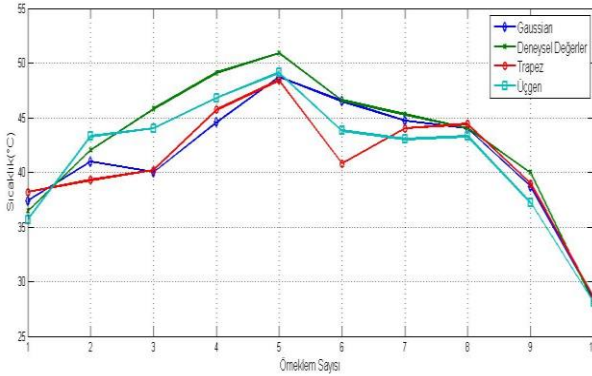


Şekil 10. Düz yutucu plakalı kollektör için çıkış havası sıcaklık grafiği (Outlet air temperature graph for flat plate collector)



Şekil 11. Düz yutucu plakalı kolektör için ısı verim grafiği (Thermal efficiency graph for flat plate collector)

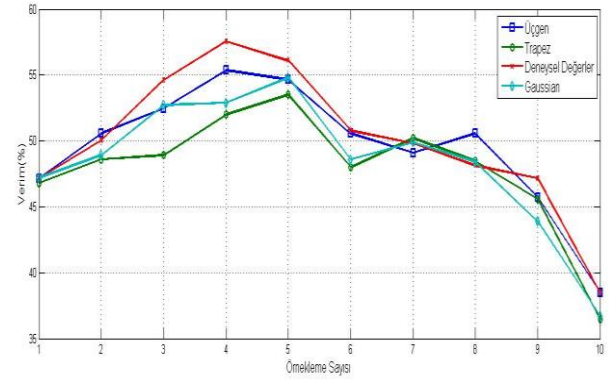
Düz yutucu plakalı kolektör için yapılan termal verim modellemesinde en yakın tahminleme yine üçgen tip üyelik fonksiyonu ile elde edilmiştir. Modelleme hassasiyeti R^2 yöntemine göre; üçgen tipte %94, gaussian tipte %91 ve trapez tipte %85 oranında elde edilmiştir. Şekil 12.'de konik yay yerleştirilmiş yutucu plakalı kolektörün çıkış sıcaklık değeri ve tahmin edilen sıcaklık değerleri gösterilmiştir.



Şekil 12. Konik yaylı kolektör için çıkış havası sıcaklık grafiği (Outlet air temperature graph for collector with conical springs)

Konik yaylı düz yutucu plakalı kolektör için yapılan çıkış sıcaklık modellemesinde en yakın tahminleme üçgen tip üyelik fonksiyonu ile elde edilmiştir. Modelleme hassasiyeti R^2 yöntemine göre; üçgen tipte %96, gaussian tipte %92 ve trapez tipte %89 oranında elde edilmiştir. Şekil 13.'de konik yay yerleştirilmiş yutucu plakalı kolektörün ısı verim değeri ve tahmin edilen ısı verim değerleri gösterilmiştir.

Konik yaylı yutucu plakalı kolektör için yapılan termal verim modellemesinde en yakın tahminleme üçgen tip üyelik fonksiyonu ile elde edilmiştir. Modelleme hassasiyeti R^2 yöntemine göre; üçgen tipte %95, gaussian tipte %91 ve trapez tipte %88 oranında elde edilmiştir.



Şekil 13. Konik yaylı kolektör için ısı verim grafiği (Thermal efficiency graph for the collector with conical springs)

Üçgen, gaussian ve trapez üyelik fonksiyonlarının tahminleme hassasiyetlerini dikkate aldığımızda belirgin farklar ortaya çıkmıştır. Yapılan modellemeler sonucunda üyelik fonksiyonları arasında üçgen tip üyelik fonksiyonu diğer tiplere göre daha iyi tahminleme yaptığı belirlenmiştir. Tahmin grafiklerindeki sapmaların güneş ışınımı ve hava hızındaki (bulutlanma ve rüzgâr hızı kaynaklı) anlık değişimler ve dalgalanmalardan kaynaklandığı söylenebilir.

6. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada termal verimin artırılmasına yönelik olarak düz yutucu plaka üzerine konik yayların çapraz sıralı olarak yerleştirildiği yeni bir yutucu plaka tasarlanmış ve deneysel olarak test edilmiştir. Çalışmada karşılaştırma amaçlı olarak düz yutucu plakalı kolektör kullanılmıştır. Çapraz sıralı konik şekilli yayların kullanılmasıyla yüzey alanını ve türbülans etkisinin artırılmasına karşın basınç kaybının göreceli olarak minimize edilmesi amaçlanmıştır.

Kolektör çıkış sıcaklığı ve termal verim modellemesi Bulanık Mantık ile gerçekleştirilmiştir. Bulanık mantık modellemesinde üçgen, trapez ve gaussian tip üyelik fonksiyonları kullanılmıştır. Yapılan modellemelerde düz yutucu plakalı kolektöründe üçgen, gaussian ve trapez tip üyelik fonksiyonları için sırasıyla çıkış sıcaklığı için %96, %91 ve %87, termal verim için %94, %91 ve %85 hassasiyette deneysel verilere uygun tahmin yaptığı belirlenmiştir. Modellemelerde konik yaylı yutucu plakalı kolektörde üçgen, gaussian ve trapez tip üyelik fonksiyonları için sırasıyla çıkış sıcaklığı için %96, %92 ve %89, termal verim için %95, %91 ve %88 hassasiyette deneysel verilere uygun tahmin yaptığı tespit edilmiştir.

Yutucu plaka üzerine konik yayların yerleştirildiği güneş enerjili hava kolektörünün bulanık mantık-üçgen üyelik fonksiyonu ile başarılı bir şekilde modellenebileceği görülmüştür.

Benzer çalışmalarda termal açıdan kollektör kanal için farklı kanal yükseklikleri, doğal konveksiyon koşulları, farklı plaka malzemesi gibi hususlar incelenebilir. Modelleme açısından ise çıkış sıcaklığı ve termal verim modellemesi farklı yapay zekâ teknikleri (Yapay Sinir Ağları ve Genetik Algoritmalar gibi) ve Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği yazılımları ile yapılarak tahmin hassasiyetleri karşılaştırılarak kullanılabilirlikleri elde edilebilir. Ayrıca giriş parametre sayılarındaki değişimlerin modellemeye etkisi incelenebilir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

2013-024 numaralı projeye vermiş oldukları destekten dolayı Celal Bayar Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- [1] www.eiei.gov.tr, “Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası”, (2007).
- [2] Naphon P., “On the performance and entropy generation of the double-pass solar air heater with longitudinal fins”, *Renewable Energy*, 30: 1345–1357, (2005).
- [3] Hachemi A., “Experimental study of thermal performance of offset rectangular plate fin absorber-plates”, *Renewable Energy*, 17(3): 371–384, (1999).
- [4] Omojaro A.P. and Aldabbagh L.B.Y., “Experimental performance of single and double pass solar air heater with fins and steel wire mesh as absorber”, *Applied Energy*, 87 3759–3765, (2010).
- [5] Ramadan M.R.I., El-Sebaï A.A., Aboul-Enein S. and El-Bialy E., “Thermal performance of a packed bed double-pass solar air heater”, *Energy*, 32: 1524–1535, (2007).
- [6] El-Sebaï A.A., Aboul-Enein S., Ramadan M.R.I. and El-Bialy E., “Year round performance of double pass solar air heater with packed bed”, *Energy Conversion and Management*, 48: 990–1003, (2007).
- [7] Aldabbagh L.B.Y., Egelioglu F. and Ikan M., “Single and double pass solar air heaters with wire mesh as packing bed”, *Energy*, 35, 3783–3787, (2010).
- [8] Zaid A.A., Messaoudi H., Abenne A., Ray M.L., Desmons J.Y. and Abed B., “Experimental study of thermal performance improvement of a solar air flat plate collector through the use of obstacles: application for the drying of yellow onion”. *International Journal of Energy Research*, 23(12): 1083–1099, (1999).
- [9] Ozgen F., Esen M. and Esen H., “Experimental investigation of thermal performance of a double-flow solar air heater having aluminium cans”, *Renewable Energy*, 34(11): 2391–2398, (2009).
- [10] Abene A., Dubois V., Leray M. and Ouagued A., “Study of a solar air flat plate collector use of obstacles and application for the drying of grape”, *Journal of Food Engineering*, 65: 15–22, (2004).
- [11] Esen H., “Experimental energy and exergy analysis of a double-flow solar air heater having different obstacles on absorber plates”, *Building and Environment*, 43: 1046–1054, (2008).
- [12] Benli H., “Experimentally derived efficiency and exergy analysis of a new solar air heater having different surface shapes”, *Renewable Energy*, 50: 58–67, (2013).
- [13] Akpınar E.K. and Koçyiğit F., “Experimental investigation of thermal performance of solar air heater having different obstacles on absorber plates”, *Int. Com. In Heat and Mass Transfer*, 37: 416-421, (2013).
- [14] Gedik E., Keçebaş A. and Öz E.S., “Havalı güneş kollektörlerinde farklı tip emici plakaların performansına olan etkisi”, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 23(4): 777-784, (2008).
- [15] Altıntaş V., Akgül M.B. ve Abuşka M., "Yutucu plaka üzerine konik yayların yerleştirildiği güneş enerjili hava kollektörünün ısıl verim analizi ve yapay sinir ağları ile modellenmesi" *12. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir, 1807-1816, (2015).
- [16] Benli H., “Determination of thermal performance calculation of two different types solar air collectors with the use of ANN”, *Int. Jo. of Heat and Mass Transfer*, 60: 1-7, (2013).
- [17] Esen H., Özgen F., Esen M. and Sengur A., “Artificial neural network and wavelet neural network approaches for modelling of a solar air heater”, *Expert System with Applications*, 36: 11240-11248, (2009).
- [18] Abuşka M. and Akgül M.B., “Experimental study on thermal performance of a novel solar air collector having conical springs on absorber plate”, *Arabian J. Sci Eng.*, 41(11): 4509-4516, (2016).
- [19] <http://www.solec.org/wp-content/uploads/2014/02/SOLKOTEBrochure.pdf>
- [20] <http://www.sisecamduzcam.com/sites/catalogs/tr/Documents/gunes-kolektor-camlari-dokumanlari/gunes-enerjisi-camlari-brosuru.pdf>
- [21] Holman J.P., “*Experimental Methods for Engineers*”, McGraw-Hill Book Company, Singapore, (1994).
- [22] Şen Z., “*Bulanık Mantık ve Modelleme İlkeleri*”, Bilge Kültür Sanat Yayınevi, İstanbul, (2001).
- [23] Ross T., “*Fuzzy Logic with Engineering Applications*”, McGraw-Hill Inc., (1995).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

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

Comparative thermodynamic assessment of various super- and trans-critical working fluids for low temperature power generation applications

Yazar(lar) (Author(s)): Hasan OZCAN, Sertac Samed SEYITOGLU

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Ozcan H. and Seyitoglu S. S., “Comparative thermodynamic assessment of various super- and trans-critical working fluids for low temperature power generation applications”, *Politeknik Dergisi*, 20(4): 915-921, (2017).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.369087

Comparative Thermodynamic Assessment of Various Super- and Trans-Critical Working Fluids for Low Temperature Power Generation Applications

Araştırma Makalesi / Research Article

Hasan OZCAN^{1*}, Sertac Samed SEYITOGLU²

¹ Karabuk University, Engineering Faculty, Department of Mechanical Engineering, Karabuk, 78050, Turkey

² Hitit University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Corum, 19030, Turkey

(Geliş/Received : 04.10.2016 ; Kabul/Accepted : 11.11.2016)

ABSTRACT

Recently, energy need is exponentially increasing in the world while energy sources are decreasing rapidly. Therefore, this issue requires energy sources to be used more efficiently and urges professionals to utilize energy from low temperature energy sources such as waste heat and low temperature renewable sources. In this study, energy and exergy analyses of several clean working fluids are comparatively studied in several organic Rankine cycle configurations. CO₂, N₂O, and SF₆ fluids are compared with the conventional R23 in three ORC configurations, namely the basic ORC cycle, regenerative ORC cycle, and reheat and regenerative ORC cycle, respectively. Effects of various selected system and environmental parameters on the system performances are comprehensively investigated. Even though R23 shows the best energy and exergy performances than those of other investigated working fluids at low-temperature applications, N₂O and CO₂ provide a clean solution to high GWP (global warming potential) R23 with similar performance characteristics at low and high temperature power generation applications.

Keywords: Organic rankine cycle, energy, exergy, R23, CO₂, N₂O, SF₆.

ÖZ

Son zamanlarda, enerji ihtiyacı dünyada katlanarak artarken enerji kaynakları hızla azalmaktadır. Bu yüzden, bu konu enerji kaynaklarının daha verimli kullanılması ve uzmanları atık ısı ve düşük sıcaklık yenilenebilir enerji kaynakları gibi düşük sıcaklık kaynaklarının kullanmalarını gerektirir. Bu çalışmada, birbirinden farklı temiz akışkanların enerji ve ekserji analizleri farklı organik Rankine çevrim konfigürasyonlarında karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. CO₂, N₂O ve SF₆ akışkanları geleneksel R23 akışkanı ile sırasıyla temel organik Rankine çevrimi, ara buhar almalı organik Rankine çevrimi ve ara ısıtmalı- ara buhar almalı organik Rankine çevrimlerinde karşılaştırılmıştır. Çeşitli seçilmiş sistemlerin ve çevresel parametrelerin sistem performanslarına etkileri kapsamlı olarak incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Organik rankine çevrimi, enerji, ekserji, R23, CO₂, N₂O, SF₆.

1. INTRODUCTION

Nowadays, need of energy is increasing, however energy sources are decreasing rapidly. This situation requires energy sources used more efficiently. Most of the power producing plants works according to the Rankine cycle. Obtaining power from the sources at low temperature is getting important lately, and hence, instead of steam, fluids that supply high steam pressure at the same heating rate can be used. Organic Rankine cycle (ORC) compared to traditional power systems have the potential to work at lower temperature related to the working fluid used. Here, heat is generally supplied from outside such as industrial waste heat [1-3], solar energy [4-6] and geothermal and SOFC exhaust energy [7-11].

ORC has four main components [12]; these are pump, evaporator, turbine and condenser. Various fluids are used depending on the working conditions and different source temperatures in the ORC. Regeneration can be used to increase the efficiency of ORC, where ORC has an additional heat exchanger to provide heat transfer before the evaporator. This heat exchanger is used

between the hot fluid from turbine and the cold fluid from the pump. Thanks to heat exchanger, cold fluid enters the pump warmer. As a consequence, less energy is needed and system efficiency is increased. In ORC, as another method for increasing efficiency, fluid works on critical point. During the cycle before pressured again it expand in turbine, cools and condense and then reach low pressure zone. The fluid comes to low pressure zone, here its pressure increases and reach supercritical point. There is not a constant temperature in supercritical ORC systems since there is a not a constant pressure during the heating of the working fluid [13].

Many studies have been performed for ORC systems with trans-critical and supercritical fluids. Hung [14] examined the effect of wasted heat of ORC. In this study, he used benzene, toluene, p-Xylene, R 113 and R123. As a result, he has shown that irreversibility depends on heat sources. R113 and R123 have high performance in low temperature while p-Xylene has low irreversibility in high temperature. Chen et al. [15] have compared the CO₂ trans-critical power cycle with ORC system using R123. As a result, a trans-critical CO₂ power system supply higher power output than the ORC using R123.

Mago et al. [16] have contrasted a regenerative ORC with

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : hasanozcan@karabuk.edu.tr

the basic ORC. They have used the dry organic working fluids such as R 113, R 245 ca, R123 and isobutene in their study. As a result, they have showed regenerative ORCs have a higher thermal efficiency than the basic ORC. Gang et al. [17] have analyzed low temperature solar thermal electric generation using regenerative organic Rankine cycle. The results show that the maximum regenerative ORC efficiency is higher than that without the regenerative cycle.

Xu and Liu [18] proposed a new design method for supercritical ORCs. They used R218, R134a and R236fa as fluids for utilization of flue gases available at 150°C. As a result, the maximum cycle efficiencies of R236fa and R134a are higher than that of R218, having the lowest critical temperature. Yin et al. [19] investigated super-critical/trans-critical thermodynamic cycles using mixtures of SF₆-CO₂ as fluids. As a result, if the inlet pressure of pump higher than critical, the cycle efficiency decreases with increases SF₆ fraction.

Meinel et al. [20] considered a two stage ORC with domestic heat recovery. They are compared to the regenerative pre-heating design with state of the art cycles. Astolfi et al. [21] investigated thermodynamic analysis and optimization of different ORC cycle types such as subcritical and trans-critical. Maraver et al. [22] evaluated the thermodynamic optimization of organic Rankine cycle for power generation. Their study is supply the optimization of operating conditions for different type cycles such as subcritical and trans-critical. They used R134a, R245fa, Solkatherm, n-Pentane, Octamethyltrisiloxane and Toluene as fluids in their study. The results show that the critical temperature of working fluids is much higher than the temperature of the heat source cause low vapor densities while the critical temperature of working fluids is lower than the heat source temperature cause low thermodynamic performance. Braimakis et al. [23] investigated subcritical ORC system and supercritical ORC system using five natural refrigerants for a waste heat recovery organic Rankine cycle. They have calculated the several technical parameters such as the turbine size and rotational speed. As a result, they have shown that maximum exergy efficiency ranges from 15 to 40% for temperatures between 150°C and 300°C, respectively.

Toffolo et al. [24] evaluated the design parameters of organic Rankine cycle and search of the sub-supercritical with or without superheating and regeneration cycle configuration. They used two working fluids such as isobutane and R134a while the source temperature is between 130 and 180°C in their study. Andreasen et al. [25] analysed and optimized the organic Rankine cycle using pure fluids, predefined mixtures and binary optimized working fluids. As a result, the mixed working fluids increased the net power output of the cycle while decreased pressure levels.

In this study, thermodynamic analysis has been made by means of the program developed using Engineering Equation Solver (EES) for conventional, regenerative,

and reheat & regenerative ORC with working fluids R23, CO₂, N₂O and SF₆. Related to various source temperature and pressure ratio, the systems are investigated through thermodynamic performances. Some properties of studied working fluids are provided in Table 1. Since Rankine cycles working with supercritical fluids have more pump power consumption than those of trans-critical working fluids, the pump pressure ratio as well as the source temperature are taken to be main input parameters to thermodynamically optimize the system.

Table 1. Some properties of considered working fluids.

Fluid	Critical Temperature (°C)	Critical Pressure (kPa)	GWP (100 years)
R23	25.9	4836	9800
CO ₂	31.0	7380	1
N ₂ O	36.4	7240	170
SF ₆	45.55	3758	23900

2. SYSTEMS DESCRIPTION

Motivation behind the selection of aforementioned working fluids as alternatives is that their critical properties are comparatively lower. Figure 1 visualizes a comparison of specific heat variation of these fluids. While CO₂ shows superiority to other fluids, N₂O shows the highest potential at low temperature and pressure levels, which is worthwhile to investigate.

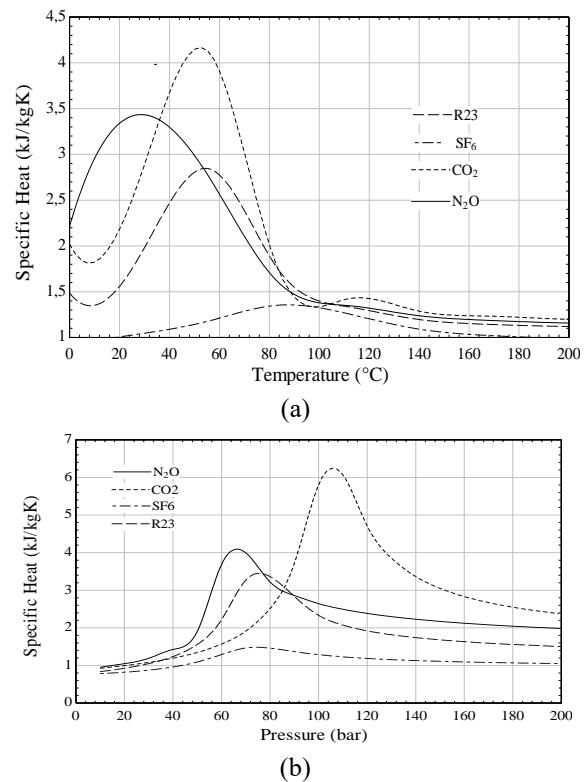


Figure 1. Variation of specific heats of selected working fluids at different (a) temperatures, and (b) pressures.

Three basic configurations of the ORC unit are considered for the analysis. The first system is the conventional four-component ORC cycle, while the second and third systems are the reheat and regenerative versions as visualized in Figure 2. Input parameters and their range of variation for optimization are provided in Table 2.

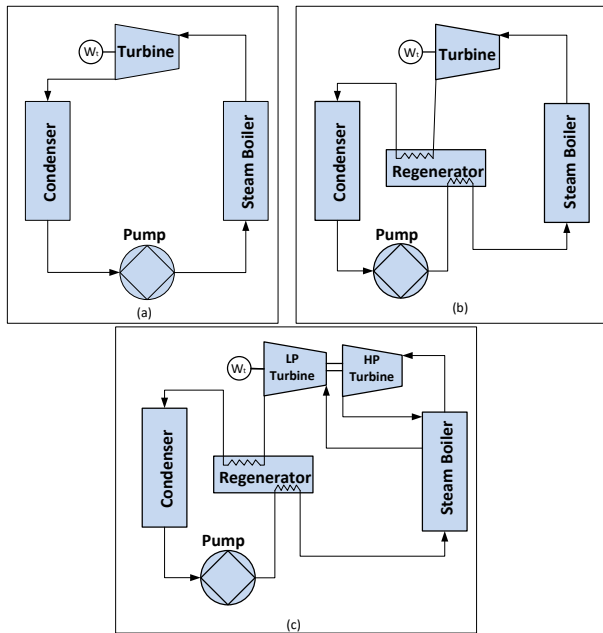


Figure 2. ORC configurations; (a) Conventional, (b) Regenerative, and (c) Reheat and regenerative.

Table 2. Input data and range of variation

Input parameter	Unit	Range
Reference Temperature	°C	0-40
Reference Pressure	kPa	1
Pressure Ratio	-	1.1-3
Source Temperature	°C	100-450
Turbine& Pump isentropic efficiency	%	90%
Turbine & Pump mechanical efficiency	%	85%

3. ANALYSES AND ASSESSMENT

Since the main target of the study is to perform a generic comparison between aforementioned working fluids, many assumptions are made in order to keep the ORC configurations as simple as possible resulting in a decreased error through comparison. Below assumptions are made for the analysis:

- All system components are assumed to be ideal, and all corresponding components are studied without any type of specific losses.
- Pressure losses through all installments are neglected.
- All working fluids are taken to be real gases.
- The main optimization parameters are selected as the

source temperature and pump pressure ratio for parametric optimization.

Thermodynamic analysis of all three configurations are based on simplified steady-state modeling of all components through mass, energy, entropy, and exergy balances as follows [26]:

$$\sum \dot{m}_i - \sum \dot{m}_o = \Delta m_{sys} \quad (1)$$

$$\dot{E}_{in} - \dot{E}_{out} = \Delta E_{sys} \quad (2)$$

$$\dot{E}x_{in} - \dot{E}x_{out} - \dot{E}x_{des} - \dot{E}x^Q = \Delta E x_{sys} \quad (3)$$

$$\dot{S}_{in} - \dot{S}_{out} + \sum (\dot{Q}_r/T_r) + \dot{S}_{gen} = \Delta S_{sys} \quad (4)$$

Here, the definition $E x$ refers to exergy rate and calculated with its specific form as follows:

$$\dot{E}x = \dot{m} \cdot ex \quad (5)$$

And the specific exergy is the sum of chemical and physical exergy of a substance which are also defined in the flowing equations below, as follows:

$$ex = ex_{ph} + ex_{ch} \quad (6)$$

$$ex_{ph} = (h - h_o) - T_o \cdot (s - s_o) \quad (7)$$

$$ex_{ch} = \sum x_i \bar{e}x_{ch}^o - RT_o \cdot \sum x_i \ln(x_i) \quad (8)$$

The third and fourth components of Eq. (3) refer to thermal exergy and exergy destruction rates as follows:

$$\dot{E}x^Q = \dot{Q} \cdot (1 - \frac{T_L}{T_H}) \quad (9)$$

$$\dot{E}x_{des} = \dot{I} = T_o \cdot \dot{S}_{gen} \quad (10)$$

Since this study aims to compare the effects of various system parameters, system configurations and specifically working fluid selection, the best way to compile and compare all these data may be possible by considering the overall performance indicators of the relevant thermal system. Therefore, energy and exergy efficiencies are selected to be the main performance indicators. Energy and exergy efficiencies of conventional and regenerative ORC system are same and defined as follows:

$$\eta_{ORC} = \frac{\dot{W}_T - \dot{W}_P}{\dot{Q}_{heater}} \quad (11)$$

$$\psi_{ORC} = \frac{\dot{W}_T - \dot{W}_P}{\dot{Q}_{heater}(1 - \frac{T_{ref}}{T_{source}})} \quad (12)$$

The denominator of Eq. (12) also results in the thermal exergy input of the heater unit. For the reheat and regenerative cycle:

$$\eta_{ORC} = \frac{\dot{W}_{T1} + \dot{W}_{T2} - \dot{W}_P}{\dot{Q}_{heater}} \quad (13)$$

$$\psi_{ORC} = \frac{\dot{W}_{T1} + \dot{W}_{T2} - \dot{W}_P}{\dot{Q}_{heater}(1 - \frac{T_{ref}}{T_{source}})} \quad (14)$$

For all configurations, one can also define the exergy efficiency as the second law efficiency by considering its Carnot factor, which results the same as in the exergy efficiency definitions, as follows:

$$\eta_{II} = \frac{\eta_{ORC}}{\eta_{car}} \quad (15)$$

where

$$\eta_{car} = 1 - \frac{T_L}{T_H} \quad (16)$$

Even though results of the second law efficiency and the exergy efficiency show uniform changes and similar results for this present study, it would not be suitable to use second law efficiency definition when the investigated thermal system includes chemical reactions.

4. RESULTS AND DISCUSSION

Even though the higher source temperature thermodynamically results in a higher specific work production from any thermal power production plants, it generally brings higher irreversibilities due to high temperature difference between low and high temperature limits. Fig. 3 represents this change; R23 shows the highest energy and exergy efficiencies at lower source temperature values while it drastically decreases at higher temperatures making the CO₂ and N₂O superior than its performance values. 175°C is breakthrough point for the superiority of the supercritical fluids. After 200°C, all working fluids present a similar decreasing trend.

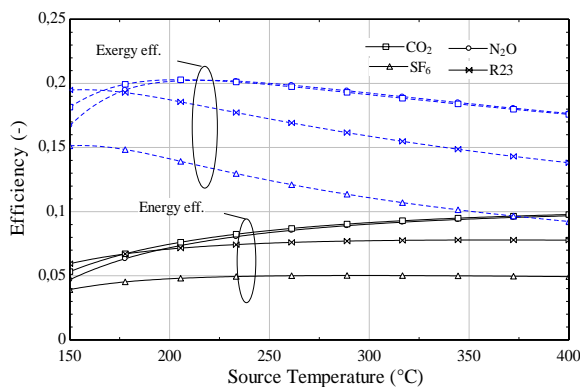


Figure 3. Effect of source temperature on the conventional ORC.

Higher pressure ratios, in general, affect the thermodynamic performances for all considered fluids in a favorable way, however, there are two exceptions CO₂ and N₂O fluids. Fig. 4 visualizes effects of source temperature and pressure ratios for the conventional ORC, where at pressure ratios higher than 2.6, and at lowest source temperature, exergy efficiency of CO₂ and N₂O working fluids shows a decreasing trend as shown in Fig 4b and 4d. This outcome is possibly due to very high pressure requirement for both working fluids and further increased high pressure side brings a very high amount of pump work requirement. It is also useful to note that energy efficiencies of all considered fluids also increase at higher pressure ratios and decrease at higher source temperature values. At lower source temperatures all super-critical working fluids starts showing a decreasing energy efficiency trend while R23 is stable at this degree.

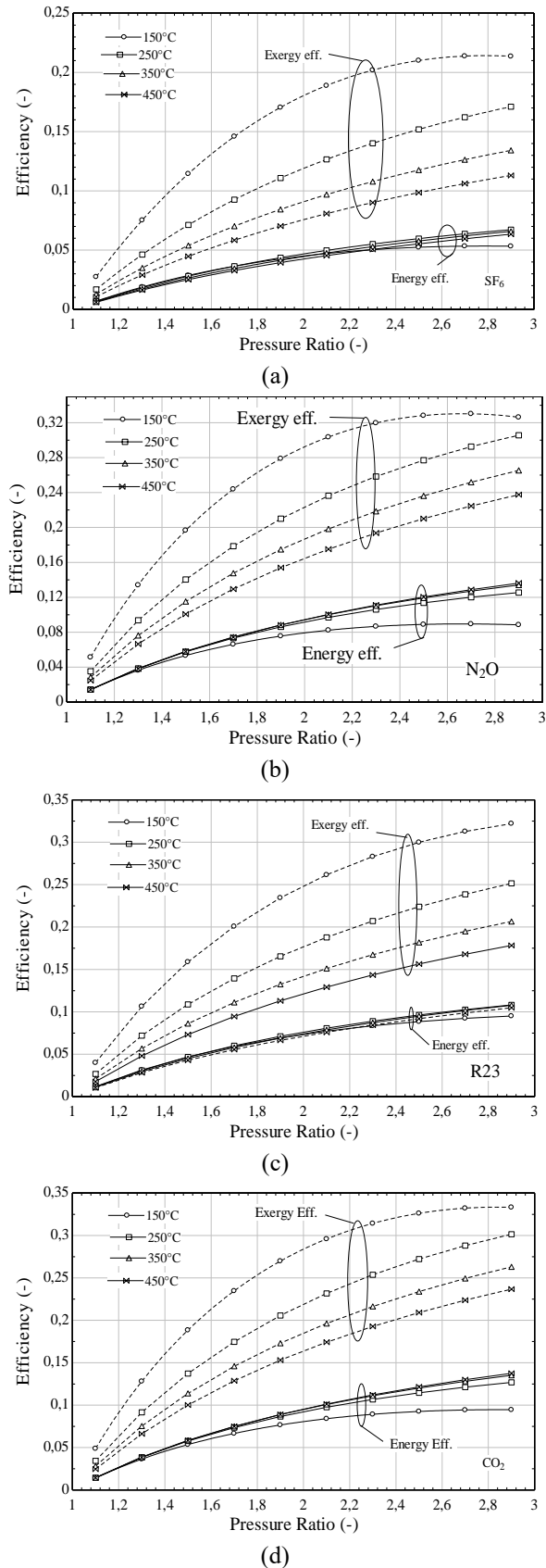


Figure 4. Effect of pressure ratio on the conventional ORC at various source temperatures; (a) SF₆ (b) N₂O (c) R23, (d) CO₂.

Increased source temperature for the regenerative ORC approximates both efficiencies with a similar increasing trend while R23 is superior to all other super-critical fluids at lower source temperatures, as shown in Fig. 5.

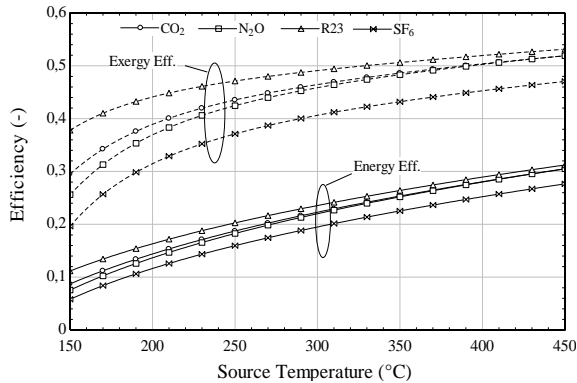


Figure 5. Effect of source temperature on the regenerative ORC.

As in the conventional cycle, the pressure ratio-source temperature couple's effect on the system performances are also represented in Fig. 6. As an expected outcome from the learning at the conventional cycle, here exergy efficiency values again show a decreasing trend at higher efficiencies for all super-critical fluids due to increased pump work load. However, the performance characteristics of the SF₆ fluid is drastically lower than those of other three working fluids, and hence, evaluation of this fluid has not been performed for the reheat & regenerative cycle configuration. One should note that at low source temperature values, performances of CO₂ and N₂O are lower than their values represented for the conventional cycle. This outcome is due to higher pump inlet temperature, which is not favorable for fluids being pumped at supercritical region.

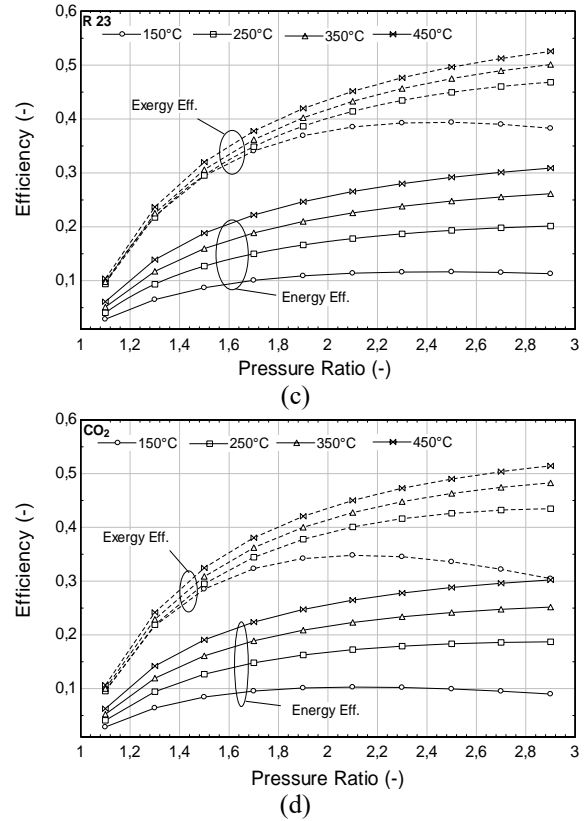
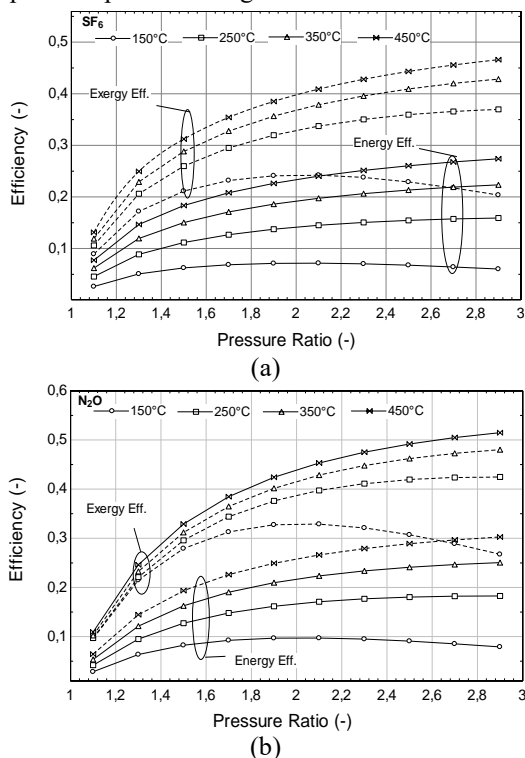


Figure 6. Effect of pressure ratio on the regenerative ORC at various source temperatures; (a) SF₆ (b) N₂O (c) R23, (d) CO₂.

As for the reheat & regenerative ORC, performance results are presented for the remaining working fluids, showing comparable performance characteristics using the results from the prior two configurations. Here, a different parametric study (Fig. 7a) is undertaken to observe the change in the regenerator outlet temperature which has a direct effect on pump work requirement of specifically CO₂ and N₂O. Even though outlet temperature of R23 is significantly higher than those of CO₂ and N₂O at higher source temperature values, it is obvious from Fig. 7b that performance characteristics of all three fluids does not significantly show different results at higher source temperature applications. However, both the energy and exergy efficiency results for the R23 still shows higher results at lower source temperature values, which makes this working fluid more suitable for low-temperature power generation applications. Considering, a very high GWP value for the R23 as mentioned in Table 1, use of CO₂ would lead to a clean and economic power generation option.

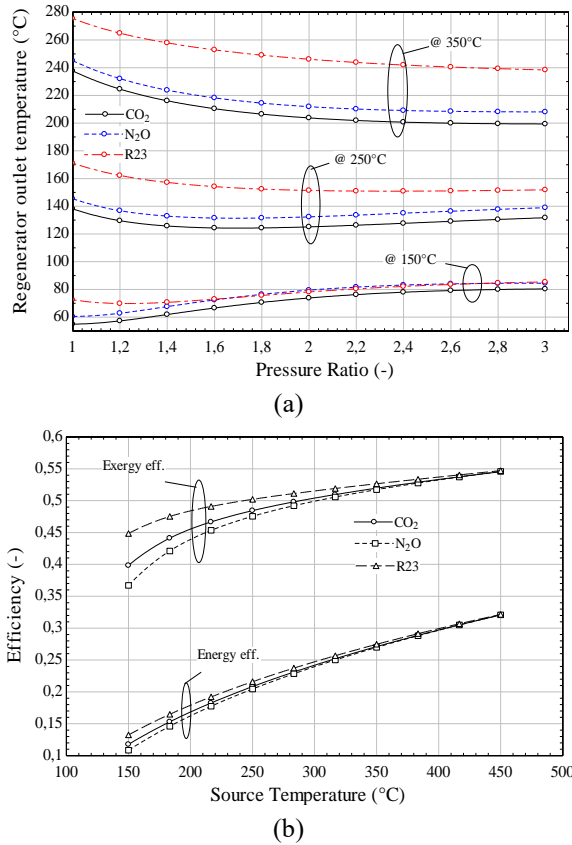


Figure 7. Effects of pressure ratio and source temperature on down selected ORC working fluid on the reheat and regenerative ORC.

Fig. 8 represents the optimum pressure ratio values considering the total irreversibilities occurring in the modified ORC. Lowest specific irreversibility is obtainable at pressure ratio ranges from 1.6 to 2, for both clean working fluids. This trend also shows an optimum point for both highest energy and exergy efficiency results.

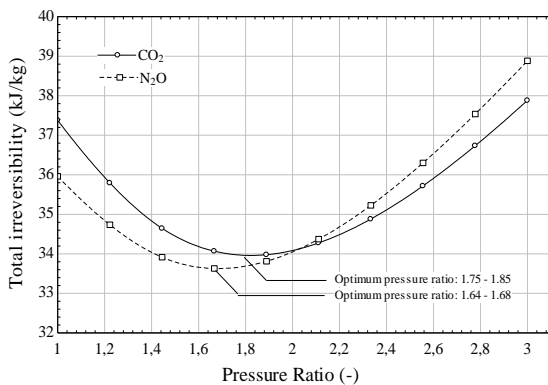


Figure 8. Optimum pressure ratio for the selected working fluids.

A final comparison of energy and exergy efficiencies of all working fluids investigated and all ORC configurations are compiled in Fig. 9. An unexpected trend is observed for CO₂ and N₂O at the regenerative

ORC that thermodynamic performances of both working fluids are lower than those of at the conventional ORC. R23 shows significant results at lower source temperatures, while performance characteristics are similar at higher source temperatures.

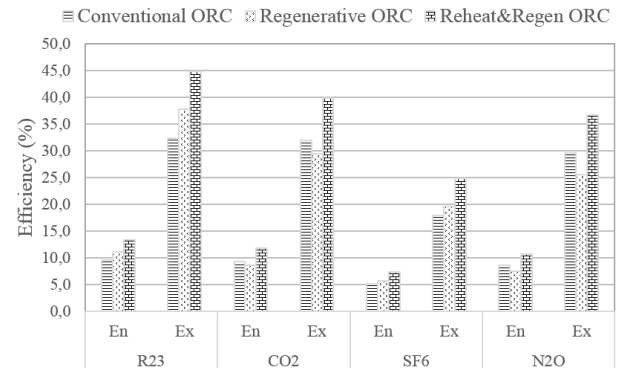


Figure 9. Performance comparison of working fluids and ORC configurations at 150°C source temperature.

5. CONCLUSION

A parametric optimization of three configurations of an RC is performed with various working fluids showing similarity with their critical properties. Following results are obtained from the undertaken study:

- SF₆ is not a good match to replace R23 with its low performance characteristics.
- At higher source temperatures, thermodynamic performances of CO₂ and N₂O show approximate results as of R23, while low source temperature applications indicate the superiority of R23.
- The main drawback of CO₂ and N₂O is that they cause higher work consumption of pumps at lower source temperature. Therefore, an optimal pressure ratio should be selected for these working fluids.

Overall, CO₂ and N₂O working fluids can be good candidates to replace R23 with their low-very low GWP values and comparable thermodynamic performances.

NOMENCLATURE

- ex* : specific exergy (kJ/kg)
Q : Heat (kJ)
R : Universal gas constant (kJ/kmolK)
s : specific entropy (kJ/kgK)
W : Work (kJ)

Greek letters

- η : Energy efficiency (%)
 ψ : Exergy efficiency (%)

Superscripts

- 0 : reference

Subscripts

<i>ch</i>	: Chemical
<i>des</i>	: Destruction
<i>gen</i>	: Generation
<i>p</i>	: Pumps
<i>ph</i>	: Physical
<i>ref</i>	: Reference
<i>sys</i>	: System
<i>t</i>	: Turbine

REFERENCES

- [1] Liu B.T., Chien K.H. and Wang C.C., "Effect of working fluids on organic Rankine cycle for waste heat recovery", *Energy*, 29: 1207-1217, (2004).
- [2] Roy J.P., Mishra M.K. and Misra A., "Parametric optimization and performance analysis of a waste heat recovery system using Organic Rankine Cycle", *Energy*, 35(12): 5049–5062, (2010).
- [3] Lecompte S., Huisseune H., Broek M.V.D., Vanslambrouck B. and Papepe M.D., "Review of organic Rankine cycle (ORC) architectures for waste heat recovery", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 47: 448-461, (2015).
- [4] Wang X.D. and Zhao L., "Analysis of zeotropic mixtures used in low-temperature solar Rankine cycles for power generation", *Solar Energy*, 83(5): 605–613, (2009).
- [5] Rayegan R. and Tao Y.X., "A procedure to select working fluids for solar organic Rankine cycles (ORCs)", *Renewable Energy*, 36 (2): 659–670, (2011).
- [6] Freeman J., Hellgardt K. and Markides C.N., "An assessment of solar-powered organic Rankine cycle systems for combined heating and power in UK domestic applications", *Applied Energy*, 138: 605-620, (2015).
- [7] Shengjun Z., Huaixin W. and Tao G., "Performance comparison and parametric optimization of subcritical Organic Rankine Cycle(ORC) and transcritical Power cycle system for low-temperature geothermal power generation", *Applied Energy*, 88(8): 2740–2754, (2011).
- [8] Ozcan H. and Dincer I., "Thermodynamic analysis of an integrated sofc, solar orc and absorption chiller for tri-generation applications", *Fuel Cells*, 13: 781-793, (2013).
- [9] Ozcan H. and Dincer I., "Thermodynamic analysis of a combined chemical looping-based tri-generation system", *Energy Conversion and Management*, 85: 477-487, (2014).
- [10] Ozcan H. and Dincer, I. "Performance evaluation of an SOFC based tri-generation system using various gaseous fuels from biomass gasification", *International Journal of Hydrogen Energy*, 40: 7798-7807, (2015).
- [11] Hu D., Li S., Zheng Y., Wang J. and Dai Y., "Preliminary design and off performance analysis of an organic Rankine cycle for geothermal sources", *Energy Conversion and Management*, 96: 175-187, (2015).
- [12] Cengel Y.A. and Boles M.A., "Thermodynamics and engineering approach- 8th edition", *McGraw Hill*, New York, 2014.
- [13] Zamfirescu C. and Dincer I., "Thermodynamic analysis of a novel ammonia-water trilateral Rankine cycle". *Thermochemical Acta*, 477: 7-15, (2008).
- [14] Hung T.C., "Waste heat recovery of organic Rankine cycle using dry fluids", *Energy Conversion and Management*, 42: 239-553, (2001).
- [15] Chen Y., Lundqvist P., Johansson A. and Platell P., "A comparative study of the carbon dioxide transcritical power cycle compared with an organic rankine cycle with R123 as working fluid in waste heat recovery", *Applied Thermal Engineering*, 26: 2142-2147, (2006).
- [16] Mago P.J., Chamra L.M., Srinivasan C.K. and Somayaji C., "An examination of regenerative organic Rankine cycles using dry fluids", *Applied Thermal Engineering*, 28: 998-1007, (2008).
- [17] Gang P., Jing L. and Jie J., "Analysis of lower temperature solar thermal electric generation using regenerative organic Rankine cycle", *Applied Thermal Engineering*, 30: 998-1004, (2010).
- [18] Xu J. and Liu C., "Effect of the critical temperature of organic fluids on supercritical pressure organic Rankine cycle", *Energy*, 63: 209-122, (2013).
- [19] Yin H., Sabau A.S., Conklin J.C., McFarlane J. and Qualls A.L., "Mixtures of SF6-CO2 as working fluids for geothermal power plants", *Applied Energy*, 106: 243-253, (2013).
- [20] Meinel D., Wieland C. and Spliethoff H., "Effect and comparison of different working fluids on a two stage organic Rankine cycle (ORC) concept", *Applied Thermal Engineering*, 63: 246-253, (2014).
- [21] Astolfi M., Romano M.C., Bombarda P. and Macchi E., "Binary ORC (organic Rankine cycles) power plants for the exploitation of medium-low temperature geothermal sources-Part A: Thermodynamic optimization", *Energy*, 66: 423-434, (2014).
- [22] Maraver D., Royo J., Lemort V. and Quoilin S., "Systematic optimization of subcritical and transcritical organic Rankine cycles (ORCs) constrained by technical parameters in multiple applications", *Applied Energy*, 117: 11-29, (2014).
- [23] Braimakis K., Preißinger M., Brüggemann D., Karellas S. and Panopoulos K., "Low grade waste heat recovery with subcritical and supercritical Organic Rankine Cycle based on natural refrigerants and their binary mixtures", *Energy*, 88: 80-92, (2015).
- [24] Toffolo A., Lazzaretto A., Manente G. and Paci M., "A multi-criteria approach for the optimal selection of working fluid and design parameters in organic Rankine cycle systems", *Applied Energy*, 121: 219-232, (2014).
- [25] Andreasen J.G., Larsen U., Knudsen T., Pierobon L. and Haglind F., "Selection and optimization of pure and mixed working fluids for low grade heat utilization using organic Rankine cycles", *Energy*, 73: 204- 213, (2014).
- [26] Dincer I. and Rosen M.A., "Exergy, energy, environment and sustainable development", *Elsevier*, (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>

Diyagonal basma ve çekme kuvvetine farklı köşe birleştirme tekniklerinin etkileri

Impacts of different corner joint technical on compression and tensile performances

Yazar(lar) (Author(s)): Musa ATAR, Davut ŞAKACI, Hakan KESKİN

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Atar M., Şakacı D. ve Keskin H., "Diyagonal basma ve çekme kuvvetine farklı köşe birleştirme tekniklerinin etkileri", *Politeknik Dergisi*, 20(4): 923-932, (2017).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.369090

Diyagonal Basma ve Çekme Kuvvetine Farklı Köşe Birleştirme Tekniklerinin Etkileri

Araştırma Makalesi / Research Article

Musa ATAR^{1*}, Davut ŞAKACI², Hakan KESKİN¹

¹Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Ağaçişleri Endüstri Mühendisliği Bölümü, 06500 Beşevler - Ankara

²Afyon Kocatepe Ü., Bolvadin Meslek Yüksekokulu, Mob-Dek. Bölümü, 03300 Bolvadin - Afyonkarahisar

(Geliş/Received : 09.10.2016 ; Kabul/Accepted : 28.01.2017)

ÖZ

Bu çalışma, ıslak mekân mobilyaları için üretilmiş plastik levhada (Polistrenlam = Pslam) farklı köşe birleştirme tekniklerinin diyagonal basma ve çekme kuvvetine etkilerini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Bu maksatla Pslam'dan geleneksel, yıldız ve alyan vida, minifiks ve trapez birleştirme teknikleri ile hazırlanan köşelere ASTM D 1037 esaslarına göre diyagonal basma ve çekme deneyi uygulanmıştır. Sonuç olarak, diyagonal basma kuvveti, en yüksek kavelalı polistren tutkallı birleştirmede (820 N), en düşük; yıldız vidalı 4x60 birleştirmede (196 N) bulunmuştur. Diyagonal çekmede; en yüksek kavelalı polistren tutkallı birleştirmede (1662 N), en düşük minifiks birleştirmede (343 N) çıkmıştır. Buna göre; Pslam'dan üretilen dolapların köşelerinde kavelalı polistren tutkallı birleştirme tekniklerinin uygulaması diğerlerine göre avantaj sağlayabilir.

Anahtar Kelimeler: Polistrenlam, köşe birleştirme teknikleri, çekme ve basma kuvveti.

Impacts of Different Corner Joint Technical on Compression and Tensile Performances

ABSTRACT

This study was carried out to determine the effects of various techniques for corner joints, prepared from plastic-based (Polystyrenlam=Pslam) material employed in furniture manufacturing on the diagonal compression and tensile performances. To that end, the corners prepared from plastic materials through various joint techniques (dowel type, polystyrene glued; dowel type, lathed, plain polystyrene glued) have been subjected to diagonal compression and tension tests. Consequently, the highest diagonal compression strength was found in the dowel type, polystyrene glued joint (820 N), while the lowest level was found in the Philips-head screwed 4x60 joint (196 N). As for the diagonal tension, the highest strength level has been found in the dowel type, polystyrene glued joint (1662 N), while the lowest level was found in the mini-fix joint (343 N). Accordingly, the dowel type, polystyrene glued corner joint technique may have advantageous in the plastic-based board used in furniture manufacturing compared to the other corner joint techniques.

Keywords: Polystyrenlam, corner joint techniques, tensile and compression strengths.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Yonga levhadan hazırlanan; düz-kavelalı, 90° plastik çıtalı gönye burun, kavelalı gönye burun, gönye burun ve yabancı çıtalı gönye burun birleştirmelere çekme ve basma deneyi uygulanmıştır. Çalışma sonunda yabancı çıtalı gönye burun birleştirme birinci, kavelalı gönye burun birleştirmenin ise direnç bakımından ikinci sırada olduğu bildirilmiştir [1]. Farklı çap ve boydaki vidaların, yonga levha' da çekme direncine olan etkisi araştırılmış; vida boyundaki artışın çekme direncini arttırdığı, vida çapındaki artışın ise; çekme direncinde azalmaya sebep olduğu bildirilmiştir [2]. Kutu konstrüksiyonlu mobilyada köşe ve arkalık birleştirme yöntemlerinin, birleştirme direncine yönelik yapılan araştırmada; birleştirme direnci en yüksek yan dikey levhaları üst ve alt yatay levhaların dışından bindirilen kavelalı birleşimde, en düşük değer L demirli profil birleştirmede bulunduğu belirtilmiştir [3].

Kavela, yabancı çıta ve lambalı olarak PVAc tutkallı ile yapıştırılmış L tipi yonga levha örneklerine basma ve çekme kuvvetleri uygulanmıştır. Kavelalı birleştirme en iyi sonucu verirken yabancı çıtalı birleştirmenin ikinci sırada olduğu bildirilmiştir [4]. Rijitlik derecesi değerleri değişen 3 tip bağlantı tekniği kullanarak kutu mobilya üzerinde unsurların birleştirme sağlamlığına etkisi değerlendirilmiştir. Sonuçlara göre; kutunun rijitliği üzerinde birleştirmelerin önemli etkisi bulunmaktadır. Köşe birleştirmeler, kavela ve metal bağlantılarla güçlendirilirse sağlamlığında kademeli olarak artacağı vurgulanmıştır [5]. Yonga levhada, değişik sayıda kavela ile hazırlanan köşe birleştirme için çekme ve basma deneylerinde, örneklerin genişlikleri ve kavelalar arası mesafeler değiştirilmiştir. Kavela arası mesafenin 7,5 cm olması durumunda en yüksek direncin elde edileceği bildirilmiştir [6]. Yonga levha ve lif levhalarla yapılan köşe birleştirmelerde bağlayıcı alanların artırılması ile eğilme direncinin arttığı, ayrıca vida boyunun vida çapından daha etkili olduğu bildirilmiştir [7]. Kutu mobilya köşe birleştirmelerinde vida çapı, uzunluğu ve pozisyonuna

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta: musaatar@gazi.edu.tr

yönelik yapılan araştırmada; kutuyu güçlendirmede etkili yolun fazla vida kullanmak ve vidalar arası mesafenin yaklaşık 3 inc (7,62 cm) ile 3,5 inc (8,89 cm) olması gerektiği belirtilmiştir [8]. Yüzeyle paralel yönde vida tutma direnci kayın ağacının diğer ahşap malzeme türlerine üstünlük sağladığı. Yüzeyle paralel vidalama (MDF)'de en düşük vida tutma direncine sahip olduğu ve yüzeyle dik yönde vida tutma direnci kayın ağacında diğer ahşap türlerinden üstün çıkmıştır [9].

Kaliteli bir mobilya için, yüksek mekanik özelliklere sahip ve performans karakteristikleri iyi olan kompozit levhaların kullanılmasının önemli olduğu bildirilmektedir [10]. Kutu mobilyalarda yabancı çıta (bisküvi) elemanları ile yapılan köşe birleştirmelerin diyagonal basınç ve çekme dirençlerini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Diyagonal Basınç ta en yüksek performansı sunulamada plastik bisküvi, en düşük performansı MDF lam da plastik bisküvi vermiştir. Diyagonal çekme deneyinde en yüksek ahşap bisküvi, en düşük plastik bisküvi vermiştir [11]. Bu çalışmada, ıslak mekân mobilyaları için üretilmiş polistrenlam (Pslam) levhada farklı köşe birleştirme tekniklerinin diyagonal basma ve çekme kuvvetine etkileri araştırılmıştır.

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL AND METHOD)

2.1. Materyal (Material)

Deney malzemesi olarak; plastik esaslı levha (Polistrenlam=Pslam), birleştirme elemanı olarak plastik kavela, plastik yabancı çıta, 4x50 ve 4x60 yıldız vida, alyan başlı vida, minifiks, trapez, yapıştırma işlemlerinde, polistren esaslı ve Desmodur-VTKA tutkalı kullanılmıştır.

2.1.1. Polistrenlam levha (Polystyrenelam board)

Polistren malzeme plastik panel levha üretiminde kullanılan bir plastik çeşididir. Polistren, bir termoplastiktir ve termoplastikler lineer moleküllere sahiptirler. Lineer moleküllerde, zinciri oluşturan ünitelerin arasında çok kuvvetli kovalent bağlar bulunmaktadır. Dolayısıyla lineer molekül zincirlerinden oluşan bir termoplastik ısıtıldığında, moleküller arasındaki kuvvet zayıflar, molekül zincirleri birbirlerine göre hareket bakımından sıvılara benzer şekilde serbest haline gelir ve malzemeye bir kalıpta kolayca şekil verilebilir. Malzeme soğutulduğunda, moleküller arası kuvvet büyür ve molekül zincirlerini veren yeni şekilde dondurur. Termoplastikler termal enerji (ısı) ve basınç uygulandığında kolaylıkla yumuşayan, deforme olabilen, akıcı durumda herhangi bir şekil de alabilen ve soğutulduğunda sertleşebilen malzemelerdir. Termoplastiklerin kullanılma süreleri, malzemenin yorulduğuna bağlıdır ve kendi ağırlıkları altında 54°C ile 120 °C arasında, bazen de yapılarına bağlı olarak 260 – 270°C' ye varan sıcaklıklarda bozulurlar. Bu nedenle termoplastiği işleme sırasında sıcaklık iyi kontrol edilmelidir [12]. Türkiye'de özel bir firma tarafından kenar profili, süpürgelik, lambri ve panel levha üretimi yapılmaktadır. Panel levha 0,8 / 1,8 x 90 x 280 cm ölçülerindedir. Sipariş miktarına göre 280 cm üzeri üretim

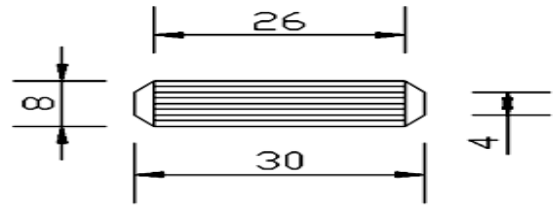
yapılabilmekte ve New Wood olarak isimlendirilmektedir. Ürünler, kullanım sırasında ve sonrasında doğal ahşapta meydana gelen olumsuzlukları gidermeyi amaçlamıştır. New wood markası ile üretilen suni plastik ürünler, su ve neme karşı % 100 dayanıklıdır. Nem ve rutubetten etkilenmediği için çürümez, çatlama ve şişme gibi olumsuzluklar yaşanmaz. New wood ürünleri uzun ömürlü (~75 yıl) ve çevre dostu olması nedeniyle tüketmekte olan ülkemiz ve dünya ormanlarının korunmasında çok önemli bir işleve sahiptir. Çivi çakılabilir, çatlama yarıma yapmaz, esnektir, kuru sıcak hava yardımıyla rahatlıkla bükülebilir. Bakteri barındırmadığı için hijyen gerektiren yerlerde rahatlıkla kullanılabilir, kanserojen madde içermediği için gıda sektöründe kullanılabilir [13]. Panel levha ve profil dahil tüm ürünlerin kesme işlemini seyrek dişli elmas daire testere ile yapabilir. Freze, delik makinelerinde düşük devirlerde işlem yapılmalıdır.

2.1.2 Plastik kavela (Plastic dowel)

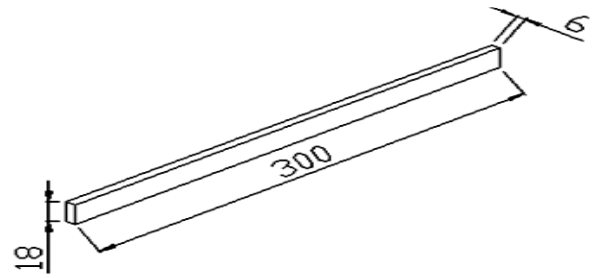
Kavelalı birleştirme, mobilya üretiminde endüstriyel olması bakımından en çok tercih edilen birleştirmelerdir. Çok ucuza ve kolayca temin edilebilir. Kavelalı birleştirme maliyeti düşürür ve zamandan tasarruf sağlar [14]. Araştırmada TS 4539' da belirtilen özelliklere göre; yivli gövdeli, Ø8x30 mm boyutlarında plastikten hazırlanmış kavelalar kullanılmıştır.

2.1.3. Yabancı çıta (Loose Tongue)

Deneyde kullanılan yabancı çitalar polistrenlam kenar kısmından 300x18x6 mm ölçülerinde hazırlanmıştır. Deneyde kullanılan yabancı çıta Şekil 2. de gösterilmiştir



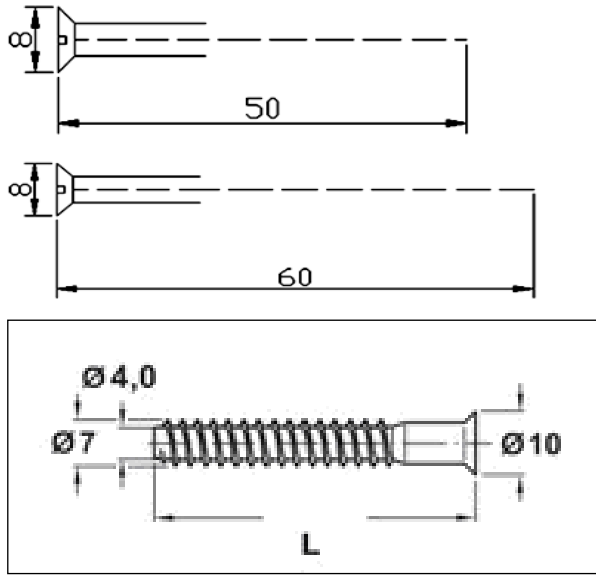
Şekil 1. Plastik kavela (Plastic dowel) (mm)



Şekil 2. Yabancı çıta (Loose Tongue) (mm)

2.1.4. Yıldız ve Alyan vida (Star & Alyan screw)

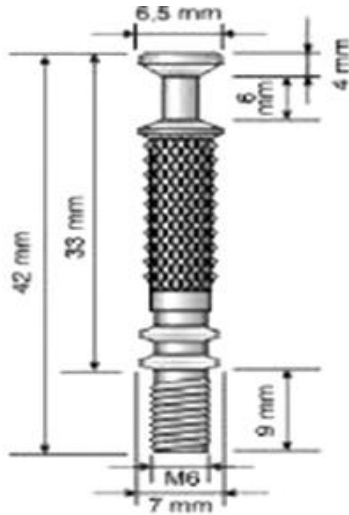
Mobilyaların köşe bağlantılarında kullanılan, pratik bağlantı gereçlerindedir. Farklı ölçüler ve farklı baş yapılarına sahiptirler. Uygulamada mutlaka ön (pilot) delik uygulaması yapılmaktadır. Deneyde kullanılan yıldız ve alyan vida Şekil 3. de gösterilmiştir.



Şekil 3. Yıldız ve ayan vidalar (star & ayan screw) (mm)

2.1.5. Minifiks bağlantı elemanı (Minifiks connection element)

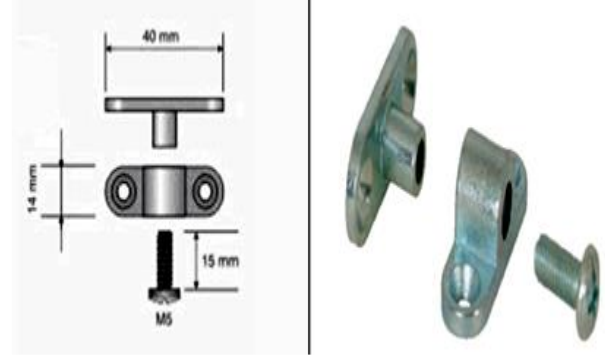
Ofislerde ve konutlarda kullanımı yaygınlaşan sökölür-takılır kutu mobilyaların köşe bağlantılarında kullanılan plastik dübelli metal minifiks, mobilya elemanlarını çeşitli açılarda birbirine bağlamaya yarar. Eksantrik sıkmalı, soket-vida tipinde iki parçadan oluşan dübel bölümü plastik, diğer bölümleri çelik malzemeden yapılmış ve yüzeyleri nikelajlı olarak üretilmiş silindirik bir bağlantı elemanıdır.



Şekil 4. Plastik dübelli metal minifiks (Plastic anchor metal minifix)

2.1.6. Trapez bağlantı elemanı (Trapeze connection element)

Trapez bağlantı elemanları plastik ve metalden üretilmektedir. Genellikle büyük hacimli mobilyaların gerektiğinde sökölüp takılabilmesi için kullanılır. Deneyde metal trapez kullanılmıştır.



Şekil 5. Trapez bağlantı elemanı (Trapeze connection element)

2.1.7. Tutkallar (Glues)

Polistren tutkalı; polistren tozundan selülozik tinerle (solvent) eritilerek elde edilen bir tutkal çeşididir. Petrol-den elde edilir. Hızlı yanar, kuvvetli gaz kokusu yayar ve asetonlu ortamda hızla kabarıp. UV ışınlarına iyi direnç gösterir, iyi darbe ve gerilme direnci vardır. Asit alkali ve tuzlara karşı da üstün bir direnç gösterir. Viskozitesi 25 °C'de 1600cps, yoğunluğu 20°C de 0,7±0,02 g/cc, pH derecesi 6'dır [13]. Desmodur-VTKA (Desmodur-Vinyl Trie Ketonol Acetate) tutkalı; son yıllarda piyasaya sürülen, daha çok montaj işlerinde tercih edilen, çözücü içermeyen tek bileşenli, poliüretan esaslı ve nem kurlenmeli bir yapıştırıcıdır. Üretici firmanın verdiği bilgiye göre; ağaç malzeme, metal polyester, taş, seramik, PVC ve diğer plastiklerin yapıştırılmasında kullanılmaktadır. Desmodur-VTKA (D-VTKA) tutkalı uygulanmasında ise üretici firmanın önerilerine uyulmuştur. Buna göre; yapıştırılacak yüzeyler temiz, kuru, tozsuz ve yağsız olmalı, tutkalın sertleşme hızını arttırmak için kurumuş satırlar hafifçe nemlendirilmelidir. Tutkal orijinal ambalajından doğrudan doğruya yüzeylerden emiciliği yüksek alana sürüldükten sonra yapıştırma işlemi 20 °C sıcaklıkta ve %65 bağıl nem şartlarında 30 dakikada gerçekleşmektedir. Viskozitesi; 25 °C' de 3300 - 4000 cps, yoğunluğu 20 °C' de 1,11±0,02 g/cc olup soğuğa karşı dayanıklıdır [15].

2.2. Metod (Method)

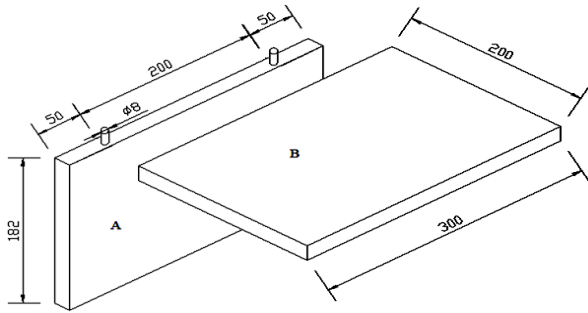
2.2.1. Deney örneklerinin hazırlanması (Preparation of experimental examples)

Deney örneklerinin hazırlanmasında ana taşıyıcı olarak polistren malzemeden üretilmiş çift yüzü melamin kağıt kaplı panel levha (Pslam) kullanılmıştır. Birleştirme elemanları olarak; Pslam'dan elde edilen 300x18x6 mm ölçülerinde yabancı çita, 30 mm boyunda 8 mm çapında plastik kavela, 4x50- 4x60 yıldız vida ve aylan başlı vida, demonte birleştirmeler için minifiks ve trapez bağlantı elemanları kullanılmıştır. Trapez bağlantılarında 3,5x16 yıldız vida kullanılmıştır. Tutkallı birleştirmelerde Desmodur - VTKA ve polistren tutkalı tercih edilmiştir. Dolap köşelerinde; tutkallı kavelalı (2), tutkallı yabancı çitalı düz (2), yabancı çitalı 45° gönye burun (1), lambalı kınışlı (1), vidalı birleştirmeler (2), minifiks (1), trapez

birleştirme (1) yöntemleri seçilmiştir. Buna göre; 1 malzeme, 10 farklı birleştirme tekniği olmak üzere toplam 1000 adet deney örneği hazırlanmıştır. Her bir deney örneği A ve B olmak üzere iki elemandan oluşmaktadır. A elemanı 182x300x18 mm, B elemanı 200x300x18 mm ölçülerinde, yabancı çatalı 45° gönye burun birleştirmede A ve B elemanı 200x300x18 mm ölçülerinde, lambalı kınışlı birleştirmede A elemanı 191x300x18 mm, B elemanı 200x300x18 mm ölçülerinde hazırlanmıştır. Tüm birleştirmelerde TS 4499 esaslarına uyulmuştur (16).

2.2.2. Kavelalı birleştirme (Dowel joints)

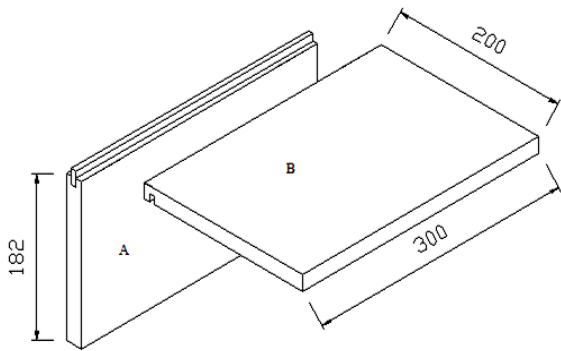
A elemanı cumbasına simetrik olacak şekilde, 50 mm içerden ve kenarlarda 5 mm kalacak şekilde 8 mm çapında, 16 mm derinliğinde, B elemanının yüzeyine makta kısmından simetrik olacak şekilde 50 mm içerden ve kenardan 5 mm kalacak şekilde 15 mm derinliğinde ikişer adet delik açılarak, toplam 20 adet deney parçası hazırlanmıştır.



Şekil 6. Kavelalı birleştirme (Dowel joints) (mm)

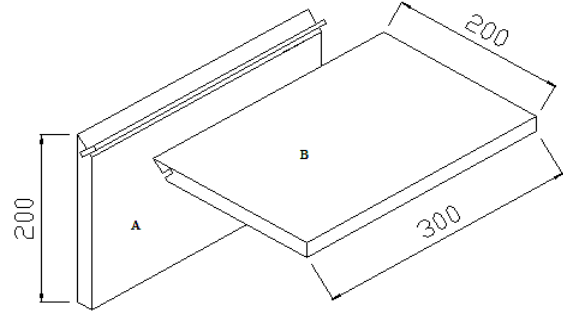
2.2.3. Yabancı çatalı düz ve 45° gönye burun birleştirme (Loose Tongue-groove and Spined mitre joint)

A elemanının cumbasına parça kalınlığının 1/3'ü genişliğinde ve parça kalınlığının 1/2'si derinliğinde, B elemanının yüzeyine parça kalınlığının 1/3'ü kadar içerden, parça kalınlığının 1/3'ü kadar genişliğinde ve parça kalınlığının 1/2'si kadar derinliğinde kanal açılarak, 300x18x6 mm ölçülerinde yabancı çita hazırlanmış ve polistren tutkalı kullanılarak 10 adet deney örneği hazırlanmıştır.



Şekil 7. Yabancı çatalı düz birleştirme (Loose Tongue-groove joint) (mm)

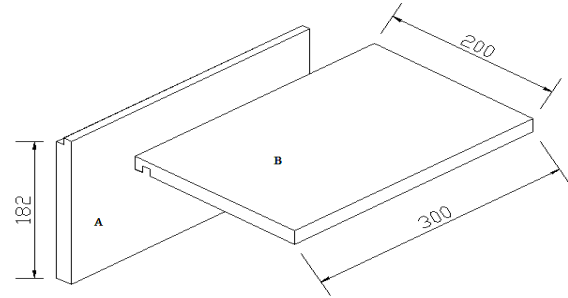
Yabancı çatalı 45° gönye burun birleştirmede A ve B elemanları aynı ölçüde olduğundan iki parçaya da aynı işlem yapılmıştır. Cumba kısmı 45° kesilip, açılı yüzeye dik, parça kalınlığının 1/3'ü kadar genişliğinde ve parça kalınlığının 1/2'si kadar derinlikte kanal açılarak 300x18x6 mm ölçülerinde yabancı çita hazırlanıp polistren tutkalı kullanılarak 10 adet deney örneği hazırlanmıştır.



Şekil 8. Yabancı çatalı 45° gönye burun birleştirme (Spined mitre joint)

2.2.4. Kınışlı lambalı birleştirme (Barefaced housing joint)

A elemanının dış yüzeyi ile aynı hizada olacak şekilde, B elemanının iç yüzeyine parça kalınlığının 1/2'si kadar genişlik ve 1/2'si kadar derinlikte kınış açılmıştır. A elemanının cumbasına parça kalınlığının 1/2'si kadar genişlik ve 1/2'si kadar derinlikte lamba açılıp birleştirilecek yüzeylere tutkal sürülerek 10 adet deney örneği hazırlanmıştır.



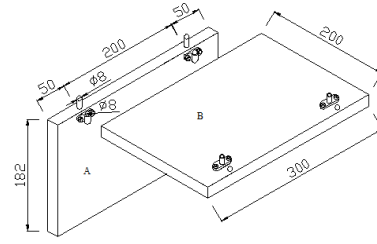
Şekil 9. Kınışlı-lambalı birleştirme (Barefaced housing joint) (size in mm)

2.2.5. Yıldız ve alyan vidalı birleştirme (Stars and allen screw joining)

B elemanının yüzeyine uzun kenardan 9 mm içerden ve kısa kenardan 50 mm içerden olacak şekilde iki adet kılavuz deliği açılarak, 10'ar adet 4x50 ve 4x60 yıldız vida kullanılarak toplam 20 adet deney örneği hazırlanmıştır. Alyan başlı vidalı deney parçalarının hazırlanmasında, B elemanının yüzeyine uzun kenardan 9 mm, kısa kenardan 50 mm, A elemanının cumbasına yüzey kenarından 9 mm ve diğer kenardan 50 mm içerden olacak şekilde iki adet kılavuz deliği açılarak, 10 adet deney parçası hazırlanmıştır. Örneklerinin hazırlanmasında TS EN 326-1 ve

TS EN 13446’de belirtilen esaslara uyulmuştur [17, 18]. Buna göre, örnek kenarlarına, bağlanacak vidanın dış çapının %60 kadar çapta kılavuz delik açılmıştır. Kılavuz delik derinliklerinde kılavuz çapının 5 katı alınmıştır. Vidaların bağlanmasında ASTM 1037 ve imalatçıların önerilerine uyulmuştur. Buna göre, vidalar kılavuz deliklere ve vida ekseninin örneklerin kenarına dik olacak şekilde bağlanmıştır [19]. Vidalar için kılavuz delik çapları ve derinlikleri çizelge 1. de verilmiştir.

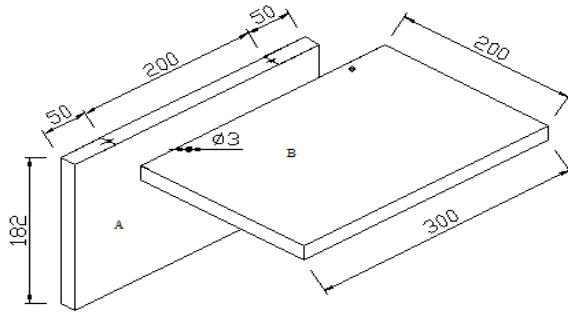
2.2.7. Trapez birleştirme (Trapezoidal joining)



Şekil 12. Trapez birleştirme (Trapezoidal joining)

Çizelge 1. Vida çeşidine göre kılavuz delik çapı ve derinlikleri (According to the pilot hole diameter and depth screw types)

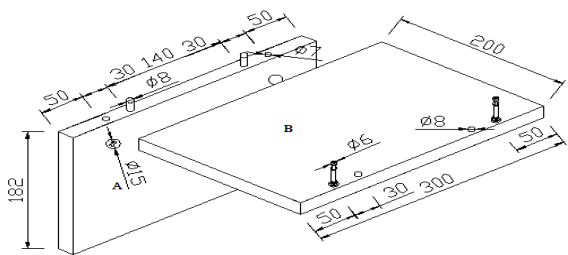
Vida (mm)	Çapı (mm)	Kılavuz delik çapı (mm)	Kılavuz delik Derinliği (mm)	Vidalama Derinliği (mm)
(V ₁) 4x50	3.9	2.4±0.5	12±0.5	19±0.5
(V ₂) 4x60	4.0	2.5±0.5	12.5±0.5	20.5±0.5
Alyan-50	4.0	2.6±0.5	13±0.5	21.5±0.5



Şekil 10. Yıldız ve alyan vidalı birleştirme (Stars and allen screw joining) (mm)

2.2.6. Minifiks birleştirme (Minifiks joining)

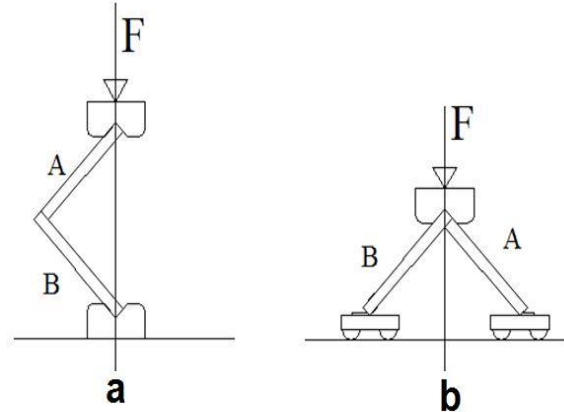
A elemanı makt kısmına cumbalardan merkezleri 50 mm içeride, parça kalınlığının ortasından 8 mm çapında, 40 mm derinliğinde silindirik plastik gövdeli metalin geçebileceği iki adet delik açılır, daha sonra silindirik plastik gövdeli metali karşılayacak olan eksantrik sıkma yapabilen vida için parça yüzeyine maktan merkezleri 34 mm, cumbadan 50 mm içeride, 15 mm çapında, 15 mm derinliğinde iki adet delik açılır. B elemanının yüzeyine cumbalardan merkezleri 50 mm, maktan yüzeye merkezi 9 mm (parça kalınlığının yarısı kadar) içeride, 10 mm çapında, 12 mm derinliğinde parça yüzeyine delikler açılır ve plastik dübeller yerleştirilir. Daha sonra iki parça bağlantı elemanı yardımı ile birbirine bağlanır.



Şekil 11. Minifiks birleştirme (Minifiks joining) (mm)

2.3. Deney Metodu (Test method)

Deneylerde ASTM D1037 esaslarına uyulmuştur. Deney metodunda benzer çalışmalardan yararlanılmış olup buna ait düzenekler aşağıdaki şekil de gösterilmiştir [20].



Şekil 13. Deney metodu a) diyagonal basınç düzeneği b) diyagonal çekme deney düzeneği

2.4. Deneylerin Yapılışı (Execution of the tests)

2.4.1. Test cihazı (Test device)

Deneyler için Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Ağaçşeri Endüstri Mühendisliği Bölümü Mekanik Laboratuvarında bulunan 5 ton kapasiteli “Üniversal Test Cihazı” kullanılmıştır. Yükleme hızı manuel olarak ayarlanabilmektedir. Yükleme hızı uygulama süresinin 30 ila 60sn arasında olabilmesi için 2 mm/dak yol alacak şekilde ayarlanmıştır. Testlerin yapılmasında ASTM D 1037 esaslarına uyulmuştur.

2.4.2. Veri analizi (Data analysis)

Bu çalışmada, Pslam’da çeşitli birleştirme tekniklerinin diyagonal basınç ve çekme kuvvetine etkileri araştırılmıştır. Kuvvetleri belirlemek amacıyla çoklu varyans analizleri (MANOVA) kullanılmıştır. Faktörlerin karşılıklı etkileşiminin %5 hata payı ile anlamlı çıkması halinde, önem derecesini belirtmek için DUNCAN testi uygulanmıştır.

3. BULGULAR (RESULTS)

Kuvvet Değerleri (Strength Values)

Diyagonal basınç-çekme kuvveti ve bunların karşılıklı etkileşimlerine ilişkin çoklu varyans analizi sonuçları Çizelge 2. de verilmiştir.

Çizelge 2. Diyagonal basınç kuvveti, diyagonal çekme kuvveti ve bunların karşılıklı etkileşimlerine ilişkin çoklu varyans analizi sonuçları (Diagonal compression strength, tensile strength and diagonal multivariate analysis of variance results related to their interactions)

Varyans Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	P $\alpha < 0,05$
Faktör A	1	3307557.049	3307557.049	1404.0389	0.0000
Faktör B	9	9098112.398	1010901.378	429.1218	0.0000
AB	9	1712254.718	190250.524	80.7603	0.0000
Hata	80	188459.562	2355.745		
Toplam	99	14306383.727			

Faktör A: Diyagonal basınç kuvveti, Faktör B: Diyagonal çekme kuvveti

Buna göre; diyagonal basınç-çekme kuvvetleri ve bunların karşılıklı etkileşimleri arasındaki farklılık istatistiksel anlamda önemli çıkmıştır ($\alpha = 0,05$). Farklılığın hangi gruplar arasında önemli olduğunu belirlemek amacıyla yapılan DUNCAN testi sonuçları etkileşimlerin karşılaştırılması sırasında verilmiştir. Deney çeşidine göre ortalama kuvvet değerleri (kuvvetleri) Çizelge 3. de verilmiştir.

Çizelge 3. Deney çeşidine göre ortalama kuvvetler (According to the experimental varieties mean strength) (N)

DENEY ÇEŞİDİ	X	HG*
Diyagonal basınç (BS)	422	B
Diyagonal çekme (ÇK)	785	A

*LSD: 19.26, X: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik grupları

Deney çeşidine göre en yüksek kuvvet diyagonal çekmede (785 N), en düşük diyagonal basınçta (422 N) bulunmuştur.

3.1.1. Diyagonal basınç kuvveti (Diagonal compressive strength)

Birleştirme çeşidine göre diyagonal basınç kuvveti ortalama değerleri Çizelge 4 de verilmiştir.

Çizelge 4. Birleştirme çeşidine göre diyagonal basınç kuvveti ortalama değerleri (Mean values of diagonal pressure strength) (N)

Birleştirme Çeşidi	X	HG*
Kavela + Polistren tutkalı (K+Pst)	820	A
Kavela + Desmedur-VTKA (K+ D-VTKA)	496	C
Yabancı çitallı düz + Polistren tutkalı (YÇD+ Pst)	625	B
Yabancı çitallı gönye burun + Polistren tutkalı (YÇGB+ Pst)	531	C
Kinişli lambalı + Polistren tutkalı (KL+ Pst)	617	B
Yıldız vida 4x50 (YV-50)	231	DE
Yıldız vida 4x60 (YV-60)	196	E
Alyan vida 50 (AV-50)	277	D
Minifiks (MF)	196	E
Trapez (TP)	229	DE

Çizelge 5. Malzeme ve işlem çeşidine diyagonal basınç kuvveti ortalama değerleri (Mean values of diagonal pressure strength of material and process) (N)

Tutkal Çeşidi	X	HG*
Kavela+ Polistren tutkalı (K+ Pst)	820	A
Kavela+Desmodur- VTKA) (K+ D-VTKA)	496	B
Geçmeli Birleştirmeler		HG**
Yabancı çitallı düz+ Polistren tutkalı (YÇD+ Pst)	625	A
Yabancı çitallı(45°) gönye burun+ polistren tutkalı (YÇGB+Pst)	531	B
Kinişli lambalı + Polistren tutkalı (KL+ Pst)	617	A
Vida Çeşidi		HG***
Yıldız vida 4x50 (YV-50)	231	AB
Yıldız vida 4x60 (YV-60)	196	B
Alyan vida 50 (AV-50)	277	A
Demonte birleştirmeler		HG****
Minifiks (MF)	196	AB
Trapez (TP)	229	A
Tutkallı tutkalsız birleştirmeler		HG*****
Tutkallı birleştirmeler	618	A
Tutkalsız birleştirmeler	226	B

* LSD: 60.91, **LSD: 60.91, ***LSD: 60.9, ****LSD: 60.91, *****LSD: 60.91

Diyagonal basınç kuvveti, birleştirme çeşidi bakımından en yüksek kavelalı polistren tutkalı köşe birleştirmede (820 N), en düşük yıldız vidalı 4x60 köşe birleştirmede (196 N) bulunmuştur. Malzeme ve işlem çeşidine göre köşe birleştirmede diyagonal basınç kuvveti ortalama değerleri Çizelge 5. de verilmiştir.

Tutkal çeşidine göre kavelalı köşe birleştirmede diyagonal basınç kuvveti en yüksek Polistren tutkalında (820 N), en düşük Desmedur-VTKA’da (496 N) bulunmuştur. Geçmeli birleştirme çeşidine göre diyagonal basınç kuvveti en yüksek yabancı çıtalı düz köşe birleştirmede (625 N), en düşük yabancı çıtalı (45°) gönye burun köşe birleştirmede (531 N) bulunmuştur. Vidalı birleştirme çeşidine göre diyagonal basınç kuvveti en yüksek alyan vidalı 50 köşe birleştirmede (277 N), en düşük yıldız vidalı 4x60 köşe birleştirmede (196 N) bulunmuştur. Demonte birleştirme çeşidine göre diyagonal basınç kuvveti en yüksek trapez köşe birleştirmede (229 N), en düşük minifiksli köşe birleştirmede (196 N) bulunmuştur. Tutkalı ve tutkalsız köşe birleştirmelerine göre diyagonal basınç kuvveti en yüksek tutkalı köşe birleştirmeler (618 N), en düşük tutkalsız köşe birleştirmelerde (226 N) bulunmuştur.

3.1.2. Diyagonal çekme kuvveti (Diagonal tensile strength)

Diyagonal çekme kuvveti birleştirme çeşidi bakımından en yüksek kavelalı polistren tutkalı köşe birleştirmede

(1662 N), en düşük minifiksli köşe birleştirmede (343 N) bulunmuştur.

Çizelge 6. Birleştirme çeşidi bakımından diyagonal çekme kuvveti ortalama değerleri (The average values of diagonal pulling strength) (N)

Birleştirme Çeşidi	X	HG*
Kavela+ Polistren tutkalı (K+Pst)	1662	A
Kavela + Desmedur-VTKA (K+ D-VTKA)	596	E
Yabancı çıtalı düz + Polistren tutkalı (YÇD+ Pst)	1328	B
Yabancı çıtalı gönye burun + Polistren tutkalı (YÇGB+ Pst)	891	C
Kinişli lambalı + Polistren tutkalı (KL+ Pst)	817	D
Yıldız vida 4x50 (YV-50)	422	G
Yıldız vida4x60 (YV-60)	385	GH
Alyan vida50 (AV-50)	484	F
Minifiks (MF)	343	H
Trapez (TP)	929	C

Çizelge 7. Malzeme ve işlem çeşidine göre diyagonal çekme kuvveti ortalama değerleri (Mean values of diagonal tensile stress according to material and process type)

Tutkal Çeşidi	X	HG*
Kavela+ polistren tutkalı (K+ Pst)	1662	A
Kavela + Desmedur-VTKA (K+ D-VTKA)	596	B
Geçmeli birleştirmeler		HG*
Yabancı çıtalı düz + polistren tutkalı (YÇD+ Pst)	1328	A
Yabancı çıtalı(45°) gönye burun+ Polistren tutkalı (YÇGB+ Pst)	891	B
Kinişli lambalı + polistren tutkalı (KL+ Pst)	817	C
Vida çeşidi		HG**
Yıldız vida 4x50 (YV-50)	422	B
Yıldız vida 4x60 (YV-60)	385	BC
Alyan vida 50 (AV-50)	484	A
Demonte birleştirmeler		HG***
Minifiks (MF)	343	B
Trapez (TP)	929	A
Tutkalı ve Tutkalsız Birleştirmeler		HG****
Tutkalı birleştirmeler	1058	A
Tutkalsız birleştirmeler	512	B

* LSD: 60.91, ** LSD: 60.91, ***LSD: 60.91,****LSD: 60.91,***** LSD: 60.91

Tutkal çeşidine göre kavelalı köşe birleştirmede diyagonal basınç kuvveti en yüksek Polistren tutkalında (820 N), en düşük Desmodur-VTKA'da (496 N) bulunmuştur. Geçmeli birleştirme çeşidine göre diyagonal basınç kuvveti en yüksek yabancı çıtalı düz köşe birleştirmede (625 N), en düşük yabancı çıtalı (45°) gönye burun köşe birleştirmede (531 N) bulunmuştur. Vidalı birleştirme çeşidine göre diyagonal basınç kuvveti en yüksek alyan vidalı 50 köşe birleştirmede (277 N), en düşük yıldız vidalı 4x60 köşe birleştirmede (196 N) bulunmuştur. Demonte birleştirme çeşidine göre diyagonal basınç kuvveti en yüksek trapez köşe birleştirmede (229 N), en düşük minifiksli köşe birleştirmede (196 N) bulunmuştur. Tutkallı ve tutkalsız köşe birleştirmelerine göre diyagonal basınç kuvveti en yüksek tutkallı köşe birleştirmeler (618 N), en düşük tutkalsız köşe birleştirmelerde (226 N) bulunmuştur.

3.1.2. Diyagonal çekme kuvveti (Diagonal tensile strength)

Diyagonal çekme kuvveti birleştirme çeşidi bakımından en yüksek kavelalı polistren tutkallı köşe birleştirmede (1662 N), en düşük minifiksli köşe birleştirmede (343 N) bulunmuştur.

Tutkal çeşidine göre kavelalı köşe birleştirmede diyagonal çekme kuvveti en yüksek polistren'da (1662 N), en düşük Desmodur-VTKA'da (596 N) bulunmuştur. Geçmeli birleştirme çeşidine göre diyagonal çekme kuvveti en yüksek yabancı çıtalı düz köşe birleştirmede (1328 N), en düşük kınışlı lambalı köşe birleştirmede (817 N) bulunmuştur. Vidalı birleştirme çeşidine göre diyagonal çekme kuvveti en yüksek alyan vidalı 50 köşe birleştirmede (484 N), en düşük yıldız vidalı 4x60 köşe birleştirmede (385 N) bulunmuştur. Demonte birleştirme çeşidine göre diyagonal çekme kuvveti en yüksek trapez köşe birleştirmede (929 N), en düşük minifiksli köşe birleştirmede (343 N) bulunmuştur. Tutkallı ve tutkalsız köşe birleştirmelerine göre diyagonal çekme kuvveti en yüksek tutkallı köşe birleştirmeler (1058 N), en düşük tutkalsız köşe birleştirmelerde (512 N) bulunmuştur.

3.1.3. Kuvvet değerlerinin karşılaştırılması (Comparison of strength values)

Birleştirme çeşidine göre ortalama kuvveti değerleri Çizelge 8. de verilmiştir. Birleştirme çeşidine göre kuvveti değişimi Şekil 14. de verilmiştir.

Çizelge 8. Birleştirme çeşidine göre ortalama kuvveti değerleri (Average strength values according to the joining type) (N)

Birleştirme Çeşidi	Deney Çeşidi	
	Basınç (X)*	Çekme (X)*
Kavela+ polistren tutkalı (K+ Pst)	820	1662
Kavela+ Desmedur-VTKA (K+ D-VTKA)	496	596

Yabancı çıtalı düz + Polistren tutkalı (YÇD+Pst)	625	1328
Yabancı çıtalı (45°) gönye burun+ polistren tutkalı (YÇGB+Pst)	531	891
Kınışlı lambalı+ Polistren tutkalı (KL+ Pst)	617	817
Yıldız vidalı 4x50 (YV-50)	231	422
Yıldız vidalı 4x60 (YV-60)	196	385
Alyan vidalı-50 (AV-50)	277	484
Minifiks (MF)	196	343
Trapez (TP)	229	929

Birleştirme çeşidine göre en yüksek kuvveti; diyagonal çekmede kavelalı polistren tutkallı köşe birleştirmede (1662 N), en düşük diyagonal basınçta yıldız vidalı 4x60 köşe birleştirmede (196 N) bulunmuştur.

Çizelge 9. Tutkal çeşidine göre ortalama kuvveti değerleri (Average strength values according to glue grade) (N)

Tutkal Çeşidi	Deney Çeşidi	
	Basınç (X)*	Çekme (X)*
Kavelalı + Polistren tutkalı (K+ Pst)	820	1662
Kavelalı + Desmadur-VTKA (K+ D-VTKA)	496	596

* LSD: 60.91

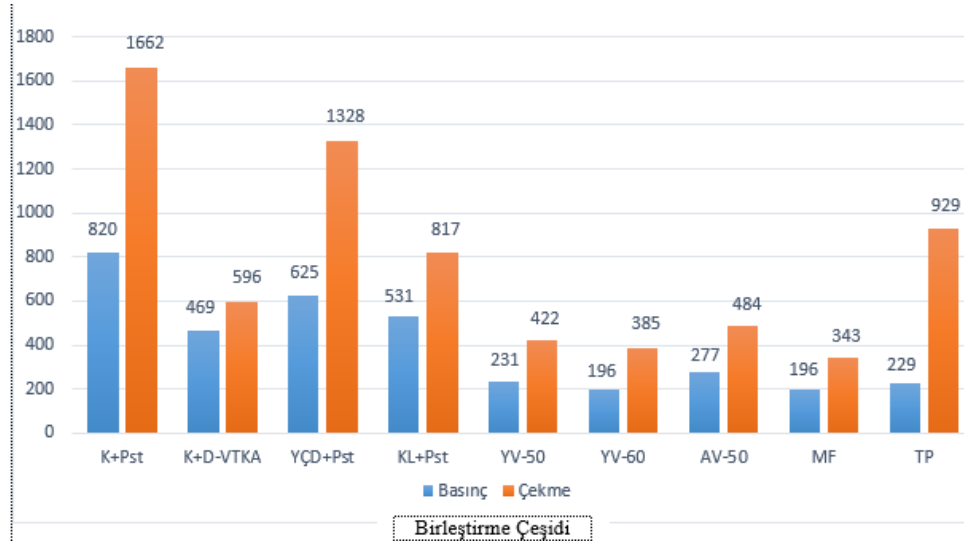
Tutkal çeşidine göre en yüksek kuvveti; diyagonal çekmede polistren tutkalında'da (1662 N), en düşük diyagonal basınçta Desmodur - VTKA'da (496 N) bulunmuştur.

Çizelge 10. Tutkallı ve tutkalsız birleştirme çeşidine göre kuvvet değerleri (strength values according to glue and glue combination) (N)

Tutkallı ve Tutkalsız Birleştirmeler	Deney çeşidi	
	Basınç deneyi (X)*	Çekme deneyi (X)*
Tutkallı birleştirmeler	618	1058
Tutkalsız birleştirmeler	226	512

* LSD: 60.91

Tutkallı ve tutkalsız birleştirme çeşidine göre en yüksek kuvvet; diyagonal çekmede tutkallı köşe birleştirmelerde (1058 N), en düşük diyagonal basınçta tutkalsız köşe birleştirmede (226 N) bulunmuştur.



Şekil 14. Birleştirme çeşidine göre kuvveti değişimi (Change of strength according to the combination cement) (N)

4. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS)

En yüksek kuvvet diyagonal çekmede (785 N), en düşük diyagonal basınçta (422 N) bulunmuştur. Birleştirme çeşidine göre diyagonal basınç kuvveti en yüksek kavelalı polistren tutkallı köşe birleştirmede (820 N), en düşük yıldız vidalı 4x60 köşe birleştirmede (196 N) bulunmuştur. Diyagonal basınç kuvveti, polistren tutkallı köşe birleştirme, yıldız vidalı 4x60 köşe birleştirmeden yaklaşık 4 kat daha fazla çıkmıştır. Bu durum tutkallama işleminin yapışma yüzey alanını artırmasından kaynaklanabilir. Yıldız vidalı 4x60 ile elde edilen değerler, yıldız vidalı 4x50 den daha düşük çıkmıştır. Bu durum, bu çalışmada test edilen 18 mm kalınlığındaki Pslam için vida çapının artmasının çekme basma kuvvetlerini azalttığı söylenebilir. Nitekim literatürde yapılan çalışmalarda vida çapı arttıkça basınç ve çekme kuvvetlerinin azaldığı tespit edilmiştir (21, 22, 23, 24).

Birleştirme çeşidine göre diyagonal çekme kuvveti en yüksek kavelalı polistren tutkallı köşe birleştirmede (1662 N), en düşük minifiks köşe birleştirmede (343 N) bulunmuştur. Diyagonal çekme deneyinde polistren tutkallı köşe birleştirme, minifiks köşe birleştirmeden yaklaşık 5 kat daha fazla çıkmıştır. Bu durum kavelalı polistren tutkallı köşe birleştirmenin tüm yüzeyde yapışmayı sağlayarak direnç oluşturmamasından kaynaklanabilir.

Birleştirme çeşidine göre diyagonal basınç kuvveti en yüksek yıldız vidalı 4x50 köşe birleştirmede (91mm), en düşük kavelalı Desmodur-VTKA tutkallı köşe birleştirmede (7 mm) bulunmuştur. Diyagonal basınç, yıldız vidalı 4x50 köşe birleştirmede kavelalı Desmodur-VTKA tutkallı köşe birleştirmeden 13 kat daha fazla çıkmıştır. Bu durum, Desmodur-VTKA tutkalının yüzeyle yeterli mekanik bağ kuramamasından kaynaklanabilir.

Deneyler sonunda, polistren tutkalının poliüretan tutkalına göre, alyan vidanın (50) diğer vidalara göre, tutkallı birleştirmelerin tutkalsız birleştirmelere göre, trapez köşe

birleştirmenin diğer birleştirme çeşitlerine göre daha yüksek performans gösterdiği tespit edilmiştir. Sonuç olarak, mutfak ve banyo gibi ıslak mekânlardaki mobilya ve dekorasyon uygulamalarında kavelalı polistren tutkallı köşe birleştirme tekniği önerilmektedir. Bundan sonra yapılacak araştırmalarda, polistren tutkalının fiziksel, teknik ve mekanik özelliklerini belirlemeye yönelik araştırmalar yapılabilir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Engleson T., "Zasammenfassung der untersuchungen vor einigen spanplatten eigenschaften im schwedischen", *Holzforschungsinstitut*, 52, Sweden, (1973).
- Fujimoto Y. and Mori M., "Performance of wood screw joints for particleboard", *Science Bulletin of the Faculty of Agriculture*, 38(1): 45-57, (1983).
- Shih-Chao L. and Eckelman C.A., "Rigidity of furniture cases with various joint constructions", *Forest Products Journal*, 37(1): 23-27, (1987).
- Özçifçi A., "Yongalevha ile hazırlanan mobilya köşe birleştirmelerine ait mukavemet özelliklerinin araştırılması", *Yüksek Lisans Tezi*, G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 5-52, Ankara, (1995).
- Lin S.C. and Eckelman C.A., "Rigidity of furniture cases with various joint construction", *Forest Product Journal*, 37(1): 23-27, (1987).
- Zhang J.L. and Eckelman C.A., "Rational design of multi dowel corner joints in case construction", *Forest Products Journal*, 43(11): 19, (1993).
- Wan-Qian L. and Eckelman C.A., "Effect of number of fastener on the strength of corner joints for cases", *Forest Products Journal*, 48(1): 93-95, (1993).
- Chia-Lin H. and Eckelman C.A., "The use of performance tests in evaluating joint and fastener strength in case furniture", *Forest Products Journal*, 44(9): 47-53, (1994).
- Doğanay S., "Mobilya endüstrisinde kullanılan ahşap malzemenin vida tutma direncinin belirlenmesi", *Yüksek Lisans Tezi*, GÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 64, Ankara, (1995).

10. Eckelman C.A., “Designing high quality furniture with wood composites”, *Purdue University Paper*, 42-47 (1999).
11. Türk M., “Plastik ve ahşap esaslı kompozit bisküvilerle hazırlanan mobilya köşe birleştirmelerinde bazı direnç özelliklerinin araştırılması”, *Bilim Uzmanlığı Tezi*, ZKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 38-40, (2007).
12. Atar M., “PVAc tutkalında viskozite değişiminin bazı ağaç malzemelerde yapışma direncine etkileri”, *Politeknik Dergisi*, 10(1): 85-91, (2007).
13. Üretici Firma Dokümantasyonu, Şeref Plastik ve Makine San. Tic. Ltd. Şti Ankara (2000).
14. TSE 4539 “Ahşap birleştirmeler – Kavelalı birleştirme kuralları”, TSE, Ankara (1985).
15. Polisan Desmedur - VTKA, “Üretici firma dökümanı”, Gebze, Kocaeli (1997).
16. TS 4499, Ahşap birleştirmeler-terimler tanımlar, Türk Standartları Enstitüsü, 1985.
17. TS EN 326-1, “Ahşap Esaslı Levhalar-Numune alma kesme ve muayene Bölüm 1: Deney numunelerinin seçimi, kesimi ve deney sonuçlarının gösterilmesi”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 14, (1999).
18. TS EN 13446, “Ahşap esaslı levhalar – Bağlayıcıların geri çıkma kapasitesinin tayini”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 15 (2005).
19. ASTM-D 1037, “Standard Test Methods For Evaluating Properties Of Wood-Base Fiberand Particle Panel Materials”, *ASTM Standards*, 243-251, (2006).
20. ASTM D 1037-98 “Standard methods of evaluating the properties of wood-base fiber and particle panel materials”, *ASTM Standards*, (1998).
21. Özçifçi A., “The effects of pilot hole, screw types and layer thickness on the withdrawal strength of screws in laminated veneer lumber”, *Materials & Design*, 30: 2355–2358, (2009).
22. Doğanay S., Özçifçi A. ve Küreli İ., “Mobilya üretiminde kullanılan yongalevhada kenar masifinin vida tutma direncine etkisi”, *GÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10(2): 273-280, (1997).
23. Özçifçi A. ve Doğanay S., “Etiket yongahlevha (Waferboard) ile doğu kayını ve ladin odunlarının vida ve çivi tutma dirençleri”, *Türk Tarım ve Ormanlık Dergisi*, 23(5): 1207-1213, (1999).
24. Örs Y., Özen R. and Doğanay S., “Screw holding ability of wood materials used in furniture manufacture”, *Türk Tarım ve Ormanlık Dergisi*, 22(1): 29–34, (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>

Okul yeri seçiminde coğrafi bilgi sistemine dayalı AHP-TOPSIS yaklaşımı: Ankara ili örneği

Geographic information system-based AHP-TOPSIS approach for school site selection: A case study for Ankara

Yazar(lar) (Author(s)): Ayşenur USLU, Kübra KIZILOĞLU, Selçuk Kürşat İŞLEYEN, Erkay KAHYA

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Uslu A., Kızıloğlu K., İşleyen S. K. ve Kahya E., “Okul yeri seçiminde coğrafi bilgi sistemine dayalı AHP-TOPSIS yaklaşımı: Ankara ili örneği”, *Politeknik Dergisi*, 20(4): 933-943, (2017).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.369099

Okul Yeri Seçiminde Coğrafi Bilgi Sistemine Dayalı AHP-TOPSIS Yaklaşımı: Ankara İli Örneği

Araştırma Makalesi / Research Article

Ayşenur USLU¹, Kübra KIZILOĞLU², Selçuk Kürşat İŞLEYEN², ErKay KAHYA³

¹Başkent Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü,06810,Ankara

²Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü,06570,Ankara

³Türksat A.Ş., Konya yolu 40.km, Gölbaşı, 06830,Ankara

(Geliş/Received : 10.10.2016 ; Kabul/Accepted : 09.11.2016)

ÖZ

Okul yer seçimi problemi, bölgenin nüfus yoğunluğu, ulaşım imkânları, nüfusun kapsanma düzeyi, bölgenin güvenliği gibi birçok kriterin birlikte değerlendirilmesini gerektiren çok kriterli bir karar verme problemidir. Karar verme aşamasında dikkate alınması gereken önemli noktalardan birisi de mevcut yasal kısıtlamalardır. Bu çalışmada, açılması planlanan bir ilköğretim okulu için en uygun yerin belirlenmesi amacıyla Coğrafi Bilgi Sistemine (CBS) dayalı Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) ve İdeal Çözüme Benzerliğine Göre Tercih Sıralama Tekniği (TOPSIS) yöntemlerini içeren yeni bir çözüm yaklaşımı önerilmiştir. İlk olarak imar planı doğrultusunda okul açılacak devlet arazileri aday yerler olarak alınmıştır. Bu aday yerlerden yasal kısıtlamalara uyan ve mevcut okullarla birlikte belirlenen yürüme mesafesi içerisinde öğrencileri kapsayan araziler alternatif yerler olarak ArcGIS ESRI programı kullanılarak belirlenmiştir. Daha sonra, literatür incelemesi sonucunda belirlenen kriterlere ait kriter ağırlıkları AHP yöntemi ile hesaplanmış ve alternatif yerler bu ağırlıklar kullanılarak TOPSIS yöntemi ile sıralanmıştır. Önerilen yaklaşım Ankara ili Çankaya ilçesinde uygulanmış ve sonuçlar verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: CBS, AHP, TOPSIS, tesis yer seçimi, okul yer seçimi.

Geographic Information System-Based AHP-TOPSIS Approach for School Site Selection: A Case Study for Ankara

ABSTRACT

Identification of school zones is a multi-criteria decision-making problem, which requires a collective evaluation of many criteria, including population density, transportation facilities, level of the population covered, safety of the region. One of the important points that need to be considered during the decision-making phase is the legal restrictions. In this study, a new solution approach is suggested that uses Analytic Hierarchy Process (AHP) and Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) methods based on Geographical Information System (GIS) for identification of the most convenient location for a primary school to be opened. First, state lands that can accommodate a school in accordance with the development plan have been identified as candidate locations. Among these candidate locations, lands that comply with legal restrictions and cover students within given walking distances with other existing schools were identified as alternative locations by using ArcGIS ESRI software. Then, weights of criteria that were determined by literature reviews were calculated with AHP and alternative locations were ranked with TOPSIS method by using these weights. Suggested approach has been applied to Çankaya district of Ankara city, and results have been presented.

Keywords: GIS, AHP, TOPSIS, site selection, school site selection.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Bir ülkenin ilerlemesi ve kalkınması ancak eğitim ile mümkündür. Eğitim kalitesinin artırılabilmesi için eğitim sürecine katkı sağlayan tüm unsurların (eğitim programı, öğretmen, öğretim metotları, teknoloji, donanım ve fiziki özellikler, kullanılan materyaller vb.) nitelikli hale getirilmesi ve sürecin etkin bir şekilde planlanması gerekir. Eğitim sürecinin planlanmasında verilmesi gereken

stratejik kararlardan birisi de okulun kurulacağı yerin belirlenmesidir. Okulların bulunduğu yerler, öğrencilerin okula rahat erişimi, güvenli ve huzurlu bir ortamda bulunmaları gibi birçok açıdan önem taşımakta ve eğitimin kalitesini doğrudan etkilemektedir. Okul yer seçimi problemi; bölgenin nüfus yoğunluğu, ulaşım imkânları, nüfusun kapsanma düzeyi, bölgenin güvenliği, potansiyel nüfus artışı, çevre kirliliği, altyapı imkânları gibi birçok kriterin birlikte değerlendirilmesini gerektiren çok kriterli bir karar verme problemidir. Karar verme aşamasında dikkate alınması gereken önemli noktalardan birisi de umuma açık ve içkili yerler ile okul binaları arasındaki

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : aysenur@baskent.edu.tr

mesafelerin düzenlenmesi gibi yasal kısıtlamalardır. Ayrıca, tüm öğrencilerin belirli bir mesafe ile kapsanabilmesi de önemli bir diğer noktadır. Bu çalışmada, okul açılacak en uygun yerin belirlenmesi amacıyla CBS, AHP ve TOPSIS yöntemlerini içeren bütünlük bir çözüm yaklaşımı önerilmiştir.

CBS, belli bir amaca yönelik olarak yeryüzüne ait gerçek verilerin toplanması, depolanması, sorgulanması, transferi ve görüntülenmesi işlevlerini yerine getiren araçların tümüdür[1]. CBS'nin kullanım amaçlarından birisi de karar verme aşamasında kullanılacak oldukça fazla miktar ve çeşitteki coğrafi verinin analiz edilerek karar vericiler için doğru girdilerin oluşturulmasıdır. Çalışmada önerilen yaklaşımda, alternatif yerlerin belirlenmesi sürecinde CBS kullanılmıştır. Burada ilk olarak seçim yapılacak bölge için ArcGIS ESRI programında katmanlar (yol, bina, mahalle, çevresel etmenler vb.) oluşturulmuştur. İmar planı doğrultusunda okul açılacak devlet arazileri aday yerler olarak alınmıştır. Oluşturulan veriler analiz edilerek bu aday yerlerden yasal kısıtlamalara uyan ve mevcut okullarla birlikte maksimum 1500 m. ile ilköğretim düzeyindeki tüm öğrencileri kapsayabilen araziler alternatif yerler olarak ArcGIS ESRI programı kullanılarak belirlenmiştir. CBS'nin karar verme yöntemleriyle birlikte kullanılması girdi kalitesini arttıracığından verilen kararların niteliğini olumlu yönde etkileyecektir.

AHP, 1997 yılında Thomas L. Saaty tarafından geliştirilen ve bir karar problemindeki sonlu sayıdaki alternatifleri birden fazla kritere göre değerlendirerek, önem düzeylerine göre sıralayan çok kriterli bir karar verme yöntemidir. TOPSIS ise 1981 yılında Hwang ve Yoon tarafından geliştirilmiştir. Yöntemin temel amacı pozitif ideal çözüme en yakın, negatif ideal çözüme ise en uzak uzlaşık çözümün bulunmasıdır. Önerilen yaklaşımda alternatif yerlerin CBS ile belirlenmesinden sonra kriter ağırlıkları AHP ile hesaplanmış ve bu ağırlıklar kullanılarak alternatif yerler TOPSIS yöntemi ile sıralanmıştır. AHP ve TOPSIS yöntemlerinin birlikte kullanılması ile AHP'nin kriter ağırlıklarını belirlemedeki üstünlüğünün ve TOPSIS yönteminin alternatifleri hızlı, kolay bir şekilde sıralayabilme özelliklerinden faydalanılması hedeflenmiştir. Daha sonra problem için önerilen yaklaşım

Ankara ili Çankaya ilçesinde uygulanmış ve sonuçlar verilmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde yer seçimi problemlerinde CBS ve çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemlerinin birlikte kullanıldığı bazı çalışmalar incelenmiştir. Üçüncü bölümde önerilen yaklaşım açıklanmıştır. Dördüncü bölümde uygulama sonuçları verilmiş, son olarak beşinci bölümde ise çalışmanın sonuçları değerlendirilmiş ve konuya ilişkin gelecekte yapılabilecek çalışmalara değinilmiştir.

2. LİTERATÜR İNCELEMESİ (LITERATURE REVIEW)

Tesisler için en uygun yerlerin ve bu yerlerden hangi müşterilere hizmet verileceğinin belirlenmesi problemi literatürde yer belirleme-tahsis (location-allocation) problemleri olarak bilinmekte ve genel olarak kamusal yerleşim problemleri (public location problem) ve özel yerleşim problemleri (private location problem) olarak sınıflandırılmaktadır. Özel yerleşim problemlerinde (perakende mağaza, fabrika yeri vb.) maliyetin en küçüklenmesi önemliyken kamusal yerleşim problemlerinde (itfaiye, hastane, okul vb.) nüfusun tesise erişebilirliğini sağlamak önem kazanmaktadır [2]. Okul yer seçimi problemi de literatürde genellikle kamusal yerleşim problemleri sınıfına girmekte ve öncelikle nüfusun kapsanması önemli hâle gelmektedir. 50 yılı aşkın bir süredir araştırmacıların ilgisini çeken kuruluş yeri seçimi ile ilgili literatürdeki matematiksel modeller için Narula [3], Daskin [4], Owen ve Daskin [5], Arabani ve Farahani [6]'nin çalışmaları incelenebilir. Matematiksel modellerin yanı sıra birçok kriteri aynı anda değerlendiren ve karar vericilerin değerlendirmelerini de dikkate alan ÇKKV yöntemleri de kuruluş yerinin belirlenmesinde sıklıkla kullanılmaktadır. Ayrıca, son yıllarda bilgi teknolojilerindeki gelişmelerle birlikte CBS de kuruluş yeri seçiminde kullanılan önemli bir araç haline gelmiştir. Kuruluş yeri seçiminde CBS ve ÇKKV yöntemlerinin birlikte kullanıldığı çalışmaların kısa bir özeti Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1'de verilen çalışmalarda kriter ağırlıkları AHP ile hesaplanmış ve bunlar CBS'de uygunluk haritası çı-

Çizelge 1. Yer seçiminde CBS ve ÇKKV yöntemlerinin kullanıldığı çalışmaların kısa bir özeti (Summary of GIS and MCDM approaches used in site selection)

Yazar(lar)	Yöntem	Uygulama Alanı
Önüt ve Soner[7]	CBS-AHP-FTOPSIS	Katı atık aktarma yeri seçimi, İstanbul
Vahidnia vd.[8]	CBS-FAHP	Hastane yeri seçimi, Tahran
Lai vd.[9]	CBS-AHP	İtfaiye yeri seçimi, Çin
Roig-Tierno vd.[10]	CBS-AHP	Süpermarket yeri seçimi, İspanya
Uyan[11]	CBS-AHP	Güneş tarlası yeri seçimi, Konya
Sánchez-Lozanoa vd.[12]	CBS-AHP-TOPSIS	Güneş tarlası yeri seçimi, İspanya
Mishra vd.[13]	CBS-AHP	Organik çiftlik yeri seçimi, Uttarakhand
Rasli vd.[14]	CBS-AHP	Park yeri seçimi, Malezya
Çetinkaya vd.[15]	CBS-FAHP-TOPSIS	Mülteci kamp yeri seçimi, Türkiye
Chaudhary vd.[16]	CBS-AHP	İtfaiye yeri seçimi, Nepal

FAHP: Bulanık AHP, FTOPSIS: Bulanık TOPSIS

karılması için bir girdi oluşturmuştur. Bu çalışmada önerilen yaklaşımda ise CBS'den elde edilen veriler AHP-TOPSIS için girdi oluşturmaktadır.

içerisinde öğrencileri kapsayan alanlar seçilmiştir. İkinci aşamayı AHP yönteminin adımları oluşturmaktadır. Burada kriter ağırlıkları belirlenmektedir. Son aşamada

Çizelge 2. Önerilen kriterlerin literatürdeki bazı çalışmalar ile ilişkisi (Relationship of suggested criteria with some studies in the literature)

Yazar(lar)	Kriter No												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Önüt ve Soner[7]		X						X					X
Vahidnia vd.[8]				X	X			X			X		X
Lai vd.[9]				X			X	X					
Roig-Tierno vd.[10]		X	X	X			X				X		X
Uyan[11]		X						X	X		X		X
Sánchez-Lozanoa vd.[12]								X	X				X
Mishra vd.[13]	X							X	X				X
Rasli vd.[14]				X				X	X				
Çetinkaya vd.[15]	X			X				X	X			X	X
Chaudhary vd.[16]		X		X				X					
Arslan ve Yıldız [20]		X		X						X			X
Önerilen çalışma	X	X	X	X	X	X	X	X			X		X

KriterNo: 1:Altyapı, 2:Erişilebilirlik, 3: Potansiyel büyüme, 4:Nüfus yoğunluğu, 5:Güvenlik, 6:Çevre kirliliği, 7:Çevredeki benzer tesisler, 8:Mesafe (yakınlık/uzaklık), 9:Coğrafi özellikler, 10:Sosyal yapı, 11:Kuruluma maliyeti, 12: Risk etmenleri, 13:Diğer

Literatürde okul yeri seçimi konusunu temel alan az sayıda çalışma bulunmaktadır. McNamara [17] çalışmasında eğitimin planlanmasında kullanılan matematiksel modelleri açıklamıştır. Bruno ve Andersen[18], kayıtların azaldığı dönemlerde okulların planlanması için matematiksel bir model önermiştir. Kavili Arap [19] çalışmasında üniversitelerin kuruluş yeri seçiminde dikkate alınan kriterlere değinmiştir. Özdemir ve Tokyay [20] maksimum yürüme mesafesi ve okul kapasitesi kısıtları altında genetik algoritma ve CBS yardımıyla İstanbul, Kadıköy ilçesinde okul yeri seçimi yapmıştır. Arslan ve Yıldız [21] bulanık TOPSIS yöntemi ile Düzce ilinde spor lisesi için yer seçim çalışması yapmışlardır.

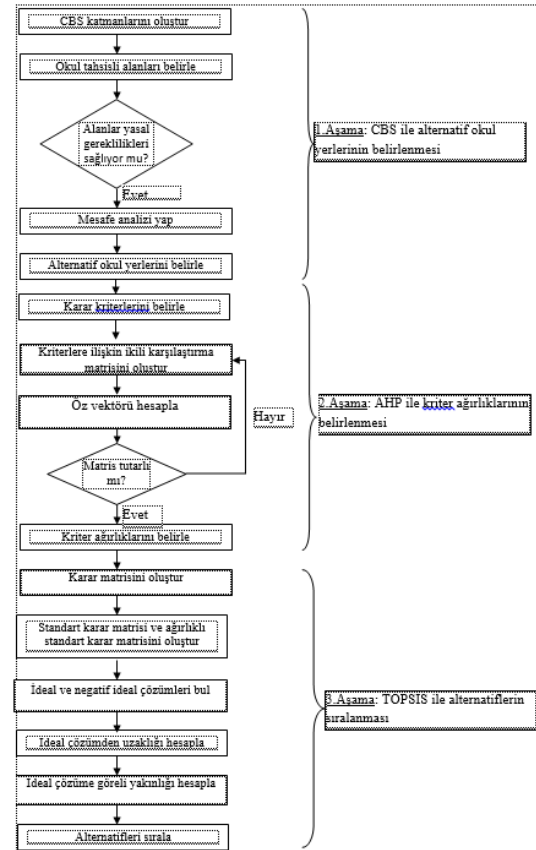
ÇKKV yöntemlerini içeren ve yukarıda incelenmiş olan çalışmalarda ele alınan kriterler Çizelge 2'de gösterilmiştir.

Çalışmada ele alınan bölgenin coğrafi özellikleri, risk (deprem, sel vb.) etmenleri ve sosyal yapısı benzer olduğundan bu kriterler dikkate alınmamıştır. Kurulum maliyeti kriteri ise maliyet ikinci planda tutulduğundan ele alınmamıştır. Mesafe kriteri CBS aşamasında kullanılmış ve alternatif yerler ilk 7 kriter ile karar vericinin görüşü alınarak değerlendirilmiştir.

3. ÖNERİLEN YÖNTEM (PROPOSED METHOD)

Bu çalışmada okul yer seçimi problemi için önerilen yaklaşım 3 aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada alternatif yerler ArcGIS ESRI programı kullanılarak belirlenmektedir. Burada seçilen bölgedeki okul tahsisli alanlar içerisinde, yasal kısıtları sağlayan ve mevcut okullarla birlikte istenilen maksimum yürüme mesafesi

ise alternatif yerler, belirlenen kriter ağırlıkları kullanılarak TOPSIS yöntemi ile sıralanmıştır. Önerilen yaklaşımın işleyişi Şekil 1'de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 1. Önerilen yaklaşımın işleyişi (Flow chart of the proposed approach)

3.1. CBS ile Alternatif Yerlerin Belirlenmesi

(Determination of Alternative Sites with GIS)

AHP-TOPSIS aşamalarında girdi olarak kullanılacak olan alternatif yerler ArcGIS ESRI paket programı kullanılarak belirlenir.

Adım 1: CBS katmanlarının oluşturulması

İlk olarak CBS katmanları oluşturularak veriler hazırlanır. Şekil 2’de gösterildiği gibi bu çalışmada binalar, yollar, tahsisli alanlar ve mahalle katmanları oluşturulmuştur. Bölgedeki içkili alan, ganyan bayii, gece kulübü, kiraathane, meyhane, tekel bayi, internet kafe gibi umuma açık ve içkili yerler işaretlenerek analizler için bir veri tabanı oluşturulur.

Adım2: Okul tahsisli alanların belirlenmesi ve yasal gerekliliklerin kontrolü

Tahsisli alanlar, imar planında okul yeri olarak belirlenmiş yerleri göstermektedir. İlköğretim ve eğitim kanunumuzun 61. maddesine göre meyhane, kahvehane, kiraathane, bar, elektronik oyun merkezleri gibi umuma açık yerler ile açık alkollü içki satılan yerlerin, okul binalarından kapıdan kapıya en az 100 metre uzaklıkta bulunması zorunludur[22]. Tahsisli alanlar ile yasa da adı geçen yerler arasındaki uzaklıklar hesaplanarak 100 metreden yakın mesafede olan tahsisli alanlar değerlendirilmeden çıkarılır.

Adım3: Mesafe analizinin yapılması ve alternatif okul yerlerinin belirlenmesi

Yasal gereklilikleri sağlayan tahsisli alanlar ve mevcut okullar birlikte dikkate alınarak mesafe analizi yapılır ve açılacak eğitim kurumları ile tüm öğrencilerin belirlenen mesafe ile kapsamı amaçlanır. Çalışmada bu mesafe ilköğretim öğrencileri düşünülerek 1500 m. olarak alınmıştır. 1500 m. ile kapsamayı sağlayan tahsisli alanlar alternatif yerler olarak belirlenir.



Şekil 2. CBS katmanları (GIS layers)

3.2. AHP ile Kriter Ağırlıklarının Hesaplanması

(Calculation of Criteria Weights with AHP)

Önerilen yaklaşımın 2. aşaması kriter ağırlıklarının AHP yöntemi ile belirlenmesini içermektedir. AHP yönteminin kriterlerin ağırlıklandırılması için uygulanan adımları aşağıda verilmiştir [23-25].

Adım 1: Karar kriterlerinin belirlenmesi

Alternatiflerin değerlendirilmesinde kullanılacak olan kriterler belirlenir.

Adım 2: İkili karşılaştırma matrisinin oluşturulması

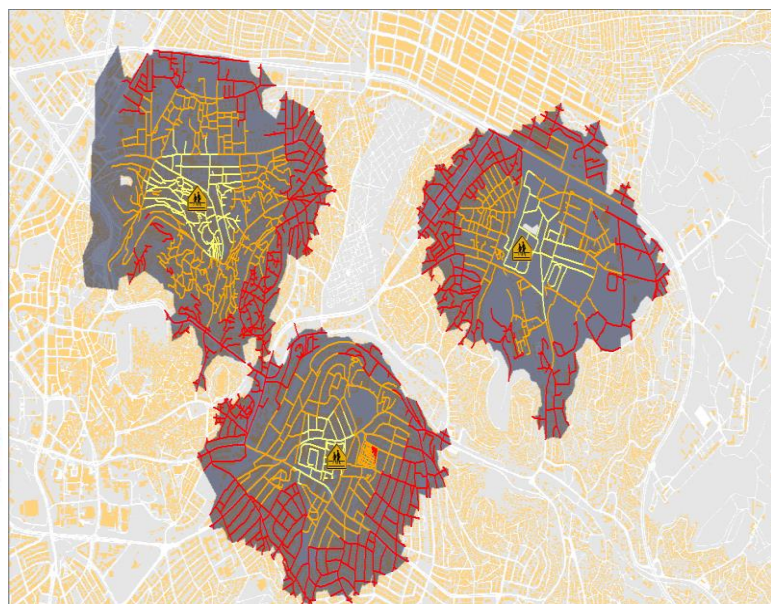
Bu adımda Çizelge 3’te verilen değerlendirme skalası kullanılarak kriterler kendi içerisinde kıyaslanır ve ikili karşılaştırma matrisi oluşturulur (Eşitlik 1).

n: Kriter sayısı

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Çizelge 3. AHP değerlendirme skalası (AHP evaluation scale) [26]

Önem değerleri	Değer Tanımları
1	Eşit derecede önemli
3	Biraz daha fazla önemli
5	Kuvvetli derecede önemli
7	Çok kuvvetli derecede önemli
9	Aşırı derecede önemli
2,4,6,8	Ara değerler



Şekil 3. Mesafe analizi-1500 m. (Distance analysis-1500 m.)

Adım 3: Öz vektörün (Görelî önem vektörünün) hesaplanması

İkili karşılaştırma matrisindeki her bir faktörün diğer faktörlere göre önemini gösteren öz vektör Eş. 2 ve Eş. 3 kullanılarak hesaplanır.

$i=1,2,\dots,n$ ve $j=1,2,\dots,n$ olmak üzere;

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (2)$$

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n b_{ij}}{n} \quad (3)$$

Kriterlerin yüzde önem düzeylerini belirlemek için W sütun vektörü Eş. 4'te ki şekilde oluşturulur.

$$W = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} \quad (4)$$

Adım 4: Tutarlılığın kontrol edilmesi

Adım 2'de oluşturulan ikili karşılaştırma matrisi için tutarlılık oranı (CR) hesaplanır. Bu hesaplama ile yapılan ikili karşılaştırmada karar vericiden kaynaklı bir tutarsızlık olup olmadığı kontrol edilir. Tutarlılık oranının üst limitinin 0.1 olması istenmektedir, 0.1 değerinden büyük olması durumunda yapılan ikili karşılaştırma gözden geçirilerek tekrar değerlendirilir. Tutarlılık oranı Eş. 5 ile hesaplanır. Bu eşitlikte kullanılan λ değeri ikili karşılaştırma matrisinin en büyük özvektör değeri olup Eş.6 ve Eş.7 ile hesaplanır. RI değeri ise kriter sayısına bağlı olarak Çizelge 4'te verilmiştir.

$$CR = \frac{\lambda_{max} - n}{RI(n - 1)} \quad (5)$$

$$[d_i]_{n \times 1} = [a_{ij}]_{n \times m} \times [w_i]_{n \times 1} \quad (6)$$

$$\lambda_{max} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i / w_i}{n} \quad (7)$$

Çizelge 4. Rassallık endeksi (RI) verileri (Randomness index) [27]

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

3.3. TOPSIS ile Alternatiflerin Sıralanması (Sorting Alternatives with TOPSIS)

Yaklaşımın 3. aşamasında AHP'den elde edilen kriter ağırlıkları kullanarak alternatiflerin sıralanması için TOPSIS yöntemi kullanılmıştır. Yöntemin işleyişi aşağıda verilmiştir[25][27-28].

Adım 1: Karar matrisinin (T) oluşturulması

TOPSIS yönteminin ilk adımı alternatiflerin (m), kriterlere (n) göre değerlendirilmesini içeren karar matrisinin oluşturulmasıdır.

$$T = \begin{bmatrix} t_{11} & t_{12} & \dots & t_{1n} \\ t_{21} & t_{22} & \dots & t_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ t_{m1} & t_{m2} & \dots & t_{mn} \end{bmatrix} \quad (8)$$

Adım 2: Standart karar matrisinin (R) ve ağırlıklı standart karar matrisinin (V) oluşturulması

T karar matrisi Eş. 9 kullanılarak normalize edilir ve bu değerler ile standart karar matrisi (R) oluşturulur.

$$r_{ij} = \frac{t_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m t_{kj}^2}} \quad (9)$$

$$R_{ij} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad (10)$$

Standart karar matrisinin oluşturulmasının ardından AHP'den elde edilen kriter ağırlıkları (w_i) kullanılarak ağırlıklı standart karar matrisi (V) oluşturulur.

$$V_{ij} = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & \dots & w_n r_{1n} \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} & \dots & w_n r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_1 r_{m1} & w_2 r_{m2} & \dots & w_n r_{mn} \end{bmatrix} \quad (11)$$

Adım 3: İdeal (A^*) ve negatif ideal (A^-) çözümlerin oluşturulması

V matrisinin sütunlarında yer alan en iyi performans değerleri ideal çözüm kümesini (A^*), en kötü değerler ise negatif ideal çözüm kümesini (A^-) oluşturmaktadır.

$$A^* = \left\{ \left(\max V_{ij} \mid j \in J \right), \left(\min V_{ij} \mid j \in J' \right) \right\} \quad (12)$$

$$A^- = \left\{ \left(\min V_{ij} \mid j \in J \right), \left(\max V_{ij} \mid j \in J' \right) \right\} \quad (13)$$

J fayda yönlü, J' maliyet yönlü kriterleri ifade etmektedir.

Adım 4: İdeal ve negatif ideal çözümden uzaklığın hesaplanması

Her bir alternatifte ilişkin ölçüt değerinin pozitif ideal ve negatif ideal çözüm setinden uzaklıkları belirlenir. Pozitif ideal çözüm setinden uzaklıklar Eş.14, negatif ideal çözüm setinden uzaklıklar Eş. 15 kullanılarak hesaplanır.

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^*)^2} \quad (14)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^-)^2} \quad (15)$$

Adım 5: İdeal çözüme görelî yakınlığın (C_i^*) hesaplanması

Pozitif ve negatif ideal çözüme olan uzaklıklar kullanılarak her bir alternatifin ideal çözüme olan görelî yakınlığı Eş.16 ile hesaplanır.

$$C_i^* = \frac{s_i^-}{s_i^- + s_i^+} \quad (16)$$

Burada $0 \leq C_i^* \leq 1$ aralığında değer alır ve $C_i^*=1$ alternatifin pozitif ideal çözüm noktasında $C_i^* = 0$ alternatifin negatif ideal çözüm noktasında olduğunu göstermektedir.

Adım 6: Alternatiflerin sıralanması

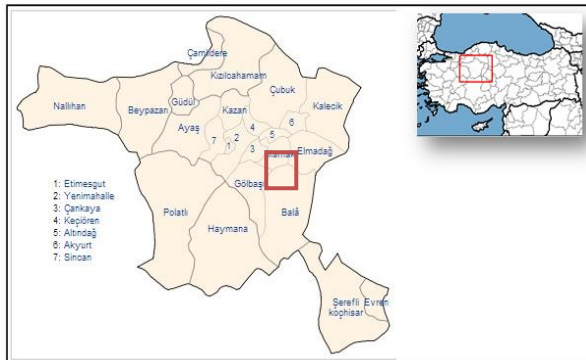
Alternatifler ideal çözüme göreli yakınlıklarına göre maksimum C_i^* değerine sahip alternatif ilk sırada olacak şekilde sıralanır.

4. UYGULAMA (CASE STUDY)

Bu bölümde, önerilen yöntem açılacak bir ilköğretim okuluna en uygun yerin seçilmesi amacıyla Ankara ili Çankaya ilçesinde uygulanmıştır. Bu bölümde ilk olarak çalışmanın yapıldığı bölge tanıtılmış, daha sonra çalışmada önerilen yaklaşım uygulanmıştır.

4.1. Çalışma Alanı (Study Area)

Çalışma, Ankara ili Çankaya ilçesinde gerçekleştirilmiştir. İlçe'de 124 mahalle ve 333.547 konut bulunmaktadır. 2015 verilerine göre ilçenin nüfusu 922.536'dır. İlçe sınırları içerisinde 103 ilköğretim okulu, 46 lise, 59 özel okul, 4 devlet üniversitesi, 8 vakıf üniversitesi ile Kara Harp Okulu bulunmaktadır[29].



Şekil 4. İlçenin coğrafik konumu (The geographical location of the district)

4.2. Alternatif Yerlerin Belirlenmesi (Determination of Alternative Sites)

Adım1: CBS katmanları ve gerekli veriler oluşturulur.

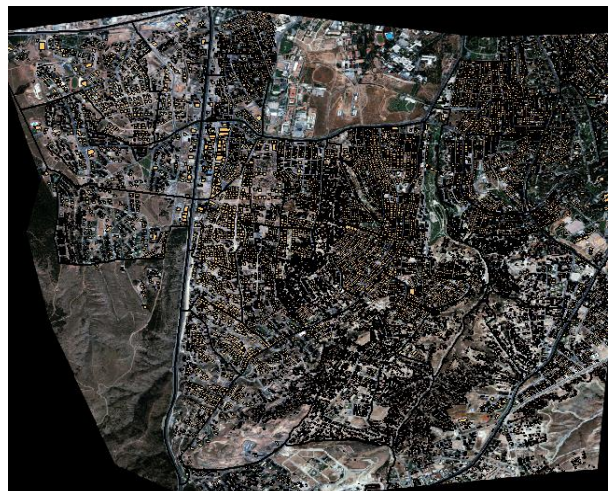
Bu adımda ilçenin uydu görüntüsü ve gerekli veri katmanları (mahalle, bina, yol, çevresel etmen, okul tahsisli alan) oluşturulmuştur. Mahalle katmanı ilçede bulunan mahalleleri, bina katmanı ise bina verilerini içermektedir. Okul tahsisli alan imar planında okul yeri olarak belirlenmiş boş arsalaradır. Yol katmanı ilçedeki yolları göstermektedir. Çevresel etmen katmanında ise bar, ganyan bayi, gazino/gece kulübü, kıraathane, meyhane, tekeli bayi, internet kafe vb. veriler tutulmuştur.



Şekil 5. İlçenin uydu görüntüsü (The satellite image of the district)



Şekil 6. Okul tahsisli alanlar (The areas allocated for school)



Şekil 7. Mahalle ve bina katmanı (District and building layer)



Şekil 8. Yol katmanı (Roads layer)



Şekil 9. Çevresel etmenlerin gösterimi (Representation of environmental factors)

Adım 2: Okul tahsisli alanlar belirlenir ve yasal gereklilikler kontrol edilir.

İmar planında okul olarak tahsis edilmiş araziler belirlenir (Şekil 6). Daha sonra bu araziler ile çevresel etmen katmanında tutulan veriler (umuma açık ve içkili yerler) analiz edilerek aralarında 100 m.den fazla uzaklık bulunup bulunmadığı kontrol edilir. 100m'den yakın olan yerler aday yerler arasından çıkarılır.

Adım 3: Mesafe analizi yapılır ve alternatif okul yerleri belirlenir.

Bir ilköğretim öğrencisinin yürüyebileceği maksimum mesafe çalışmada 1500 m. olarak kabul edilmiş ve mevcut okullarla birlikte tüm öğrencileri 1500 m. ile kapsayabilen yerler (Şekil 3) alternatif yerler olarak belirlenmiştir. Çalışmada 17 alternatif yer belirlenmiştir.

4.3. Kriter Ağırlıklarının Hesaplanması (Calculation of Criteria Weights)

Adım 1: Karar kriterleri belirlenir.

Yapılan literatür incelemesi sonucunda 7 adet karar kriteri belirlenmiştir. Bunlar; altyapı (K₁), erişilebilirlik(K₂), potansiyel büyüme(K₃), nüfus(K₄), güvenlik(K₅), çevre kirliliği(K₆) ve çevredeki okul sayısıdır(K₇). Altyapı kriteri, okul kurulması planlanan yerin elektrik, internet, doğalgaz vb. donanımları

içermesini ifade etmektedir. Erişilebilirlik, öğrencilerin okula ulaşabilme kolaylığının değerlendirildiği kriterdir. Potansiyel büyüme, bölgedeki nüfus artış oranını, nüfus ise ilkokula gidecek olan mevcut kişi sayısının değerlendirilmesini içermektedir. Güvenlik, değerlendirilecek yerlerin işlenen suç oranı, meydana gelen trafik kazaları vb. yönünden değerlendirilmesidir. Çevre kirliliği, bölgenin hava ve gürültü kirliliği bakımından incelenmesidir. Çevredeki okul sayısı kriteri ise önceliğin okul sayısı az olan bölgelere verilmesi amacıyla ele alınmıştır. K₆ ve K₇ kriterleri maliyet yönlü, diğer kriterler ise fayda yönlü kriterlerdir.

Adım 2: İkili karşılaştırma matrisi oluşturulur.

Karar kriterleri uzman görüşü ile değerlendirilerek, kriter ağırlıklarının belirlenmesi amacıyla Çizelge 5'te verilen ikili karşılaştırma matrisi oluşturulmuştur.

Çizelge 5. Kriterlere ilişkin ikili karşılaştırma matrisi (Pairwise comparison matrix on the criteria)

	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₆	K ₇
K ₁	1.0	0.2	0.5	0.14	0.33	0.33	0.5
K ₂		1.0	5.0	0.33	2.0	3.0	4.0
K ₃			1.0	0.2	0.33	0.5	1.0
K ₄				1.0	3.0	5.0	5.0
K ₅					1.0	2.0	0.3
K ₆						1.0	0.3
K ₇							1.0

Adım 3: Özvektör hesaplanır.

Çizelge 5'te verilen ikili karşılaştırma matrisindeki her bir kriterin diğer kriterlere göre önemini gösteren özvektör Eş. 17'de verilmiştir.

$$W = \begin{bmatrix} 0.04 \\ 0.22 \\ 0.06 \\ 0.37 \\ 0.11 \\ 0.08 \\ 0.12 \end{bmatrix} \quad (17)$$

Adım 4: Matrisin tutarlılığı kontrol edilir.

Çizelge 5'te verilen matris için λ_{max} değeri 7.64 olarak hesaplanmıştır.

$$CI = \frac{7.64 - 7}{6} = 0.1$$

$$CR = \frac{0.1}{1.32} = 0.08$$

Bulunan CR oranı 0.1'den küçük olduğundan, matris tutarlıdır.

4.4. Alternatiflerin Sıralanması (Sorting Alternatives)

Adım 1: Karar matrisi oluşturulur.

Alternatif yerlerin kriterlere göre değerlendirildiği karar matrisi Çizelge 6'da verilmiştir.

Çizelge 6. Karar matrisi(T) (Decision matrix(T))

	K₁	K₂	K₃	K₄	K₅	K₆	K₇
A₁	3.0	1.0	0.10	5000.0	3.0	3.0	3.0
A₂	5.0	3.0	0.03	2250.0	5.0	5.0	2.0
A₃	3.0	3.0	0.05	3010.0	3.0	7.0	5.0
A₄	5.0	5.0	0.26	3542.0	3.0	3.0	2.0
A₅	7.0	3.0	0.24	3100.0	3.0	1.0	3.0
A₆	1.0	3.0	0.15	2985.0	1.0	1.0	4.0
A₇	9.0	7.0	0.13	2850.0	5.0	1.0	1.0
A₈	3.0	3.0	0.31	2560.0	5.0	1.0	6.0
A₉	5.0	5.0	0.18	4800.0	7.0	3.0	2.0
A₁₀	7.0	1.0	0.23	4250.0	9.0	5.0	3.0
A₁₁	3.0	1.0	0.08	5100.0	3.0	5.0	4.0
A₁₂	3.0	5.0	0.07	5250.0	5.0	3.0	0.0
A₁₃	1.0	3.0	0.12	4680.0	7.0	3.0	1.0
A₁₄	1.0	3.0	0.21	3900.0	1.0	1.0	2.0
A₁₅	3.0	7.0	0.25	2800.0	1.0	3.0	0.0
A₁₆	5.0	7.0	0.30	5110.0	3.0	1.0	2.0
A₁₇	7.0	5.0	0.27	3680.0	5.0	3.0	3.0

Değerlendirmede K1, K2, K5 ve K6 kriterleri sözel ifadelerle değerlendirilmiş, bu sözel ifadeler Çizelge 7’de verilen skala kullanılarak sayısallaştırılmıştır. K3 kriteri % potansiyel büyüme oranı, K4 kriteri okulun kapsadığı alandaki nüfus, K7 kriteri ise çevresindeki okul sayısı ile değerlendirilmiştir.

Çizelge 7. TOPSIS değerlendirme skalası (TOPSIS evaluation scale)

Skala Değeri	Değer Tanımları
1	Çok düşük
3	Düşük
5	Ortalama
7	Yüksek
9	Çok yüksek

Adım 2: Standart karar matrisi ve ağırlıklı standart karar matrisi oluşturulur

Standart karar matrisi Çizelge 8’de verilmiştir. AHP’den elde edilen ağırlıklar kullanılarak ağırlıklı standart karar matrisi hesaplanmış ve Çizelge 9’de verilmiştir.

Adım 3: İdeal ve negatif ideal çözümler belirlenir.

Ağırlıklı standart karar matrisindeki en iyi ve en kötü değerler belirlenerek Çizelge 10’da verilen ideal ve negatif ideal çözümler belirlenir.

Çizelge 8. Standart karar matrisi(R) (Standard decision matrix(R))

	K₁	K₂	K₃	K₄	K₅	K₆	K₇
A₁	0.15	0.06	0.12	0.31	0.16	0.22	0.24
A₂	0.25	0.17	0.04	0.14	0.26	0.36	0.16
A₃	0.15	0.17	0.06	0.19	0.16	0.50	0.41
A₄	0.25	0.28	0.32	0.22	0.16	0.22	0.16
A₅	0.36	0.17	0.30	0.19	0.16	0.07	0.24
A₆	0.05	0.17	0.19	0.18	0.05	0.07	0.33
A₇	0.46	0.40	0.16	0.18	0.26	0.07	0.08
A₈	0.15	0.17	0.38	0.16	0.26	0.07	0.49
A₉	0.25	0.28	0.22	0.30	0.37	0.22	0.16
A₁₀	0.36	0.06	0.28	0.26	0.47	0.36	0.24
A₁₁	0.15	0.06	0.10	0.31	0.16	0.36	0.33
A₁₂	0.15	0.28	0.09	0.32	0.26	0.22	0.00
A₁₃	0.05	0.17	0.15	0.29	0.37	0.22	0.08
A₁₄	0.05	0.17	0.26	0.24	0.05	0.07	0.16
A₁₅	0.15	0.40	0.31	0.17	0.05	0.22	0.00
A₁₆	0.25	0.40	0.37	0.31	0.16	0.07	0.16
A₁₇	0.36	0.28	0.33	0.23	0.26	0.22	0.24

Çizelge 9. Ağırlıklı standart karar matrisi(V) (Weighted standard decision matrix(V))

	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₆	K ₇
A ₁	0.006	0.013	0.007	0.115	0.018	0.017	0.028
A ₂	0.010	0.038	0.002	0.052	0.030	0.028	0.019
A ₃	0.006	0.038	0.004	0.069	0.018	0.039	0.047
A ₄	0.010	0.063	0.019	0.081	0.018	0.017	0.019
A ₅	0.014	0.038	0.018	0.071	0.018	0.006	0.028
A ₆	0.002	0.038	0.011	0.068	0.006	0.006	0.038
A ₇	0.017	0.088	0.010	0.065	0.030	0.006	0.009
A ₈	0.006	0.038	0.023	0.059	0.030	0.006	0.056
A ₉	0.010	0.063	0.013	0.110	0.042	0.017	0.019
A ₁₀	0.014	0.013	0.017	0.097	0.054	0.028	0.028
A ₁₁	0.006	0.013	0.006	0.117	0.018	0.028	0.038
A ₁₂	0.006	0.063	0.005	0.120	0.030	0.017	0.000
A ₁₃	0.002	0.038	0.009	0.107	0.042	0.017	0.009
A ₁₄	0.002	0.038	0.015	0.089	0.006	0.006	0.019
A ₁₅	0.006	0.088	0.018	0.064	0.006	0.017	0.000
A ₁₆	0.010	0.088	0.022	0.117	0.018	0.006	0.019
A ₁₇	0.014	0.063	0.020	0.084	0.030	0.017	0.028

Çizelge 10. İdeal ve negatif ideal çözümler (Ideal and negative ideal solutions)

A*	0.0174	0.0885	0.0227	0.1204	0.0541	0.0055	0.0000
A-	0.0019	0.0126	0.0022	0.0516	0.0060	0.0387	0.0563

Adım 4 ve Adım 5: İdeal ve negatif ideal çözümden uzaklıklar ve ideal çözüme göreli yakınlık hesaplanır.

Alternatiflerin ideal ve negatif ideal çözümden uzaklıkları ve ideal çözüme göreli yakınlık değerleri Eş.[14-16] kullanılarak hesaplanmış ve Çizelge 11'da verilmiştir.

Çizelge 11. İdeal ve negatif ideal çözümden uzaklık ve ideal çözüme göreli yakınlık değerleri (Distance from ideal and negative ideal solutions and relative closeness values)

	S*	S-	C*
A ₁	0.0915	0.0738	0.4464
A ₂	0.0959	0.0530	0.3560
A ₃	0.1015	0.0345	0.2539
A ₄	0.0634	0.0763	0.5460
A ₅	0.0844	0.0586	0.4096
A ₆	0.0967	0.0495	0.3387
A ₇	0.0622	0.1006	0.6178

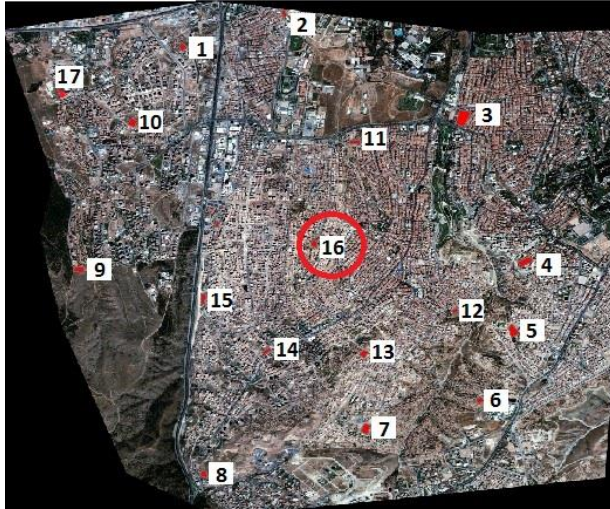
A ₈	0.1012	0.0530	0.3436
A ₉	0.0389	0.0967	0.7131
A ₁₀	0.0872	0.0754	0.4636
A ₁₁	0.0969	0.0701	0.4200
A ₁₂	0.0422	0.1075	0.7179
A ₁₃	0.0593	0.0882	0.5980
A ₁₄	0.0805	0.0690	0.4615
A ₁₅	0.0758	0.0992	0.5668
A ₁₆	0.0415	0.1147	0.7341
A ₁₇	0.0588	0.0770	0.5673

Adım 6: Alternatifler sıralanır.

Alternatif yerler Çizelge 10'da verilen C* değerlerine göre sıralandığında, ideal çözüme göreli yakınlığı en yüksek olan 16. alternatif, ilk sırada yer almaktadır (Şekil 10). Diğer alternatiflerin sıralaması ise Çizelge 12'de görülmektedir.

Çizelge 12. Alternatiflerin sıralanması (Sorting of alternatives)

Sıralama	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Alternatif	A ₁₆	A ₁₂	A ₉	A ₇	A ₁₃	A ₁₇	A ₁₅	A ₄	A ₁₀	A ₁₄	A ₁	A ₁₁	A ₅	A ₂	A ₈	A ₆	A ₃



Şekil 10. Alternatiflerin harita üzerinde gösterimi (Representation of alternatives on the map)

5. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND FUTURE DIRECTIONS)

Bu çalışmada okul yer seçimi problemi için üç aşamadan oluşan yeni bir çözüm yaklaşımı önerilmiştir. Önerilen bütünlük yaklaşımın ilk aşamasında coğrafi bilgi sistemi yardımıyla okul tahsisli alanlar belirlenip, mesafe analizleri yapılarak alternatif yerler belirlenmiştir. Bu alternatif yerler, imar planında okul yeri olarak tahsis edilmiş, yasal kısıtları sağlayan ve öğrencilerin maksimum yürüme mesafesini belirlenen uzaklık ile sınırlayan yerlerdir. İkinci aşamada literatür araştırması sonucunda belirlenen 7 kriter (altyapı, erişilebilirlik, potansiyel büyüme, nüfus, güvenlik, çevre kirliliği, çevredeki okul sayısı) AHP yöntemi ile ağırlıklandırılmış, son aşamada ise alternatif yerler, hesaplanan kriter ağırlıkları kullanılarak TOPSIS yöntemi ile sıralanmıştır.

Önerilen yaklaşımda CBS kullanılmasıyla, ÇKKV yöntemleriyle kantitatif olarak hesaplanamayacak olan öğrencilerin kapsanması ve yasal uzaklık kısıtlamaları CBS’de yapılan mesafe analizleriyle çözüme yansıtılmıştır. Çankaya ilçesinde açılacak olan bir ilköğretim okulu için yapılan uygulama çalışmasında 17 alternatif yer seçilmiştir. AHP yöntemi ile hesaplanan kriter ağırlıklarına bakıldığında en önemli kriterin nüfus (K_4) olduğu görülmektedir. Kamusal yerleşim problemlerinde öncelikli hedef nüfusun kapsanmasını sağlamak olduğundan nüfus kriterinin en önemli kriter çıkması önemlidir. Kriterlerin önem sıralaması nüfus, erişilebilirlik, çevredeki okul sayısı, güvenlik, çevre kirliliği, potansiyel büyüme ve altyapı şeklindedir. Alternatiflerin sıralandığı TOPSIS yönteminin sonuçlarına bakıldığında okul kurulması için en uygun yerin (A_{16}) 16. yer olduğu gözlenmektedir.

İleriki çalışmalarda, sözel ifadelerdeki belirsizliğin probleme daha iyi yansıtılması amacıyla çalışmaya bulanık AHP ve bulanık TOPSIS yöntemleri uygulanabilir. Karar vericilerden bir grup oluşturularak farklı görüşlerin çalışmaya yansıtılması sağlanabilir. Ayrıca, yürüme mesafesinin dışında en uzak mesafenin en küçüklenmesi gibi

farklı amaçların gözetildiği çözüm yaklaşımları ele alınabilir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Burrough P.A., “Principles of geographical information systems, *Oxford University Press*, Newyork, (1998).
- [2] ReVelle C.S. and Eiselt H.A., “Location analysis: a synthesis and survey, *European Journal of Operational Research*, 165(1): 1-19, (2005).
- [3] Narula S.C., “Minisum hierarchical location-allocation problems on a network: A survey”, *Annals of Operations Research*, 6(8): 255-272 (1986).
- [4] Daskin M.S., “Network and discrete locations: models, algorithms and applications”, *Wiley and Sons*, New York, (1995).
- [5] Owen S.H. and Daskin, M.S., “Strategic facility location: A review”, *European Journal of Operational Research*, 111 (3): 423-447, (1998).
- [6] Arabani A.B. and Farahani R.Z., “Facility location dynamics: An overview of classifications and applications”, *Computers & Industrial Engineering*, 62 (1): 408-420 (2012).
- [7] Önüt S. and Soner S., “Transshipment site selection using the AHP and TOPSIS approaches under fuzzy environment, *Waste Management*, 28(9): 1552-1559, (2008).
- [8] Vahidnia M.H., Alesheikh A.A. and Alimohammadi A., “Hospital site selection using fuzzy AHP and its derivatives”, *Journal of Environmental Management*, 90(10): 3048-3056, (2009).
- [9] Lai W., Han-Lun L., Qi,L., Jing-Yi,C. and Yi-Jiao C., “Study and implementation of fire sites planning based on GIS and AHP”, *Procedia Engineering*, 11: 486-495, (2011).
- [10] Roig-Tierno N., Baviera-Puig A., Buitrago-Vera J. and Mas-Verdu F., “The retail site location decision process using GIS and the analytical hierarchy process, *Applied Geography*, 40: 191-198, (2013).
- [11] Uyan, M., “GIS-based solar farms site selection using analytic hierarchy process (AHP) in Karapınar region, Konya/Turkey,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28: 11-17,(2013).
- [12] Sánchez-Lozano J.M., Teruel-Solano J., Soto-Elvira P.L. and García-Cascales M.S., “geographical information systems (GIS) and multi-criteria decision making (MCDM) methods for the evaluation of solar farms locations: Case study in south-eastern Spain”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 24: 544-556, (2013).
- [13] Mishra A.K., Deep S. and Choudhary A., “Identification of suitable sites for organic farming using AHP & GIS”, *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 18(2): 181-193, (2015).
- [14] Rasli F.N., Kanniah K.D., Muthuveerappan C. and Ho C.S., “An integrated approach of analytical hierarchy process and GIS for site selection of urban parks in Iskandar Malaysia”, *International Journal of Geoinformatics*, 12(2): 67-77, (2016).
- [15] Çetinkaya C., Özceylan E., Erbaş M. and Kabak M., “GIS-based fuzzy MCDA approach for siting refugee camp: A case study for southeastern Turkey”,

- International Journal of Disaster Risk Reduction*, 18: 218-231, (2016).
- [16] Chaudhary P., Chhetri S.K., Joshi K.M., Shrestha B.M. and Kayastha P., “Application of an Analytic Hierarchy Process (AHP) in the GIS interface for suitable fire site selection: A case study from Kathmandu Metropolitan City, Nepal”, *Socio-Economic Planning Sciences*, 53: 60-71, (2016).
- [17] McNamara J.F., “Mathematical Programming Models in Educational Planning”, *Review of Educational Research*, 41(5) :419-446, (1971).
- [18] Bruno J.E. and Andersen P.W. Analytical methods for planning educational facilities in an era of declining enrollments”, *Socio-Economic Plan. Sci.*, 16(3): 121-131, (1982).
- [19] Kavili Arap S., “Türkiye’de üniversitelere ilişkin politikalar ve üniversitelerin kuruluş yeri seçimi”, *Doktora Tezi*, İnönü Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, (2007).
- [20] Özdemir B. and Tokyay O., “Multi criteria decision support for the best allocation of the primary school area. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM: Surveying Geology & mining Ecology Management*, 1: 457, (2013).
- [21] Arslan H.M. ve Yıldız M.S., “Eğitim tesislerinin kuruluş yeri seçiminde bulanık TOPSIS yönteminin uygulanması: Düzce’de bir lokasyon analizi”, *The Journal of International Social Research*, 8(36) : 763-774, (2015).
- [22] İnternet: URL: <http://mevzuat.meb.gov.tr/html/24.html>, Meb mevzuat, İlköğretim ve Eğitim Kanunu, 7. Bölüm, 61.madde, (Son erişim tarihi: 11.07.2016).
- [23] Saaty T.L., “The analytic hierarchy process”, *New York: McGraw-Hill*, (1980).
- [24] Saaty T.L., “Decision making with the analytic hierarchy process”, *International Journal of Services Sciences*, 1(1): 83-98, (2008).
- [25] Arıbaş M. ve Özcan U., “Akademik araştırma projelerinin AHP ve TOPSIS yöntemleri kullanılarak değerlendirilmesi”, *Politeknik Dergisi*, 19(2): 163-173, (2016).
- [26] Saaty T.L., “How to make a decision: the analytic hierarchy process.” *European Journal of Operational Research*, 48: 9-26, (1990).
- [27] Supçiller A.A. ve Çapraz O., “AHP-TOPSIS yöntemine dayalı tedarikçi seçimi uygulaması”, *Ekonometri ve İstatistik*, 13: 1–22, (2011).
- [28] Monjezi M., Dehghani H., Singh T.N., Sayadi A.R. and Gholinejad A., “Application of TOPSIS method for selecting the most appropriate blast design”, *Arabian Journal of Geosciences*, 5(1): 95-101, (2010).
- [29] İnternet: URL: <http://www.cankaya.bel.tr/pages/14/RAKAMLARLA-CANKAYA> (Son erişim tarihi: 05.08.2016).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

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

The effects of critical welding parameters on tensile-shear properties of friction stir spot welded polyethylene

Yazar(lar) (Author(s)): Bekir ÇEVİK, Behçet GÜLENÇ, Ahmet DURGUTLU

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Çevik B., Gülenç B. and Durgutlu A., “The effects of critical welding parameters on tensile-shear properties of friction stir spot welded polyethylene”, *Politeknik Dergisi*, 20(4): 945-951, (2017).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.369105

The Effects of Critical Welding Parameters on Tensile-Shear Properties of Friction Stir Spot Welded Polyethylene

Araştırma Makalesi / Research Article

Bekir ÇEVİK^{1*}, Behçet GÜLENC², Ahmet DURGUTLU²

¹Düzce University, Gümüşova Vocational High School, Department of Welding Technology, 81850, Gümüşova/Düzce

²Gazi University, Faculty of Technology, Department of Metallurgy & Materials Engineering, 06500, Beşevler, Ankara

(Geliş/Received : 21.11.2016 ; Kabul/Accepted : 22.12.2016)

ABSTRACT

The aim of this study was to investigate the weldability of high density polyethylene via friction stir spot welding method. Polyethylene sheets were joined with dwell times of 60 to 100 s, three different pin profiles (M6×1, M6×1.25, M6×1.5) and pin lengths of 3.75 to 4.75 mm by using rotational speed of 900 rpm and delay time of 45 s. During welding processes, the temperatures were measured under the welding centers. The tensile-shear tests were performed to welded samples. Also, macrostructures of welding nuggets were examined. The small welding nuggets were formed by using the lower dwell time. The melting in welding nugget occurred in the all dwell times during the welding. The dwell time affected on the friction temperature. The key (pin) hole closed when sufficient friction temperature (dwell times of 80 and 100 s). The pin profiles directly affected the welding quality. Large screw pitch range of the pin and the small pin length from 4.5 mm negatively affected the weld fracture load. Pin length of the stirring tool directly affected the quality of welding.

Keywords: FSSW, polyethylene, welding parameters, tensile-shear properties.

ÖZ

Bu çalışmanın amacı, sürtünme karıştırma nokta kaynak yöntemi ile yüksek yoğunluklu polietilen malzemelerin kaynaklanabilirliğini araştırmaktır. Polietilen levhalar, 900 dev/dak devir sayısı ve 45 s bekleme süresi kullanılarak, 60-100 s karıştırma süresi, üç farklı pim profile (M6×1, M6×1.25, M6×1.5) ve 3.75-4.75 mm pim uzunluklarında birleştirilmiştir. Kaynak işlemi esnasında kaynak merkezinin altından sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Kaynaklı numunelere çekme-kayma testleri uygulanmıştır. Ayrıca kaynak çekirdeklerinin makro görüntüleri incelenmiştir. Düşük karıştırma süreleri kullanıldığında küçük kaynak çekirdekleri oluşmuştur. Tüm karıştırma sürelerinde kaynak çekirdeğinde ergime meydana gelmiştir. Karıştırma süresi sürtünme sıcaklığına etki etmiştir. Yeterli sürtünme sıcaklığı (80 ve 100 s) oluştuğunda kaynak çekirdeğindeki anahtar (pim) değili kapanmıştır. Pim profili kaynak kalitesine doğrudan etki etmiştir. Büyük adımlı vidalı olan pim ve 4.5 mm'den küçük pim boyları kaynak kopma mukavemetini olumsuz etkilemiştir. Karıştırıcı takımın pim boyunun kaynak kalitesine doğrudan etki ettiği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: SKNK, polietilen, kaynak parametreleri, çekme-kayma özellikleri.

1. INTRODUCTION

Recently, polymer materials have increasingly been replacing wood materials, metals and its alloys in different industrial fields (automotive, aerospace, ship, building, furniture, medical, food storage etc.). With use of polymers has resulted in remarkable cost efficiency increases for the industries. Besides production cost, polymeric materials present many advantages such as weight saving, flexibility and thermal insulation [1-4]. Also, in the aerospace and automotive industries, the use of polymers and polymer matrix composites [3] has recently increased for fuel efficiency. For other consumer products, such as mobile phones [1], various electrical devices [4], computers, building and household appliances [3], the rapid spreading of polymer materials has provided many advantages [1,2,6].

The welding is one of the most important manufacturing methods that is commonly used. The welding of polymeric materials plays an ever increasing importance in today's various industrial fields [7-9]. Polymer welds are present in various applications in the industrial fields including electronics, packaging, automotive, building, medical devices etc [7]. The welding technologies is constantly improving itself [7,8]. The weld is considered one of the most critical steps in manufacturing; hence a better understanding is required. Also, from a scientific point of view, weldability of polymeric materials and weld strength establishment is of importance [7-11].

Polymers are welded various welding methods such as hot plate, laser, vibration, ultrasonic, friction, friction stir welding (FSW) etc [1]. One of these methods is Friction Stir Spot Welding (FSSW) that is discovered by Mazda Motor Company in 1993 [7,12,13]. FSSW was developed

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : bekircevik@duzce.edu.tr

in the automotive industry as an alternative for electrical resistance spot welding (RSW) of Al alloys. RSW is a welding method that can only be applied to a limited material that can form resistance. With FSSW, ferrous, non-ferrous metals and also numerous polymers can weld. It can only be applied as a spot welding on overlapping type materials. The method that was started to be used in the joining of aluminum alloys used in automotive industry in 2001, attracts attention in the other industry branches [14-18].

There are very few publications on polymers FSSW applications. Juhl studied polystyrene laser welds. He reported this method was very good for testing weld strength where chain pullouts were the dominating fracture mechanism [7]. Bilici studied the effect of tool geometry on FSSW of polypropylene. He reported that the tool geometry in FSSW affects stir zone formation and weld fracture load [19]. Dashatan studied FSSW of dissimilar polymethyl methacrylate and acrylonitrile butadiene styrene sheets. He investigated the effects of rotational speed, tool plunge rate and dwell time on fraction load of welded sample. He reported that the parameters dramatically affected the weld fraction load. Also, the most effective parameter was found to be tool plunge rate [20]. Arici studied FSSW of polypropylene. He investigated the effects of tool penetration depth and dwell time on joint strength of welded polypropylene in the publication. He reported that increasing the dwell time causes a significant improvement on weld fracture load but there is an optimal point for tool penetration [21].

In this study, FSSW was performed to join HDPE sheets in order to understand the effect of the dwell time, pin profile and pin length on welded joints. The characteristics of the macrostructural of welded joints were investigated. Also, the tensile-shear tests were performed to welded joints and were determined mechanical strength of welded samples.

2. EXPERIMENTAL

2.1. Materials

The high density polyethylene (HDPE) sheets were utilized in this study and this material was in white color. HDPE has some feature, such as low cost, light-weight, flexibility, formability and good mechanical properties. The material which has a board spectrum of applications, such as in the chemical, automotive and the other industries [2]. Samples were cut in 30×100 mm size of 3 mm thickness. Some characteristics of polyethylene material are given in Table 1.

Table 1. The properties of the polyethylene

Tensile strength (MPa)	Strain at break (%)	Modulus of Elasticity (MPa)	Density (gr/cm ³)	Melting temperature (°C)	Coefficient of friction
~32	~50	800	0,95	135	0,3

2.2. Stirring Tool Properties

For FSSW processes, a stirring tool was designed and manufactured by X210Cr12 steel in a modular structure (Figure 1). The shoulder diameter was 20 mm. Straight cylindrical screw pin profiles (M6×1, M6×1.25, M6×1.5) were used to fabricate the joints. The hardness of shoulder and pins were obtained after 50 HR_C through heat treatment applied. Figure 1 shows the shoulder and pins.

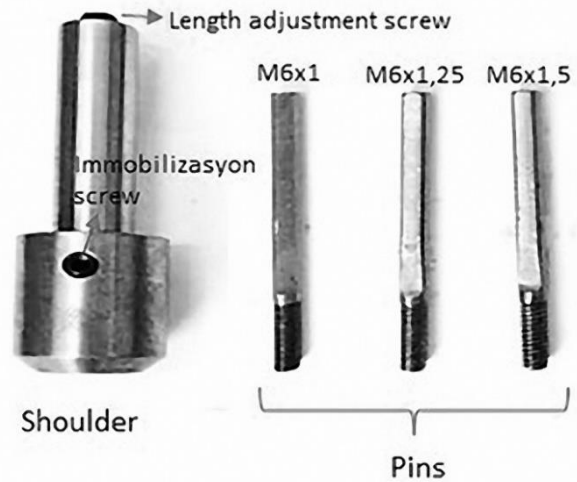


Figure 1. Stirring tool (shoulder and pins)

2.3. Method

Before welding processes; HDPE sheets were fixed in the form of overlapping. The rotational direction of the stirring tool was selected as clockwise. The stirring tool was immersed in the polyethylene sheets at 1 mm constant shoulder immersing depth. FSSW processes were performed at rotational speed of 900 rpm with constant delay time of 45 seconds, dwell time of 60, 80, and 100 seconds, three different straight cylindrical threaded pin profiles which has 1, 1.25 and 1.5 mm pitch ranges, and five different pin lengths between 3.75 and 4.75 mm with 0.25 mm intervals. Milling machine was used for FSSW. During the welding process, the chances of temperature were measured with digital K type thermocouple (Cr-Ni). The weld samples were described; dwell time (DW), screw pitch (pin profile) (P) and pin length (L). Therefore, the designation DW60P1L4.5 corresponds to a weld carried out with a dwell time of 60 (s), a pin profile of 1 (mm) and pin length of 4.5 (mm). Macrostructure analyses were carried out using a photograph machine. Tensile-shear test was applied to the welded polyethylene sheets. Tensile-shear test was

performed at 10 mm·min⁻¹ speed by using a microcomputer controlled electronic test machine. By examining the data obtained; the effect of the welding parameters (dwell time, pin profile, and pin length) on the mechanical performance of the welded joints was analyzed. Figure 2 shows image of the sample joined by using FSSW method.

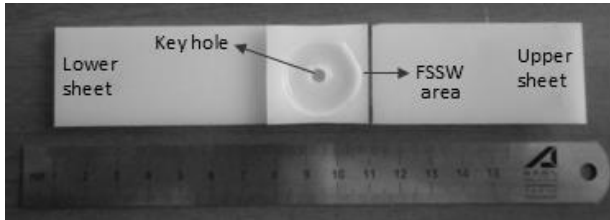


Figure 2. Friction stir spot welded sample

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Temperature Measurement

Figure 3 shows effect of dwell time on friction temperature in the samples of DW60P1L4.5, DW80P1L4.5, and DW100P1L4.5. When Figure 3 was examined, it was observed that temperatures measured in the weld centre increased with the dwell time. Temperature was measured as 162°C in dwell time of 60 s, 184°C in 80 s, and 201°C in 100 s. As the dwell time increased, the stirring tool had more friction on surfaces of joined sheets. This situation caused an increase in friction temperature. The melting temperature of the polyethylene material was approximately 135°C [2]. Considering the melting temperature of the joined material; the melting occurred in the weld zones in all of these three dwell times. It is clear seen from the Figure 3 that the FSSW method, which is the solid state welding in metals, caused the melting in polyethylene.

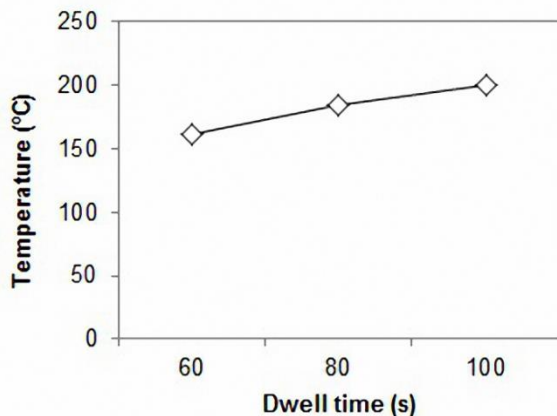


Figure 3. Effect of dwell time on friction temperature

3.2. Macrostructure Analysis

Figure 4 shows upper surface macrostructure of weld nugget FSSWed polyethylene sheets. Figure 5 shows cross-sectional macrostructures of weld nugget. As the dwell time increased, the friction temperature increased in weld zone and the spot weld nugget expanded. Key

(pin) hole formed in the weld nugget in low dwell time (DW60P1L4.5). As the dwell time increased (DW80P1L4.5, DW100P1L4.5), the hole where the pin exited was closed extensionally. In case that the hole where the pin exits was closed, cross sectional area of the welding nugget enlarged on the plane to which the polyethylene materials contacted (Figure 5). In overlapping type joints, enlargement of the weld nugget area affected the mechanical performance positively [14, 15, 19]. Polyethylene material, molten met due to effect of inertia forces caused by stirring tool during high dwell time, was taken outside weld nugget and formed a cordon. Moreover, formation of void defects was observed in the joints performed in dwell times of 80 s and 100 s (DW80P1L4.5, DW100P1L4.5) (Figure 5.b and c). Dwell time in FSSW process affected macrostructure of the weld. Dashatan reported that the dwell time dramatically affected the weld morphology and tensile shear strength [20]. Arici and Mert [21] and Bilici et al. [22] reported that increasing dwell time caused a significant improvement on weld morphology, strength, and fracture mode.

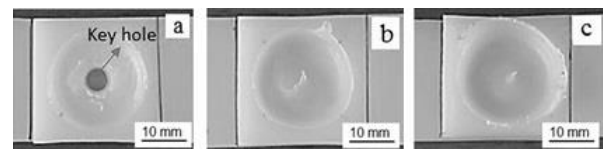


Figure 4. Effect of dwell time on the macrostructure of the spot weld nugget, a) DW60P1L4.5, b) DW80P1L4.5, c) DW100P1L4.5

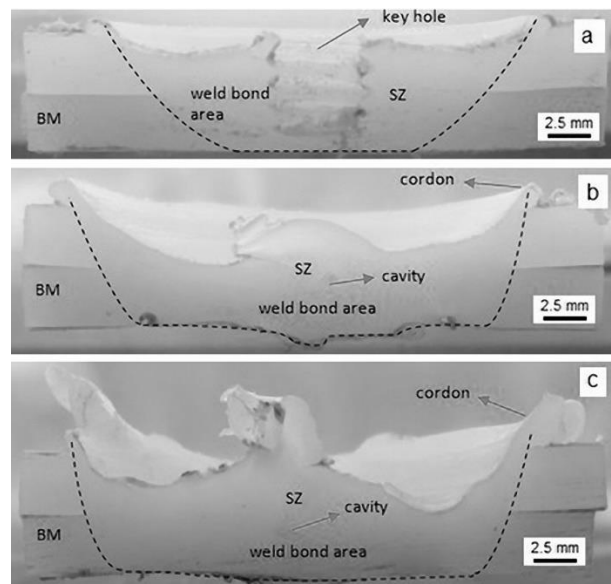


Figure 5. The cross-sectional macrostructures of welds performed with increasing dwell time, a) DW60P1L4.5, b) DW80P1L4.5, c) DW100P1L4.5 (BM: Base Metal, SZ: Stir Zone)

3.3. Tensile-Shear Tests Results

The weld quality of a spot weld is usually defined by its superior mechanical properties. Therefore, the quality of

the FSSW joint can also be defined by its high mechanical strength [20]. The results of tensile-shear tests of welded samples are presented in Table 2.

Table 2. Results of tensile-shear tests

Dwell time (s)	Pin profile	Pin length (mm)	Fracture load (N)
60	M6×1	3.75	174.8
		4	472.7
		4.25	955.6
		4.5	1253
		4.75	1395.1
	M6×1.25	3.75	142.6
		4	508.3
		4.25	927.4
		4.5	1201.4
		4.75	1308
	M6×1.5	3.75	113.2
		4	341.2
		4.25	648.3
		4.5	1198.2
		4.75	1268.9
80	M6×1	3.75	235.4
		4	568.06
		4.25	1337.1
		4.5	1587
		4.75	1671.3
	M6×1.25	3.75	208.3
		4	534.7
		4.25	1295
		4.5	1644
		4.75	1649.4
	M6×1.5	3.75	167.3
		4	524.1
		4.25	1192.6
		4.5	1411.5
		4.75	1483.7
100	M6×1	3.75	329.2
		4	809.8
		4.25	1429.7
		4.5	1636.8
		4.75	1807.2
	M6×1.25	3.75	306.8
		4	977
		4.25	1451.6
		4.5	1603
		4.75	1771.2
	M6×1.5	3.75	189.1
		4	642.9
		4.25	1181.4
		4.5	1563
		4.75	1681.9

3.4. Effect Of Welding Parameters On Tensile-Shear Strength

Figure 6 shows effects of dwell time in samples joined with a pin profile of M6×1 on tensile shear strength. The tensile-shear test results of the welded samples joined with a pin length of 4.75 were used in graphic. When the graphic was examined, weld fracture loads significantly increased with increasing dwell time. Low fracture load (1395.1 N) was obtained since inadequate friction temperature occurred in the joint (DW60P1L4.75) welded in the dwell time of 60 s by using a pin profile of M6×1. When dwell times were chosen as 80 s and 100 s (DW80P1L4.75, DW100P1L4.75), fracture loads increased up to 19% and 30%, respectively. As dwell time extended, friction temperature increased, diameter of spot welding nuggets increased and joints having better quality were achieved. Spot welding with low penetration and a nugget diameter of ~13 mm occurred in dwell time of 60 s. Moreover, a key hole formed in spot welding nugget. On the other hand, spot welding with higher penetration and a nugget diameter of ~17 mm occurred in dwell time of 80 s. When dwell time was kept high (100 s), the hole where the pin exited was closed and a larger weld nugget with adequate penetration (in a diameter of ~20 mm) formed. It was observed that dwell time was an effective parameter on welding rupture force and affected the mechanical performance of the joints positively [15,19,20].

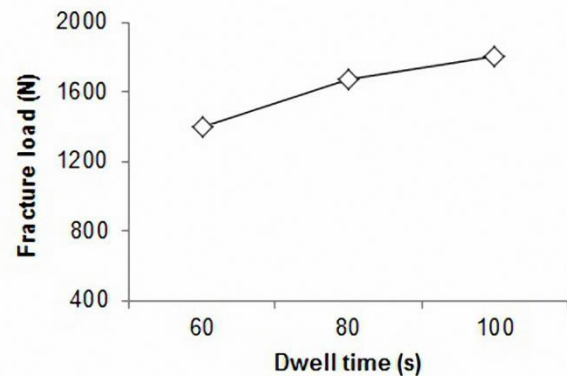


Figure 6. Effect of dwell time on fracture load

Figure 7 illustrates fracture modes of the welded samples which were joined in the pin profile of M6×1 by using different dwell times. Cross nugget fracture mode occurred in the samples (DW60P1L4.75, DW80P1L4.75) welded in dwell times of 60 s and 80 s [20,21]. In samples with this type of fracture mode, the weld nugget was cut and upper sheet and lower sheet were completely separated from each other. When dwell time was kept high (100 s), the hole where the pin exited was closed and a larger weld nugget with adequate penetration formed. Upper sheet fracture mode [20-22] was observed in the welded joints (DW100P1L4.75) in which the dwell time of 100 s was used (Figure 7.a). In DW100P1L4.75 sample, fracture occurred in interface of weld nugget-base material (Figure 7.b) The best welding quality among the whole samples was achieved in the

sample (DW100P1L4.75) joined by using a dwell time of 100 s (Figure 7.c).

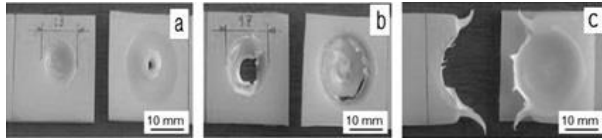


Figure 7. Effect of dwell time on macroscopic fracture mode, a) DW60P1L4.75, b) DW80P1L4.75, c) DW100P1L4.75

Figure 8 illustrates the effect of pin profile on fracture load. The tensile-shear test results of the welded samples (DW100P1L4.75, DW100P1.25L4.75, DW100P1.5L4.75) joined with a pin length of 4.75 mm in the dwell time of 100 s were used in graphic. When the graphic was examined; it was observed that fracture loads decreased as screw pitch increased. Fracture load of 1807.2 N was obtained in the welded joint (DW100P1L4.75) performed in the dwell time of 100 s by using the pin profile of M6×1. Fracture loads obtained in DW100P1.25L4.75 and DW100P1.5L4.75 samples were determined as 1771.2 and 1681.9, respectively. As the screw pitch increased, a decrease up to 7% was observed in fracture load. Furthermore, a material loss occurred in the weld zone by the increase in screw pitch. Task of pin in FSSW process is to stir homogeneously the polyethylene material which softens in the weld zone [19-22]. Screw threaded pins stirred the softened material at the high rotational speed and transferred it inside screw pitches. As screw pitch increased, more material was transferred. Softened material, which was transferred, was moved outside the stir tool by the effect of rotation at high rotational speed and formed a cordon around the weld nugget. This situation led to decrease the cross-sectional area of the weld. The decrease in cross-sectional area of welding seam reduced the fracture load. Figure 9 illustrates fracture modes of the welded samples which were joined in different pin profiles in the dwell time of 100 s. When dwell time was kept high, the hole from which pin existed was closed in all of pin profiles and a larger weld nugget formed. Upper sheet fracture mode [20-22] was observed in the welded joints (Figure 9.a-c). Fractures occurred in interface of weld nugget-base material. The best welding quality was obtained with a pin having a screw pitch of 1 mm (M6×1).

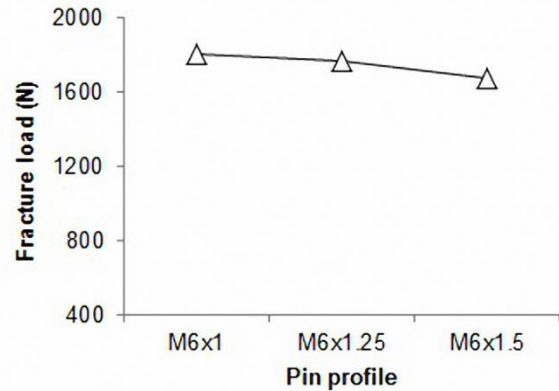


Figure 8. Effect of pin profile on fracture load

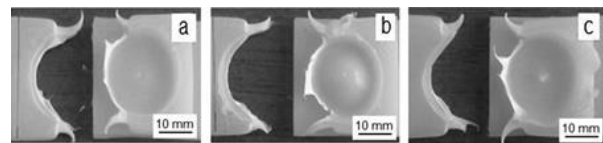


Figure 9. Effect of pin profile on macroscopic fracture mode, a) DW100P1L4.75, b) DW100P1.25L4.75, c) DW100P1.5L4.75

Table 2 illustrates the effect of pin length on tensile-shear test results. Pin length affected mechanical properties of the joint in FSSW process. As pin length increased in all of rotational speeds and all of pin profiles, fracture load increased. Figure 10 illustrates the relationship between pin length and fracture load. The results of tensile-shear test of the welded samples joined with a pin profile of M6×1.25 in the dwell time of 60 s were used in graphic in Figure 10. When the graphic was examined, fracture loads increased significantly with increasing pin length. Fracture load was obtained as 142.6 N in DW60P1.25L3.75 sample and 508.3 N in DW60P1.25L4 sample. Poor welding joint formed in these samples. Fracture load of 927.4 N was obtained in DW60P1.25L4.25 sample. Since stirring remained inadequate also in the pin length of 4.25 mm, the welding quality was slightly poor than good. Fracture load of 1201.4 N was determined in DW60P1.25L4.25 sample joined with the pin length of 4.5 mm. Good welding quality was obtained since depth of stirring was more. When pin length was chosen as 4.75 mm, the highest fracture load (1308 N) was determined in DW60P1.25L4.75 sample. The best welding quality was achieved with the pin length of 4.75 mm for this experimental group.

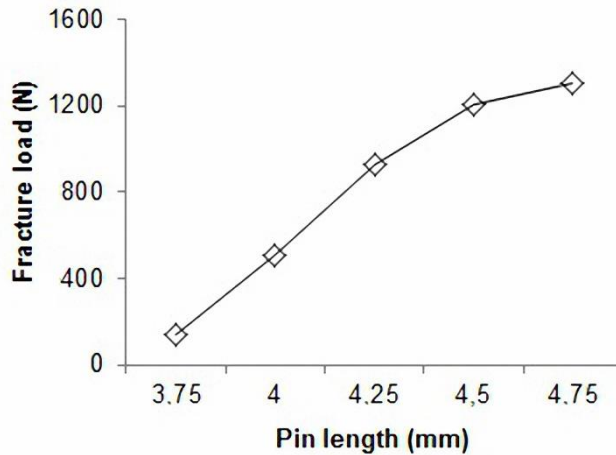


Figure 10. Effect of pin length on fracture load

Figure 11 illustrates fracture modes of the welded samples joined by using different dwell times in the pin profile of M6×1. Nugget put-out fracture mode was observed in the pin length of 3.75 mm. Upper sheet was completely separated from lower sheet in the samples with nugget pull-out fracture mode due to the effect of inadequate penetration (Figure 11.a). Cross nugget fracture mode [20] was observed in the pin length of 4.5 mm (Figure 11.b). When the pin length was 4.75 mm, upper sheet fracture mode [20] was observed since the weld nugget had deeper penetration. Upper sheet fracture mode occurred in interface of weld nugget-base material (Figure 11.c).

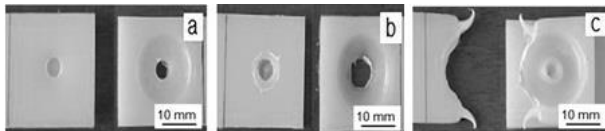


Figure 11. Effect of pin length on macroscopic fracture mode, a) DW60P1.25L3.75, b) DW60P1.25L4.25, c) DW60P1.25L4.75

4. CONCLUSIONS

Polyethylene material sheets were joined by using friction stir spot welding in the present study and the results obtained can be summarized in general as follows:

1. Heat input increased in the weld zone with increasing dwell time.
2. Polyethylene sheets melted locally in all of dwell times. During welding, it is required that weld zone is exposed to high heat for sufficient time so that chain molecules in the structure of polymer are broken and chemical degradation occurs.
3. Key hole, from which pin was formed, closed extensionally in dwell times of 80 s and 100 s. When pin hole closed, cross-sectional area of the weld nugget expanded in the plane to which polyethylene sheets contacted.

4. Enlargement of area of welding seam affected mechanical performance positively.
5. Dwell time affected fracture load. Fracture loads increased with increasing dwell time.
6. Selection of stirring tool with proper design directly affects the welding quality. Threaded pin profile with large pitch affected the fracture load negatively. Therefore, it is recommended to join the polyethylene sheets with using threaded pin which has small pitch.
7. Pin length of the stirring tool is one of the most important parameters that affect the welding quality. As the pin length increased, the fracture loads increased. Low-strength welded joints were obtained in short pin length due to inadequate stirring and penetration.
8. It was observed that different fracture modes occurred in the welded joints; the nugget pull-out fracture mode, cross nugget fracture mode, and upper sheet fracture mode.

REFERENCES

1. Amanat N., James N.L. and McKenzie D.R., "Welding methods for joining thermoplastic polymers for the hermetic enclosure of medical devices", *Medical Engineering & Physic*, 32: 690-699, (2010).
2. Saçak M., Polimer Teknolojisi, *Gazi Kitabevi*, Ankara, (2012).
3. Choudalakis G and Gotsis A.D., "Permeability of polymer/clay nanocomposites: a review", *European Polymer Journal*, 45: 967-984, (2009).
4. Jagur-Grodzinski J., "Polymers for tissue engineering, medical devices, and regenerative medicine. Concise general review of recent studies", *Polymers for Advanced Technologies*, 17: 395-418, (2006).
5. Stewart R., "Medical plastics: new polymers offer advantages for medical devices and packaging", *Plastics Engineering*, 60: 20-27, (2005).
6. Baidya K.P., Ramakrishna S., Rahman M., Ritchie A. and Huang Z.M., "An investigation on the polymer composite medical device-external fixator", *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 22: 563-590, (2003).
7. Juhl T.B., Christiansen J.C. and Jensen E.A., "Mechanical testing of polystyrene/polystyrene laser welds", *Polymer Testing*, 32: 475-481, (2013).
8. Yousefpour A., Hojjati M. and Immarigeon J.P., "Fusion bonding/welding of thermoplastic composites", *Journal of Thermoplastic Composite Material*, 17: 303-341, (2004).
9. Van de Ven J.D. and Erdman A.G., "Bridging gaps in laser transmission welding of thermoplastics", *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 129: 1011-1018, (2007).

10. Acherjee B., Misra D., Bose D. and Venkadeshwaran K., "Prediction of weld strength and seam width for laser transmission welding of thermoplastic using response surface methodology" *Optics and Laser Technology*, 41: 956-967, (2009).
11. Zhang M.Q. and Rong M.Z., "Theoretical consideration and modeling of self-healing polymers", *J. Polymer Sci. B Polymer Phys.*, 50: 229-241, (2012).
12. Yang Y.K, Dong H., Cao H., Chang Y.A. and Kou S., "Liquation of Mg alloys in friction stir spot welding", *Welding Journal*, 87: 167-177, (2008).
13. Tozaki Y., Uematsu Y. and Tokaji K., "A newly developed tool without probe for friction stir spot welding and its performance", *Journal of Materials Processing Technology*, 210(6-7): 844-851, (2010).
14. Kulekci M.K., Şık A. and Kaluç E., "Effects of tool rotation and pin diameter on fatigue properties of friction stir welded lap joints", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 36: 877-882, (2008).
15. Bilici M.K. and Yüklcr A.I., "Influence of tool geometry and process parameters on macrostructure and static strength in friction stir spot welded polyethylene sheets", *Materials and Design*, 33: 145-152, (2012).
16. Kaçar R., Emre H.E, Demir H. and Gündüz S., "Friction stir spot weldability of Al-Cu-Al material couple", *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 26 (2): 349-357, (2011).
17. Pathak N., Bandyopadhyay K., Sarangi M. and Panda S.K., "Microstructure and mechanical performance of friction stir spot-welded aluminum-5754 sheets", *Journal of Materials Engineering and Performance*, 22: 131-144, (2013).
18. Gerlich A., Su P. and North T.H., "Tool penetration during friction stir spot welding of Al and Mg alloys", *Journal of Materials Science*, 40: 6473-6481, (2005).
19. Bilici M.K., "Effect of tool geometry on friction stir spot welding of polypropylene sheets", *eXPRESS Polymer Letters*, 6(10): 805-813, (2012).
20. Dashatan S.H., Azdast T., Ahmadi S.R. and Bagheri A., "Friction stir spot welding of dissimilar polymethyl methacrylate and acrylonitrile butadiene styrene sheets", *Materials and Design*, 45: 135-141, (2013).
21. Arıcı A. and Mert Ş., "Friction stir spot welding of polypropylene", *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 27(18): 2001-2004, (2008).
22. Bilici M.K., Yüklcr A.I. and Kastan A., "Effect of the tool geometry and welding parameters on the macrostructure, fracture mode and weld strength of friction-stir spot-welded polypropylene sheets", *Materiali in Tehnologije*, 48 (5): 705-711, (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>

İnme rehabilitasyonunda kullanılacak kablo ve yay tahrikli giyilebilir bir el bileği egzersiz cihazı tasarımı

Design of a cable and spring-driven wearable wrist exercise device for stroke rehabilitation

Yazar(lar) (Author(s)): Kasım SERBEST, Murat ÇİLLİ, Mustafa Zahid YILDIZ, Osman ELDOĞAN

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Serbest K., Çilli M., Yıldız M. Z. ve Eldoğan O., “İnme rehabilitasyonunda kullanılacak kablo ve yay tahrikli giyilebilir bir el bileği egzersiz cihazı tasarımı”, *Politeknik Dergisi*, 20(4): 953-959, (2017).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.369107

İnme Rehabilitasyonunda Kullanılabilecek Kablo ve Yay Tahrikli Giyilebilir Bir El Bileği Egzersiz Cihazı Tasarımı

Araştırma Makalesi / Research Article

Kasım SERBEST^{1*}, Murat ÇİLLİ², Mustafa Zahid YILDIZ³, Osman ELDOĞAN¹

¹Sakarya Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Sakarya, TÜRKİYE

²Sakarya Üniversitesi, Spor Bilimleri Fakültesi, Antrenörlük Eğitimi Bölümü, Sakarya, TÜRKİYE

³Sakarya Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, Sakarya, TÜRKİYE
(Geliş/Received : 24.10.2016 ; Kabul/Accepted : 12.11.2016)

ÖZ

İnme, her yıl milyonlarca kişiyi etkilemektedir. Bu kişilerin çoğu, hareket kabiliyetlerini geri kazanabilmek için rehabilitasyona ihtiyaç duymaktadırlar. El kaslarının robotik temelli rehabilitasyonuna yönelik çok sayıda cihaz önerilmiş olmasına rağmen bu cihazların hala geliştirilmesi gereken yönleri vardır. Önceki cihazlarda kuvvet ve hareket aktarımı için kullanılan yöntemlerin bir takım olumsuz yönleri bulunmaktadır. Bunlardan biri, cihazlarda kullanılan mafsallar ile el ve el bileği eklemlerinin dönme merkezlerinin tam olarak hizalanamamasıdır. Bu durum, vücut eklemleri üzerinde kesme kuvvetleri oluşturmaktadır. Dönme merkezlerini hizalamak için uygulanan yöntemlerin bazı dezavantajları bulunduğundan yeni uygulamalara ihtiyaç vardır. Bu çalışmada, el bileği egzersizlerini gerçekleştirmek amacıyla yeni bir cihaz önerilmektedir. Cihaz, hareket ve kuvvet aktarımını kablo ve yay tahriki ile yapmaktadır. Böylece dönme merkezlerinin hizalanması sorunu yaşanmamaktadır. Cihaz, pasif ve aktif egzersizlere olanak sağlamaktadır. Cihazın ev ortamında kullanıma uygun, taşınabilir ve düşük maliyetli olması amaçlanmıştır. Geliştirilen cihazın, rehabilitasyon maliyetlerini azaltması ve tedavi sürecini kısaltması beklenmektedir. Cihaz, inme rehabilitasyonunun yanı sıra sinir yaralanması, sinir sıkışması, tendon yaralanması, kırıklar ve spor yaralanmaları gibi durumlarda da kullanılabilir. Düşük maliyetli olması beklenen cihazın, ticarileştirilmesi durumunda tıbbi cihazlar alanında dış pazarlara bağımlı ülkemizin rekabet gücüne katkı yapması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: El rehabilitasyonu, inme, egzersiz cihazı.

Design of a Cable and Spring-Driven Wearable Wrist Exercise Device for Stroke Rehabilitation

ABSTRACT

Stroke affects millions of people every year. Most of them need rehabilitation to recover their mobility. Although a lot of robotic based devices have been suggested for rehabilitation of the hand muscles, these devices still need some improvements. Methods using for transmitting movement and force in previous devices have some disadvantages. One of them is misalignment on the centre of rotation between joints used in devices and joints of the hand and the wrist. This situation causes a shear force on the joints of human limbs. To resolve these problems new approaches should be proposed. In this study a novel device is suggested to perform the wrist exercises. The device has a cable and spring-driven system for transmitting movement and force. Thus, it does not cause the alignment problem on the centre of rotation. The device allows both passive (assistive) and active exercises. It is aimed that the device is suitable for home use, portable and low cost. The proposed new device expected to reduce the rehabilitation cost and therapy period. The device can be used for other situations such as nerve injury, nerve compression, tendon injury, fracture and sport injury besides stroke rehabilitation. If this low cost device can be commercialized, it is clear that, it may contribute to Turkey competitiveness capacity on the global medical markets.

Keywords: Hand rehabilitation, stroke, exercise device.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Orta yaş ve üzerindeki kişilerde görülme sıklığı yüksek olan rahatsızlıklardan biri olan inme, dünya genelinde her yıl yaklaşık 15 milyon kişinin yaşadığı bir hastalıktır. Bu kişilerin yaklaşık 9 milyonu hayatta kalmaktadır ve reha-

bilitasyona ihtiyaç duymaktadırlar [1]. İnme sonrası karşılaşılan önemli sorunlardan biri, vücudun belirli bir yarısında meydana gelen hareket ve his kayıplarıdır. Tedavi merkezlerinde farklı yöntemler kullanılarak inme rehabilitasyonunda başarılı sonuçlar alınmakta ve hastalar gündelik işler sırasında ihtiyaç duydukları hareketleri yapabilir hale gelmektedirler.

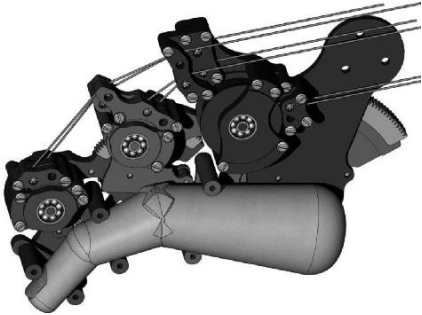
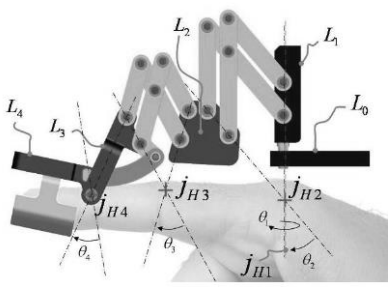
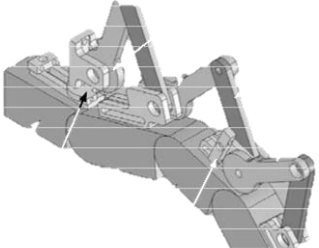
Rehabilitasyon amaçlı hizmet veren merkezlerde uygulanan tedavi yöntemleriyle başarılı sonuçlar alınmasına

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : kserbest@sakarya.edu.tr

rağmen buradaki süreçlerde bir takım sınırlılıklar ve dezavantajlar bulunmaktadır. Bunlar; belirli bir merkeze ve uzman kişilere olan bağımlılık, rehabilitasyon hizmetin-

Rehabilitasyonda kullanılan yöntemlerden biri mekatronik temelli cihazlar kullanarak hastaya hareketleri pasif veya aktif olarak yaptırmaktır. Dünya genelinde son yıl-

Çizelge1. Dönme merkezlerini hizalamak için uygulanan yöntemler (Methods for alignment of centre of rotation)

Ref.	Yöntem	Görsel	Açıklama
[9]	Dönme merkezlerini doğrudan eşleştirme.		Çok kullanılan yöntemlerden biridir. Parmakların veya bileğin yan yüzüne yerleştirildiğinden fazladan yer kaplamaktadır. Ayrıca tüm parmaklar için uygulanmak istenirse, yerleştirilecek uygun yer bulmak çok zordur.
[10]	Hem dönme hem de öteleme hareketine izin veren mekanizmaların kullanımı		Örneğin çift paralelogram mekanizması sayesinde aynı eklemler üzerinde hem öteleme hem de dönme hareketi yapılabilir. Uzun üzerinde dikey yönde çok yer kaplamaktadırlar.
[11]	Fazladan mekanizma kullanımı		Fazladan mekanizma kullanımı ile sistemin serbestlik derecesi artırılarak hem dönme hem de bir miktar öteleme hareketi yapılabilir. Uzun uzunlukları değiştirilerek hareket açıklığı ayarlanabilir.

den sınırlı sayıda kişinin yararlanabilmesi, rehabilitasyon sürecindeki nispeten yüksek maliyet ve rehabilitasyon hizmetine erişimde yaşanabilecek zorluk şeklinde sıralanabilir. Bu gibi sorunlar ev ortamında rehabilitasyona yönelik uygulamaların geliştirilmesini gerektirmektedir. Dünya Sağlık Örgütü'nün yayınladığı Dünya Engellilik Raporu'nda [2] yardımcı teknolojilerin kullanımının artmasıyla, rehabilitasyon sürecindeki bakım ve destek maliyetlerinin düşebileceğine vurgu yapılmaktadır. Bu öngörüğü destekleyen nitelikte bir çalışmada Butler ve ark. [3] inme rehabilitasyonunda kullanılan aktif eyleyicili bir cihazın rehabilitasyon maliyetleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Belirli bir ücret karşılığı kiralanen ve evde kullanılabilen cihaz sayesinde rehabilitasyon sürecinin toplam maliyetinde yaklaşık %55 oranında azalma tespit edilmiştir. Maliyetin yanı sıra, ev ortamında rehabilitasyon süreçleri ile yüksek yoğunluklu (gün içinde çok kez tekrar edilen) egzersizler gerçekleştirmek mümkündür. Böylece, iyileşme süreci hızlandırılmaktadır [4, 5].

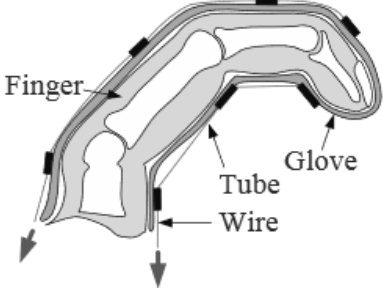
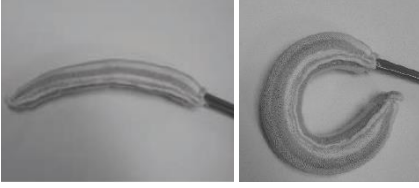
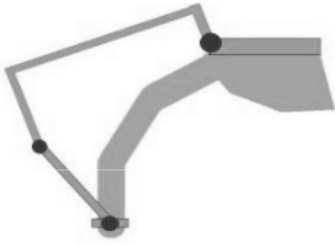
larda yapılan çalışmalar sayesinde özellikle el rehabilitasyonunda kullanılabilecek giyilebilir ve ev ortamında kullanılabilir robotik cihazların geliştirilmesi hız kazanmıştır [6]. Farklı parmak ve bilek egzersizlerini gerçekleştirebilen cihazlarda elektrikli, pnömatik ve hidrolik eyleyiciler ve şekil hafızalı malzemelerden üretilmiş eyleyiciler kullanılmakla birlikte ev ortamında kullanıma uygun cihazların elektrik enerjisi ile çalışması beklenmektedir. İlaveten cihazların hafifliği ve estetik görünümü olması önemli bir etkidir [7]. Ancak ev ortamında kullanılacak cihazların tasarımında dikkat edilmesi gereken en önemli nokta güvenlidir. Mekanik açıdan ele alındığında aktif eyleyicileri bulunan cihazların hareket aktarımında dikkat edilmesi gereken husus, kullanıcının eli üzerine giydirilmiş cihazın mafsalları ile el ve el bileğindeki eklemlerin hareketinin tam olarak birbirini karşılamaıdır. El ve el bileğinde yer alan eklemler polisentrik yapıdadırlar ve dönme hareketi sırasında dönme merkezleri değişmektedir [8]. Cihazda bulunan mekanik mafsalların ve kullanıcının eklemlerinin tam

olarak hizalanamaması durumunda kesme kuvvetleri ortaya çıkmakta ve bu durum kullanıcıya zarar vermektedir. Bu sorunu ortadan kaldırmak amacıyla uygulanan bazı yöntemler Çizelge 1'de yer almaktadır.

kolaylaştırmasıdır. Agrawal ve ark. çalışmalarında kol bölgesini referans alarak dirsek ve omuz egzersizlerini sağlayan bir cihaz önermektedirler.

Bu çalışmada, inme sonrası rehabilitasyonda kullanılabilecek, el bileği egzersizlerini gerçekleştiren,

Çizelge 1. Devamı (Continue)

Ref.	Yöntem	Görsel	Açıklama
[12]	Tendon-tahrikli mekanizma kullanımı		Tendon görevi gören, parmağın üst ve alt tarafına yerleştirilen kablolar kullanılarak mekanik mafsalların yol açtığı sorun ortadan kaldırılabilir.
[13]	Yumuşak (soft) eyleyici kullanımı		El veya bilek yüzeyini saran yumuşak eyleyiciler ile mekanik mafsallar kullanmadan hareketleri gerçekleştirmek mümkündür.
[14]	Distal uzva sabitlenmiş mekanizma kullanımı		Sadece distal uzva sabitlenmiş (örneğin parmaklar için distal falanks) seri mekanizmalar kullanarak kesme kuvvetlerinin oluşumu engellenebilir.

Dönme merkezlerini hizalamak amacıyla kullanılan mekanizmalar veya mekanik elemanlar (dişliler, kasnaklar vb.) el üzerine yerleştirildiğinden çok yer kaplamakta ve hantal bir görünüme sebep olmaktadır. Yine uzuv üzerine yerleştirilen yumuşak eyleyicili sistemler, çoğunlukla hidrolik veya pnömatik prensiplere göre çalıştıklarından ilave donanım ihtiyacı duymaktadırlar [15]. Bu durum ev ortamında kullanımı zorlaştırmaktadır. Eldeki tendonların çalışma prensibine göre tasarlanan ve kablolar yardımıyla tahrik edilen giyilebilir cihazlar, prensip olarak kullanışlı olmakla birlikte elin doğal hareketine yakın bir egzersiz hareketi sağlamaktan şuan için uzaktırlar ve geliştirilmeleri devam etmektedir. Ayrıca dünya genelinde bu tarz aktif eyleyicili cihazların ticari bir uygulaması bulunmamaktadır.

Son yıllarda Agrawal ve ark. [16, 17], fizik tedavi amaçlı yardımcı (assistive) teknolojiler alanında yaptıkları çalışmalarında hem üst hem de alt ekstremitelerde rehabilitasyonunda kablo ve yay temelli hareket aktarımında başarılı sonuçlar elde etmişlerdir. Kablo ve yay temelli sistemlerin avantajları ağırlığın büyük oranda azaltılması, boyutların küçülmesi ve kontrolün

yay ve kablo tahrikli, giyilebilir bir cihaz önerilmektedir. Elektrik enerjisi ile çalışacak cihazın ev ortamında kullanıma uygun ve taşınabilir özellikte olması beklenmektedir. İlerleyen bölümlerde tasarım parametreleri için ihtiyaçların belirlenmesi, cihazın yapısı, aktif eyleyicisinin seçimi, yay sisteminin tasarımı ve yapılacak egzersiz hareketleri açıklanmıştır. Geliştirilecek olan cihazın el rehabilitasyonuna ve tıbbi cihaz sektöründe dış pazarlara bağımlı ülkemizin rekabet gücüne katkı yapacağı düşünülmektedir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)

2.1. İhtiyaçların Belirlenmesi (Determining The Requirements)

Bir tasarım işlemi öncelikle ihtiyaçların belirlenmesi ile başlamaktadır. Ardından bu ihtiyaçları karşılayacak fonksiyon yapıları oluşturulur ve çözüm için seçenekler belirlenir. Son olarak en uygun çözüm seçeneği tespit edilir. Daha sonra bu çözüm, bir takım kısıtlamalar (teknolojik, ekonomik, hukuksal vb.) göz önüne alınarak detaylandırılır [18].

Cihazın amacına uygun olarak hizmet edebilmesi için kullanıcıların, hekimlerin, fizyoterapistlerin ve bu alandaki yönetmeliklerin [19] beklentilerini karşılaması gerekmektedir. Bu beklentiler doğrultusunda belirlenen ihtiyaç listesi Çizelge 2'de yer almaktadır.

bağlantısını yapar sonra ön kol bağlantısını gerçekleştirir. Ayarlanabilir bantlar sayesinde cihaz, el ve ön kol bölgesine sabitlenir. Doğrusal eyleyicinin çalışma şartları (hız, kurs boyu, konum, kuvvet) kontrol birimi vasıtasıyla ayarlanmaktadır.

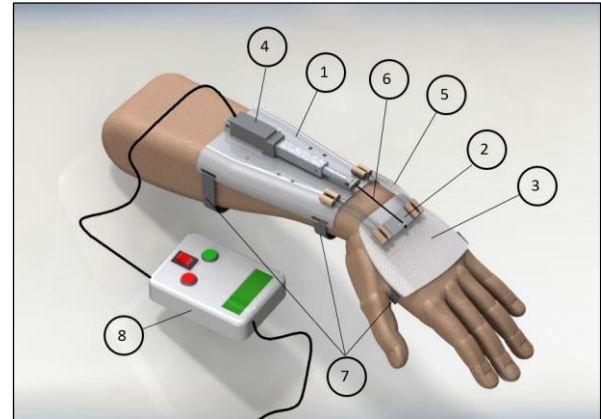
Çizelge 2. El bileği egzersiz cihazı için ihtiyaç listesi (Requirement list of the wrist exercise device)

<p>1. Geometrik özellikler</p> <ul style="list-style-type: none"> • Her yetişkin kullanıcının antropometrik özelliklerine uygunluk • Ele kolayca giyilip çıkarılma • Hafiflik • Başkasının yardımına gerek duyulmadan kullanım • Taşınabilirlik • Ev ortamında kullanılabilirlik • Ergonomiklik <p>2. Kinematik ve kuvvetler</p> <ul style="list-style-type: none"> • Düşük serbestlik derecesi • El bileğinde minimum kesme kuvveti • Aktif ve pasif egzersizler sağlamak 	<p>3. Enerji gereksinimi</p> <ul style="list-style-type: none"> • Elektrik enerjisi ile çalışma • Düşük gerilim <p>4. Malzeme</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cilde uygunluk • Oda sıcaklığında çalışma <p>5. Güvenlik</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kullanıcı öncelikli <p>6. Malivet</p> <ul style="list-style-type: none"> • Piyasada rekabetçi olma <p>7. Kontrol ve işletim</p> <ul style="list-style-type: none"> • Basitlik • Anlaşılır göstergeler • Konum ve kuvvet kontrolü
--	---

Çizelge 2'de belirlenen ihtiyaçlar arasında, birinci ve ikinci maddelerde sıralananlar bir bakıma rehabilitasyon amaçlı geliştirilen cihazlardaki genel beklentiyi yansıtmaktadır. Bu çalışmada önerilen cihaz açısından bakıldığında, her yetişkinin farklı ölçülerdeki el ve ön kol bölgesine tam olarak uyan bir cihaz ortaya koyabilmek için kişiye özel cihaz üretilmesi düşünülmüştür. El bileği, avuç içi ve ön kol bölgesi üzerinde yapılan birkaç ölçüme göre kişiye özel bir cihazın bileşenleri, üç boyutlu katmanlı üretim yöntemi kullanılarak imal edilmektedir. Sökülüp takılabilen bantlar kullanılarak cihazın giyilip çıkarılması kolaylaştırılmıştır. Cihaz az sayıda bileşenden meydana geleceğinden el üzerine giyilen kısmının ağırlığının 300 gramı geçmemesi beklenmektedir. El bileğinde meydana gelebilecek kesme kuvvetlerini engellemek için özel bir yay sistemi tasarlanmıştır. Ayrıca aktif eyleyicinin çalışma şartları hem pasif hem de aktif egzersize imkân verecek şekilde belirlenmiştir.

2.2. Cihazın Genel Yapısı (General Structure Of The Device)

Belirlenen ihtiyaçları karşılayacak şekilde tasarlanan cihazın genel yapısı ve bileşenleri Şekil 1'de görülmektedir. Cihaz, genel olarak ön kol desteği, bilek desteği, el tespit desteği, doğrusal eyleyici, çekme kablosu ve kontrol biriminden meydana gelmektedir. Doğrusal eyleyici, ön kol desteği üzerine sabitlenmiştir. Yay sisteminin bir ucu ön kol, diğer ucu el üzerinde yer almaktadır. Kullanıcı, cihazı önce el üzerine yerleştirerek



Şekil 1. Önerilen cihazın genel yapısı ve bileşenleri. 1; ön kol desteği, 2; bilek desteği, 3; el tespit desteği, 4; doğrusal eyleyici, 5; yay sistemi, 6; çekme kablosu, 7; ayar bantları, 8; kontrol birimi (General structure and components of the device. 1; forearm support, 2; wrist support, 3; hand support, 4; linear actuator, 5; spring system, 6; pulling cable, 7; adjustable strap, 8; control unit)

Serbest ve ark. önceki çalışmalarında [20] el bileğinin ekstansiyon – fleksiyon hareketini incelemişler ve hareket esnasında el bileğinde meydana gelen moment değişiminin 0.37 – 0.54 Nm arasında olduğunu hesaplamışlardır. Ayrıca el bileğinin normal hareketi sırasındaki eklem açıklığının yaklaşık 40° ekstansiyon ve yaklaşık 40° fleksiyon aralığında olduğu bilinmektedir

[20, 21]. Bu veriler dikkate alınarak cihazda kullanılacak doğrusal eyleyici için Fırgelli firması tarafından üretilen L16 P serisi bir lineer aktüatör seçilmiştir.

2.3. Yay Sisteminin Tasarımı (Design Of The Spring Mechanism)

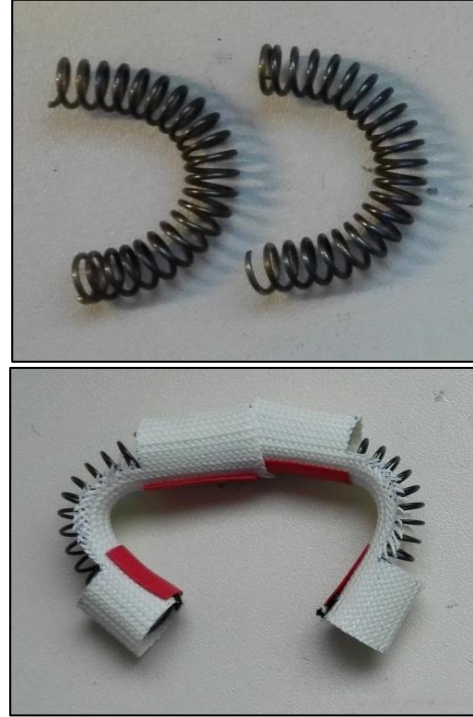
El bileğinin ekstansiyon – fleksiyon hareketi yay sistemi sayesinde sağlanmaktadır. Yaylar, el bileğini başlangıçta fleksiyon konumunda tutacak şekilde tasarlanmıştır. İnme rahatsızlığı yaşayan kişilerde görülen spastisiteden dolayı el bileği sürekli olarak fleksiyon konumunda kalmaktadır. Dolayısıyla egzersiz açısında daha önemli olan hareket, el bileğinin ekstansiyonudur.

El bileğini fleksiyonda tutabilecek seviyede kuvvet üreten bir yay belirleyebilmek için çok sayıda deneme yapılmıştır. Denemelerde ticari olarak satılan standart basma yayları kullanılmıştır. Sonuçta Çizelge 3'de özellikleri yer alan standart bir basma yayı seçilmiştir.

Çizelge 3. Cihazda kullanılan basma yayının özellikleri (Specifications of the compression spring using the device)

Tel çapı	d	0.8 mm
Ortalama çapı	Dm	5.60 mm
Tam boyu	Lo	59.00 mm
Minimum boyu	Ln	27.03 mm
Yay katsayısı	C	0.80 N/mm
Maksimum kuvvet	F	25.59 N
Malzeme		Paslanmaz yay çeliği

Basma yayları, el bileğini fleksiyon konumunda tutabilmek için bükülmüştür. Yaylar, eğrisel bir kılavuz parça üzerine geçirilerek ısıtılıp soğutulmuştur. Böylece yaylara istenen şekilsel özellik kazandırılmıştır (Şekil 2). Bükülen iki yay uç uca eklenerek tek sıralı bir yapı elde edilmiştir. Cihaz üzerinde toplam dört sıra yay kullanılarak gerekli fleksiyon kuvveti sağlanmıştır.

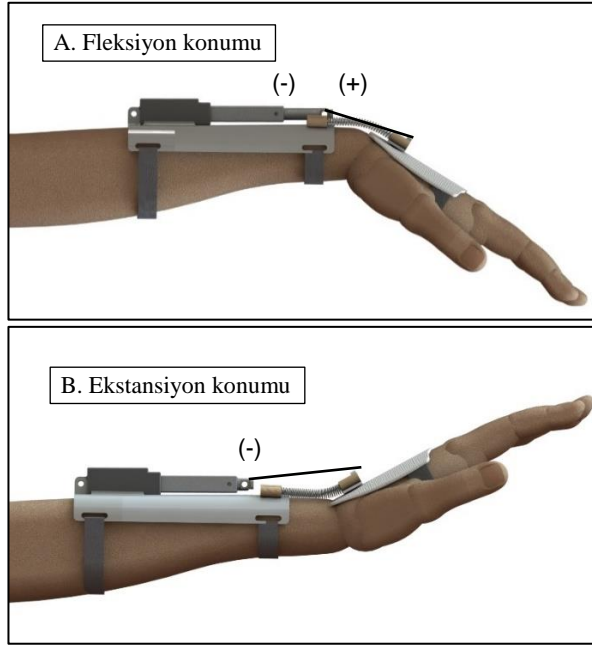


Şekil 2. Solda; bükülmüş yaylar, sağda; uç uca eklenmiş iki yay (Top; twisted springs, bottom; two springs attached to each other)

2.4. Egzersiz Hareketleri (Exercise Movements)

El bileği eklemi, iki farklı düzlemde hareket edebilmektedir. Bunlar biri frontal düzlemdeki abdüksiyon – addüksiyon, diğeri sagittal düzlemdeki ekstansiyon – fleksiyon hareketidir. Ayrıca bu iki hareketin kombinasyonu da mümkündür [8]. Ancak abdüksiyon – addüksiyon hareketinin açıklığı çok azdır. Bu durum dikkate alınarak cihazın sadece ekstansiyon – fleksiyon egzersizlerini gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır.

Cihazda yer alan yay sistemi, eli başlangıçta fleksiyon konumunda tutmaktadır (Şekil 3. A). Cihaz çalıştırıldığında doğrusal eyleyici negatif hareket yapar (geri doğru hareket). Eyleyiciye bağlı çekme kablusunun yay kuvvetini yenmesi sayesinde el, fleksiyon konumundan ekstansiyon konumuna hareket eder (Şekil 3. B). Cihaz maksimum ekstansiyon konumuna geldikten sonra eyleyici pozitif hareketine (ileriye doğru hareket) başlar. Bu sırada kablo üzerindeki kuvvet yay kuvvetinin altında olacağından el, yay kuvvetinin etkisi ile tekrar fleksiyon konumuna geri döner. Bu işlemler bir biri ardına tekrarlanarak el bileğine ekstansiyon – fleksiyon egzersizi yaptırılmış olur.



Şekil 3. Egzersiz hareketleri (Exercise movement)

Kontrol birimi ile eyleyicinin kurs boyu ayarlanarak eklem açıklığı artırılıp azaltılabilir. Rehabilitasyon sürecinin başlangıcında daha küçük açıklıkta egzersizler yapılırken, ilerleyen dönemlerde daha büyük eklem açıklığında egzersizler yapılabilir. Ayrıca eyleyicinin ürettiği kuvvet ayarlanabilmektedir. Rehabilitasyon sürecinin ilerleyen dönemlerinde hastalar kaslarını kontrol edebilir hale geldiklerinde, cihazın uyguladığı kuvvet azaltılarak hastanın büyük oranda kendi gücüyle gerçekleştirdiği aktif egzersizler yapılabilir.

3. SONUÇ ve TARTIŞMA (RESULTS and DISCUSSION)

Çalışma kapsamında önerilen cihazın, özellikle inme sonrası el rehabilitasyonunda kullanılması amaçlanmıştır. Bunun yanı sıra cihaz, rehabilitasyon ve egzersiz amaçlı diğer uygulamalarda da (sinir yaralanması, sinir sıkışması, tendon yaralanması, kırıklar, spor yaralanmaları, vb.) kullanılabilir. Cihaz, ev ortamında kullanılabilir özelliklerde olduğundan rehabilitasyon merkezine sürekli gidip gelme zorunluluğu ortadan kalkacaktır. Ayrıca hasta, cihazı istediği zaman kullanarak yüksek yoğunluklu egzersizler yapabilecektir. Bu sayede iyileşme süreci hızlanacaktır. Cihaz hem pasif (hasta katılımı olmayan, tamamen cihaz destekli) hem de aktif (hareket için gerekli kuvvetin bir kısmının cihaz, bir kısmının hasta tarafından sağlanması) egzersizler sağlayarak rehabilitasyon sürecini kısaltabilecek niteliktedir.

Tasarım açısından bakıldığında cihazın en önemli yeniliği kuvvet ve hareket aktarımında ticari basma yayları ve kablo sisteminin kullanılmış olmasıdır. El bileği üzerinde herhangi bir mekanik mafsal ve mekanizma kullanılmadığından el bileğini zorlayıcı kesme kuvvetlerinin oluşumu engellenmiştir. Bunun yanı sıra cihazın bileşenleri

dikey doğrultuda fazla yer kaplamadığından cihaz, diğer tasarımlara kıyasla daha estetik görünmektedir. Ele giyilen kısımda az sayıda bileşen bulunmasından dolayı ağırlık bakımından hafif olması beklenmektedir.

Üretilen cihazın bir diğer olumlu yönü düşük maliyetli olmasıdır. Maliyeti en fazla olan bileşen, cihazın doğrusal eyleyicisidir. Eyleyicinin perakende satış fiyatı 80 \$ civarındadır. Diğer bileşenlerde hesaba katıldığında cihazın rahatlıkla 500 TL'nin altında bir fiyata üretilmesi mümkündür. Bioness firması tarafından el rehabilitasyonunda kişisel kullanım için geliştirilen cihazın Ülkemizde 8000 €'ya, Rehab-Robotics tarafından geliştirilen rehabilitasyon merkezleri ve hastaneler için geliştirilen Hand of Hope isimli cihazın da Ülkemizde 70.000 \$'ın üzerinde bir fiyatla satıldığı göz önünde bulundurulduğunda geliştirilen cihazın maliyet açısından son derece rekabetçi olduğu anlaşılmaktadır.

Cihazın üretimi büyük oranda tamamlanmış bulunmaktadır. Cihazın hastalar tarafından kullanılabilmesini sağlamak ve etkinliğini gözlemleyebilmek için Sakarya Üniversitesi Etik Kuruluna başvuru yapılmıştır. Bunun yanı sıra, aynı prensiple çalışacak ve parmak egzersizlerini de sağlayacak el – el bileği egzersiz cihazının tasarım çalışmaları tamamlanmış bulunmaktadır. Bu doğrultuda sınıai mülkiyet haklarının tescil işlemleri Türk Patent Enstitüsü nezdinde başlatılmıştır.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma Sakarya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından desteklenmiştir (Proje no: 2014-09-18-001 ve Proje no: 2014-50-02-032). Ayrıca çalışmaya, fizik tedavi ve rehabilitasyon alanındaki tecrübelerini bizlerle paylaşarak katkı sağlayan Sakarya Üniversitesi Tıp Fakültesi Romatoloji Bilim Dalında görevli Prof. Dr. İbrahim TEKEOĞLU'na teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. <http://www.world-stroke.org/advocacy/world-stroke-campaign>, Son Erişim Tarihi: Nisan 2016.
2. WHO (World Health Organization), "World Report on Disability", (2011).
3. Butler J. A., Bay C., Wu D., Richards K. M., Buchanan S. and Yepes M., "Expanding Tele-rehabilitation of Stroke Through In-home Robot-assisted Therapy", *Int J Phys Med Rehabil*, 2: 1-11, (2014).
4. Kwakkel G., Wagenaar R. C., Koelman T. W., Lankhorst G. J. and Koetsier J. C., "Effects of intensity of rehabilitation after stroke a research synthesis," *Stroke*, 28(8): 1550-1556, (1997).
5. Amirabdollahian F., Ateş S., Basteris A., Cesario A., Buurke J., Hermens H., vd., "Design, development and deployment of a hand/wrist exoskeleton for home-based rehabilitation after stroke – SCRIPT project", *Robotica*, 32(08): 1331-1346, (2014).
6. Heo P., Gu M. G., Lee S., Rhee K. and Kim J., "Current hand exoskeleton technologies for rehabilitation and

- assistive engineering”, *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 13(5): 807-824, (2012).
7. Iqbal J. and Baizid K., “Stroke rehabilitation using exoskeleton-based robotic exercises: Mini Review”, *Biomedical Research*, 26(1): 197-201, (2015).
 8. Nordin M. and Frankel V. H., “Basic biomechanics of the musculoskeletal system”, *Lippincott Williams & Wilkins*, (2012).
 9. Worsnoop T. T., Peshkin M. A., Colgate J. E. and Kamper D. G., “An Actuated Finger Exoskeleton for Hand Rehabilitation Following Stroke”, *IEEE 10th International Conference on Rehabilitation Robotics*, Netherlands, 896-901, (2007).
 10. Fontana M., Dettori A., Salsedo F. and Bergamasco M., “Mechanical design of a novel Hand Exoskeleton for accurate force displaying”, *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Japan, 1704-1709, (2009).
 11. Wege A. and G. Hommel G., “Development and control of a hand exoskeleton for rehabilitation of hand injuries”, *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, Canada, 3046-3051, (2005).
 12. In H. K., Cho K. J., Kim K. R. and Lee B. S., “Jointless structure and under-actuation mechanism for compact hand exoskeleton”, *IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics*, Switzerland, 1-6, (2011).
 13. Kadowaki Y., Noritsugu T., Takaiwa M., Sasaki D. and Kato M., “Development of Soft Power-Assist Glove and Control Based on Human Intent”, *Journal of Robotics and Mechatronics*, 23(2): 281-291, (2011).
 14. Stergiopoulos P., Fuchs P. and Laugeau C., “Design of a 2-finger hand exoskeleton for VR grasping simulation”, *Proceedings of the Eurohaptics*, Dublin, 80-93, (2003).
 15. Polygerinos P., Wang Z., Galloway K. C., Wood R. J. and Walsh C. J., “Soft robotic glove for combined assistance and at-home rehabilitation”, *Robotics and Autonomous*, 73: 135-143, (2015).
 16. Duan Q., Vashita V. and Agrawal S. K., “Effect on wrench-feasible workspace of cable-driven parallel robots by adding springs”, *Mechanism and Machine Theory*, 86: 201-210, (2015).
 17. Mao Y., Jin X., Dutta G. G., Scholz J. P. and Agrawal S. K., “Human movement training with a cable driven arm exoskeleton (CAREX)”, *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 23(1): 84-92, (2015).
 18. Pahl G., Beitz W., Feldhusen J., Grote K. H., “Engineering Design”, *Springer-Verlag*, (2007).
 19. Sağlık Bakanlığı, “Tıbbi Cihaz Yönetmeliği”, *Resmi Gazete Sayısı: 27957*, (2011).
 20. Serbest K., Eldoğan O., Yıldız M. Z. and Çilli M., “El bileğinin ekstansiyon ve fleksiyon hareketinin analizi için biyomekanik model geliştirilmesi”, *18. Biyomedikal Mühendisliği Ulusal Toplantısı*, İstanbul, 1-4, (2014).
 21. Ryu J., Cooney W. P., Askew L. J., An K. and Chao E. Y. S., “Functional ranges of motion of the wrist joint”, *The Journal of Hand Surgery*, 16(3): 409-419, (1991).
 22. http://www.tevema-industrial-springs.com/Compression_Springs_en.html, Son Erişim Tarihi: Ekim 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>

Afyonkarahisar yöresi tüflerinin fiziko-mekanik özelliklerinin ultrases dalga hızı ile ilişkisinin incelenmesi

The relationship of physico-mechanical properties with ultrasonic wave velocity of Afyonkarahisar tuffs

Yazar(lar) (Author(s)): Mustafa Yavuz ÇELİK

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Çelik M. Y., "Afyonkarahisar yöresi tüflerinin fiziko-mekanik özelliklerinin ultrases dalga hızı ile ilişkisinin incelenmesi, *Politeknik Dergisi*, 20(4): 961-970, (2017).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.369111

Afyonkarahisar Yöresi Tüflerinin Fiziko-Mekanik Özelliklerinin Ultrases Dalga Hızı ile İlişkisinin İncelenmesi

Araştırma Makalesi / Research Article

Mustafa Yavuz ÇELİK

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon Meslek Yüksek Okulu, Doğal Yapıtaşları Teknolojisi Programı, Ali Çetinkaya Kampüsü, 03100, Afyonkarahisar

(Geliş/Received : 24.10.2016 ; Kabul/Accepted : 14.01.2017)

ÖZ

Yoğunluk, porozite, su emme, ultrases dalga hızı, tek eksenli basınç dayanımı, eğilme dayanımı yapı taşı olarak kullanılan kayaçların önemli özelliklerindedir. Bu çalışmada, yapı taşı olarak kullanılan dört farklı volkanik tüfün fiziko-mekanik özellikleri laboratuvarında belirlenmiş ve P-dalga hızı ile ilişkisi incelenmiştir. Test sonuçlarının regresyon analizi ile incelenmesi sonucunda tüm tüf örneklerinin fiziko-mekanik özellikleri ve P-dalga hızları arasında, önemli ilişkiler olduğu tespit edilmiştir. Sonuçlar P-dalga hızlarının, porozite ve su emme değerlerine bağlı olarak azaldığını, yoğunluk, tek eksenli basınç dayanımı ve eğilme dayanımının artışına bağlı olarak da önemli oranda arttığını göstermiştir. P-dalga hızları ile fiziko-mekanik özellikler arasında en iyi korelasyon ilişkisi Seyitgazi tüflerinde 0,9824 ile tek eksenli basınç dayanımı, Döğer tüflerinde 0,895 ile yoğunluk, 0,9798 ile porozite ve Ayazini tüflerinde 0,9824 ile ağırlıkça su emme değerleri arasında elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yapı taşı, tüf, ultrases dalga hızı, fiziko-mekanik özellikler.

The Relationship of Physico-Mechanical Properties with Ultrasonic Wave Velocity of Afyonkarahisar Tuffs

ABSTRACT

Density, porosity, absorption water, ultrasonic pulse velocity, uniaxial compressive strength, flexural strength is important properties of rocks which are used as building stones. In this study, the physico-mechanical properties of four volcanic tuff rock types were determined in the laboratory and correlated with P-wave velocity. Test results were indicated by simple regression analysis, good correlations were found between physico-mechanical properties and P-wave velocity of the all tuff samples. The results show that the directly proportional decrease in porosity and water absorption by weight have some great significance in increase of the P-wave velocities while it rises with increasing density, uniaxial compressive strength and flexural strength data of the tested tuff stones. The best regression coefficient is obtained between P-wave velocities with density in the correlation coefficient of 0,895 for Döğer tuff, with porosity 0,9798 for Döğer tuff, with water absorption by weight 0,8555 for Ayazini tuff, with uniaxial compressive strength 0,9824 for Seyitgazi tuff.

Keywords: Building stone, tuff, ultrasonic wave velocity, physico-mechanical properties.

1.GİRİŞ (INTRODUCTION)

Antik dönemlerden beri yapıtaşı olarak kullanılan doğal taşların en önemlilerinden birisi de tüflerdir. Anadolu'da; Hitit, Eski Yunan, Roma, Bizans, Selçuklu ve Osmanlı uygarlık dönemlerine ait tarihi eserlerde de tüflerin kullanıldığı görülmektedir. Bu eserlerin inşasında kullanılan doğal taşların elde edildiği taş ocaklarından bazıları halen çalışmaktadır. Anadolu Selçuklu döneminde, daha çok Orta ve Doğu Anadolu'daki tüflerle, ünlü medreseler, camiler, türbeler, kervansaraylar inşa edilmiştir. Özellikle Orta Anadolu'da çeşitli şehirlerde renkli ve volkanik tüflerden

yapılan eserler, günümüzde de işlevlerini sürdürmektedir [1].

Selçuklu ve Osmanlı Dönemi yapıları ile tarihi dokunun yaşatıldığı, Anadolu'daki Türk kültürünü yansıtan önemli eserlerin bulunduğu illerden birisi de Afyonkarahisar'dır. Afyonkarahisar'da, günümüze kadar gelebilene cami, medrese, köprü ve han gibi genel kullanıma açık tarihi yapıların yanı sıra, çeşme, hamam, bent ve su kemeri gibi su mimarisi yapıları da önemli bir yer tutmaktadır. Bu tarihi yapıların birçoğunda Ayazini ve Seydiler tüfleri kullanılmıştır [2].

Tüfler, volkanik kökenli sedimanter oluşumlardır. İyi pekişmemiş tüfler, zaman içerisinde bol gözenekli yapısı nedeniyle, diğer doğal taşlara göre daha çabuk ayrışmaktadır. Tüfler değişik oranlarda, cam parçaları

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : mycelik@aku.edu.tr

(pümis, cam), kristaller ve kayaç parçaları (litik) gibi üç farklı bileşenden oluşmaktadır [3]. Tüflerin dayanımı, bileşimde yer alan minerallere, boşluk miktarına, kimyasal bileşimine ve camsı madde içeriğine göre değişmektedir. Tüfler ocaktan çıkarıldığında bir miktar doğal nem içeriğinden dolayı kolay şekillendirilmektedir. Yapıtışı olarak kullanılacak tüfler hemen kullanılmaz, işlendikten sonra açık havada kurumaya bırakılır ve bu süreçte sağlam kalanlar kullanılır. Önemli yapılarda yapıtaşı olarak kullanılacak kayaçların kullanıldığı yerde deformasyona uğramamaları için kullanılmadan önce birtakım tekniklerle denetlenmesi gerekmektedir.

20 kHz'in üzerindeki sesler ultrases olarak adlandırılır. Ultrases teknikler, uzun yıllardır madencilik ve jeoteknik uygulamalarda kullanılmaktadır. Bunlar, kayaçların dinamik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan jeofizik ve laboratuvar çalışmalarıdır. Bu teknikler, uygulama kolaylığı ve malzemenin örselenmemesinden dolayı, çeşitli mühendislik çalışmalarında kullanılmaktadır. Kaya kütle deformasyonu ve basıncının tahmini, yeraltı açıklıklarının etrafında gelişmiş çatlak zonlarının büyüklüğü (uzunluğu), kayacın su içerme derecesinin saptanması ve çatlak kaya kütle karakteristiği sismik tekniklerin uygulandığı diğer bazı uygulamalardır [4].

Kayaçların fiziko-mekanik özellikleriyle, P-dalga hızları arasında yakın ilişkiler olduğu bilinmektedir. Del Río vd. [5], İspanya'daki granitlerin fiziko-mekanik özellikleri ile ultrases dalga yayılma hızları arasındaki ilişkiyi regresyon analizi ile incelemişlerdir. Kahraman [6], 11 magmatik, 15 sedimanter ve 15 metamorfik olmak üzere toplam 41 çeşit kayaç örneğinde kuru halde ve suya doygunluk derecesinin bir fonksiyonu olarak değişen P-dalga hızını incelemiştir. Sáez-Pérez ve Rodríguez-Gordill [7], Macael (Almería, İspanya), mermerlerindeki yapısal süreksizlikleri ultrases dalgalar kullanarak belirlemişlerdir. Kahraman ve Yeken [8], 14 değişik karbonatlı kayacın fiziko-mekanik özellikleriyle P-dalga hızları arasında çok kuvvetli ilişkilerin bulunduğunu ortaya koymuşlardır. Sharma ve Singh [9], 7 farklı kayaç örneği üzerinde yaptıkları laboratuvar çalışmalarında P-dalga hızları ile darbe dayanım etkisi ve dağılmaya karşı dayanıklılık indeksi arasında ampirik bağıntılar geliştirmişlerdir. Fener [10], 9 farklı kayaç örneğinden 6 farklı çapta karot örneği kullanarak P-dalga hızlarının boyuta göre değişimini incelemiştir. Büyük çaplı örneklerde P-dalga hızının arttığı gözlenmiştir. Bunların yanı sıra birçok yazar yine aynı şekilde kayaçların mekanik özellikleri ile P-dalga hızının yayılması arasında yakın ilişki olduğunu tespit etmiştir [11-17].

Volkanik tüflerin, kolay kesilip şekillendirilebilme özelliğinden dolayı yerel olarak yapılarda değişik amaçlar için kullanımı gittikçe artmaktadır. Tüfler düşük maliyetli yapı malzemesidir. Özellikle gözenek miktarı, basınç dayanımı ve su emme miktarı gibi fiziksel özellikler, tüflerin kullanımını doğrudan etkileyen parametrelerdir. Bu makalede, Afyonkarahisar yöresinde

yapıtışı olarak kullanılan 4 farklı tüfün fiziko-mekanik özelliklerinin ultrases dalga hızı ile ilişkisi incelenmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM (MATERIAL and METHOD)

2.1. Materyal (Material)

Deneylerde, Afyonkarahisar yöresinde yapıtaşı olarak kullanılan Ayazini, Seydiler, Seyitgazi ve Döğer tüfleri kullanılmıştır. Bu tüf örneklerinin alındığı taş ocaklarının lokasyon haritası Şekil 1'de verilmiştir. Örneklerin alındığı Ayazini, Seydiler ve Döğer ocaklarında insan gücüne dayalı üretim yöntemi kullanılırken Seyitgazi tüf ocağında mekanik üretim yöntemi kullanılmaktadır. Bu ocaklara ait resimler Şekil 2'de verilmiştir. Her bir ocaktan ortalama 50x25x25 cm boylarında alınan bloklardan, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon Meslek Yüksekokulu Mermer Atölyesinde, deneyler için standartlarda öngörülen boyutlarda örnekler (70x70x70 mm) elde edilmiştir.

2.2. Yöntem (Method)

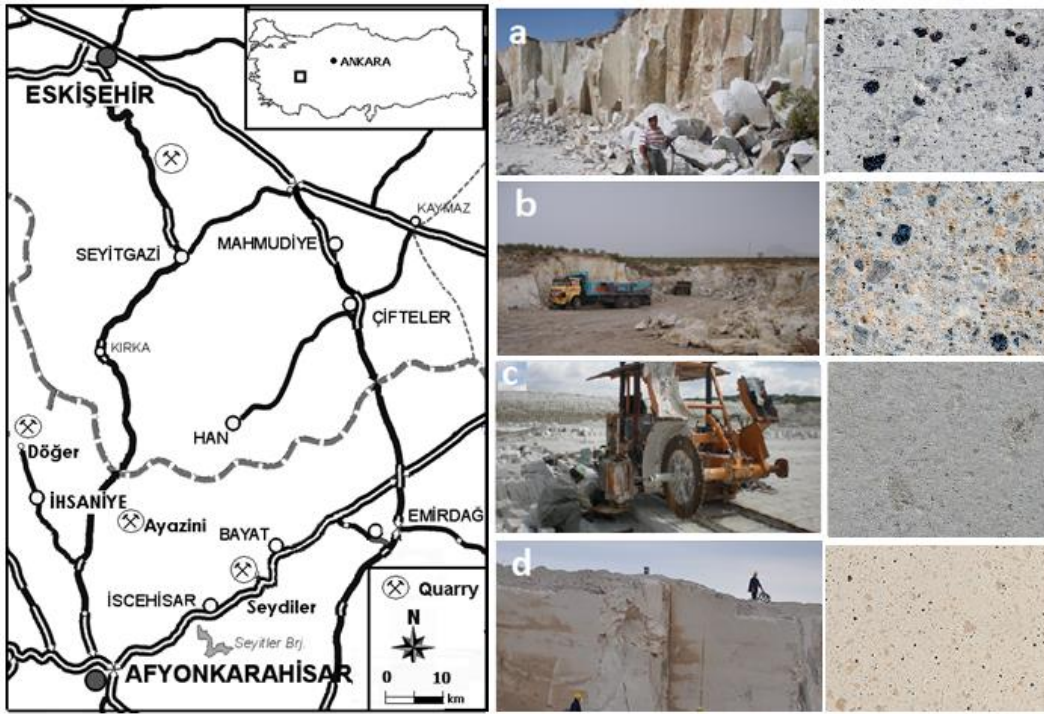
Deneylerde kullanılan tüflere kimyasal, fiziksel ve mekanik deneyler uygulanmıştır. Fiziksel ve mekanik deneyler TS ve TS EN standartlarına göre yapılmıştır. Tüflerin kimyasal analizi Afyon Kocatepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Doğaltaş Analiz Laboratuvarında Rigaku/ZSX Primus II marka XRF cihazı ile yapılmıştır. Fiziksel ve mekanik deneylerde Afyon Kocatepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Doğaltaş Analiz Laboratuvarında bulunan cihazlar kullanılmıştır. Fiziksel ve mekanik deneylerde kullanılan standartlar ve örnek özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Ultrases geçiş hızı deneyleri TS EN 14579 [18] (Turkish Standart European Norms) standardına göre yapılmıştır. Tüflerin ultrases geçiş hızı ölçümleri, Afyon Kocatepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Doğaltaş Araştırma Laboratuvarında bulunan Ele marka Ultrases test cihazı (P-dalgası) ile yapılmıştır (54 kHz). Deneylerde her bir tüf cinsi için 6'şar adet 7x7x7 cm boyutlarında örnekler kullanılmıştır. Örneklerin iki yüzeyi arasındaki mesafe kumpas yardımıyla ölçülmüş, ölçüm yapılacak yüzeylerde hava boşluğunun kalmaması için özel yağ ile pürüzsüz olması sağlanmıştır. Propların (verici-alıcı) arasına numune yerleştirilerek aynı hizaya getirilmiş ve cihaz çalıştırılmıştır. Cihazdaki okunan değer kaydedilmiş ve ultrases geçiş hızı değerleri denklem (1) yardımıyla hesaplanmıştır.

$$V = \frac{L}{t} \quad (1)$$

Burada; V: Ultrases geçiş hızı (m/sn), L: Yüzeyler arası mesafe (cm), t: Dalganın numuneden geçiş süresi (sn).

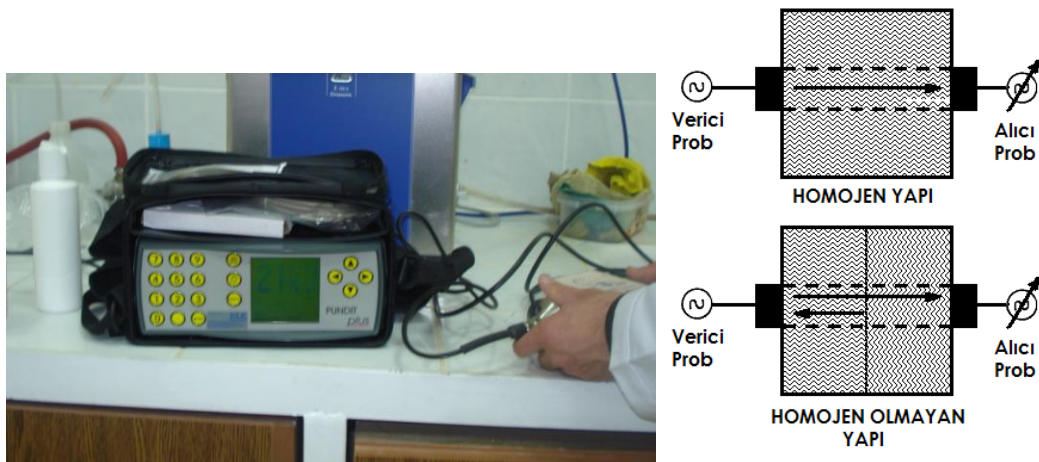
Sesin geçiş hızı taşın yoğunluğuna, gözenekliliğine ve çatlaklı yapısına bağlı olarak değişmektedir. Taşın yoğunluğu düşük ve bünyesinde gözenekli yapı ve çatlaklar var ise sesin geçiş hızı da bunlara bağlı olarak düşük olmaktadır (Şekil 2). Donma-çözülme deneyleri TS EN 12371 [23]'e göre yapılmış olup her bir tüf örneğine 25 donma-çözülme çevrimi uygulanmış ve malzeme kaybı % olarak hesaplanmıştır.



Şekil 1. Deneylerde kullanılan tuf örneklerinin alındığı ocakların lokasyon haritası ve tuf örneklerinin görünümü. a: Ayazini, b: Seydiler, c: Seyitgazi, d: Döğer. (Location map of the tuffs used in the experiments, a: Ayazini, b: Seydiler, c: Seyitgazi, d: Döğer.)

Çizelge 1. Fiziko mekanik testlerde kullanılan örnekler ve ilgili standartlar. (* her bir tuf için) (Sample sizes and numbers for physico-mechanical tests and related standards)

Testler	Boyut (mm)	Örnek	Toplam	İlgili standart
Yoğunluk (g/cm^3)	70x70x70	6x4*	24	TS EN 1936 [19]
Ağırlıkça Su Emme (%)	70x70x70	6x4*	24	TS EN 13755 [20]
Hacimce Su Emme (%)	70x70x70	6x4*	24	TS EN 13755 [20]
Porozite (%)	70x70x70	6x4*	24	TS EN 1936 [19]
Ultrases Dalga Hızı ($km s^{-1}$)	70x70x70	6x4*	24	TS EN 14579 [18]
Basınç Dayanımı (MPa)	70x70x70	6x4*	24	TS EN 1926 [21]
Eğilme Dayanımı (MPa)	360x60 x60	6x4*	24	TS EN 12372 [22]
Donma Çözülme (Don Kaybı) (%)	70x70x70	6x4*	24	TS EN 12371 [23]



Şekil 2. Ultrases geçiş hızının kayacın yapısal özelliklerine göre şematik gösterimi ve ölçümü. (Schematic representation and measurement of ultrasound transit speed according to the structural properties of the rock)

sahiptir. Bu değerlerin porozite ile doğrudan ilişkili olduğu da görülmektedir. Aynı şekilde en düşük yoğunluğa sahip olan Seyitgazi tufünün %44,6 ile en yüksek porozite değerine de sahip olduğu görülmektedir. Benzer bir ilişki de tek eksenli basınç dayanımı deneyleri sonuçlarında görülmektedir. Porozite miktarı en yüksek (%44,6) olan Seyitgazi tufünün basınç dayanımı değerleri (13,13 MPa) en düşük seviyede olmuştur. Porozite değerlerinin yüksek olması kayacın mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkilemektedir. Tüflerin ultrases dalga hızı değerleri 1990 kms^{-1} ile 2675 kms^{-1} arasında ölçülmüştür. En yüksek değer Seydiler, en düşük değer ise Ayazini tüflerinde ölçülmüştür.

3.3. Tüflerin Fiziko-mekanik Özelliklerinin Ultrases Dalga Hızı ile İlişkisi (Relationship between ultrasound wave velocity and physico-mechanical properties of tuffs.)

Sismik teknikler genellikle kayaçların dinamik özelliklerini belirlemek ve karakterize etmek için

ve jeoteknik mühendisliğinde kullanılmaktadır. Kayaçlarda ultrases dalga hız değerini etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Bunlar; kayaç cinsi, dokusu, tane boyutu ve şekli, porozitesi, yoğunluğu, su içeriği ve anizotropisidir. Anizotropik kayaçlarda dalga hızı; örneğin yönü ve geçiş mesafesi gibi faktörlerden etkilenebilmektedir. Bunların dışında ayrışma ve alterasyon zonları, eklem özellikleri (su, dolgu malzemesi, pürüzlülük, doğrultu, eğim vb.) gibi faktörler ultrases hız değerini etkileyen önemli parametrelerdir.

3.3.1. Tüflerin ultrases dalga hızı ile yoğunluk arasındaki ilişkiler (Relationship between ultrasound wave velocity and density of tuffs)

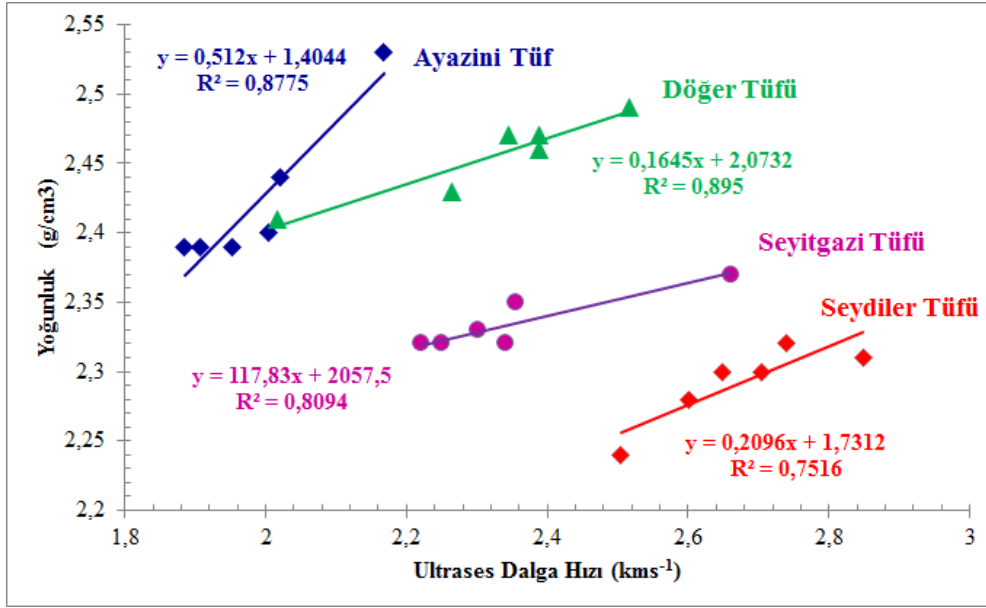
Tüflerin yoğunluk değerleri ile ultrases dalga hızı arasındaki ilişkilere ait grafikler Şekil 4'de verilmiştir. Korelasyon sonucunda kayaçların ultrases dalga hızları ile yoğunluk arasında ilişkiler doğru orantılı olup tüflerde yoğunluk arttıkça ultrases dalga hızı yayılımının da arttığı görülmektedir. Ultrases dalga hızı yayılımının

Çizelge 3. Tüflerin fiziko-mekanik özellikleri (Her bir deney için 6 örnek kullanılmıştır). (Averege physico-mechanical properties of tuffs (6 samples used in each experiment)).

Deneyler	Ayazini Tüfü			Seydiler Tüfü		
	Min.	Max.	Ort.	Min.	Max.	Ort.
Yoğunluk (g/cm^3)	2,39	2,44	2,42	2,27	2,31	2,29
Ağırlıkça Su Emme (%)	16,73	17,18	16,93	17,93	19,56	18,51
Hacimce Su Emme (%)	26,59	27,42	27,00	23,68	25,24	24,21
Porozite (%)	34,30	39,50	37,30	33,60	38,70	36,00
Ultrases Dalga Hızı (kms^{-1})	1885	2168	1990	2505	2848	2675
Basınç Dayanımı (MPa)	21,61	23,68	22,21	17,14	20,76	19,07
Eğilme Dayanımı (MPa)	1,28	1,50	1,37	0,99	1,12	1,07
Don Kaybı (%)	0,073	0,349	0,192	0,166	0,346	0,248
Deneyler	Döğer Tüfü			Seyitgazi Tüfü		
	Min.	Max.	Ort.	Min.	Max.	Ort.
Yoğunluk (g/cm^3)	2,43	2,49	2,45	2,32	2,37	2,34
Ağırlıkça Su Emme (%)	22,29	22,99	22,49	22,26	23,25	22,60
Hacimce Su Emme (%)	32,91	33,82	33,30	28,60	29,60	29,08
Porozite (%)	38,77	42,85	41,06	44,05	45,17	44,60
Ultrases Dalga Hızı (kms^{-1})	2017	2517	2320	2222	2661	2355
Basınç Dayanımı (MPa)	19,56	24,19	21,22	12,39	14,59	13,13
Eğilme Dayanımı (MPa)	2,35	3,13	2,69	2,25	4,90	3,11
Don Kaybı (%)	0,52	2,78	1,46	1,24	1,93	1,50

kullanılır. Bu teknikler tahribatsız ve nispeten uygulaması kolay olduğundan, giderek daha çok jeolojik

artmasının en önemli sebebi ise porozite miktarının azalması olarak ifade edilebilir.



Şekil 4. Tüflerde ultrases dalga hızı ile yoğunluk arasındaki ilişkiler. (Relationship between ultrasound wave velocity and density in tuffs.)

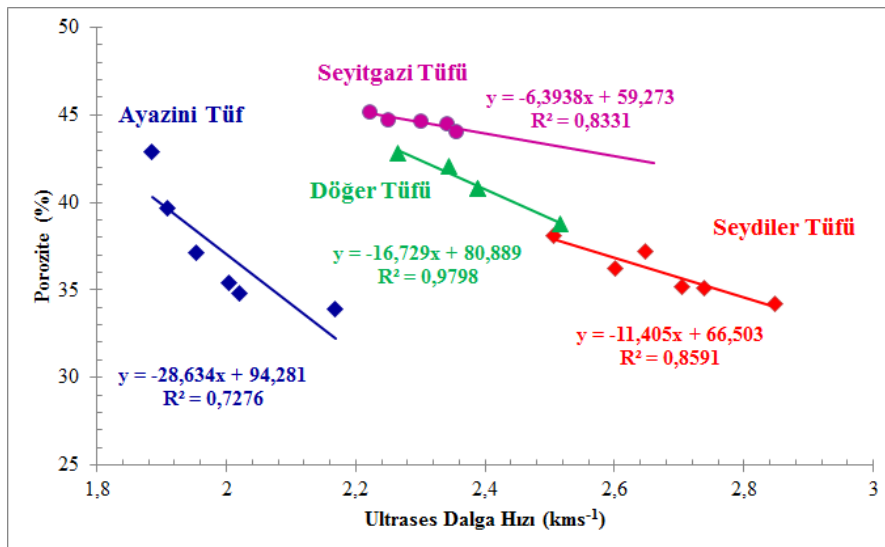
3.3.2. Tüflerin ultrases dalga hızı ile porozitesi arasındaki ilişkiler (Relationship between ultrasonic wave velocity and porosity of tuffs)

Yüksek porozite miktarının, kayacın mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkilediği bilinmektedir. Ultrases dalga hızını etkileyen en önemli unsurlardan birisi de porozitedir. Tüflerdeki porozite miktarları ortalama Ayazini tüflerinde %37,3, Seydiler tüflerinde %36, Döğer tüflerinde %41,6 ve Seytgazi tüflerinde %44,6 olarak belirlenmiştir. Tüflerin ultrases dalga hızı ile porozitesi arasındaki ilişkilere ait grafikler Şekil 5’de verilmiştir. Tüflerdeki ultrases dalga hızı ile porozite arasındaki ilişkiler ters orantılı olup porozite miktarı

azaldıkça ultrases dalga hızı yayılımının da arttığı görülmektedir (Şekil 5).

3.3.3. Tüflerin ultrases dalga hızı ile kütlece su emme değeri arasındaki ilişkiler (Relationship between ultrasound wave velocity and water absorption value of tuffs)

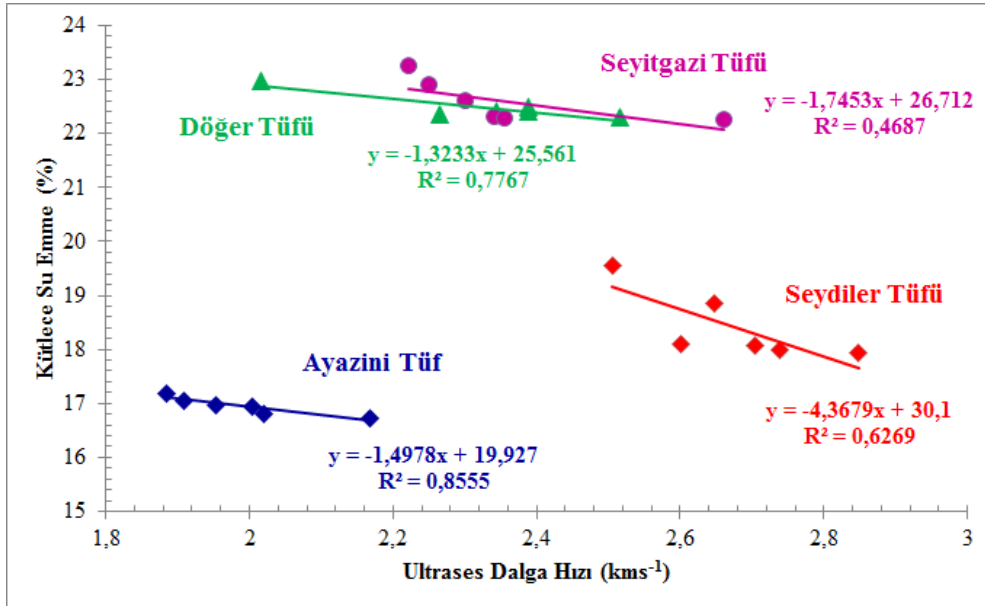
Tüflerin ultrases dalga hızı ile kütlece su emme değeri arasındaki ilişkilere ait grafikler Şekil 6’da verilmiştir. Tüflerdeki kütlece su emme değerleri ortalama Ayazini tüflerinde %16,93, Seydiler tüflerinde %18,51, Döğer tüflerinde %22,49 ve Seytgazi tüflerinde %22,6 olarak belirlenmiştir. Tüflerdeki ultrases dalga hızı ile kütlece su emme değeri arasındaki ilişkiler ters orantılı olup kütlece su emme değeri azaldıkça ultrases dalga hızı



Şekil 5. Tüflerde ultrases dalga hızı ile porozite ilişkisi. (Relationship between ultrasonic wave velocity and porosity of tuffs)

yayılımının arttığı görülmektedir. Kayaçlarda su emme değerleri doğrudan porozite miktarı ile ilişkilidir. Bu durum boşluk miktarı azaldıkça ses dalgalarının yayılımının artmasının doğal bir sonucudur (Şekil 6).

dayanımı değerleri en düşük seviyede olmuştur. Tüflerde tek eksenli basınç dayanımı değerleri Ayazini tüflerinde 22,21 MPa, Seydiler tüflerinde 19,07 MPa, Döğer tüflerinde 21,22 MPa ve Seyitgazi tüflerinde 13,13 MPa

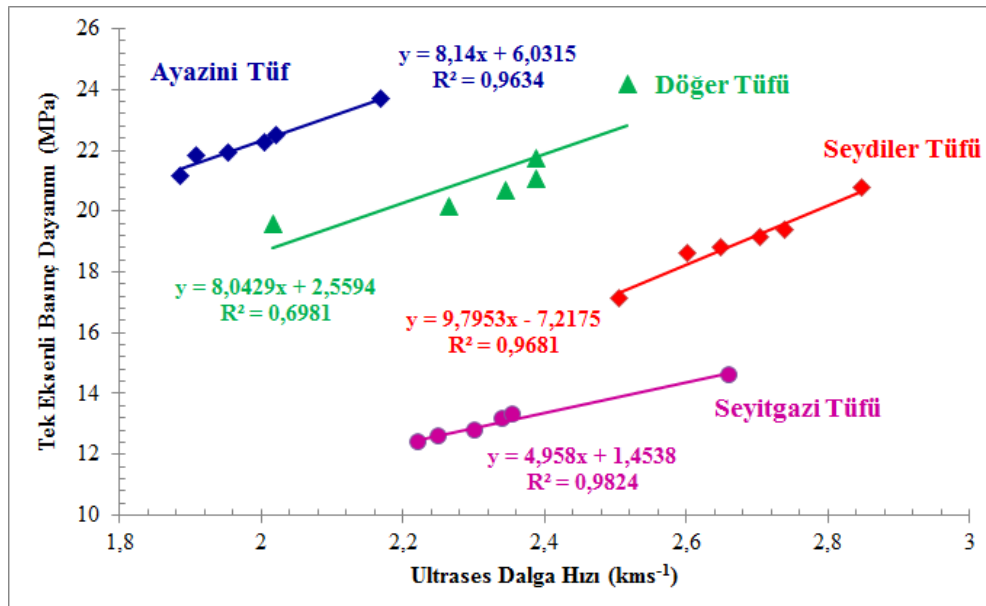


Şekil 6. Tüflerde ultrasens dalga hızı ile kütlece su emme ilişkisi. (Relationship between ultrasound wave velocity and water absorption value of tuffs)

3.3.4. Tüflerin ultrasens dalga hızı ile tek eksenli basınç dayanımı arasındaki ilişkiler (Relationship between ultrasound wave velocity and uniaxial compressive strength of tuffs)

Kayaçların mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkilen en önemli unsurların başında porozite miktarı gelmektedir. İnceleme yapılan tüflerde %44 ile en yüksek porozite değerine sahip olan Seyitgazi tüfünün basınç

olarak bulunmuştur. Tüflerdeki ultrasens dalga hızı ile tek eksenli basınç dayanımı arasındaki ilişkiler doğru orantılı olup porozite miktarı arttıkça ultrasens dalga hızlarının azaldığı, ayrıca ultrasens dalga hızlarının artışına bağlı olarak tek eksenli basınç dayanım değerlerinin de arttığı ve aralarında lineer bir ilişkinin olduğu belirlenmiştir (Şekil 7).



Şekil 7. Tüflerde ultrasens dalga hızı ile tek eksenli basınç dayanımı ilişkisi. (Relationship between ultrasound wave velocity and uniaxial compressive strength of tuffs)

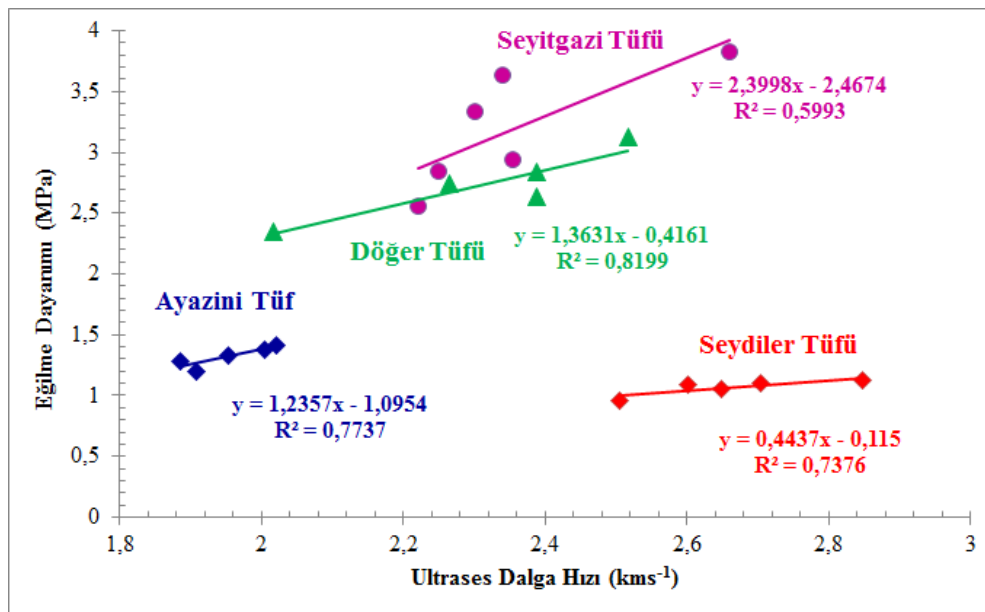
3.3.5. Tüflerin ultrases dalga hızı ile eğilme dayanımı arasındaki ilişkiler (Relationship between ultrasound wave velocity and flexural strength of tuffs)

Eğilme dayanımı, standart boyutlardaki plakaların belirli doğrultuda kırılmaya karşı gösterdikleri dirençtir. Kullanımı genellikle belirli boyut ve kalınlıklarda, plaka şeklinde olan kayalarda eğilme direnci son derece önemli bir parametre olarak ortaya çıkmaktadır. Çünkü plaka kalınlığı, plaka boyut ve destek noktaları arasındaki mesafe eğilme dayanımına göre tespit edilmektedir.

Tüflerde eğilme dayanımı değerleri Ayazini tüflerinde 1,37 MPa, Seydiler tüflerinde 1,07 MPa, Döğer tüflerinde 2,69 MPa ve Seyitgazi tüflerinde 3,11 MPa olarak bulunmuştur. Tüflerdeki ultrases dalga hızı ile

Donma-çözülme deneyleri TS EN 12371 [23]'e göre yapılmış olup tüflerde don kaybı değerleri Ayazini tüflerinde %0,192, Seydiler tüflerinde %0,248, Döğer tüflerinde %1,46 ve Seyitgazi tüflerinde %1,5 olarak bulunmuştur. Tüflerdeki ultrases dalga hızı ile don kaybı arasındaki ilişkiler doğru orantılı olup ultrases dalga hızlarının artışına bağlı olarak don kaybı değerlerinin arttığı ancak aralarında çok zayıf bir lineer bir ilişkinin olduğu belirlenmiştir (Şekil 9).

Bunun sebebi donma-çözülme olayları sonucunda kayacın bünyesindeki süreksizliklerin ve boşlukların artması şeklinde yorumlanabilir. Böylece, kayaçta donma ve çözülme periyotları sonucunda malzeme kaybı meydana gelmektedir. Açık porozite miktarı yüksek olan kayalar, donma ve çözümlerin sık görüldüğü soğuk iklimlerde dış mekanlarda dikkatli kullanılmalıdır.

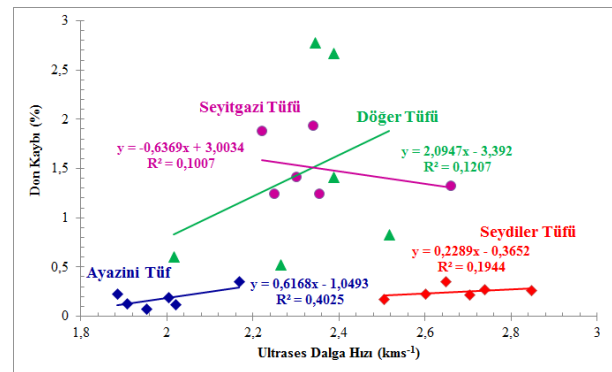


Şekil 8. Tüflerde ultrases dalga hızı ile eğilme dayanımı ilişkisi. (Relationship between ultrasound wave velocity and flexural strength of tuffs)

eğilme dayanımı arasındaki ilişkiler doğru orantılı olup ultrases dalga hızlarının artışına bağlı olarak eğilme dayanım değerlerinin arttığı ve aralarında lineer bir ilişkinin olduğu belirlenmiştir (Şekil 8).

3.3.6. Tüflerin ultrases dalga hızı ile don kaybı arasındaki ilişkiler (Relationship between ultrasound wave velocity and freeze-thaw loss of tuffs)

Doğal taşların kullanılacağı bölgenin mevcut iklim koşullarına göre gece-gündüz, yaz-kış arasındaki sıcaklık farkları, kayaların dayanımları üzerinde olumsuz etkilere neden olmaktadır. Yağışlı dönemlerde tüflerin yüksek gözenekliliğinden ötürü su doygunluğu artmakta ve gece/gündüz yaşanan don olayları ile bünyesindeki su donarak, kayaç yapısında mikro hatta makro büyüklükte çatlaklar oluşmaktadır. Bu yüzden yapı malzemesi olarak kullanılacak tüflerin, dona karşı dayanımlarının belirlenmesi gerekmektedir.



Şekil 9. Tüflerde ultrases dalga hızı ile don kaybı ilişkisi. (Relationship between ultrasound wave velocity and freeze-thaw loss of tuffs)

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, Afyonkarahisar bölgesinde bulunan ve yörede yapı taşı olarak kullanılan Ayazini, Seydiler, Döğer ve Seyitgazi bölgesi tüflerinin fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenerek, bu özelliklerin ultra ses dalga hızı ile olan ilişkileri incelenmiştir. Ultrases yöntemler, fiziksel deney yöntemlerine göre daha hızlı ve ekonomik olması yanı sıra zaman ve ekonomiden tasarruf da sağlaması nedeniyle doğal taşların özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan yöntemlerden birisi olmuştur.

Yapılan incelemelere göre; tüflerin ultrases dalga hızları ile yoğunluk ağırlığı, tek eksenli basınç dayanımı ve eğilme dayanımı değerleri arasında pozitif yönlü ilişkiler varken porozite ve kütlece su emme değerleri arasında negatif yönlü ilişkilerin varlığı ortaya konulmuştur. Tüflerin dalga hızları değerlerinin artması ile tek eksenli basınç dayanımı, yoğunluk ağırlığı ve eğilme dayanımı değerleri lineer olmak üzere doğru orantılı olarak artmakta, porozite ve kütlece su emme değerleri ise aynı şekilde azalmaktadır. Tüflerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin olumsuz olmasında porozite miktarı önemli bir parametredir. Nitekim tek eksenli basınç dayanımı, yoğunluk ve eğilme dayanımı değerleri ile kütlece su emme değerleri porozite miktarına göre azalmakta veya artmaktadır.

Sonuç olarak yapılan bu çalışmada Afyon yöresindeki bazı tüf ocaklarından alınan numunelerin fiziko-mekanik özellikleri ile ultrases dalga hızları arasındaki istatistiksel analizde yüksek korelasyon katsayıları elde edilmiştir. Birçok mühendislik özelliği bakımından aynı kategoride değerlendirilebilen kayaçların özelliklerinden yola çıkılarak elde edilen bağıntıların kullanılmasında fayda vardır. Yüksek porozite değerine sahip olan tüflerin, kullanım yerlerinin belirlenmesinde fiziko-mekanik özelliklerin bilinmesinin son derece önemli olduğu bilinmektedir. Nispeten kolay bir deney yöntemi olan ultrases dalga hızlarının belirlenmesi ile fiziko-mekanik özellikler hakkında bilgi sahibi olunabilecektir. Özellikle dış mekanlarda ve atmosfer etkilerine açık alanlarda kullanılan yüksek poroziteli taşların çabuk ayrışmaya başladığı bilinmektedir. Ayrışmaya sebep olan ana etken su emme miktarıdır. Su emme miktarı da porozite ile ilişkilidir. Ultrases dalga hızı yöntemi ile bu özellikler hakkında bilgi sahibi olunacak ve ayrışmaya çok yatkın taşların kullanım yerlerinin belirlenmesinde önemli bir katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Çelik M.Y., Doğaltaş Restorasyonu ve Konservasyon, *Ders Notları*, Afyon Meslek Yüksek Okulu, Afyon, (2009).
2. Çelik M.Y. and Sel H., "Afyondaki tarihi çeşmelerde doğaltaş kullanımı ve restorasyonu", *Mersem 2008 Türkiye VI. Mermer Sempozyumu*, (Editör: M. Ersoy vd.), Afyon, 39-58, (2008).
3. Schmid R., "Descriptive nomenclature and classification of pyroclastic deposits and fragments: recommendations of the IUGS Subcommission on the Systematics of Igneous rocks", *Geology*, 9, 41-3: 1432-1149, (1981).

4. Ürünveren K.A., "Kadirli (Osmaniye) Kösepinar köyü ve çevresindeki mermerlerin mühendislik özelliklerinin değerlendirilmesi", *Yüksek Lisans Tezi*, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, (2008).
5. Del Río L.M., Tejado J.J., López F., Esteban F.J., Mota M., González I., San Emeterio J.L. and Ramos A., "Ultrasonic characterization of granites obtained from industrial quarries of Extremadura (Spain)", *Ultrasonics*, 44: 1057-1061, (2006).
6. Kahraman S., "The correlations between the saturated and dry P-wave velocity of Rocks", *Ultrasonics*, 46: 341-348, (2007).
7. Sáez Pérez M.P. and Rodríguez-Gordillo J., "Structural and compositional anisotropy in Macael marble (Spain) by ultrasonic, XRD and optical microscopy methods", *Construction and Building Materials*, 23(6): 2121-2126, (2009).
8. Kahraman S. and Yeken T., "Determination of physical properties of carbonate rocks from P-wave velocity", *Bull. Eng. Geol. Environ.* 67: 277-281, (2008).
9. Sharma P.K. and Singh T.N., "A correlation between P-wave velocity, impact strength index, slake durability index and uniaxial compressive strength". *Bull Eng Geol Environ*, 67: 17-22, (2008).
10. Fener M., "The effect of rock sample dimension on the p-wave velocity", *Journal of Nondestructive Evaluation*, 30(2): 99-105, (2011).
11. Sousa L.M.O., Suárez Del Río L.M., Calleja L., Ruiz De Argandoña V.G. and Rodríguez Rey A., "Influence of microfractures and porosity on the physico-mechanical properties and weathering of ornamental granites". *Engineering Geology*, 77: 153-168, (2015).
12. Chary K.B., Sarma L.P., Prasanna Lakshmi K.J., Vijayakumar N.A., Naga Lakshmi V. and Rao M.V.M.S., "Evaluation of engineering properties of rock using ultrasonic pulse velocity and uniaxial compressive strength", *Proc. National Seminar on Non-Destructive Evaluation*, 7-9, Hyderabad, s.7, (2006).
13. Chaki S., Takarli M. and Agbodjan W.P., "Influence of thermal damage on physical properties of a granite rock: porosity permeability and ultrasonic waves evolutions", *Construction and Building Materials*, 22(7): 1456-1461, (2008).
14. Vasconcelos G., Lourenço P.B., Alves C.A.S. and Pamplona J., "Ultrasonic evaluation of the physical and mechanical properties of granites", *Ultrasonics*, 48: 453-466, (2008).
15. Akin M. and Ozsan A., "Evaluation of the long-term durability of yellow travertine using accelerated weathering tests", *Bull Eng Geol Environ*, 70: 101-114, (2011).
16. Erdal M. and Şimşek O., "Ahlat taşı (ignimbrit) atıklarının taşunu olarak beton içinde kullanılabilirliğinin araştırılması", *Politeknik Dergisi*, 14(3): 173-177, (2011).
17. Şimşek O. and Erdal M., "Ahlat taşının (ignimbrit) bazı mekanik ve fiziksel özelliklerinin araştırılması", *G. Ü. Fen Bilimleri Dergisi*, 17(4): 71-78, (2004).
18. TS EN 14579, "Doğal taşlar- deney metotları- ses ilerleme hızı tayini", *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (2006).
19. TS EN 1936, "Doğal taşlar deney metotları, gerçek yoğunluk, görünür yoğunluk, toplam ve açık gözeneklilik", *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (2010).

20. TS EN 13755, “Doğaltaşlar-deney metotları-atmosfer basıncında su emme tayini”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (2006).
21. TS EN 1926, “Doğaltaşlar-deney metotları-basınç dayanımı tayini”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (2006).
22. TS EN 12372, “Doğal taşlar deney metotları, tek eksenli yük altında eğilme dayanım tayini”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (2007).
23. TS EN 12371, “Doğal taşlar-deney metotları-dona dayanım tayini”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (2003).
24. Le Bas M.J., Le Maitre R.W. and Woolley A.R., “The construction of the total alkali-silica chemical classification of volcanic rocks”, *Miner Petrol*, 46: 1-22, (1992).
25. Ergül A., “Afyonkarahisar’da yapıtaşı olarak kullanılan tüflerdeki poroziteye bağlı su içeriğinin fizikomekanik özelliklere etkisinin incelenmesi”, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi, Yayınlanmamış. (2009).
26. Alkan E., Seyitgazi (Eskişehir) bölgesi tüflerinin yapı taşı olarak kullanılabilirliğinin araştırılması, Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü*, Afyonkarahisar, Yayınlanmamış. (2009).
27. Tan G., Afyonkarahisar Türbe Camii restorasyonu ve restorasyonda kullanılan tüflerin özelliklerinin incelenmesi, Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü*, Afyonkarahisar, Yayınlanmamış. (2009).
28. Irvine T.N. and Baragar W.R.A., “A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks”, *Canadian Journal of Earth Sciences*, 8: 523-548, (1971).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

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

Bir termik santralin performans analizi ve rehabilitasyon metotları

A thermal power plant performance analysis and rehabilitation methods

Yazar(lar) (Author(s)): M. Bahadır ÖZDEMİR, Tayfun MENLİK, H. İbrahim VARIYENLİ, Levent SEVİN

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Özdemir M. B., Menlik T., Variyenli H. İ. ve Sevin L., “Bir termik santralin performans analizi ve rehabilitasyon metotları”, *Politeknik Dergisi*, 20(4): 971-978, (2017).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.369120

Bir Termik Santralin Performans Analizi ve Rehabilitasyon Metotları

Araştırma Makalesi / Research Article

M. Bahadır ÖZDEMİR^{1*}, Tayfun MENLİK¹, H. İbrahim VARIYENLİ¹, Levent SEVİN²

¹Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Teknikokullar, Beşevler, 06500 Ankara

²Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Teknikokullar, Beşevler, 06500 Ankara

(Geliş/Received : 22.12.2016 ; Kabul/Accepted : 20.02.2017)

ÖZ

Bu çalışmada bir termik santralin performansı termik, kazan, türbin ve borulardaki termik verim açısından, 2007-2012 yılları arasındaki gerçek veriler kullanılarak incelenmiştir. Hesaplanan değerlere göre, santralde boru verimi ile termik verimin birbirlerine ters karakteristik davranışlar gösterdiği, boru verimi ile kazan veriminin birbirleri ile doğru orantılı karakteristik davranışlara sahip olduğu görülmüştür. Bu izlenimler sayesinde santraldeki performans değişimlerinin hangi bölgelerde oluşan değişikliklere bağlı olarak oluştuğu izlenebilmiştir. Sonuçlara göre santralde malzeme yorulması gibi nedenlerden dolayı herhangi bir performans kaybı gözlenmemekte olup, dönemsel ve anlık değişen parametreler gibi nedenler ile verim değerlerinde değişimler gözlenmiştir. Santral veriminde oluşan değişimler grafiklerle değerlendirilerek, santral için uygulanabilecek iyileştirmeler ile ilgili öneriler getirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Termik santraller, performans, iyileştirme.

A Thermal Power Plant Performance Analysis and Rehabilitation Methods

ABSTRACT

In this study, the performance of a thermal power plant has been examined using the actual data from 2007 to 2012 in terms of thermal efficiency in boilers, turbines and pipelines. According to the calculated values, it has been seen that the pipe efficiency and the boiler efficiency show opposite behavior and also the pipe and boiler efficiencies have characteristic behaviors that are directly proportional to each other. With these impressions, it can be seen that the performance changes in the plant depend on the changes in the regions. The findings also show that any performance loss is not observed due to reasons such as material fatigue in the plant, while periodical and instantaneous changing parameters change the performance values. Alterations in the plant efficiency are evaluated by graphs and suggestions are made regarding the improvements that can be applied to the plant.

Keywords: Thermal power plants, efficiency analysis, rehabilitation methods.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Bu çalışmada bir termik santralin beş yıllık (2007-2012) periyot süresince santralin performansında oluşan değişimler termodinamiğin birinci kanununa göre verim analizleri yapılarak incelenmiştir. Çayırhan Termik Santralinden alınan veriler ışığında santralin performansı Termik Verim, Boru Verimi, Türbin Verimi ve Kazan Verimi olarak dört ana parametrede incelenmiş, yüksek sıcaklık ve basınç altında çalışan bir sistemin beş yıllık periyot zarfında sistem elemanlarında meydana gelen kirlenme, aşınma, yorulma vb. nedenlere bağlı performans değişiklikleri belirlenmiştir.

Hesaplamalarda elde edilen veriler kullanılarak performanslardaki değişimler belirlenerek, kesintisiz üretimin hedeflendiği santralde gelecek yıllar için yapılacak üretim taahhütleri için öneriler getirilmiştir. Ayrıca dünyadaki santrallerde zamanla yaşanan performans kayıpları

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta : mbozdemir@gazi.edu.tr

için yapılan iyileştirme metotları ortaya konulmuş çeşitli örneklerle Çayırhan Termik Santralinde yapılması gereken iyileştirmeler ortaya konmuştur.

Mevcut termik santrallerde yapılacak iyileştirme çalışmalarının maliyet değerlerinin yeni santraller veya yeni üniteler kurularak uzun vadede kendini amorti etme durumları hala tartışılmakta, bununla ilgili pek çok çalışma yapılmaktadır.

Taşkınoğlu çalışmasında; birçok alanda uygulanabilecek enerji verimliliği elektriksel olarak ele alınmış olup termik santrallerde elektrik enerjisi verimliliğinin artırılması için gerekli olan metotlar detaylı olarak açıklanmıştır [1].

Gündoğdu çalışmasında; sadece elektrik üretimi için tasarlanan bir santralin (Yatağan Termik Santrali) elektriğin yanında ısıyı da üretmesi durumunda santral proseslerinde meydana gelebilecek değişiklikleri incelemiş ve ortaya çıkan sonuçlara göre ısı üretiminde maliyetleri minimize edecek bir kontrol sistemi tasarlanmıştır [2].

Soysal çalışmasında; Türkiye'nin en büyük termik santrallerinden biri olan Kahramanmaraş ili Afşin-Elbistan bölgesinde kurulu 4 x 360 MW üretim kapasitesine sahip Afşin-Elbistan B termik santrali enerji yönetim sistemleri açısından incelemiştir [3].

Bilginsoy çalışmasında; 160 MW termik güce sahip Çayırhan Termik Santralinin enerji ve ekserji analizini yapmıştır [4].

Özek çalışmasında; Seyitömer Termik Santrali için bakım faaliyetlerinin nasıl iyileştirilebileceğini araştırmış, bunun için bir bakım yönetim sistemi kurulması gerektiği çıkarımı yapmıştır [5].

Tek çalışmasında; örnek olarak Orhaneli Termik Santrali bant yolları ve kömürün kazan girmeden önce uygulanan kömür hazırlama proseslerini incelemiştir [6].

Amırabedin çalışmasında; günümüz Türkiye'sinde kullanılan başlıca 10 tür düşük kaliteli linyit ile çalışabilen ve termik santrallerle ilgili çeşitli Ar-Ge çalışmalarının yapılabileceğini, 245 MW kurulu güçte bir termik santralin tasarlanması amaçlamıştır [7].

Geredelioğlu çalışmasında; Türkiye'de faaliyette olan bir termik santralin iki ünitesine enerji, ekserji ve termoekonomik analizini yapmıştır [8].

Kocaekiz çalışmasında; Yatağan Termik Santralinin termodinamiğin birinci ve ikinci yasa yönünden verim analizini yapmıştır [9].

Hilalci çalışmasında; kömür ile çalışan bir termik santralin enerji ve ekserji kaybı yönünden analizini yapmak ve sistemde ihtiyaç duyulan ünitelere iyileştirme önerileri yaparak sistemin verimini arttırmaktır [10].

Yapılan çalışmalarda termik santrallerin verimleri incelenmiş, termoekonomik ve ekserji analizleri incelenerek verimlerinin artırılması için yapılabilecek iyileştirme çalışmaları ortaya konulmuştur. Bunun yanında verime etki edebilecek faktörler incelenmiş, kömür hazırlama gibi yakıt kalitesini belirleyen proseslerde yapılabilecek iyileştirmeler incelenmiştir.

Bu çalışmanın yapılmasındaki amaç önceki bölümlerde belirtilmeye çalışılan enerjinin önemi ve verimli şekilde kullanılabilmesi için, günümüzde geliştirilen yeni teknolojilerin kullanılabilirliğini ortaya koymak ve mevcut sistemlerin verim değerlerinin hesaplanarak, dönemsel ve yıllar bazında çıkan performans datalarını irdelemek olmuştur. Türkiye'nin enerji üretimine katkıda bulunan Çayırhan Termik Santralinin 2007-2012 yılları arasında verim değerleri incelenmiş, santralin performansında oluşan artış ve azalışların sebepleri değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeler yapılırken dönemsel şartlar, işletme şartları gibi parametrelere göre belirli noktalarda analizler yapılmıştır.

2. TERMİK SANTRAL (TERMAL POWER PLANT)

Dünyada elektrik enerjisi üretiminde kullanılan sistemlere bakıldığında % 64' lük bir oranla termik santraller başta gelmektedir. Bunu % 19 ile hidrolik, % 17 ile nükleer takip etmektedir. Gelişmiş ülkelerden Hollanda' da termik santrallerin oranı %95, İngiltere' de %76, ABD' de %70, Almanya' da %68, Japonya' da ise %64' dür [13].

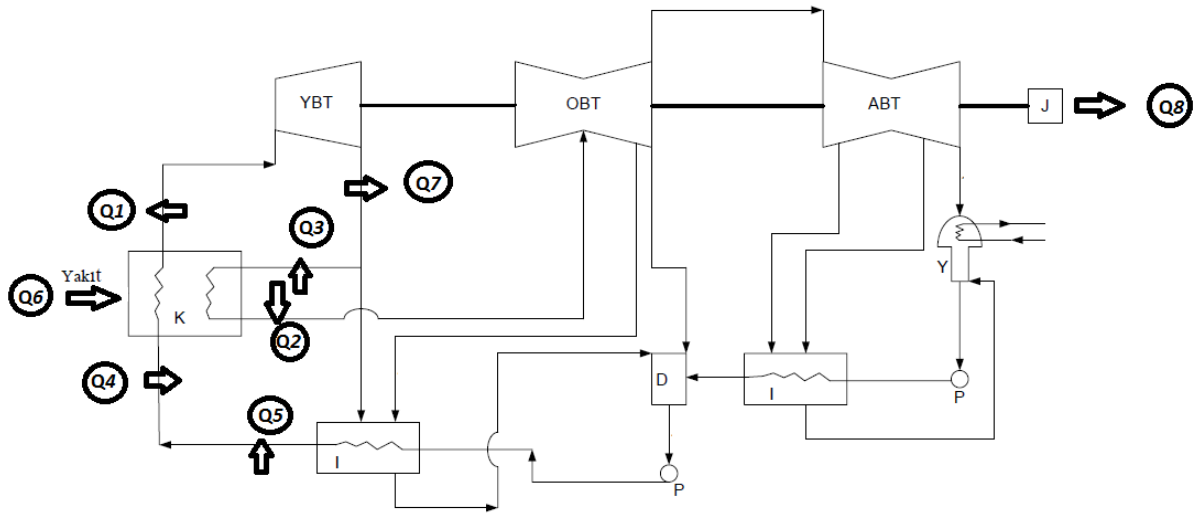
Türkiye ise zengin enerji kaynaklarına rağmen enerji ihtiyacının % 70'inden fazlası ülke dışından sağlanmaktadır. Her geçen gün enerji ihtiyacındaki artış ve bu artışı karşılayabilecek yatırımların yapılmaması nedeniyle ülkemizin enerji bakımından dışa bağımlılığı artmaktadır.

Türkiye'de tüketilen toplam enerjinin tamamına yakını yanma süreci ile yakıtlardan sağlanmaktadır. Bunun yarısına yakın bölümü ithal yakıtlar olan petrol, doğalgaz ve taş kömürü vb. gibi yakıtlardır. Yerli birincil enerji kaynaklarımızdan linyit 15 milyar ton rezervi ile enerji alt yapımızın temelini oluşturmaktadır. Ülkemizde linyitin konut sektöründe, sanayi ve elektrik üretiminde ağırlıklı bir yeri bulunmaktadır. Türkiye özellikle konut sektöründe linyit kullanma durumunda bulunan az sayıdaki ülkelerdendir.

Termik santrallerle ilgili olarak kömürün dünyada ve ülkemizdeki durumuna bakmak faydalı olacaktır. Kömür diğer fosil yakıtlarla karşılaştırıldığında coğrafi olarak 50'den fazla ülkeye yayılmış, oldukça büyük rezerv miktarlarına sahiptir.

Dünya Enerji Konseyi tarafından 75 civarında ülkede bulunduğu raporlanan dünya kömür rezervlerinden en büyük payı ABD almaktadır. Toplam rezervin %27,6'sı bu ülkede bulunmaktadır. ABD'yi %18,2 ile Rusya Federasyonu ve %13,3 ile Çin izlemektedir. Diğer kömür zengini ülkeler arasında; Avustralya (%8,9), Hindistan (%7), Almanya (%4,7), Ukrayna (%3,9), Kazakistan (%3,9) ve Güney Afrika Cumhuriyeti (%3,5) bulunmaktadır. Dolayısıyla, dünya kömür rezervlerinin %90'dan fazlası bu ülkenin elinde bulunmaktadır [16].

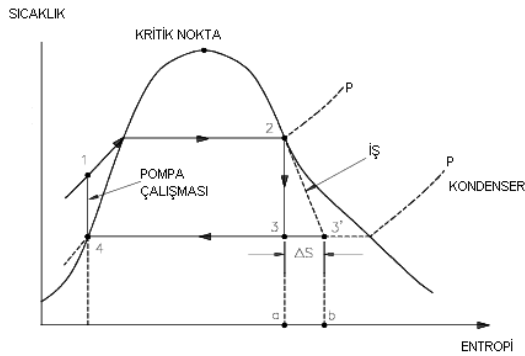
Dünyamızda enerji ihtiyacı her yıl yaklaşık %4-5 oranında artmaktadır. Buna karşılık bu ihtiyacı karşılayan fosil-yakıt rezervi ise, çok daha hızlı bir şekilde azalmaktadır. En iyimser tahminler bile, en geç 2030 – 2050 yılları arasında petrol rezervlerinin büyük ölçüde tükeneceğini ve ihtiyacı karşılayamayacağını göstermektedir. Kömür ve doğal gaz için de benzer bir durum söz konusudur. Termik elektrik güç santrallerinde yakıt olarak daha çok kömür, doğalgaz ve petrol kullanılmaktadır. Bunlar katı, gaz ve sıvı yakıtlar olarak da sınıflandırılabilir. Elektrik enerjisinin üretiminde yakıt olarak en önemli yeri katı yakıtlar dediğimiz taş kömürleri ve linyit kömürleri almaktadır. Türkiye'de termik elektrik santrallerinde kullanılan kömürlerin ısı değerleri 1000 kCal/kg ile 3500 kCal/kg değerleri arasında, içerdikleri kül miktarları ağırlıklı olarak % 15 ile % 35 arasında değişen linyit kömürleridir [15]. Şekil 1'de bir termik santralin çalışma şeması verilmiştir.



Şekil 1. Bir termik santralin çalışma şeması (The schematic view of a thermal power plant)

3. MATERYAL VE YÖNTEM (MATERIAL & METHOD)

Bir santral performansının değerlendirilmesi genel olarak, boru, türbin ve Kazan verimi ile sistemin termik verim olmak üzere dört ana başlık altında yapılır.



Şekil 2. Bir Rankine çevrimi T-s diyagramı (T-s diagram of a Rankine cycle)

Yukarıda ideal bir Rankine çevrimine ait T-s diyagramı verilmiştir.

İdeal Rankine Çevriminin Enerji Çözümlemesi şu şekilde tanımlanabilir [7].

$$q - w = h_c - h_g \text{ (kJ/kg)} \quad (1)$$

Rankine ısı verimi aşağıdaki şu formüllerle tanımlanırken;

$$\eta_{th} = w_{net} / q_g \quad (2)$$

$$\eta_{th} = 1 - q_c / q_g \quad (3)$$

(2) ve (3) denklemlerine göre;

$$w_{net} = q_g - q_c = w_{türbin, \zeta} - w_{pompa, g} \quad (4)$$

olarak tanımlanır [8].

Buna göre model olarak Çayırhan Termik Santralinin verim hesaplamaları aşağıdaki gibi bulunmaktadır.

Kazan verimi şu şekilde hesaplanmaktadır

$$\eta_k = \frac{(q_1 + q_2) - (q_3 + q_4 + q_5)}{q_6} \quad (5)$$

Türbin verimi şu şekilde hesaplanmaktadır;

$$\eta_t = \frac{q_7}{q_1 + q_2} \quad (6)$$

Boru verimi şu şekilde hesaplanmaktadır;

$$\eta_b = \frac{(q_1 + q_2) - (q_3 + q_4 + q_5)}{(q_2 + q_1) - (q_3 + q_4 + q_7)} \quad (7)$$

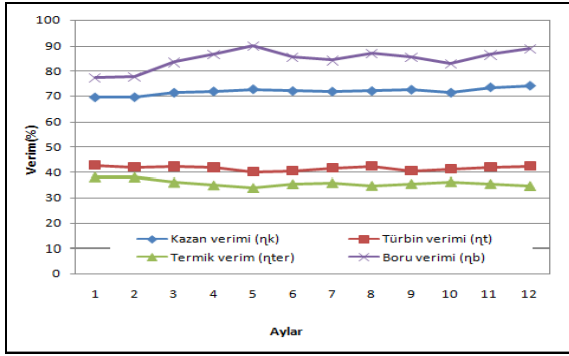
Termik verim Şu Şekilde hesaplanmaktadır;

$$\eta_{ter} = \frac{q_8}{q_6} \quad (8)$$

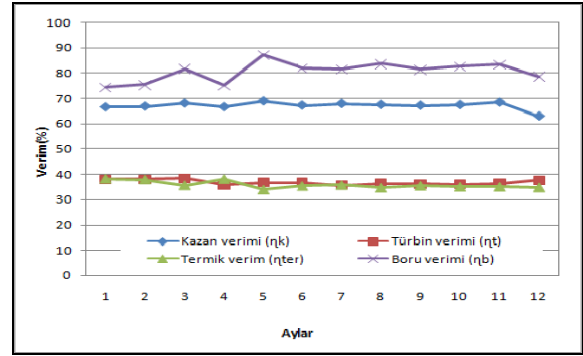
Sonraki bölümde hesaplanan verim değerlerini içeren grafik ve tablolara yer verilmiş, bu veriler ışığında santralin performans analizi yapılmaya çalışılmıştır.

4. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER (RESULTS AND EVALUATIONS)

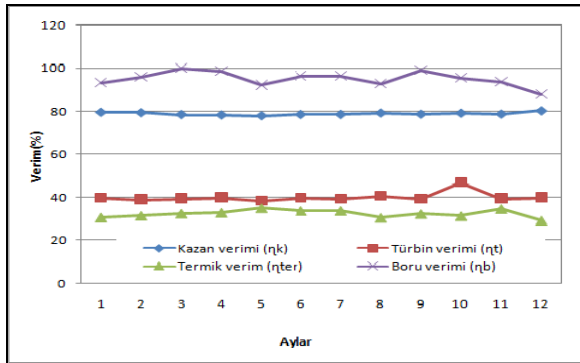
Hesaplamalarda Çayırhan Termik Santralinden temin edilen, 2007-2012 yılları arasında ait gerçek üretim verileri kullanılmıştır. Şekil 3-8'de 2007-2012 yılları için hesaplanan termik verim, boru verimi, türbin verimi ve kazan verimi gösterilmiştir.



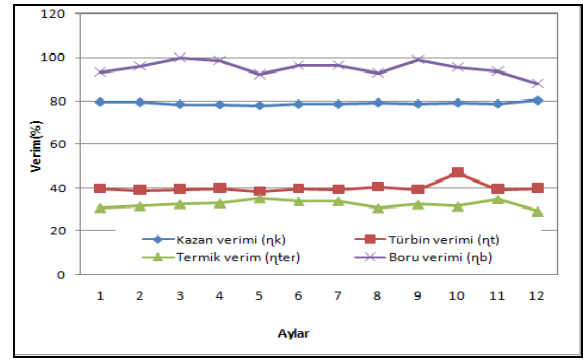
a. 2007 yılı I.ünite verimler grafiği (The I. unit performance chart for 2007)



b. 2007 yılı II.ünite verimler grafiği (The II. unit performance chart for 2007)

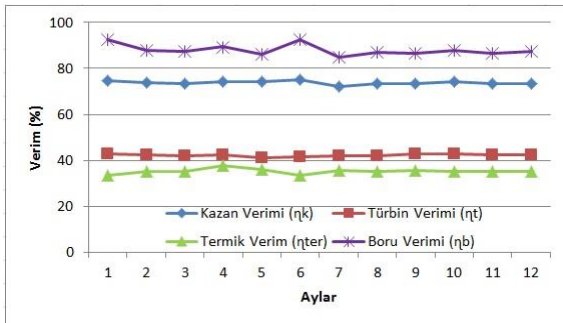


c. 2007 yılı III.ünite verimler grafiği (The III. unit performance chart for 2007)

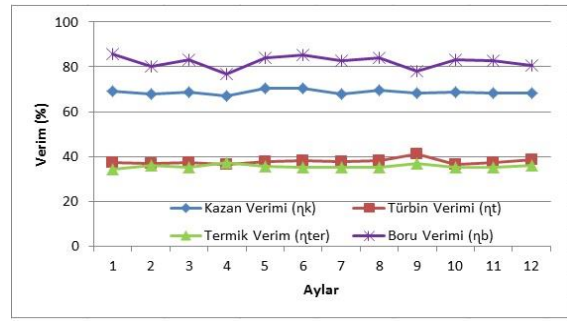


d. 2007 yılı IV.ünite verimler grafiği (The IV. unit performance chart for 2007)

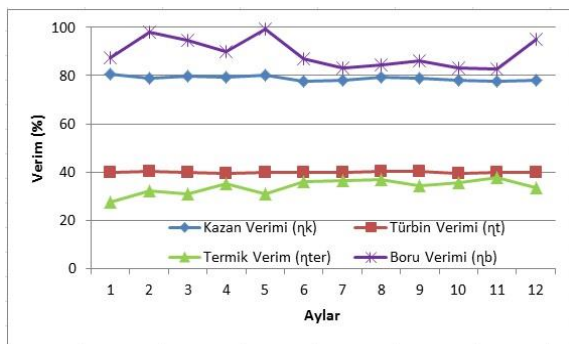
Şekil 3. 2007 yılı için I-II-III. ve IV.ünite verim grafikleri (The I.,II.,III. and IV. unit performance charts for 2007)



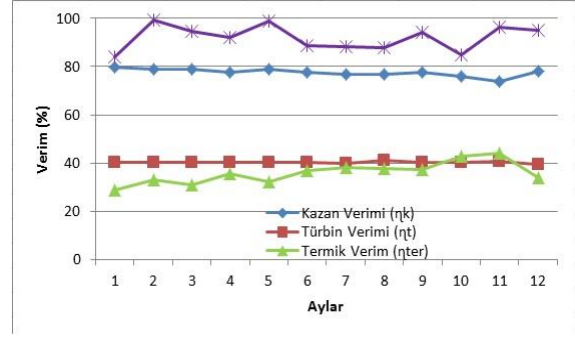
a. 2008 yılı I.ünite verimler grafiği (The I. unit performance chart for 2008)



b. 2008 yılı II.ünite verimler grafiği (The II. unit performance chart for 2008)

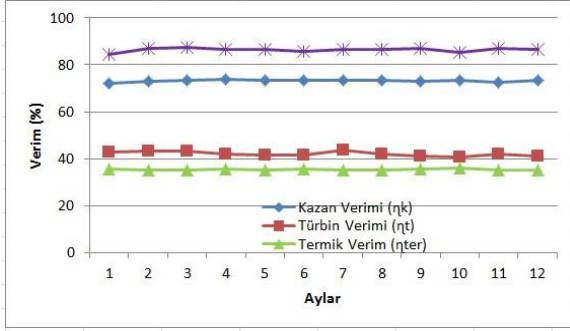


c. 2008 yılı III.ünite verimler grafiği (The III. unit performance chart for 2008)

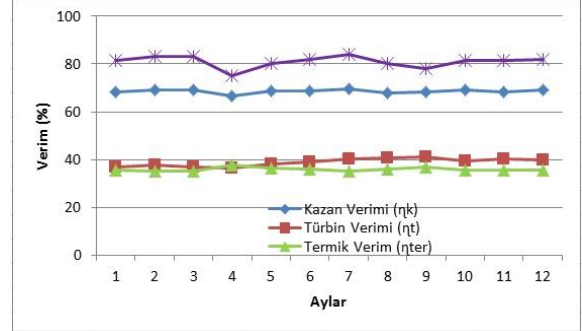


d. 2008 yılı IV.ünite verimler grafiği (The IV. unit performance chart for 2008)

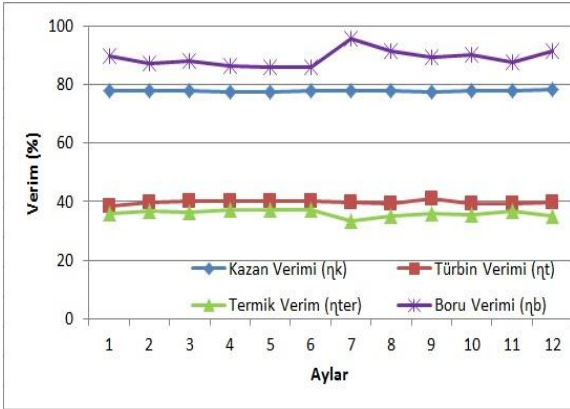
Şekil 4. 2008 yılı için I-II-III. ve IV.ünite verim grafikleri (The I.,II.,III. and IV. unit performance charts for 2008)



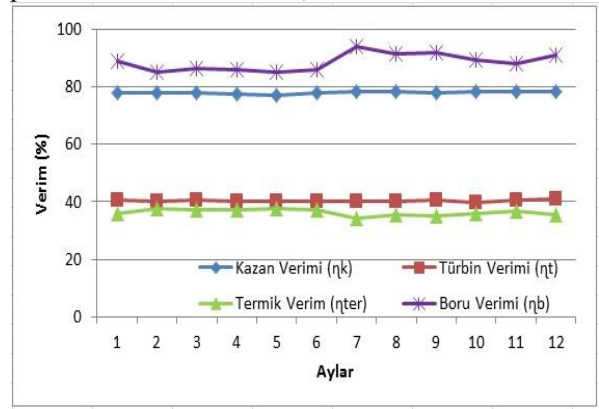
a. 2009 yılı I.ünite verimler grafiği (The I. unit performance chart for 2009)



b. 2009 yılı II.ünite verimler grafiği(The II. unit performance chart for 2009)

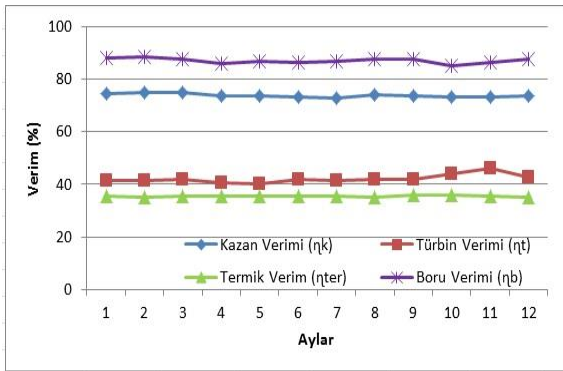


c. 2009 yılı III.ünite verimler grafiği (The III. unit performance chart for 2009)

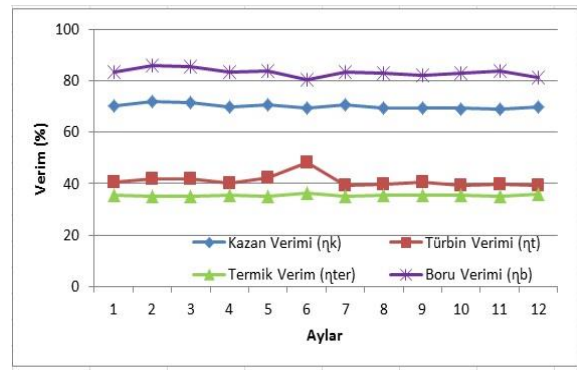


d. 2009 yılı IV.ünite verimler grafiği(The IV. unit performance chart for 2009)

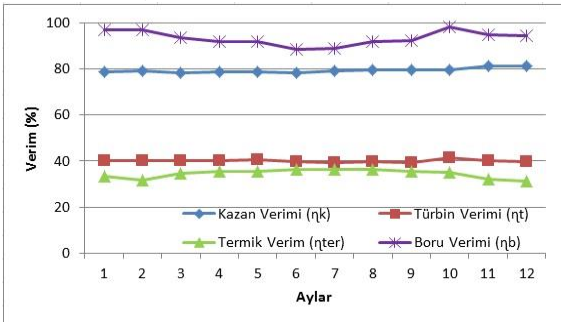
Şekil 5. 2009 yılı için I-II-III. ve IV.ünite verim grafikleri (The I.,II.,III. and IV. unit performance charts for 2009)



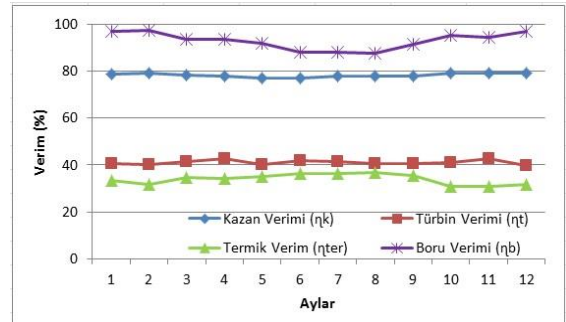
a. 2010 yılı I.ünite verimler grafiği (The I. unit performance chart for 2010)



b. 2010 yılı II.ünite verimler grafiği(The II. unit performance chart for 2010)

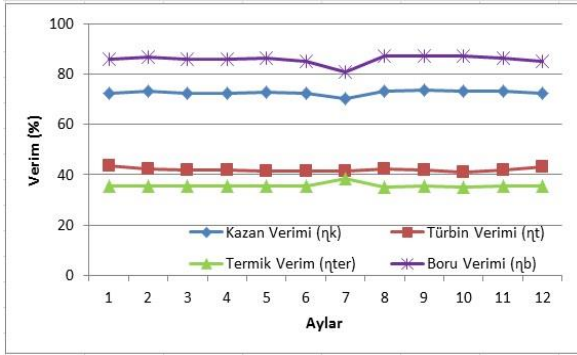


c. 2010 yılı III.ünite verimler grafiği (The III. unit performance chart for 2010)

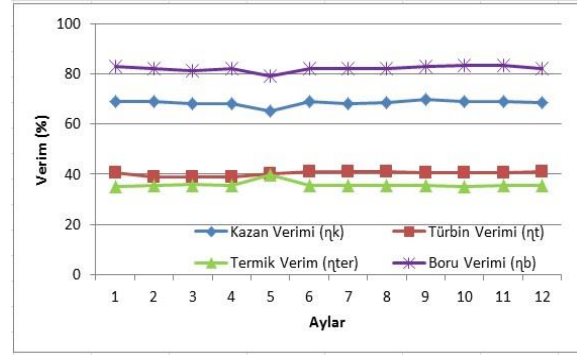


d. 2010 yılı IV.ünite verimler grafiği (The IV. unit performance chart for 2010)

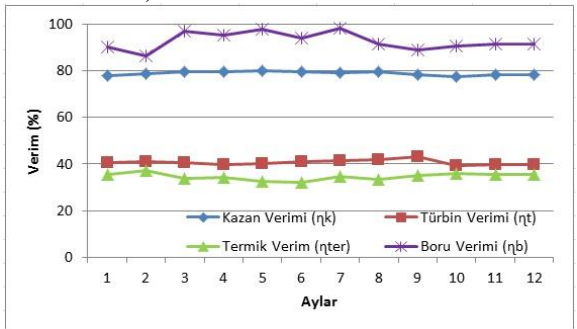
Şekil 6. 2010 yılı için I-II-III. ve IV.ünite verim grafikleri (The I.,II.,III. and IV. unit performance charts for 2010)



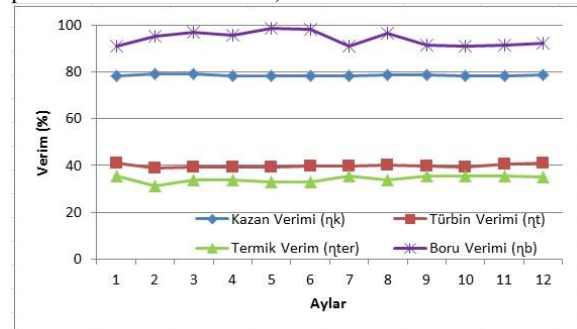
a. 2011 yılı I.ünite verimler grafiği (The I. unit performance chart for 2011)



b. 2011 yılı II.ünite verimler grafiği(The II. unit performance chart for 2011)

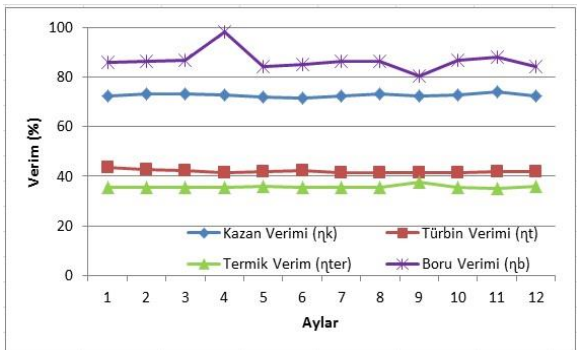


c. 2011 yılı III.ünite verimler grafiği (The III. unit performance chart for 2011)

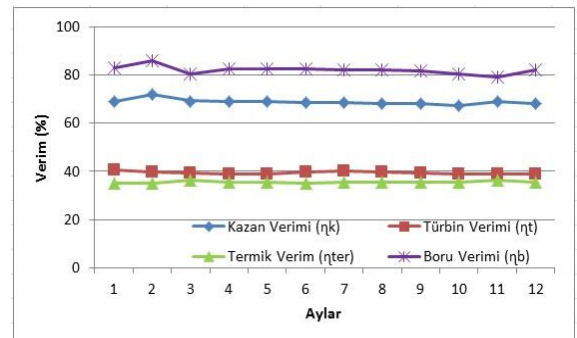


d. 2011 yılı IV.ünite verimler grafiği (The IV. unit performance chart for 2011)

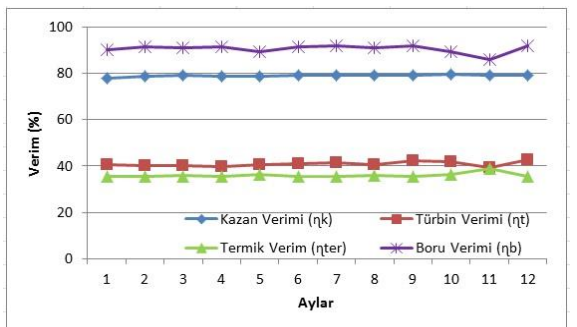
Şekil 7. 2011 yılı için I-II-III. ve IV.ünite verim grafikleri (The I.,II.,III. and IV. unit performance charts for 2011)



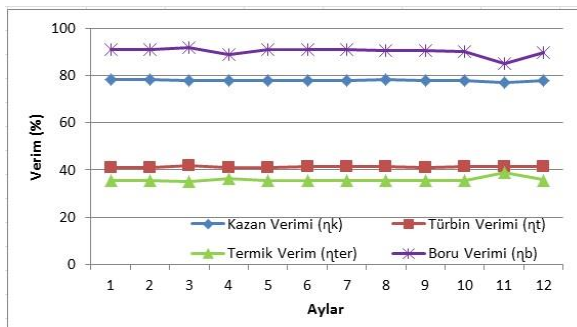
a. 2012 yılı I.ünite verimler grafiği (The I. unit performance chart for 2012)



b. 2012 yılı II.ünite verimler grafiği(The II. unit performance chart for 2012)



c. 2012 yılı III.ünite verimler grafiği (The III. unit performance chart for 2012)



d. 2012 yılı IV.ünite verimler grafiği (The IV. unit performance chart for 2012)

Şekil 8. 2012 yılı için I-II-III. ve IV.ünite verim grafikleri (The I.,II.,III. and IV. unit performance charts for 2012)

Verilen grafikler incelendiğinde, santralde boru verimi ile termik verimin birbirlerine ters karakteristik davranışlar göstermektedir. Eş. 8'den de görüldüğü üzere termik verim, sistemdeki nihai işin kazandaki yakıt enerjisine oranıdır. Dolayısıyla türbinlerdeki kayıplar termik verimini en fazla etkileyen faktör olmaktadır. Boru verimi ise kazan ve kızdırıcı çıkış borularındaki enerji ile türbin ve ısı değiştirici çıkış borularındaki enerjilere bağlıdır. Eş. 7'den görüldüğü üzere türbindeki (YBT) verim kaybına bağlı olarak (q_7) boru giriş sıcaklıklarının artması boru verimini arttırmakta, dolayısıyla türbin verimi düşerken boru verimlerinin artmasına sebep olmaktadır. Şekillerden, boru verimi ile kazan veriminin birbirleri ile doğru orantılı olduğu görülmektedir. Kazan verimi, kazanda yakılan yakıttan elde edilen enerji ile kazan ve kızdırıcı giriş-çıkış borularındaki enerjilere bağlıdır. Dolayısıyla kazan ve borulardaki enerji değişimleri her birinin performansını doğrudan etkilemekte ve değişimleri paralellik göstermektedir. Bu izlenimler sayesinde santraldeki performans değişimlerinin hangi bölgelerde oluşan değişikliklere bağlı olarak oluştuğu izlenebilmektedir. Aynı zamanda bazı aylara ait grafiklerde görülen aşırı dalgalanmaların sebepleri incelenirken, mevsim şartları, kömür değerleri, işletme şartları gibi etmenler göz önüne alınarak yorum yapılabilir.

2007-2012 yılları arasında santralde malzeme yorulması gibi nedenlerden dolayı herhangi bir performans kaybı gözlenmemekte olup, dönemsel ve anlık değişen parametreler gibi nedenler ile verim değerlerinde değişimler gözlenmektedir. Beşinci bölümde belirtilen yöntemlerle bu data değerlendiren santrallerin rehabilitasyon yöntemleri hakkında yorum yapılmalıdır.

5. SANTRALLERDE VERİM KAYBINI ÖNLEMELİK İÇİN YAPILACAK REHABİLİTASYON ÇALIŞMALARI (THE REHABILITATION STUDIES TO PREVENT THE LOSS OF EFFICIENCY IN POWER PLANTS)

Rehabilitasyon yapmanın sebepleri dört başlık altında toplanabilir.

- Teknik Sebepler,
- Ekonomik Sebepler,
- Çevre Mevzuatı
- Şebeke Gerekliliği,

Rehabilitasyon kapsamını belirlerken aşağıdaki süreç takip edilir.

- İşletme dönemiyle ilgili verilerin toplanması,
- Kapsamlı saha incelemesi ve test programının belirlenmesi,
- Kazan, türbo-generatör, değirmenler, elektrofiltreler ve diğer ekipmanlarda performans testlerinin yapılması,
- Test sonuçları ve işletme verileri analiz edilerek güvenilirliği, verimi azaltan, santralin devre dışı olmasına yol açan ve çevre kirliliğine yol açan ekipmanların belirlenmesi,

Her arıza analiz edilirken şu sorulara cevap aranır.

- Bu arıza santralin güvenli çalışmasını etkilemekte midir?
- Arızanın sebepleri nelerdir?
- Arızanın her bir nedeni için düzeltici aktivite nedir?
- Her düzeltici aktivite için fayda, maliyet analizi yapılmalıdır.
- Söz konusu ekipman rehabilitasyon programına alınmalı mıdır?
- Rehabilitasyona tabi tutulması ihtimali olan ekipmanları güvenilirliğe ve performansa etkisi ve fayda maliyet analizi sonuçlarına göre öncelik sırası oluşturulacaktır.

Rehabilitasyon kapsamına girip girmeyeceği değerlendirilen işler dört sınıfta toplanabilir.

- Güvenli bir işletme için gerekli olan veya yasa gereği yapılması gereken işler,
- Ekonomik olarak çekici görünen ve uygulanması uygun olan işler,
- Maliyeti düşürücü olmayan ve ekonomik olarak çekici olmayan işler,
- Daha fazla inceleme ve değerlendirme gerektiren işler.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS)

Bu çalışmada bir termik santralin verim analizleri yapılmış, yapılan bu analizler neticesinde santralin üretim kapasitesine etki eden etmenlerin tespit edilmesi amaçlanmıştır. Termik santrallerin yüksek sıcaklık-yüksek basınç altında çalışan sistemler olmaları ve kesintisiz elektrik üretiminin hedeflenmesi nedeniyle santrallerdeki zamana bağlı deformasyonlar ve bunların üretim ve santrallerin ömrüne olan etkileri incelenmeye çalışılmıştır.

Yukarıda belirtilen hedefler kapsamında Ankara ilinde kurulu olan Çayırhan Termik Santrali model olarak seçilmiş, buradan alınan teknik veriler ve üretim sonuçları ile termik santralin beş yıllık üretim ve verim hesaplamaları yapılmıştır. Literatüre bakıldığı zaman daha önceki çalışmalarda birçok termik santral için ekserji ve verim analizlerinin yapıldığı görülmekte iken yapılan bu çalışmada Çayırhan Termik Santrali için beş yıllık verim analizi yapılmıştır.

Bu analizler yapılırken termik verim, türbin verimi, boru verimi ve kazan verimi gibi dört ana parametrede inceleme yapılmıştır.

Bu kapsamda santralin beş yıllık süre içerisinde hangi aşamalarda deformasyona uğradığı ortaya konulmaya çalışılmış ve bu tip durumlarda santralin iyileştirilmesi için yapılabilecek çalışmalar araştırılmıştır. Elde edilen rehabilitasyon yöntemleri Çayırhan Termik Santrali ile ilişkilendirilmeye çalışılmıştır.

Yapılan çalışmadaki ana amaçlardan biri günümüzde özel sektör için cazip hale gelen enerji sektörünün ve üretim tesislerinin üretim kapasitelerinin incelenmesinde yol gösterebilmek, yıllara bağlı oluşan üretim kayıplarının önlenmesi için yapılabilecek çalışmalar hakkında

bilgi verebilmektir. Model olarak seçilen Çayırhan Termik Santrali 20 yıllık bir süre zarfında özel teşebbüsler tarafından işletilmek üzere kiralanmış olup, yüklenici firma belirli bir kotada üretim yapmak üzere taahhütlerde bulunmuştur. Bu işletme ve diğer işletmeler için 5-10 yıllık periyotlarda yapılacak verim analizleri ve üretim kayıpları ile gelecek yıllar için planlanacak üretim taahhütleri daha reel olarak verilebilecektir.

Öneriler:

- Bu çalışma kapsamında üretim kapasitesi ve yıllara bağlı üretim kayıpları iyi irdelenmelidir.
- Santrallerde yapılacak rehabilitasyon yöntemleri ve bunun üretime olan katkısı açık bir şekilde ortaya konulmalı, kısa ve uzun vadede amortisman bedelleri hesaplanmalıdır. Yeni bir santral yapmak mı yoksa iyileştirme yapmak mı sorusu cevaplanmalıdır.
- Dönemsel şartlar ile dış ortam şartlarına bağlı üretim kayıpları ortaya konulmalı ve bunlarla ilgili gerekli önlemler alınmalıdır.
- Verim değerlerini ortaya koyan dört ana verim türü (termik verim, türbin verimi, boru verimi ve kazan verim) incelenmeli, hangi noktada kayıplar oluşmuşsa bölgesel müdahale yapılmalı veya işletme şartları gözden geçirilmelidir.

SİMGELER VE KISALTMALAR (SYMBOLS AND ABBREVIATIONS)

Simgeler (Symbols)	Açıklama (Explanation)
q ₁	Süperheater kazan çıkış ısı değeri
q ₂	Reheater kazan çıkış ısı değeri
q ₃	Reheater kazan giriş ısı değeri
q ₄	Süperheater püskürtme suyu ısı değeri
q ₅	Kazan besleme suyu ısı değeri
q ₆	Yakıt ile kazana verilen ısı değeri
q ₇	Yüksek basınç türbin çıkış ısı değeri
q ₈	Türbinden elde edilen işin ısı değeri
T	Sıcaklık
s	Entropi

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Taşkınoğlu M., "Termik santrallerde elektrik enerjisi verimliliğinin artırılması", *Yüksek Lisans Tezi*, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, (2011).

2. Gündoğdu G., "Termik santrallarda ısı üretimini minimize edecek optimum kontrol sisteminin tasarımı", *Yüksek Lisans Tezi*, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, (2011).
3. Soysal M. S., "Bir termik santralin enerji yönetim sistemleri açısından performansının incelenmesi.", *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (2012).
4. Bilginsoy A.K., "Bir termik santralde termodinamik analiz ve ısı süreçlerindeki tersinmezliklerin belirlenmesi.", *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (2012).
5. Özek S., "Termik santrallerde bakım yönetim sisteminin enerji verimliliğine etkileri.", *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (2012).
6. Tek G., "Termik santral park sahasındaki kömürlerin santral üretimini maksimum yapacak biçimde kazanlara taşınmasının analizi.", *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, (2012).
7. Amırabedin E., "Düşük kaliteli yerli linyitlerle çalıştırılan bir termik santralin tasarımı ve enerji-çevresel performansının iyileştirilmesine yönelik ekserji analizleri ve irdemeler", *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (2011).
8. Geredelioğlu Ç., "Çayırhan termik santralinin enerji ve ekserji analizi.", *Yüksek Lisans Tezi*, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, (2011).
9. Kocaekiz B., "Bir termik santralin enerji ve verim analizi.", *Yüksek Lisans Tezi*, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, (2010).
10. Hilalci A., "Çatalağzı termik santraline ekserji analizinin uygulanması.", *Yüksek Lisans Tezi*, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak, (2004).
11. Berberoğlu C., N., "Türkiyenin Ekonomik Gelişmesinde Elektrik Enerjisi Sorunu", *E.İ.T.İ.A. Yayını*, No 245/165, Eskişehir, 9(1982).
12. Kılıç A. ve Aksel, Ö., "Güneş Enerjisi.", *Kıpaş Dağıtımçılık*, 1: (1980).
13. Başaran M., "Kömürle Çalışan Termik Santraller", Çevre Ve Enerji Kongresi Bildiriler Kitabı, *TMMOB Makina Mühendisleri Odası Yayını*, Ankara, 104-113(1997).
14. Taşdemiroğlu E., "Solar Enerji Utilization: Technical Economicspects", *Mechanical Engineering Department ODTÜ*, Ankara, 17: (1988).
15. Aslan H., "Kömüre Dayalı Termik Elektrik Santrallerinde Verim ve Kapasite Kullanım Oranı Düşüklüğünün Nedenleri ve Bunların Yükseltmeleri İçin Alınması Gerekli Tedbirler", *TMMOB 1. Enerji Sempozyumu*, Ankara, 143-159, (1996).
16. Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu, "Kömür Sektör Raporu.", *TKİ, Ankara*, 24(2011).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

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

Prediction of wood density by using red-green-blue (rgb) color and fuzzy logic techniques

Kırmızı-yeşil-mavi (kym) renk ve bulanık mantık teknikleri kullanılarak odun yoğunluğu tahmini

Yazar(lar) (Author(s)): Timuçin BARDAK, Selahattin BARDAK

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Bardak T., and Bardak S., "Prediction of wood density by using red-green-blue (rgb) color and fuzzy logic techniques", *Politeknik Dergisi*, 20(4): 979-984, (2017).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.369132

Prediction of Wood Density by Using Red-Green-Blue (RGB) Color and Fuzzy Logic Techniques

Araştırma Makalesi / Research Article

Timuçin BARDAK¹, Selahattin BARDAK^{2*}

¹Forestry Furniture and Decoration Program, Bartın Vocational School, Bartın University, 74000, Bartın, Turkey

²Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Sinop University, 57000, Sinop, Turkey

(Geliş/Received : 25.11.2016 ; Kabul/Accepted : 14.01.2017)

ABSTRACT

Density is an important wood property since it correlates to mechanical properties of wood. Fuzzy logic, among the various available Artificial Intelligence techniques, emerges as a good technique in predicting. Digital image analysis is a powerful tool to obtain meaningful data out of an image. In this study, digital image processing based on a red-green-blue (RGB) color examination was practiced to measure the intensity of wood color. Densities of the test samples were measured. Then, a new fuzzy logic model was developed based on these measured values and RGB color intensity of wood. Afterwards, the experimental and modeling data results were compared. 98.17% accuracy was observed between the measurement and the fuzzy logic model. Consequently, Fuzzy logic is visible method for the prediction of the wood density.

Keywords: Fuzzy logic, color, wood, density, imaging.

Kırmızı-Yeşil-Mavi (KYM) Renk ve Bulanık Mantık Teknikleri Kullanılarak Odun Yoğunluğu Tahmini

ÖZ

Ahşap malzemenin yoğunluğu ahşabın mekaniksel özelliklerini etkilemesinden dolayı önemlidir. Mevcut yapay zeka teknikleri arasında bulanık mantık tahminlerde iyi bir yöntem olarak ortaya çıkmaktadır. Dijital görüntü tekniği bir görüntüden anlamlı bir bilgi elde etmek için kullanılan güçlü bir yöntemdir. Test örneklerinin yoğunlukları ölçülmüştür. Ayrıca, örneklerin renk yoğunluğunu ölçmek için Kırmızı-Yeşil-Mavi (KYM) renk muayenesine dayanan dijital görüntü analizi uygulanmıştır. Ölçülen değerler ve ahşabın KYM renk yoğunluğu temelinde yeni bir bulanık mantık modeli geliştirilmiştir. Sonrasında deneyler ve model verileri karşılaştırılmıştır. Hazırlanan modelin çıkarımları ile deneysel veriler %98.17 oranında doğruluk göstermiştir. Sonuç olarak, bulanık mantık odun yoğunluğu tahmini için geçerli bir yöntem olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bulanık mantık, renk, odun, yoğunluk, görüntüleme.

1. INTRODUCTION

Wood industries are a key component of economic development in the world. The value of final wood produce depends on physical properties. In manufacturing process of many wood products, the density is important element [1].

In recent years, researchers have tried to design and advance automatic systems based on computer vision and artificial intelligence for quality assessment [2]. Color provides helpful information in predicting product quality. Color is significant criteria related to wood value and it is a good pointer for usage. Color representation, the RGB model, which states color as a mixture of red, green and blue three color components, is frequently used to depict color info of an image [3]. Every color in the RGB spectrum is created of dissimilar levels for each of their red, green and blue components. The combination of these prime color elements will affect color outcome

[4]. Current image analysis ensures the product quality control without any further information.

Artificial intelligence (ANNs) plays a significant role in engineering practices and have aroused much interest in latest years. Also ANNs have been widely used in the field of wood science [5-8]. A neurofuzzy color segmentation method has been implemented by Ruz, Estevez and Perez. With a set of 900 images, they achieved 95% accuracy in defect detection. [9, 10]. Fuzzy logic is a form of artificial intelligence. The fuzzy Logic approach can be implemented in various applications such as molecular biology, washing machines, air conditioners and timber production. Fuzzy logic is present trend for decision making, classification and prediction where problem can be formulated by mapping input variable with output variable or where simple solution is not present. Fuzzy logic, first developed by Zadeh, a subject can be belong one or more fuzzy set(s) with a degree of membership, instead of categorizing membership as either 'true' or 'false' as in the classical logic system [11]. A fuzzy set process is an operation on fuzzy sets. These processes are generalization of crisp set operations. These three

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : selahattinbardak@hotmail.com

operations: fuzzification, rule evaluation, and defuzzification [12, 13]. There are three main steps of fuzzy inference system as given in Figure 1 [14].

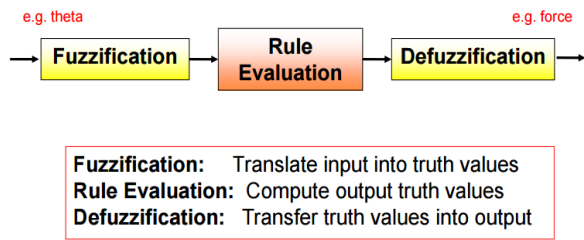


Figure 1. Fuzzy inference system

Studies have exposed that artificial intelligence (Fuzzy Logic and Artificial Neural Networks) model can be productively used to predict in wood applications without needful time-consuming and costly comprehensive experimental investigation. [15-17]. In this paper, we aimed to determine the wood density based on intensity of RGB color on wood surface, develop the calibration equation using color values and evaluate the calibration efficiency by prediction the wood density using Fuzzy logic.

2. MATERIALS AND METHOD

2.1. Materials

The wood species randomly selected in this program is the *Quercus robur* (Pedunculate oak), which is widely used in industry. Air dried samples were cut to nominal dimensions of 25 x 30 x 120 mm. 20 samples were prepared. ASTM D 1666 (2004) and TS 2472 (2005) standards were used to detect the density at 12% moisture contents (MC) [18, 19].

2.2. Vision Acquisition System Design

Before the test, an image analysis set-up was made. The camera (Basler ace camera, 1624 px x 1234 px, acA1600-20gc) was connected fire wire (IEEE1394) protocol to a single desktop computer (CPU i5, 8GB RAM, 1TB Hard Disk Drive (HDD)). Images were acquired and examined

by means of LabVIEW Vision Builder AI for Windows. National Instruments Vision Builder for Automated Inspection is a configurable machine vision development environment (VBAI) [20-23]. The test setup is given in Figure 2.

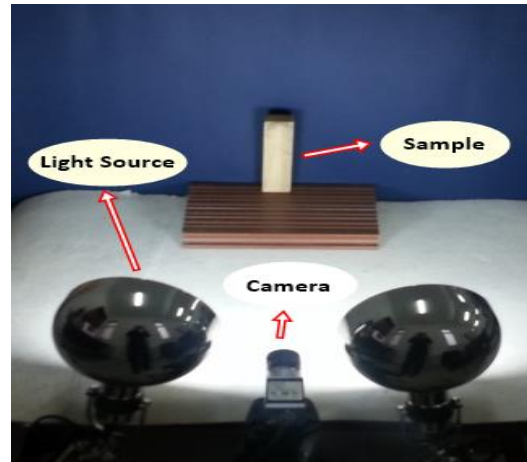


Figure 2. The test setup

The executed color classifier employs RGB color space to calculate a color feature for every sample. Then Red, Green and Blue histograms of the color sample are computed. The values of RGB from the sample's six different surfaces were measured. The average of the surfaces were calculated. Sample sizes and surfaces is given in Figure 3.

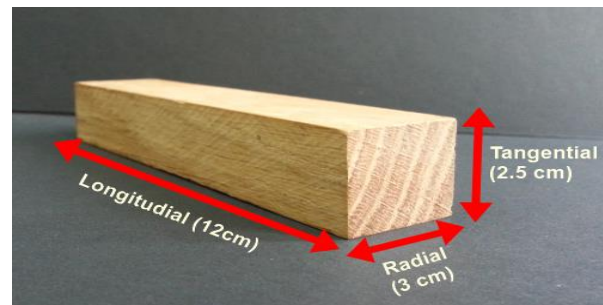


Figure 3. Sample sizes

2.3. Program Setup

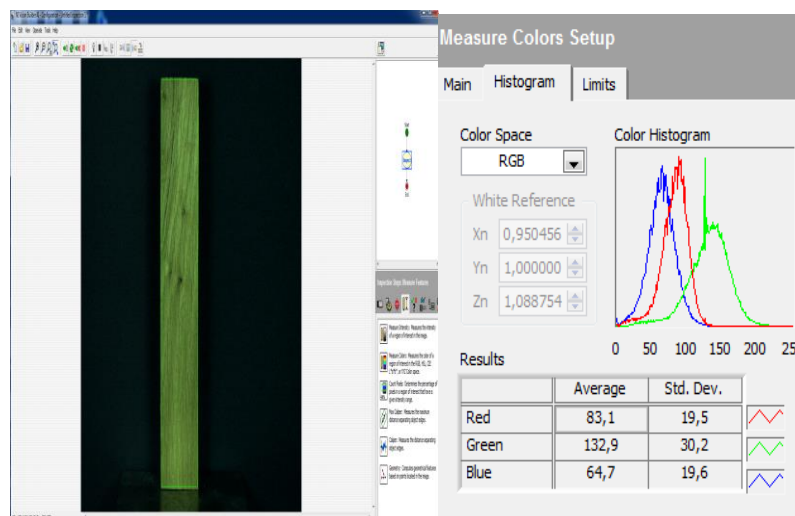


Figure 4. The result and application of the measurement of RGB values based on VBAI for a surface

VBAI was used as the program tool for acquiring and analyzing the images. The program has a wealth of functions separated into five main areas: improve, images, checking presence, locating features, measuring properties and identifying pieces. The result and the application of the measurement of RGB values for a surface based on VBAI is given in Figure 4.

2.4. Data Collection and Pre-processing

The data for fuzzy logic were gathered from VBAI Program. These records were used for training and for testing. The training data set gathered from VBAI Program, is given in Table 1, whereas testing data set given in Table 2.

2.4. Data Collection and Pre-processing

The data for fuzzy logic were gathered from VBAI Program. These records were used for training and for testing. The training data set gathered from VBAI Program, is given in Table 1, whereas testing data set given in Table 2.

Table 1. Training data set (The mean value of red, green and blue of wood samples and density)

Experiment No.	Color Type	Average	Density (g/cm ³)
1	Red	224	0.655
	Green	247	
	Blue	176	
2	Red	207	0.672
	Green	247	
	Blue	159	
3	Red	193	0.690
	Green	241	
	Blue	146	
4	Red	186	0.744
	Green	238	
	Blue	136	
5	Red	177	0.757
	Green	232	
	Blue	126	
6	Red	164	0.814
	Green	223	
	Blue	119	
7	Red	161	0.838
	Green	216	
	Blue	113	
8	Red	160	0.861
	Green	218	
	Blue	115	
9	Red	151	0.876
	Green	209	
	Blue	103	
10	Red	146	0.936
	Green	199	
	Blue	103	

Table 2. Testing data set (The mean value of red, green and blue of wood samples and density)

Experiment No.	Color Type	Average	Density (g/cm ³)
1	Red	198	0.671
	Green	244	
	Blue	146	
2	Red	194	0.682
	Green	243	
	Blue	142	
3	Red	196	0.700
	Green	234	
	Blue	139	
4	Red	188	0.744
	Green	238	
	Blue	135	
5	Red	162	0.838
	Green	215	
	Blue	113	
6	Red	156	0.854
	Green	213	
	Blue	108	
7	Red	153	0.855
	Green	211	
	Blue	106	
8	Red	155	0.861
	Green	214	
	Blue	110	
9	Red	160	0.871
	Green	214	
	Blue	110	
10	Red	148	0.911

2.5. Fuzzy Modeling

The Fuzzy Logic toolbox for Labview was also used for the development of the fuzzy logic rule based system. The fuzzy logic model is going to have three input variables (red, green, and blue) and one output variable (wood density). Input and output values are determined according to the training data. Developed fuzzy logic model structure is given in Figure 5.

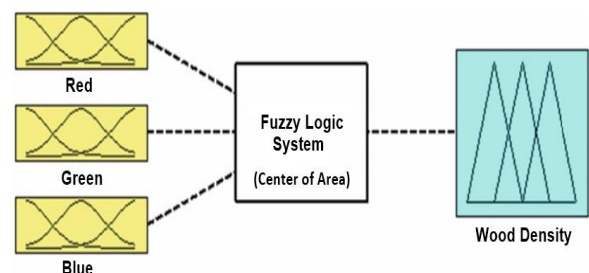


Figure 5. Developed fuzzy logic model structure

Input and output parameters of the model, respectively, are given in Figure 6, 7, 8, and 9.

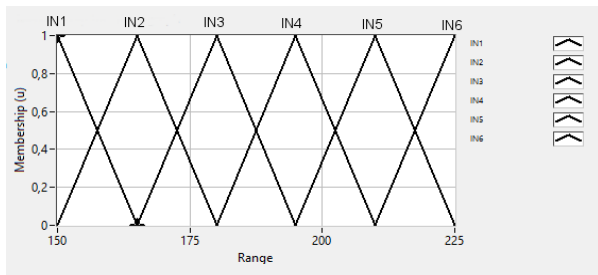


Figure 6. Membership function for red (Input)

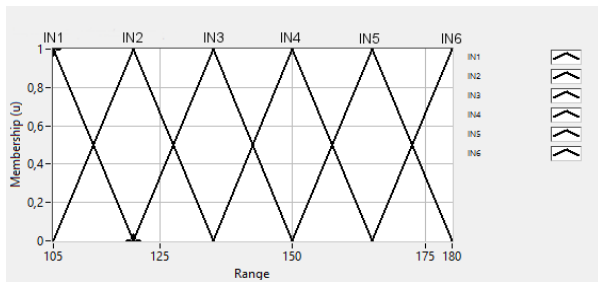


Figure 7. Membership function for blue (Input)

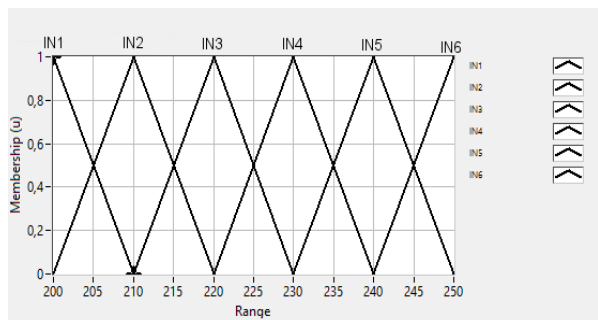


Figure 8. Membership function for green (Input)

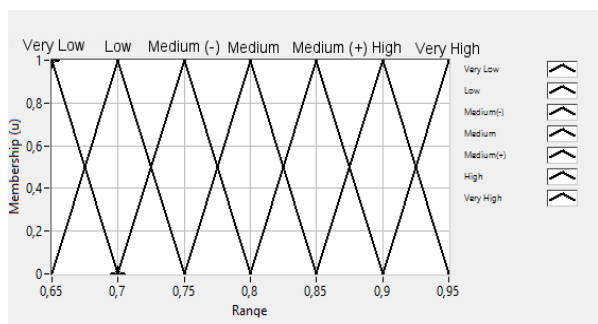


Figure 9. Membership function for wood density (Output)

10 rules written in the fuzzy logic model. Some of the rules are as follows:

1. IF 'Red' IS 'IN6' AND 'Green' IS 'IN6' AND 'Blue' IS 'IN6' THEN 'Density' IS 'Very Low'

2. IF 'Red' IS 'IN5' AND 'Green' IS 'IN6' AND 'Blue' IS 'IN5' THEN 'Density' IS 'Very Low'

3. IF 'Red' IS 'IN4' AND 'Green' IS 'IN5' AND 'Blue' IS 'IN4' THEN 'Density' IS 'Low'

4. IF 'Red' IS 'IN3' AND 'Green' IS 'IN5' AND 'Blue' IS 'IN3' THEN 'Density' IS 'Medium(-)'

5. IF 'Red' IS 'IN3' AND 'Green' IS 'IN4' AND 'Blue' IS 'IN2' THEN 'Density' IS 'Medium(-)'

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Experimental and Predicted Values of Wood Density

In the present study, wood density of *Quercus robur* (Pedunculate oak) samples was investigated and predicted by means of the fuzzy logic model. The experimental results and the predicted results for wood density and percentage error ratios are given in Table 3.

Table 3. Experimental and predicted values of wood density and their percentage errors

Experiment No.	Experimental (g/cm ³)	Predicted (g/cm ³)	Error (%)
1	0.671	0.700	-4.377
2	0.682	0.706	-3.581
3	0.700	0.701	-0.143
4	0.744	0.750	-0.871
5	0.838	0.839	-0.088
6	0.854	0.863	-1.115
7	0.855	0.871	-1.913
8	0.861	0.857	0.435
9	0.871	0.850	2.492
10	0.911	0.881	3.306
Average Error (%)			1.832

Comparison of the results of fuzzy logic model and the measured results of the density of wood testers are shown in Figure 10.

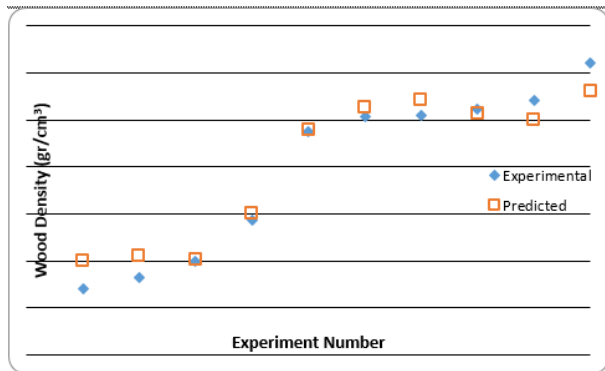


Figure 10. Comparison of the measured values and the predicted values for the wood density

The correlation results obtained with fuzzy logic are quite high. The correlation between measured values and predicted values is 98.17 percent. It can be said that the model has a good performance with this high rate of correlation. At the same time, the results are consistent with the literature [24, 25]. This shows that system using fuzzy logic and color have a high potential of accuracy in predicting wood density. And this system can be used for quality control purposes.

5. CONCLUSION

Wood density values obtained from test results were compared with fuzzy logic system for testing accuracy of the developed model. The outputs of the fuzzy logic model were found to be agreed with experimental outputs. The model was able to predict the density of woods in relation to different RGB values. According to the consequences of comparison, the model concerted well with average experimental results with accurateness level of 98.17 % (wood density) values.

The findings of the present study exhibited that the well-trained fuzzy logic model can minimize the experimental expenses since it can successfully provide the desired values of wood density with less number of complex test procedures. In addition, image analysis and fuzzy logic can be used in quality control of wood.

REFERENCES

1. Ors Y. and Keskin H., “Wood materials science (Ağaç malzeme teknolojisi)”, *Gazi University Publication*, No: 2001-352, Ankara, (2008).
2. Zareiforoush H., Minaei S., Alizadeh M.R. and Banakar A., “A hybrid intelligent approach based on computer vision and fuzzy logic for quality measurement of milled rice”, *Measurement*, 66: 26-34, (2016).
3. Chen C.L. and C.L. Tai C.L., “Adaptive fuzzy color segmentation with neural network for road detections”, *Engineering Applications Artificial Intelligence*, 23 (3): 400-410, (2010).
4. Hassan M.A., Yusof Y., Azmi M.A. and Mazli M.N., “Fuzzy Logic Based Intelligent Control of RGB Colour Classification System for Undergraduate Artificial

- Intelligence Laboratory”, *The World Congress on Engineering*, London, 713-718, (2012).
5. Tou J.Y., Lau P.Y. and Tay Y.H., “Computer vision-based wood recognition system”, *International Workshop on Advanced Image Technology (IWAIT)*, Bangkok, Thailand, 197-202, (2007).
6. Esteban L.G., Fernández F.G., Palacios P. and Conde M., “Artificial neural networks in variable process control: application in particleboard manufacture”, *Investigacion Agraria-Sistemas Y Recursos Forestales*, 18(1): 92-100, (2009).
7. Khalid M., Lee E.L.Y., Yusof R. and Nadaraj m., “Design of an intelligent wood species recognition system”, *International Journal of Simulation: Systems, Science and Technology*, 9(3): 9-19, (2008).
8. Ozsahin S., “Optimization of process parameters in oriented strand board manufacturing with artificial neural network analysis”, *European Journal of Wood and Wood Products*, 71(6): 769-777, (2013).
9. Ruz G.A., Estévez P.A., and Perez C.A., “A neurofuzzy color image segmentation method for wood surface defect detection”, *Forest Products Journal*, 55(4): 52-58, (2005).
10. Cavdarlı M. and Seke E., “Measuring roughness on wood surfaces for detection of defects using multi-frame imaging”, *The International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications*, Kayseri, 21-23, (2010).
11. Cheung W.W.L., Pitcher T.J. and Pauly D., “A fuzzy logic expert system to estimate intrinsic extinction vulnerabilities of marine fishes to fishing”, *Biological Conservation*, 124(1): 97-111, (2005).
12. Uraon K.K. and Kumar S., “Analysis of Defuzzification Method for Rainfall Event”, *International Journal of Computer Science and Mobile Computing*, 5(1): 341-354, (2016).
13. URL1, https://en.wikipedia.org/wiki/Fuzzy_set_operations#Fuzzy_unions. (Accessed 9 September 2016).
14. URL2, <http://www.massey.ac.nz/~nhreyes/MASSEY/159741/Lectures/Lec2012-3-159741-FuzzyLogic-v.2.pdf>. (Accessed 9 September 2016).
15. Bardak S., Tiryaki S., Nemli G. and Aydın A., “Investigation and neural network prediction of wood bonding quality based on pressing conditions”, *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 68: 115-123, (2016).
16. Tiryaki S. and Hamzacebi C., “Predicting modulus of rupture (MOR) and modulus of elasticity (MOE) of heat treated woods by artificial neural networks”, *Measurement*, 49: 266-274, (2014).
17. Tiryaki S., Bardak S. and Bardak T., “Experimental investigation and prediction of bonding strength of Oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) bonded with polyvinyl acetate adhesive”, *Journal of Adhesion Science and Technology*, 29(23): 2521-2536, (2015).
18. ASTM D1666 – 87, “Standard Methods for conducting Machining Tests of Wood and Wood-Base Materials”, (2004).
19. TS 2472, “Wood Determination of density for physical and mechanical tests”, (2005).

20. Nopens I., Foubert I., Graef V.D., Laere D.V. Dewettinck K. And Vanrolleghem P., “Automated image analysis tool for migration fat bloom evaluation of chocolate coated food products”, *Journal of Food Science and Technology*, 4:1884–1891, (2008).
21. Nian C.Y., Chuang S.F. and Tarn Y.S., “A new algorithm for a three-axis auto-alignment system using vision inspection”, *Journal of Materials Processing Technology*, 171: 319–329, (2006).
22. Lv B., Li B., Chen S., Chen J. and Zhu B., “Comparison of color techniques to measure the color of parboiled rice”, *Journal of Cereal Science*, 50(2): 262-265, (2009).
23. Thalmann C., Freise J., Heitland W. and Bacher S., “Effects of defoliation by horse chestnut leafminer (*Cameraria ohridella*) on reproduction in *Aesculus hippocastanum*”, *Trees*, 17: 383–388, (2003).
24. Akkurt, S., Tayfur, G. and Can, S., “Fuzzy logic model for the prediction of cement compressive strength” *Cement and Concrete Research*, 34(8):1429-1433, (2004).
25. Ozcifci, A., Yapici, F. and Altun, S., “The prediction of effect of grain angle over modulus of rupture and modulus of elasticity values on Scotch pine with Fuzzy logic classifier” *5th International Advanced Technologies Symposium (IATS'09)*, Karabuk, 13-15, (2009).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

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

Ultraviyole flekso mürekkeplerin karboksimetil selüloz ve polivinil alkol ile kaplanmış kartonların basılabilirlikleri üzerindeki etkilerinin karşılaştırılması

Comparison of into the effects of ultraviolet flexo ink on printability of the paperboards coated with carboxymethyl cellulose and polyvinyl alcohol

Yazar(lar) (Author(s)): Sinan SÖNMEZ

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Sönmez S., “Ultraviyole flekso mürekkeplerin karboksimetil selüloz ve polivinil alkol ile kaplanmış kartonların basılabilirlikleri üzerindeki etkilerinin karşılaştırılması”, *Politeknik Dergisi*, 20(4): 985-991, (2017).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.369134

Ultraviyole Flekso Mürekkeplerin Karboksümetil Selüloz ve Polivinil Alkol ile Kaplanmış Kartonların Basılabilirlikleri Üzerindeki Etkilerinin Karşılaştırılması

Araştırma Makalesi / Research Article

Sinan SÖNMEZ

Marmara Üniversitesi, Uygulamalı Bilimler Yüksekokulu, Basım Teknolojileri Bölümü, İstanbul, Türkiye

(Geliş/Received :18.11.2016 ; Kabul/Accepted : 10.01.2017)

ÖZ

Bu çalışmanın amacı; Karboksümetil selüloz (CMC) ve Polivinil alkol (PVOH) ile kaplanmış kartonlarda Ultraviyole (UV) flekso mürekkeplerin kullanımının baskı kalitesi üzerindeki etkisini karşılaştırmaktır. Çalışma iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada % 5 oranında Karboksümetil Selüloz, %5 ve % 10 oranında PVOH kullanarak yüzey tutkalı hazırlanarak ticari baz karton yüzeyine kaplanmış ve oda şartlarında tam kurumaları gerçekleştirilmiştir. Kaplanmış baz kartonların yüzey pürüzlülüğü, yüzey kontakt açıları, Cobb ve gloss değerleri ölçülmüştür. İkinci aşamada, kaplanmış baz kartonların üzerine hem Su bazlı flekso mürekkebi hem de UV flekso mürekkebi kullanılarak test baskıları gerçekleştirilmiştir. Kaplanmış baz kartonlar üzerindeki basılmış zemin alanlarından; baskı densite, $L^*a^*b^*$ ve baskılı gloss değerleri ölçülmüştür. Elde edilen veriler PVOH kullanılarak kaplanmış kartonların yüzey düzgünlüğünün, CMC kullanarak kaplanmış kartonlardan daha iyi olduğu, fakat ıslanmaya karşı gösterdikleri direncin daha az olduğunu göstermiştir. PVOH kaplanmış kartonlarda elde edilen baskı kalitesi ile CMC kullanılarak kaplanmış kartonlardan elde edilen baskı kalitesi arasında dikkate değer bir farka rastlanmamıştır. UV mürekkep kullanılarak gerçekleştirilen baskılardan elde edilen baskı densitesi, delta gloss, chroma değerlerinin su bazlı mürekkeplere göre daha yüksek çıkması UV mürekkeplerin baskı kalitesini artırdığı sonucunu ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler : Karton, CMC, PVOH, flekso baskı, UV mürekkep, su bazlı mürekkep.

Comparison of into the Effects of Ultraviolet Flexo Ink on Printability of The Paperboards Coated With Carboxymethyl Cellulose and Polyvinyl Alcohol

ABSTRACT

The aim of this work is to compare the effect of Ultraviolet (UV) flexo inks used in the paperboards coated with carboxymethyl cellulose (CMC) and Polyvinyl alcohol (PVOH) on the printing quality. The study was made at two stages. At the first one, the surface sizing prepared using 5 % of carboxymethyl cellulose, 5 and 10 % of PVOH was coated on the surface of base paperboard and fully dried at the room temperature. The surface roughness, contact angles, Cobb and gloss values of the coated base paperboard were measured. At the second stage, the test printings using both water based flexo ink and UV flexo ink on the coated base paperboard were carried out. The print density, $L^*a^*b^*$ and gloss values (printed) were evaluated on the printed surface areas in the coated base paperboards. The obtained results showed that the surface smoothness of the paperboards coated by PVOH was better than the one coated using CMC, but their resistance to wetting was smaller. The printing quality between the paperboards coated by PVOH or CMC was not significantly different. The print density, delta gloss and chroma values of printings attained using UV ink were higher compared to water based ink, revealing that the UV inks increased the printing quality.

Keywords: Paperboard, CMC, PVOH, flexo print, UV ink, water-based ink.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kağıdın absorpsiyonunun ve basılabilirliğinin geliştirilmesi sıvı-kağıt ilişkisinin açıklanması ile aydınlatılabilir. Kağıdın direnç özelliklerini geliştirmek için kullanılan tutkallama işlemi, kağıda her türlü sıvı penetrasyonunu azaltmak için kullanılmaktadır [1].

Tutkallamanın iç tutkallama ve yüzey tutkallama olmak üzere iki tipi vardır. İç tutkallama kağıda birçok özellik kazandırırken, yüzey tutkallama ile kağıdın fiziksel özellikleri geliştirilmektedir [2]. Yüzey tutkallama çoğunlukla ince kağıtlarda, kuşlenecek olan baz kağıtlarda ve kartonlarda kullanılmaktadır [3]. Yüzey tutkallama ile artan yüzey direncinin yanı sıra kağıda kazandırılan özellikler; tozlanmanın azalması, istenilen absorpsiyon özelliklerinin kazandırılması, azalan porozite, azalan boyutsal değişim ve geliştirilen yüzey

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : ssonmez@marmara.edu.tr

düzensizdir. Uygun tutkal maddeleri ise elde edilmek istenen son ürüne göre belirlenmektedir.

Yüzey tutkallama maddeleri genellikle kağıda bariyer özelliği kazandırmak, su direncini ve basılabilirliği geliştirmek için kullanılmaktadırlar [4]. Yüzey tutkallama, yüzey tutkalı olarak kullanılan maddelerin kimyasal yapısı, pH'ı, viskozitesi ve sıcaklığı gibi çeşitli faktörlerin kombinasyonu ile modifiye edilmektedir. Bu faktörler yüzey tutkallama da etkili olduğu kadar kağıdın gramajı, iç tutkallaması, su içeriği, porozitesi, yüzey enerjisi ve yüzey düzensizliği de yüzey tutkallama da etkili olmaktadır [5].

Yüzey tutkallama ve iç tutkallama arasındaki ilişki mürekkebin penetrasyon oranı ve geçiş hızı için önemlidir [1]. Yüzey tutkallama işlemi ürünlerin sertlik (stiffness) ve yüzey düzensizliği (smoothness) özelliklerinin artırır, yüzey direncini ve hava geçirgenliğinin geliştirir. Ayrıca mürekkebin yüzeyde daha iyi tutunmasını da sağlayarak yüzeydeki mürekkep oranını artırır ve net, parlak renkler elde edilmesini sağlar [6].

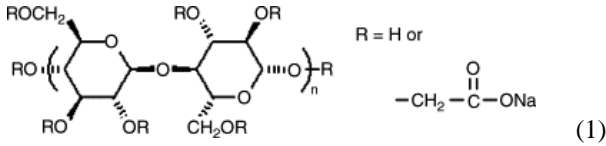
Yüzey tutkallama ve kuşe işlemi bazı kimyasal maddelerin yüzeye uygulanması ve sonrasında kalenderleme işlemi olmak üzere iki aşamalı mekanik işlem sonucunda gerçekleştirilmektedir [7]. Yüzey tutkallama maddesi olarak lateks tipi tutkallar (Polivinil alkol v.b.) sentetik tutkal olarak kullanılırken, doğal ve çevre dostu tutkal olarak nişasta ve karboksimetil selüloz kullanılmaktadır [8].

Sodyum karboksimetil selülozun (CMC) yağ mukavemet kimyasalı verimini arttırdığı, diğer kağıt proseslerinde ise kuru mukavemet değerlerine katkı sağladığı ve kağıt yüzey özelliklerini geliştirerek basılabilirlik özelliklerini arttırdığı en bilinen temel özellikleridir [9]. Bu özelliklerinden dolayı özellikle temizlik kağıtlarında da, kağıt mendil ve diğer ince kağıtların üretiminde CMC yaygın olarak kullanılmaktadır.

CMC, iğne yapraklı, geniş yapraklı ya da pamuktan elde edilmiş olan selülozların monoklor asetik asit ve sodyum hidroksit ile reaksiyona sokulması sonucu elde edilmektedir [10-12].

Kapalı formül: $C_6H_9OCH_2COONa$

Açık kimyasal formülü [13]:



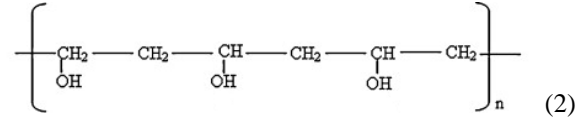
Yüzey tutkallama maddelerinden diğer biri olan Polivinil alkol (PVOH) suda çözünen sentetik bir polimerdir. PVOH mükemmel film oluşturucu, emülsiyon yapıcı ve yapışkan özelliklere sahip olması, suda çözünebilir ambalaj filmleri yapımında, kağıt endüstrisinde mürekkep jet kağıt için bağlayıcı, optik parlaklaştırıcı taşıyıcı, boya veya pigment kaplama için eş bağlayıcı ve bariyer özelliği sağlaması bakımından kağıt yüzey tutkalı olarak endüstriyel olarak kullanılmaktadır [14].

PVOH yağ, gres ve çözücüye karşı dayanıklı olan kokusuz ve toksik olmayan bir yüzey tutkallama maddesidir.

Yüksek oksijen ve aroma bariyeri sağlaması yanı sıra, yüksek gerilme mukavemetine ve esneklik özelliklerine de sahiptir. Bu özellikler ortamdaki nem oranına bağlı olarak değişebilir. Diğer bir deyişle, daha yüksek nemli bir ortamda emilecek su oranı da o oranda artacaktır. Plastikleştirici olarak işlev gören su, çekme mukavemetini düşürerek, uzama ve yırtılma mukavemetini de arttıracaktır [15].

Kapalı formülü: $[CH_2CH(OH)]_n$

Açık kimyasal formülü [15]:

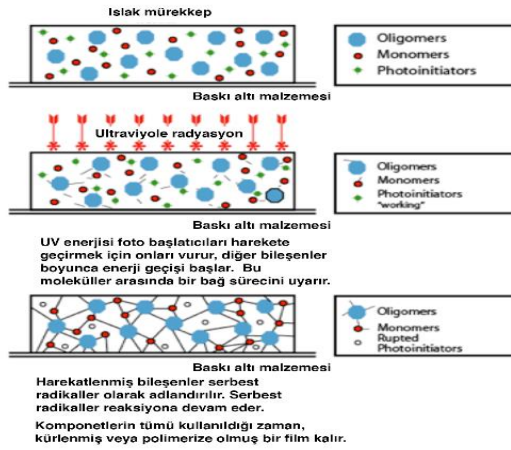


Baskı kalitesi üzerinde, yüzey tutkallama işlemi kadar baskı da kullanılan mürekkebin türü ve özellikleri de önemli etkiye sahiptir. Son zamanlarda baskıda sağladığı avantajlar sebebiyle ülkemizde ve dünyada Ultraviyole (UV) mürekkep kullanımı artmaktadır. Özellikle baskı sonrasında kürlenme ile gerçekleştirilen kuruma hacim kaybı yaratmadığı için baskıda oluşan film kalınlığı sabit kalmaktadır. Bu durum baskının görsel kalitesini arttırmaktadır ki bu kaliteli bir baskı için aranan bir özelliktir [16].

UV mürekkeplerin yapılarında çoklu monomer (oligomers), monomerler, fotobaslatıcılar (photoinitiators), pigmentler, akışkanlık düzenleyici, inceltici, silikon, stabilite, köpük önleyici, adezyon v.b. katkı maddeleri ve kayganlık, sürtünme direnci arttırmak için ise vakırlar bulunmaktadır [17].

Mürekkep yapısındaki mekanik kaynaşma veya polimerizasyon işlemi UV mürekkep içerisindeki photoinitiator'ların UV ışığa maruz kalması sonucu başlamaktadır. UV ışık emildiğinde, reaktif parçacıklar veya serbest radikaller oluşarak, polimerizasyon reaksiyonu başlatır. Polimerizasyon devam ettikçe mürekkep filmi daha yüksek oranda mekanik kaynaşma sağlayarak mürekkep filmine sertlik, parlaklık, esneklik ve tutunma özellikleri kazandırır [18]. Bu sebeple de su veya solvent bazlı mürekkeplerle yapılan baskılarda oluşan hacimsel azalma, UV mürekkeple kullanılarak gerçekleştirilen baskılarda gözlemlenmez ve daha parlak görsel etki elde edilir.

UV mürekkeplerin uçucu organik bileşenleri (VOC) bünyesinde barındırmazlar. Fakat kürlenme aşamasında kullanılan UV mercury lambaların yaydıkları ozon gazı sebebiyle, su bazlı mürekkeplere oranla çevreye daha çok zarar vermektedirler [19]. Bu sebeple baskının gerçekleştirildiği alandaki ozon gazı sağlıklı bir çalışma ortamı sağlanması açısından çalışma ortamından kontrollü bir şekilde uzaklaştırılmalıdır



Şekil 1: UV mürekkebinin Ultraviyole ışınlarına karşı gösterdiği reaksiyon [19]. (Figure 1: The showed reaction of UV ink against ultraviolet rays)

2. MATERYAL VE METODLAR (MATERIAL and METHODS)

Bu çalışma ticari olarak üretim yapan bir firmadan temin edilmiş olan baz kartonlar yüzeyine CMC ve PVOH kaplanması yapılarak kartonların optik ve fiziksel özellikleri üzerindeki etkilerini incelenmiştir. Ayrıca CMC ve PVOH kaplanmış kartonlar üzerinde su bazlı flekso mürekkebi ve UV flekso mürekkebi kullanılması durumunda baskı özelliklerindeki değişimler gözlemlenmiştir.

Tablo 2: Kullanılan PVOH'ün özellikleri (Table 2: The properties of used PVOH)

Özelliği	Hydrolysis(%)	Viscosity(cps)	pH	Kül(% mak.)
AIRVOL 523	87.0-89.0	23-27	4.5-6.5	0.50

Viskozite ve pH ölçümleri 20°C %4 solüsyonda yapılmıştır.

2.1. Yüzey Kaplama Formülasyonlarının Hazırlanması (Preparation of Surface Coating Formulations)

Yüzey tutkalı olarak kullanılan CMC'ün teknik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Yüze kaplanacak olan CMC formülasyonu, CMC derişimi %5 olacak şekilde saf suya ilave edilerek, IKA RW20.n tipi bir mekanik karıştırıcı kullanarak 3 devirde 30 dakika karıştırılmaya devam edilerek hazırlanmıştır. Hazırlanan CMC'lerin pH değerleri ISO 6588:1981 göre ölçülerek 9.85 ve 9.88 arasında tutulmuştur.

Tablo 1 : Kullanılan CMC'un özellikleri (Table 1: The properties of used CMC)

Kullanım	Ürün Kodu	Hal	Katı Madde	İyonik Yapısı	Not
Karboksümetil Selüloz (CMC)	USK 100 TN	Toz	90	Anyonik	DS: 0,5 -0,7 NaCMC: min. 60

Yüzey tutkalı olarak kullanılan Polivinil alkol (PVOH) ün teknik özellikleri ise Tablo 2 de verilmiştir. Çalışmada kullanılacak olan PVOH formülasyonu 40°C de magnetik karıştırıcıda % 5'lik ve % 10'luk olarak hazırlanmıştır. Hazırlanan süspansiyona % 10'luk NaOH ilave edilerek pH'ı 9.33 tutulmuştur.

2.2. Baz Kartonların Kaplanma Süreci (Base Paperboard Coating Process)

Çalışmada 300 g/m² ağırlığında ön tutkallama yapılmamış ticari baz karton kullanılmıştır. Hazırlanan CMC ve PVOH formülasyonları baz kartonlar üzerine laboratuvar tipi bir kaplayıcı kullanılarak aktarılmıştır [20]. Laboratuvar tipi K-Control Coater kullanımı sırasında 0 numara çubuk ve hız 3 ayarlanarak yüzey kaplama işlemi gerçekleştirilmiştir. Yüzey kaplaması gerçekleştirilen baz kartonlar TAPPI T402 standartına göre oda şartlarında kurutulmuşlardır.

2.3. Kaplanmış Kartonların Fiziksel ve Optik Özelliklerinin Belirlenmesi (Determination of Physical and Optical Properties of Coated Paperboard)

Yüzey pürüzlülük değeri L&W Bendtsen Tester (1000 kPa) kullanılarak TAPPI T555-om-99 göre belirlenmiştir. Gloss değeri 60° BYK Glossmeter kullanılarak ISO 2813'e göre ve Cobb değerleri Cobb test aparatı kullanılarak TAPPI T441 om – 90 göre ölçülmüştür. Yüzey kontak açılı ölçümleri PG-X Goniometer kullanılarak TAPPI T 558 göre gerçekleştirilmiştir.

2.4. Baskı Uygulama Süreci (Print Implementation Process)

TAPPI T402 standartına göre oda şartlarında kuruması

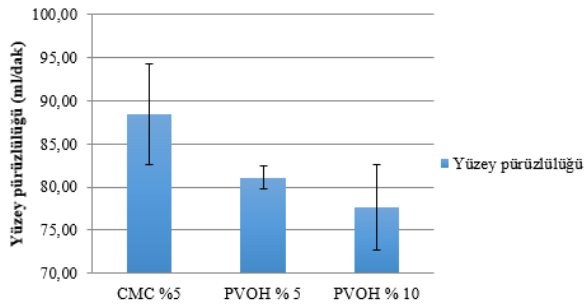
gerçekleşen kaplanmış kartonlar üzerine aynı marka firmanın hem su bazlı flekso cyan mürekkebi (Water base Flexo Low Migration- HKD5-0081-404 N) hem de UV flekso Cyan mürekkebi (U.V. Flexo Low Migration – Y5F5-0080-107) kullanılarak baskılar gerçekleştirilmiştir. Baskı işlemlerinde el flekso mürekkep taşıyıcı (Hand flexo ink proofer) kullanılmıştır. Kullanılan aniloks silindiri 200 lpi ve 7,64 cm³/m² hacimlidir. Su bazlı flekso mürekkebi ile basılmış baz kartonları TAPPI T402 standartına göre oda şartlarında kurutulmuştur. UV flekso mürekkep kullanılarak gerçekleştirilmiş baskılar Alphe

Cure Ltd. Firmasının AC-12378 1075 lambasının kullandığı UV kurutma makinasında 600 Rpm, 11 kw, 7 adet/dak. hız da 2 kez tekrarlanmak suretiyle kurutulmuşlardır. Tam kuruma gerçekleşikten sonra baskılı zemin alanlardan X-Rite spektrofotometre (D50, 2 derece, UV) kullanılarak ISO 12647-6 göre baskı densite, L*a*b* ölçülmüştür. Ölçülen a* ve b* değerlerinden Chroma değeri hesaplanmıştır. Baskılı ve baskısız alanlardan ölçülen gloss değerleri kullanılarak Delta gloss hesaplanmıştır.

3. BULGULAR VE YORUMLAR (RESULTS AND COMMENTS)

3.1. Yüzey Pürüzlülüğü (Surface Roughness)

Yüzey düzgünlüğü baskı kalitesini artırıcı önemli bir kağıt fiziksel özelliğidir. Özellikle yüksek tram sıklığındaki baskılarda yüzey düzgünlüğü ne kadar iyi olursa tram noktalarındaki görüntü kayıpları azalmakta, bunun sonucu olarak elde edilen görsel kalite artmaktadır [21]. Şekil 2 de CMC ve iki değişik oranda PVOH kaplanmış karton yüzeylerin pürüzlülük değerleri görülmektedir. Şekilden de açıkça anlaşıldığı üzere PVOH oranı arttıkça yüzey pürüzlülüğü azalmıştır. Ancak %5'lik bir artış yüzey pürüzlülük değerinde dikkate değer bir değişikliğe neden olmamıştır.



Şekil 2: CMC ve PVOH ile kaplanmış kartonun yüzey pürüzlülüğü (Figure 2: Surface Roughness of paperboard coated with CMC and PVOH)

3.2. Yüzey Kontakt Açısı (Surface Contact Angle)

Yüzey kontakt açısı kağıt yüzeyinin ıslanmaya karşı direncin ölçüldüğü bir metottur. Kağıdın sıvılar tarafından ıslatılabilmesinin bir ölçüsü prensibine bağlı olan kontakt açısı, su veya baskıda kullanılan mürekkep ile kağıdın yüzeyi arasındaki açısı olarak tanımlanabilir [22-23].

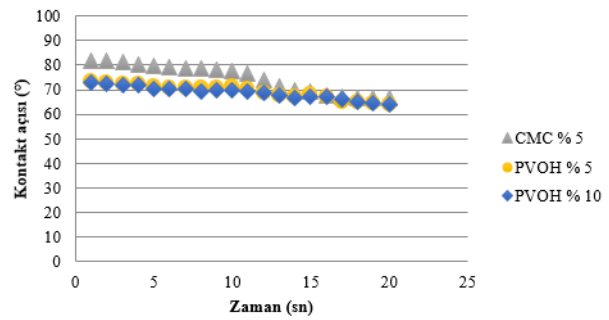
Bir yüzeyin ıslanıp ıslanmaması söz konusu sıvı moleküllerini birbirine bağlayan koheziv kuvvetlerle sıvı ve yüzey molekülleri arasındaki adheziv kuvvetlerin arasındaki rekabete bağlıdır. Buna göre, bir sıvı bir yüzeyi ne kadar az ıslatırsa sıvı damlacıkları o kadar küresel bir şekle sahip olur, dolayısıyla damlacıkların kontakt açısı da yükselir. Bu tanıma göre, eğer kontakt açısı 90 dereceden küçükse o yüzey ıslanmıştır, 90 dereceden büyükse ıslanmamıştır ve yüzey hidrofobiktir. Suyla ıslanan yüzeyler (yani temas açısı 90 dereceden

küçükse) su sever (hidrofil) olarak adlandırılırken, suyla ıslanmayan yüzeyler su sevmez (hidrofob) olarak adlandırılırlar. Suya karşı hiç ıslanmayan yüzeyler ise süper hidrofob olarak adlandırılır, ve temas açısı 150 derece veya üstüdür [24].

Yapılacak olan baskılarda yüzeyin yüksek oranda hidrofilik yapıda olması baskı renk yoğunluğunu düşürmesinden dolayı istenmeyen bir durum olmakla birlikte, süper hidrofobik yapıda olması ise yüzeyde mürekkebin tutunamamasından kaynaklı baskı kalitesini negatif yönde etkileyen bir ortaya çıkarmasından dolayı bu da istenmeyen bir durumdur [25].

Mürekkebin kağıda teması baskı kalitesini önemli ölçüde etkilemektedir. Baskı sonrasında baskı altı malzemesi yüzeyinde mürekkep içindeki pigmentlerden ne kadar çok miktarda kalırsa, o kadar renk yoğunluğu yüksek baskılar elde edilebilecektir ki, bu kaliteli bir baskı için önemli bir parametredir [26].

Şekil 3'de 20 sn içerisinde diyonize suyun test örnekleri üzerindeki davranışı görülmektedir. Diyonize suyun karton yüzeyine düştüğü anda CMC kaplanmış kartonun 82° ile en yüksek yüzey kontakt açısını oluşturduğu görülmektedir. 20 sn sonunda en düşük yüzey kontakt açısı PVOH ile kaplanmış kartonlarda görülmekte ve stabil bir azalma ile bu değer 64° kadar düşmüştür. Bu sonuca bakılarak PVOH kullanımının kartonun hidrofilik özelliğini CMC kullanımına göre daha fazla artırdığı söylenebilir. PVOH oranının artırılması ise kontakt açısı üzerinde dikkate değer oranda fark yaratmadığı Şekil 3 de görülmektedir.

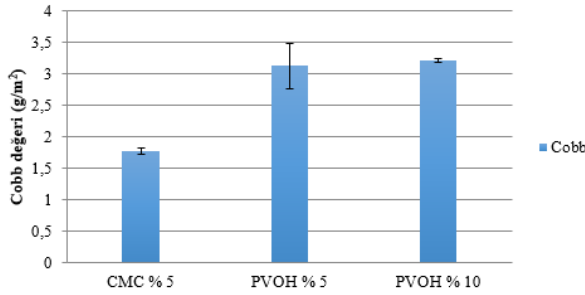


Şekil 3: CMC ve PVOH ile kaplanmış kartonun yüzey kontakt açısı (Figure 3: Surface contact angle of paperboard coated with CMC and PVOH)

3.3. Kartonların Islanmaya Dayanıklılığı (Paperboard's Resistance to Wetting)

Kartonların ıslanmaya dayanıklılık (Cobb) değeri kağıt veya karton gibi yüzeylerin ıslanmaya karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanabilir [27]. Cobb değerinin düşük veya yüksek olması baskı sırasında mürekkebin kağıt yüzeyi tarafından kontrollü alınmasını engelleyeceğinden çeşitli baskı problemlerinin yaşanmasına sebebiyet vereceğini göstermektedir. Bu sebeple Cobb değerinin optimum bir aralıkta tutulması gerekmektedir [28].

Şekil 4 de CMC kullanımında Cobb değerinin en düşük olduğu görülmektedir. Bu sonuç kartonun CMC ile kaplanmasının suya karşı direncini arttırdığını, diğer bir deyişle CMC kullanımının kartonun bariyer özelliğini arttırdığını göstermektedir. PVOH kullanılarak yapılan kaplamanın ise kartonun suya karşı direncini arttırmada CMC göre daha etkili olmadığı Şekil 4 de görülmektedir.

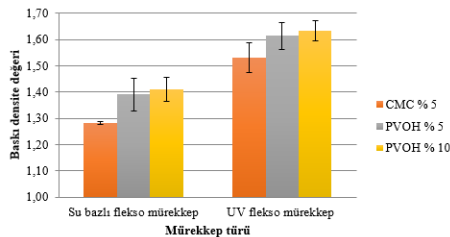


Şekil 4: CMC ve PVOH ile kaplanmış kartonun cobb değerleri (Figure 4: Cobb values of paperboard coated with CMC and PVOH)

3.4. Baskı Densite (Print Density)

Kaliteli bir baskı için Baskı densitesi, baskı altı malzemesi ve kullanılan mürekkebin özelliklerine yansıtması bakımından önemli bir değerdir [29-30]. Kağıt yüzey düzgünlüğü ve hava geçirgenliği baskı densitesini belirleyici önemli kağıt fiziksel özellikleridir. Kağıt yüzey düzgünlüğünün artması ve hava geçirgenliğinin azalması yüzeydeki pigment oranını yani baskı densitesini arttıracaktır.

Şekil 5 de su bazlı flekso mürekkebi ve UV flekso mürekkebi ile yapılmış olan baskılarının densite değerleri görülmektedir. Grafikte hem CMC hem de PVOH uygulanmış baz kartonlarda UV mürekkep kullanımının, su bazlı mürekkep kullanımına oranla baskı densitesini artırdığı açıkça görülmektedir. Özellikle PVOH kullanımı CMC ye göre hem su bazlı flekso mürekkebi hem de U.V. flekso mürekkebi ile yapılan baskılarda yüksek baskı densitesi elde edilmesine katkı sağladığı görülmektedir. PVOH oranının artırılması ise baskı densitesi üzerinde belirgin bir etki sağlamamıştır.

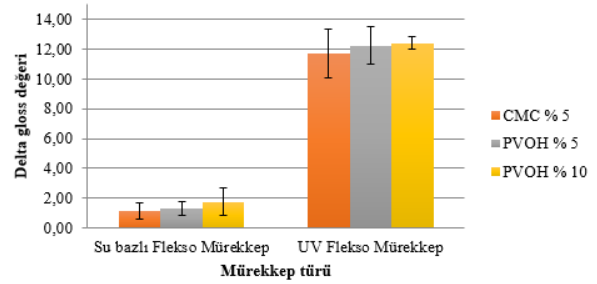


Şekil 5: CMC ve PVOH ile kaplanmış kartonun baskı densite değerleri (Figure 5: Print density values of paperboard coated with CMC and PVOH)

3.5. Delta Parlaklık (Delta Gloss)

Baskı altı malzemelerinin parlaklık değerleri ile baskı sırasında yüzeye aktarılan mürekkeplerin parlaklık değerleri arasındaki fark baskı sonrasında elde edilecek son parlaklık değerini vermektedir. Bu değer baskının son parlaklık değerini belirler. Bu değer kağıt ya da kartonun yüzey özellikleri ile mürekkep bileşenlerinin etkileşimine bağlı olarak artmakta ya da azalmaktadır [31-32].

Şekil 6'da UV flekso mürekkeplerle basılan yüzeylerde elde edilen delta gloss değerinin su bazlı mürekkep ile basılanlara oranla fark edilebilir oranda yüksek olduğu görülmektedir ki, bu sonuç yüksek bir baskı kalitesi için istenen bir durumdur. Yüksek bir baskı parlaklığı daha canlı ve parlak görsellerin elde edilmesi anlamına gelmektedir. Hem su bazlı flekso mürekkep kullanımında hem de UV flekso mürekkep kullanımında karton yüzeyinin CMC ve PVOH ile kaplanması Delta gloss değerini pozitif yönde değiştirdiği Şekil 6'da görülmektedir. Fakat bu artış UV flekso mürekkep ile gerçekleştirilmiş baskılarda daha belirgindir. PVOH oranının değiştirilmesi ise Delta gloss değeri üzerinde belirgin bir farklılık yaratmamıştır.



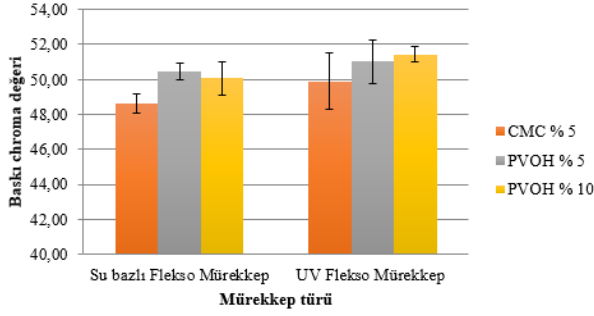
Şekil 6: CMC ve PVOH ile kaplanmış kartonun delta gloss değerleri (Figure 6: Delta gloss values of paperboard coated with CMC and PVOH)

3.6. Baskı Chroma (Print Chroma)

Baskı chroma değerinin yüksek değerlerde olması baskıda elde edilebilecek renk sayısının yüksek olacağı anlamına gelmektedir. Baskıda elde edilecek renk sayısı ne kadar çok olursa elde edilebilecek baskı kalitesi de o oranda artacaktır [33]. Baskı chroma değeri (C_{ab}) aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmaktadır (Formül 1) [34].

$$C_{ab} = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (3)$$

Şekil 7 de karton yüzeyinin CMC veya PVOH ile kaplanmasının baskı chroma değerini arttırdığı fakat bu artışın PVOH kaplama ile bir miktar daha fazla olduğu görülmektedir. Ayrıca UV mürekkep kullanımının su bazlı mürekkep kullanımına oranla baskı chroma değerini de arttırdığı görülmektedir. PVOH oranındaki değişim baskı chroma değerini belirgin ve de fark yaratacak şekilde etkilememiştir.



Şekil 7: CMC ve PVOH ile kaplanmış kartonun baskı chroma değerleri (Figure 7: Print chroma values of paperboard coated with CMC and PVOH)

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

- 1) Kartonun Polivinil alkol ile kaplanmasının Karboksimetil selüloz ile kaplanmasına oranla karton yüzey pürüzlülüğünü azalttığı,
- 2) Kartonun Karboksimetil selüloz ile kaplanmasının Polivinil alkol ile kaplanmasına oranla kartonun hidrofobik özelliğini arttırdığı,
- 3) Kartonun Karboksimetil selüloz ile kaplanmasının Polivinil alkol ile kaplanmasına oranla kartonun Cobb değerini fark edilebilir oranda azalttığı,
- 4) Karboksimetil selüloz ve Polivinil alkol kaplanmış kartonlara yapılan baskılarda Ultraviyole mürekkep kullanımının su bazlı mürekkep kullanımına oranla baskı densitesini arttırdığı,
- 5) Karboksimetil selüloz ve Polivinil alkol kaplanmış kartonlara yapılan baskılarda su bazlı flekso mürekkep veya Ultraviyole flekso mürekkep kullanımında Delta parlalık değerlerini pozitif yönde değiştiği, fakat bu değişimin Ultraviyole flekso mürekkep ile gerçekleştirilmiş baskılarda daha belirgin olduğu,
- 6) Karboksimetil selüloz ve Polivinil alkol kaplanmış kartonlara yapılan baskılarda su bazlı flekso mürekkep veya Ultraviyole flekso mürekkep kullanımının baskı chroma değerini arttırdığı, fakat Polivinil alkol kaplanmış kartonların üzerine Ultraviyole mürekkep ile yapılan baskılarda, baskı chroma değerlerinin bir miktar daha yüksek olduğu saptanmıştır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Stankovska M., Gigac J., Letko M., and Opalena, E., "The effect of surface sizing on paper wettability and on properties of inkjet prints", *Wood Research*, 59(1): 67-76, (2014).
- [2] Rhim J. W., Lee J. H., and Hong S. I. "Water resistance and mechanical properties of biopolymer (alginate and soy protein) coated paperboards", *LWT - Food Science and Technology*, 39(7): 808-813, (2006).
- [3] Biricik Y., Sönmez S., and Özden Ö., "Effects of surface sizing with starch on physical strength properties of paper", *Asian Journal of Chemistry*, 23: 3151-3154, (2011).
- [4] Fukuda S., Chaussy D., Belgacem M. N., Bruas N. R., and Thielemans W., "Characterization of oil-proof papers containing new-type of fluorochemicals Part 1: Surface properties and printability", *Applied Surface Science*, 277: 57-66, (2013).
- [5] Moutinho I. M. T., Ferreira P. J. T. ve Figueiredo M. L., "Impact of surface sizing on inkjet printing quality", *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 46(19): 6183-6188, (2007).
- [6] Lee H. L., Shin J. Y., Koh C. H., Ryu H., Lee D. J. and Sohn C. "Surface sizing with cationic starch: its effect on paper quality and papermaking process", *Tappi Journal*, 1(1): 34-40, (2002).
- [7] Sonmez S. "Interactive effects of copolymers and nano-sized pigments on coated recycled paperboards in flexographic print applications", *Asian Journal of Chemistry*, 23(6): 2609-2613, (2011).
- [8] Khwaldia K., Arab-Tehrany E., and Desobry S., "Biopolymer Coatings on Paper Packaging Materials", *Comprehensive Reviews In Food Science and Food Safety*, 9(1): 82-91, (2010).
- [9] Ashori A., Raverty W. D., Vanderhoek N. and Ward J. V., "Surface topography of kenaf (*Hibiscus cannabinus*) sized papers", *BioResources*, 99 (2): 404-410, (2008).
- [10] Gencoglu E. N., Özden Ö., and Simsek O., "Effects of CMC on Printable Properties of Newspaper", *Asian Journal of Chemistry*, 22(7): 5561-5566, (2010).
- [11] Ambjörnsson H. A., Schenzel K. and Germgard U., "Carboxymethyl cellulose produced at different mercerization condition and characterized by NIR FT Raman Spectroscopy in combination with multivariate analytical methods CMC Mercerization", *BioResources*, 8(2): 1918-1932, (2013).
- [12] Klow G., "Pigment Coating and Surface Sizing of Paper", Paper making Science and Technology, *Tappi Press*, Helsinki: Finland, (2000).
- [13] Bacchin P., Bonino J. P., Martin F., Combacau M., Barthes P., Petit S. and Ferret J., "Surface pre-coating of talc particles by carboxyl methyl cellulose adsorption: Study of adsorption and consequences on surface properties and settling rate", *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 272(3): 211-219, (2006).
- [14] Chang J. H., Jang T. G., Ihn K. J., Lee W. K. and Sur G. S., "Poly (vinyl alcohol) nanocomposites with different clays: Pristine clays and organoclays", *Journal of Applied Polymer Science*, 90(12): 3208-3214, (2003).
- [15] Tang X. and Alavi S., "Recent advances in starch, polyvinyl alcohol based polymer blends, nanocomposites and their biodegradability", *Carbohydrate Polymers*, 85(1): 7-16, (2011).
- [16] Repeta V., "Influence of surface energy of polymer films on spreading and adhesion of UV-Flexo inks", *Acta Graphica : Journal for Printing Science and Graphic Communications*, 24 (3-4): 79-84, (2013).
- [17] Jeong K.M., and Koseki K., "Rheological properties of UV-curable flexographic ink", *Journal of Photopolymer Science and Technology*, 18(1): 165-170, (2005).
- [18] Sönmez S. ve Özden O., "Karboksil Metil Selüloz (CMC) Kullanılarak Kaplanmış Kartonların Baskılarında Ultraviyole (UV) Mürekkep Kullanımı", *Basım Akademi Dergisi*, 1(1): 42-49, (2016).
- [19] Sönmez S. ve Işık A. R., "Basım Sektöründe Kullanılan Ultraviyole Işık Yayan Diyotlar (UV Led)", 5.

- Uluslararası Matbaa Teknolojileri Sempozyumu*, 119-128, İstanbul, (2016).
- [20] Sonmez S., Fleming P. D., Joyce M. K. and Ozden O., "Effects of coat weight and pigment selection on flexographic printability of coated test liners", *Tappi PaperCon 2010*, Atlanta, USA, (2010)
- [21] Sonmez S., "Effects of calendering on print densities of coated paperboards", *Marmara Journal of Pure and Applied Sciences*, 4: 164-169, (2016).
- [22] Oittinen P., and Saarelma H., "Printing", Papermaking science and technology, *Tappi Press*, Helsinki, Finland, (1998).
- [23] Wilson L. A. "What the printer should know about paper", *GATFPress*, USA, (1997).
- [24] Yuan Y. and Lee T. R., "Chapter 1: Contact Angle and Wetting Properties", Surface Science Techniques, *Springer-Verlag*, Berlin Heidelberg, Germany, (2013).
- [25] Gong R., Sonmez S. and Fleming P. D., "Application of Nano Pigments in Inkjet Paper Coating", *26th International Conference on Digital Printing Technologies (NIP 26)*, 507-511, Texas, USA, (2010).
- [26] Elmas G. M., and Sonmez S., "Printability properties of some alkaline sulfite-anthraquinone-methanol handsheets", *Asian Journal of Chemistry*, 23(6): 2515-2519, (2011).
- [27] Peng P., Zhou X. and Ma J., "Water glass compound starch used as surface sizing agent to improve the strength of linerboard", *BioResources*, 6(4): 4158-4167, (2011).
- [28] Zawawi N.I.M., Asa'ari A. Z. M., Abdullah L. C., Abdullah H. H., Harun J. and Jawaid M., "Water absorbency and mechanical properties of kenaf paper blended via a disintegration technique", *BioResources*, 8(4): 5570-5580, (2013).
- [29] Havlinova B., Cicak V., Brezova V. and Hornakova L., "Water-reducible flexographic printing inks—rheological behaviour and interaction with paper substrate", *Journal of Materials Science*, 34: 2081 – 2088, (1999).
- [30] Zang Y. H. and Aspler J. S., "The influence of coating structure on the ink receptivity and print gloss of model clay coatings", *Tappi Journal*, 78(1): 147-154, (1995).
- [31] Johnson J., Andersson C., Lestelius M., Järnström L., Rättö, P., and Blohm E., "Some properties of flexographic printing plates and aspects of print quality", *Appita Journal*, 62(5): 371-378, (2009).
- [32] Juuti M., Prykäri T., Alarousu E., Koivula H., Mylly M., Lähteelä A., Toivakka M., Timonen J., Myllylä, R. and Peiponen K. E., "Detection of local specular gloss and surface roughness from black prints", *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 299(1-3): 101-108, (2007).
- [33] Sonmez S., "Development of printability of bio-composite materials using Luffa cylindrica Fiber", *BioResources*, 12(1): 760-773, (2017).
- [34] Fairchild M. D., "Color appearance models: CIECAM02 and beyond", (2004) (<http://rit-mcsl.org/fairchild/PDFs/AppearanceLec.pdf>), Erişim tarihi: 25 July 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>

Hydroxyapatite coating on Ti6Al4V alloy surface through biomimetic method using glycolic acid - sodium gluconate buffer system and examination of properties of the coating

Ti6Al4V alaşımı üzerine biyomimetik yöntemle glikolik asit - sodyum glukonat tampon sistemi kullanılarak hidroksiapatit kaplanması ve kaplama özelliklerinin incelenmesi

Yazar(lar) (Author(s)): İbrahim AYDIN, Ferdi ENGİN

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Aydın İ. and Engin F., “Hydroxyapatite coating on Ti6Al4V alloy surface through biomimetic method using glycolic acid - sodium gluconate buffer system and examination of properties of the coating”, *Politeknik Dergisi*, 20(4): 993-1001, (2017).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.369141

Hydroxyapatite Coating on Ti6Al4V Alloy Surface Through Biomimetic Method Using Glycolic Acid - Sodium Gluconate Buffer System and Examination of Properties of the Coating

Araştırma Makalesi / Research Article

İbrahim AYDIN^{1*}, Ferdi ENGİN²

¹ Celal Bayar University, Manisa Vocational School, Department of Machinery, Manisa - Turkey,

² Celal Bayar University, Institute of Natural and Applied Sciences, Department of Mechanical Engineering, Manisa - Turkey,

(Geliş/Received : 15.12.2016 ; Kabul/Accepted : 03.01.2017)

ÖZ

İskelet – kas sistemimizde doğuştan ya da edinsel yollarla karşılaşılan rahatsızlıkların tedavisinde implant malzeme kullanımı önemli cerrahi müdahaleler arasındadır. Kullanılan bu implant malzemeler içerisinde kemiğin mekanik değerlerine yakın olması sebebiyle metalik biyomalzemeler sıklıkla tercih edilmektedir. İmplantasyon işleminde bu alaşımların yüzeyleri seramik esaslı biyomalzemeler ile kaplanarak biyoaktivite ve biyouyumluluk özellikleri artırılmaktadır.

Bu çalışmada, literatürde ilk defa biyomimetik teknik ile glikolik asit – sodyum glukonat tampon sistemi kullanılarak insan kan plazmasına tam uyumlu ortamda Ti6Al4V alaşımı üzerine hidroksiapatit (HA) kaplama üretimi yapıp incelenmesi amaçlanmıştır. Kaplama işlemi yapay beden sıvısı (YBS) içerisinde 24, 48, 72 ve 96 saatlik bekletme sürelerinde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen kaplamaların, yüzey pürüzlülük ve kalınlık özellikleri saptanmış, taramalı elektron mikroskopu (SEM) kullanılarak mikro yapıları incelenmiş, kaplama yüzeylerinin elementsel analizleri (EDS) belirlenmiş ve kaplamaların içerdiği fazların konsantrasyonu hakkında bilgi almak amaçlı XRD analizleri yapılmıştır. Testler sonucunda başarılı yüzey pürüzlülük değerleri ve ideal değere yakın Ca/P oranı yakalanmıştır. Ayrıca altlık malzeme üzerinde sıkı ve homojen bir dağılıma sahip, yoğun faz yapısındaki HA kristallerinin varlığı gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Biyomimetik kaplama, glikolik asit – sodyum glukonat, hidroksiapatit (HA), Ti6Al4V, Yapay Beden Sıvısı (YBS).*

Ti6Al4V Alaşımı Üzerine Biyomimetik Yöntemle Glikolik Asit - Sodyum Glukonat Tampon Sistemi Kullanılarak Hidroksiapatit Kaplanması ve Kaplama Özelliklerinin İncelenmesi

ABSTRACT

The use of implant materials is one of the important surgical interventions in the treatment of disorders that are congenital and acquired deformities in musculoskeletal system. Metallic biomaterials within these implant materials are often preferred because of their proximity to the mechanical properties of the bone. In the implantation process, the surfaces of these alloys are coated with ceramic based biomaterials to increase the bioactivity and biocompatibility properties.

In this study, it is aimed to create hydroxyapatite (HA) coating that is completely harmonious with human blood plasma environment, on Ti6Al4V alloy, using glycolic acid - sodium gluconate buffer system with biomimetic method for the first time in literature. Coating was realised inside synthetic body fluid (SBF) with waiting periods of 24, 48, 72 and 96 hours. Relating to the coatings, surface smoothness and thickness specifications have been determined, their micro structure has been analysed by Scanning Electron Microscope (SEM), the elementary analyses namely Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS) for the surfaces of coating have been determined and X-Ray Diffraction (XRD) analysis have been conducted for obtaining the concentrations of the phases. As a result of the experiments, successful surface smoothness values and ratio of Ca/P close to optimal value have been obtained. Additionally, the presence of HA crystals with intense phase structure, with compact and homogeneous distribution on the substrate have been observed.

Keywords: *Biomimetic coating, glycolic acid - sodium gluconate, Hydroxyapatite (HA), Ti6Al4V, Synthetic Body Fluid (SBF).*

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : ibrahimaydin@cbu.edu.tr

1. INTRODUCTION

Broken bones, degenerative and inflammatory diseases of bones and joints, congenital and acquired deformities, spinal deformities, tumoral diseases of musculoskeletal system affects millions of people every year. These injuries and loss of function often indicate the need for surgical intervention [1]. Implantation method is used instead of damaged tissue and organs, either by the individual or by another individual, or where animal tissue or organ replacement is not possible. The materials produced in the laboratory and called as biomaterial can be used to perform the function of the damaged region within the body and outside the body [2].

The most suitable biomaterials for loads to which the musculoskeletal system is exposed and the mechanical properties of this system are metal based materials. Pure or alloyed versions of metallic biomaterials are frequently used in surgical applications because of their high stability and fatigue resistance, their modulus of elasticity close to the system values and their easy sterilization. Titanium and its alloys are often used among other metal based biomaterials due to features thereof such having the best biocompatibility in the long-term implantation process, not causing allergic and toxic effects in the body and having low possibility of entering into chemical reactions by virtue of the passive layer on the surface thereof [1, 3, 4].

The surface of the material selected for implantation is coated with ceramic based biomaterials in order to providing surface biocompatibility by increasing the corrosion resistance and increase the surface activity at the grade of bonding with contact tissues. Especially in orthopedic practices, hydroxyapatite ceramics which contain calcium and phosphate atoms in the structure are often preferred for coating [3]. At our study is the biomimetic method preferred because of its price and manufacture advantage, the thin and resistant bioactive

layer doesn't change the surface morphology of the implant, be used on all implants including porous structures and screws [5].

HA coating on various biomaterials in SBF with biomimetic method have realized by Kokubo et al. for the first time in this field [6]. Taş, by virtue of the synthetic body fluid prepared thereby, achieved both the body temperature (37 °C) and the blood pH value (pH 7.4) in addition to working with ion values closer to ion values constituting the blood compared to the ion values of SBF prepared through Kokubo et al. [7]. In the studies conducted by Sepahvandi, Faure, Li and Xiaobo together with the colleagues, blood plasma values could be derived in some ions inside SBF environment [8 - 11]. But the values that were exactly the same as blood plasma values have performed by a new improved method for the first time by Pasinli et al. [12]. Aydın has used citric acid-sodium citrate tampon system for the first time in the literature and he has prepared a SBF solution that is equivalent to ionic values in blood plasma and more successful results were obtained [3]. Çağlayan and Kirman have realized successful results in their studies by accepting these pioneering studies as guides [13, 14]. The SBF ion values of these studies have shown in Table 1.

In this study, HA coating that is completely harmonious with the human blood plasma has been produced in glycolic acid - sodium gluconate environment by using biomimetic technic for the first time in literature and the related evaluations have been made.

2. MATERIALS AND METHOD

2.1. Choosing the Specimens

Ti6Al4V alloy is used in this study, which is frequently preferred on orthopedic practices as base specimen. The dimensions of the base specimens are 10x10x1.2 mm and

Table 1. Ion concentrations of synthetic body fluids and human blood plasma (mM)

(mM)	Na ⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	HPO ₄ ²⁻	SO ₄ ²⁻
Kokubo et al.	142.0	147.8	4.2	5.0	1.5	2.5	1.0	0.5
Taş	142.0	125.0	27.0	5.0	1.5	2.5	1.0	0.5
Sepahvandi et al.	142.0	147.8	4.2	5.0	1.5	2.5	1.0	0.5
Faure et al.	154.56	120.5	44.0	5.37	0.8	1.82	1.0	0.8
Li et al.	142.0	103.0	27.0	5.0	1.5	6.0	2.4	0.5
Xiaobo et al.	142.0	103.0	10.0	5.0	1.5	2.5	1.0	0.5
Pasinli et al.	142.0	103.0	27.0	5.0	1.5	2.5	1.0	0.5
Aydın	142.0	103.0	27.0	5.0	1.5	2.5	1.0	0.5
Çağlayan	142.0	103.0	27.0	5.0	1.5	2.5	1.0	0.5
Kirman	142.0	103.0	27.0	5.0	1.5	2.5	1.0	0.5
Human Blood Plasma	142.0	103.0	27.0	5.0	1.5	2.5	1.0	0.5

of Ø19x25.4 and Ø28x25.4 mm in accordance with the ASTM (American Society for Testing and Materials) F

3. RESULTS AND DISCUSSIONS

3.1. Mechanical Test Results

Table 2. The chemical composition of the Ti6Al4V material (ASTM F 1044-99)

Element	Ti	N	C	H	Fe	O	Al	V	Other
Wt.- %	Remaining	0.05	0.08	0.0125	0.25	0.13	5.5-6.5	3.5-4.5	0.1-0.4

Table 3. Mechanical features of the Ti6Al4V material (ASTM F 1658-95)

Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Elongation Ratio (%)	Shrink Ratio (%)
883	960	13	50

1044-99 and F 1658-95 standards. The chemical composition of the alloy is indicated in Table 2, the mechanical features in Table 3.

2.2. Preparation of Coating

In the study, specimens having Ti6Al4V alloy have been first sandpapered and then they were washed with pure water and then with acetone. The specimens that were also cleaned inside the ultrasonic bathroom have been waited for 1 day in the 100 mL 5M NaOH + 0.5 mL %35 H₂O₂ solution in drying-oven for being activated. Later on NaOH + H₂O₂ were transferred and the specimens were washed with pure water. After the surface activation, the base specimens are washed with pure water and left for drying at 60 °C for 24 hours. The specimens are converted ready for thermal treatment by wrapping these with aluminum folio in order to prevent an air contact after they dried. Then the specimens are placed into an oven and kept for 1 hour at a temperature of 600 °C and left for cooling down at room temperature. After this process is the SBF solution (2 L) stated in Table 4 prepared at a temperature of 37 °C and a pH value of ~7.4. Later are the coating processes by the biomimetic method performed by subjecting these separately at 37 °C to a shaking process in resting durations of 24, 48, 72 and 96 hours. The specimens are washed with pure water after the treatment and dried for 24 hours at 60 °C.

Table 4. Inorganic salts in the synthetic body fluid (total volume = 2 L)

Chemical Material	Quantity (mg)
KCl	746.0
NaCl	10519.2
Na ₂ HPO ₄ ·2H ₂ O	356.0
Na ₂ SO ₄	142.0
NaHCO ₃	4536.6
Na – Gluconate	4446.8
CaCl ₂ ·2H ₂ O	735.2
MgCl ₂ ·6H ₂ O	610.0
Na - Gluconate (76,818 g/L)1M	

Surface roughness values of the coatings have been measured in terms of µm with the Mitutoyo SurfStest SJ-301 device that is at Machine Engineering Laboratory in Celal Bayar University. Measurement interval and speed on coating were defined as 12.5 mm and 0.5 mm/s respectively. The measurement of each sample realised as per waiting periods of 24, 48, 72 and 96 hours in SBF were repeated five times and the average of results obtained was taken. Average surface roughness values obtained by measurement have been shown in Table 5.

Table 5. Variation of the roughness values of the coating surfaces of hydroxyapatite coated specimens depending on the coating durations

Surface Roughness [Ra] (µm)	
24 Hours	1.21 ± 0.785
48 Hours	1.59 ± 0.471
72 Hours	1.62 ± 0.148
96 Hours	2.59 ± 0.114

In the result of this performed study, it is determined that the surface roughness values progressively increased during terms of 24, 48, 72 and 96 hours. Hayakawa et al. have determined as a result of the measurement they performed the mean surface roughness of the HA coating they made on titanium material as 1.3 µm [15]. Yoshinari et al. have measured the mean surface roughness of the HA coating they made on titanium material as 1.1 µm [16]. Pasinli et al. have reported on their study that they have measured surface roughness values for 1 SBF, 1.5 SBF, 3 SBF as approximately between 1.8-2.0 µm, 2.0-2.4 µm and 2.0-2.8 µm depending on the concentration [12]. Citeau et al. also used titanium and HA in their studies and they have found the average surface roughness of coating as 1.57 µm [17]. Aydın et al. have measured the surface roughness values of the coatings generated by utilizing a new buffer system in the literature in resting durations of 24, 48, 72 and 96 hours in SBF as ~1.20, ~1.90, ~2.60 and ~3.85 µm respectively [18]. Aydın et al. used alanin - alanin sodium salt buffer system in another study and have measured surface roughness values of this study in resting durations of 24, 48, 72 and 96 hours in SBF as ~1.40 µm, ~2.22 µm, ~2.94 µm and ~3.27 µm respectively [19]. Surface roughness

values of coatings achieved through utilization of aminoacetic acid - sodium aminoacetate buffer system by Aydın et al. were found to be $\sim 0.81 \mu\text{m}$, $\sim 0.98 \mu\text{m}$, $\sim 1.03 \mu\text{m}$ and $\sim 1.44 \mu\text{m}$ respectively, at the same waiting period [20].

Thicknesses of HA coatings have been made with using glycolic acid - sodium gluconate buffer system have measured in terms of μm by using the ElectroPhysics Minitest 730/Sensor FN 1.5 HD branded device at Ege University, Ege Vocational School Laboratory. The measurement of each sample realized as per waiting periods of 24, 48, 72 and 96 hours in SBF were repeated five times and the average of results obtained was taken. Averages have been taken and shown in Table 6.

Table 6. Variation of the thicknesses values of the coating surfaces of hydroxyapatite coated specimens depending on the coating durations

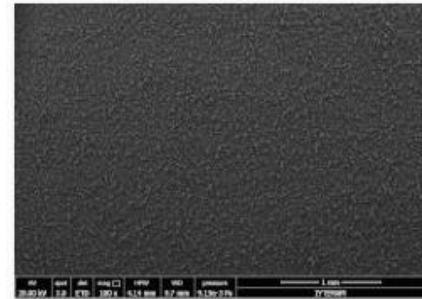
Coating Thicknesses (μm)	
24 Hours	3.99 ± 0.783
48 Hours	4.47 ± 0.655
72 Hours	4.95 ± 0.743
96 Hours	5.49 ± 0.332

Examining the coating results, it is, as evident from the table, to be seen that the thicknesses of the HA coating generated on the sample surface are increasing proportional with the resting duration in SBF. Şimşek has stated in their study that he has established an HA layer in SBF with a thickness varying between 10 to 100 μm [21]. Li et al. have used NaH_2PO_4 with the biomimetic method and converted the solution saturated by adding NaHCO_3 to the solution with high calcium and phosphate ion concentration and reported in their study that there was coating with a thickness of nearly 40 μm on the sample surface by the end of 24 hours [10]. Nagano et al. have noted in their study that they have generated a hydroxyapatite layer of 20 μm with the biomimetic method [22]. Pasinli et al. have obtained HA coatings with thicknesses of approximately 6.78 μm , 8.93 μm and 19.13 μm for 1 SBF, 1.5 SBF and 3 SBF respectively by using biomimetic technical [12]. Aydın et al. have stated that they have measured the coating thicknesses within the intervals 7-8 μm , 9-11 μm , 13-14 μm and 18-20 μm for the waiting periods of 24, 48, 72, and 96 hours in SBF [18]. Thicknesses of the coatings in the alanin – alanine sodium salt buffer solution were found to be 8.25 μm , 8.85 μm , 9.10 μm and 10.35 μm respectively, in work of Aydın et al. within the same periods of time [19]. Thicknesses of the coatings of Aydın et al., employing the aminoacetic acid - sodium aminoacetate buffer system also in their works, were reported to be 4.13 μm , 4.73 μm , 5.47 μm and 5.55 μm respectively [20].

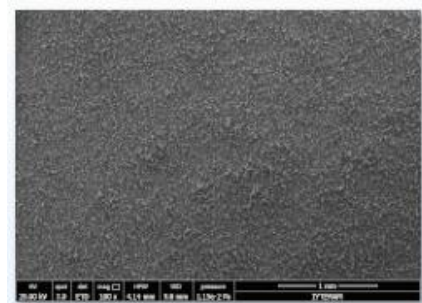
3.2. Results of Metallographic Analysis

Microscopic examinations of the surfaces of the hydroxyapatite coatings are performed by utilizing a

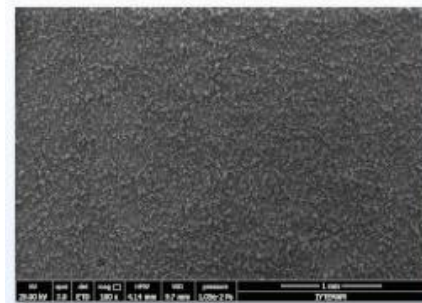
Philips XL 30S FEG (SEM) electron microscope with model scanning available at the Izmir High Technology Institute Material Research Centre. The 100X and 2500X images for each of the sample surfaces with performed 24, 48, 72 and 96 hours HA coating are given in Figure 1 and Figure 2.



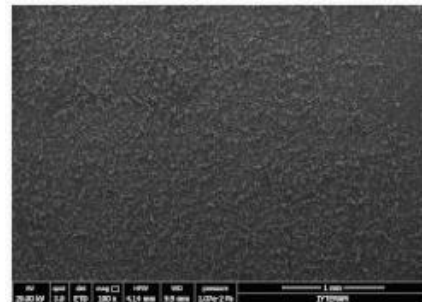
(a)



(b)



(c)



(d)

Figure 1. The SEM images of coatings generated in synthetic body fluid in a) 24 hours b) 48 hours c) 72 hours d) 96 hours resting durations (100X)

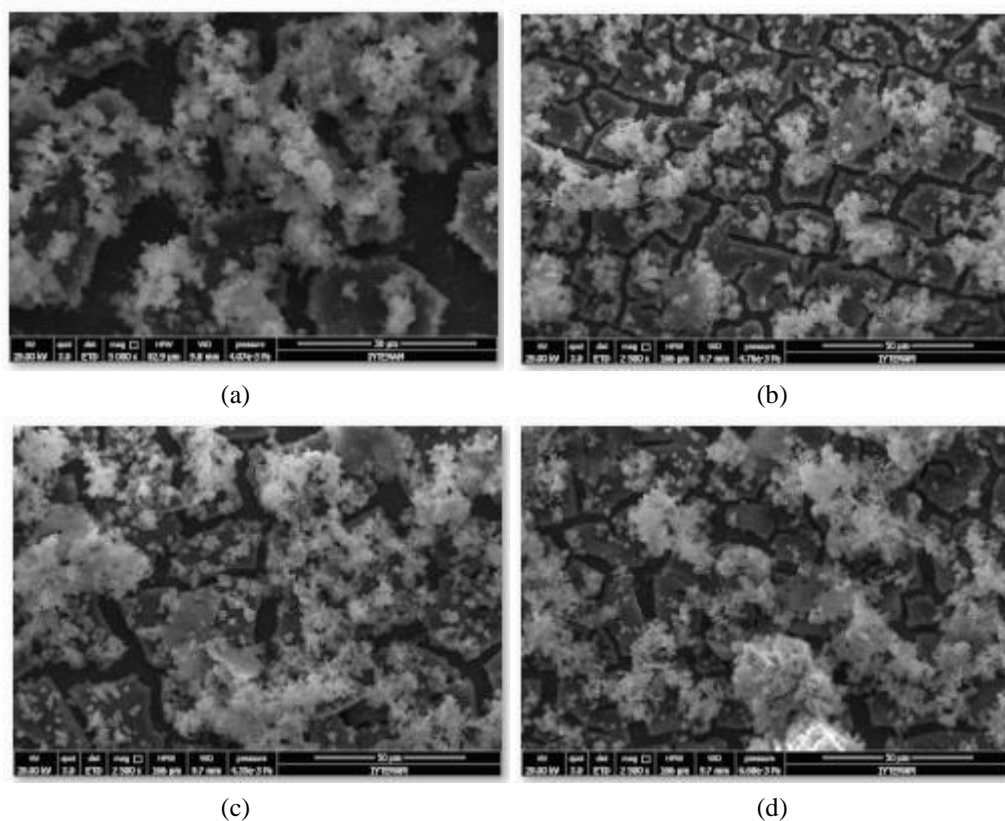


Figure 2. The SEM images of coatings generated in synthetic body fluid in a) 24 hours b) 48 hours c) 72 hours d) 96 hours resting durations (2500X)

For conducting elemental analysis of coating surfaces, Philips XL 30S FEG model electron microscope with scan has been used. As this microscope has EDX detector, it is also used for determining elemental content of structures. EDS results of coatings obtained during

waiting periods of 24, 48, 72 and 96 hours in SBF solution are shown in Figure 3. – Figure 6. When EDS results are reviewed, it is seen that there are calcium and phosphate structures on HA coated surfaces.

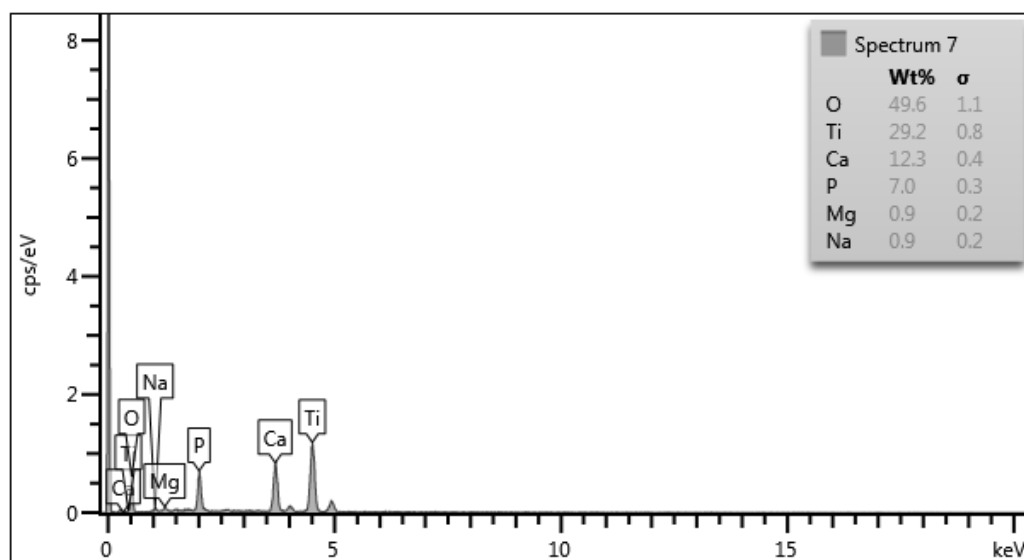


Figure 3. EDS analysis results of coating surfaces obtained by waiting for 24 hours in synthetic body fluid

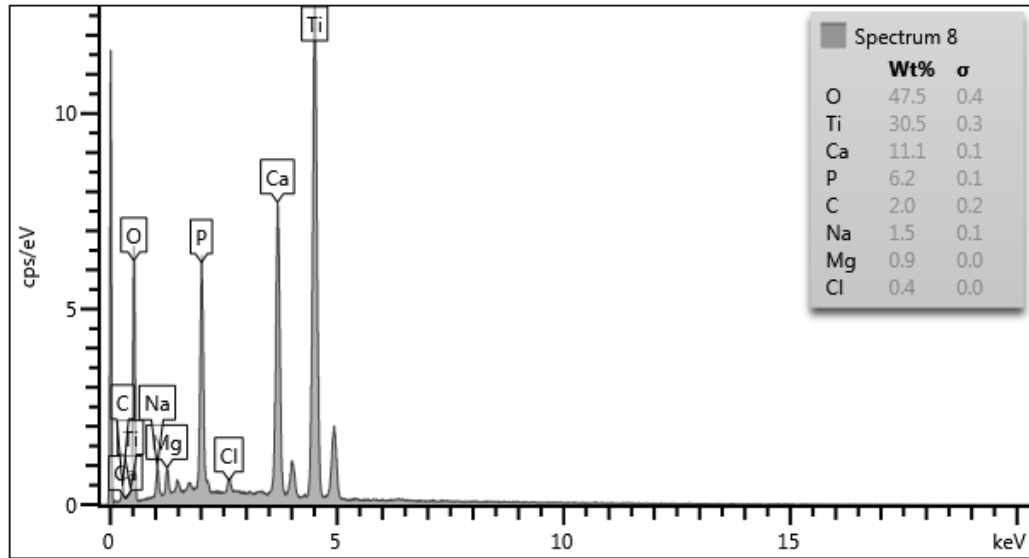


Figure 4. EDS analysis results of coating surfaces obtained by waiting for 48 hours in synthetic body fluid

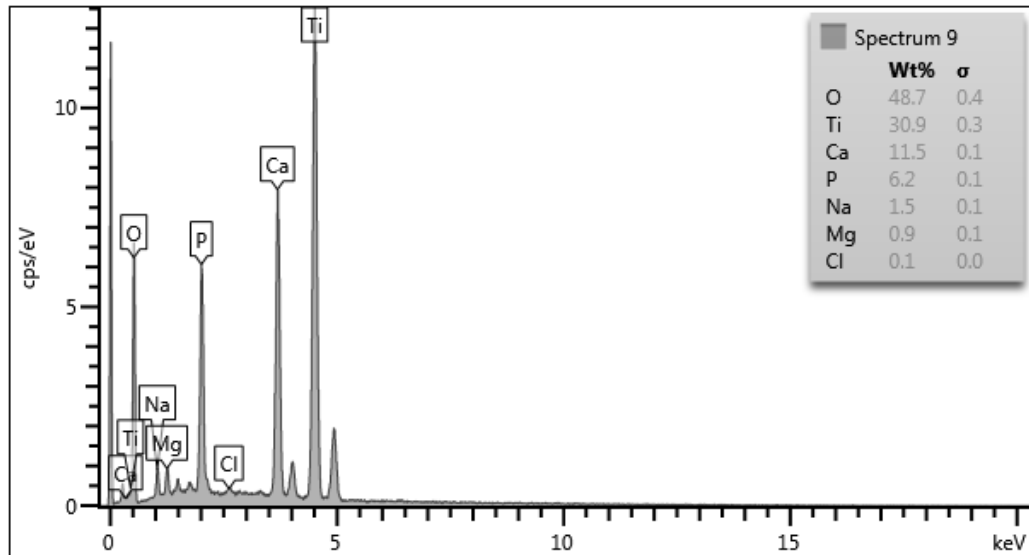


Figure 5. EDS analysis results of coating surfaces obtained by waiting for 72 hours in synthetic body fluid

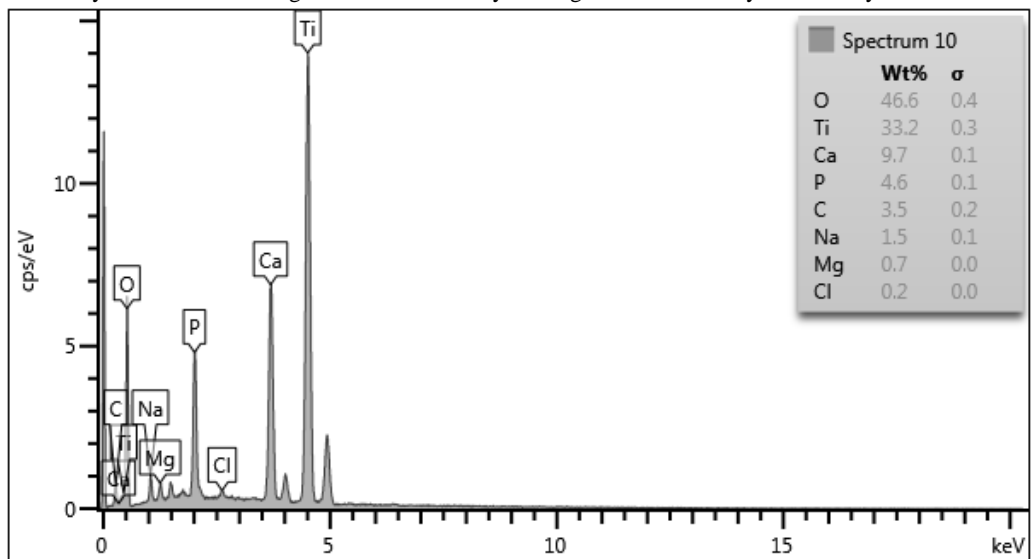


Figure 6. EDS analysis results of coating surfaces obtained by waiting for 96 hours in synthetic body fluid

According to the study of Urist et al. is bone in nature consisting of bone cells with extracellular matrix of which the carrier system for morphogenetic proteins is embedded in an apathetic calcium phosphate skeleton at a ratio of 1.66 Ca/P [23]. With EDS analysis, weight percentages of atomic structures on the coating surfaces have been obtained. The ratios of % Ca values to % P values were calculated and shown in Table 7.

Table 7. Ca/P values that change depending on waiting periods in synthetic body fluid

Ca/P ratio	
24 Hours	1.75
48 Hours	1.78
72 Hours	1.85
96 Hours	2.11

It is determined that the ideal Ca/P value in resting durations of 24, 48, 72 and 96 hours in our solution we prepared for the first time in the literature in an glycolic acid - sodium gluconate environment was achieved in 24 hours and that it was departed from this ratio in the other time periods. Despina et al. have reported the Ca/P ratio of the hydroxyapatite coating they prepared as 1.65 [24]. Xiaobo et al. have applied a calcium phosphate coating in SBF on Ti120, Ti240, Ti600 and Ti1200 materials and obtained Ca/P ratio results of 1.73 for Ti120 material, 1.72 for Ti240 material, 1.69 for Ti600 material and 1.70 for Ti1200 material. The Ca/P ratios for calcium

coating they realized on Ti6Al4V as 1.26 [12]. Aydın et al. have obtained with a resting duration of 24, 48, 72 and 96 hours in SBF solution Ca/P ratios of 1.58, 1.66, 1.69, 2.19 respectively [18]. 2.02, 2.25, 2.85 and 2.51 were determined, respectively, within the same periods of time in SBF in the coatings of Aydın et al, made by employing the aminoacetic acid - sodium aminoacetate buffer system [20]. Aydın et al. have reported that the Ca/P ratios of the coatings they made in the alanin – alanine sodium buffer environment were 1.81, 1.93, 2.01 and 2.10, respectively [19].

The device of the model PANalyticalEmpyrean available at the Celal Bayar University, Experimental Natural Sciences Application and Research Centre (DEFAM) is utilized for the XRD test. The test results obtained with the performed application are given in Figure 7.

According to the test results developed the HA crystals at peak (002) 26.030°, peak (120) 29.65°, peak (121) 31.956°, peak (030) 33.08°, peak (310) 39.641°, peak (312) 47.897°, peak (123) 49.63° and (004) 53.519°. The 2 Theta crystals have been formed at peak (101) 15.758°, peak (201) 24.664°, peak (002) 26.096°, peak (030) 32.485°, peak (310) 39.641°, peak (312) 47.897°, peak (014) 54.611° and peak (224) 67.090°. Takadama et al. have construed the peaks at 2 Theta = 23.31° and 48° at their XRD analysis in addition to the Ti peaks due to the sodium titanate (Na₂Ti₅O₁₁) and rutile (TiO₂) crystals [26]. Barrere et al. have noted in their study that after a resting of 24 hours in their solution with high concentration (5 SBF) at the 2 Theta = 32.03° peak (211), (112), (300) and (202) HA crystals developed [27].

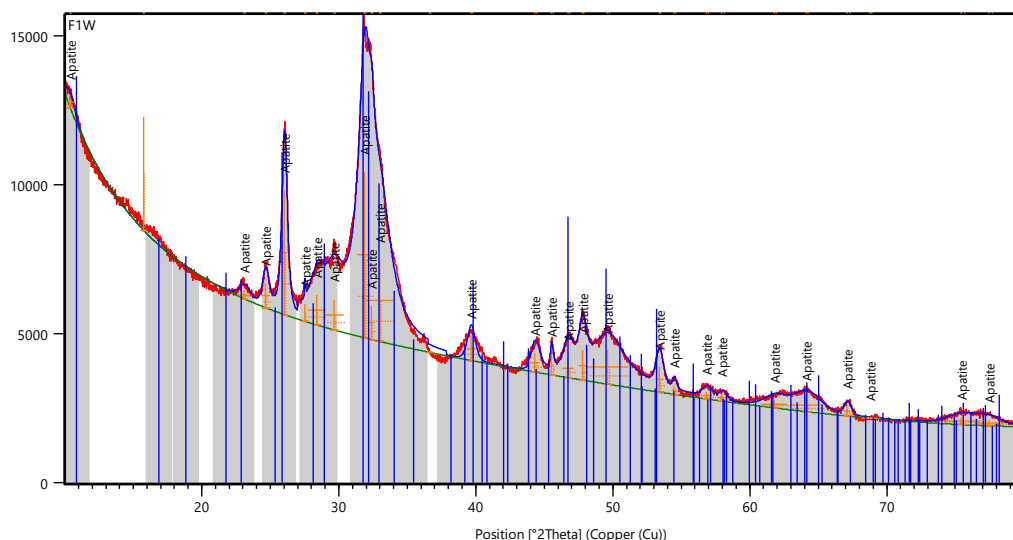


Figure 7: XRD analysis results

phosphate solutions in 10xSBF solutions are calculated to be 1.67, 1.62, 1.65 and 1.63 respectively [11]. Han et al. have determined calcium phosphate components (Ca(OH)₂, CaHPO₄ and HA) inside synthe-sised powder with a ratio of 1.57 Ca/P using the hyro-thermal method (for 30 minutes with 600 bar and 300 °C) [25]. Pasinli et al. have reported the Ca/P ratio of the calcium phosphate

Pasinli et al. have stated in their study that in the XRD results of the Ti6Al4V alloys with hydroxyapatite surface coating performed by resting these in SBF solutions at different concentrations the hydroxyapatite crystals of the titanium crystals developed at peak points of (002) 25.70°, (210) 29.32°, (211) 32.14°, (310) 40.34° and (113) 43.30° respectively [12]. HA crystals of the coatings

created during 24 hour waiting period in the SBF solution were (102) 53.90° peak, (110) 62.88° peak, (103) 70.53° peak, (112) 76.12° peak respectively, 48 hour waiting period in the SBF solution were (102) 52.79° peak, (110) 62.80° peak, (103) 70.43° peak and (201) 76.01° peak respectively, 72 hour waiting period in the SBF solution (102) 52.89° peak, (110) 62.84° peak and (103) 70.49° peak respectively, 96 hour waiting period in the SBF solution (211) 52.80° peak, (119) 62.83° peak, (0210) 70.46° peak and (128) 76.67° peak respectively in the coatings made by Aydın [3]. HA crystals created (201) 25.336° peak, (201) 25.40° peak, (121) 29.55° peak, (121) 29.625° peak, (301) 35.9765° peak, (302) 42.636° peak, (113) 42.747° peak in the coatings made by Aydın et al. through utilization of aminoacetic acid - sodium aminoacetate buffer system [20]. Aydın et al. have reported that HA crystals created (002) 26.1010° peak, (121) 31.884° peak, (112) 31.965° peak, (030) 32.59° peak, (203) 45.580° peak, (222) 46.97° peak, (123) 49.71° peak and (004) 53.43° peak in the coatings made in the alanin – alanine sodium salt buffer environment [19].

4. RESULTS

As a result is at our study is a SBF solution in glycolic acid - sodium gluconate environment not to have a toxic effect in human body for the first time in the literature is prepared and HA coating processes by the biomimetic method are performed. HA coating was realized at 37 °C and pH = 7.4 by using lactic acid / Na - lactate buffer system by Pasinli et al. for the first time in literature at an environment which is fully compatible with human blood plasma. Successful results were obtained by working at 37 °C and pH = 7.4 at an environment which is fully compatible with human blood plasma which is nontoxic for the human body in citric acid / Na - citrate buffer environment within the context of Aydın's PhD thesis and contribution was made to the literature. These two pioneering studies were accepted as guide and a similar recipe was applied in this study and all values in human blood plasma were realized in this new buffer system. Furthermore NaOH was used with H₂O₂ to activate the chemical base. When the test results are examined, it is understood that the produced coatings give successful results compared to the data in the literature. Based on the results of this study, biomaterials were obtained that could be applied to the industry and one more step was taken hydroxyapatite coated implant production in a biocompatible environment by using the biomimetic method.

Acknowledgements

This work was supported by Celal Bayar University Scientific Research Projects (BAP).

REFERENCES

- Özkurt B. and Tabak A. Y., "Metallic biomaterials and metallosis", *Journal of TOTBİD*, 10(2): 83-86, (2011).

- Pasinli A. and Aksoy R. S., "Hydroxyapatite for artificial bone applications", *Biotechnology Magazine*, 1: 41-51, (2010).
- Aydın İ., "An investigation of fracture and wear behavior of HA coatings deposited onto Ti6Al4V alloys in a new environment", *PhD Thesis*, Celal Bayar University, Institute of Science, (2013).
- Aydın İ., Çetinel H., Pasinli A. and Yüksel M., "Fracturing and adhesion behavior of hydroxyapatite formed by a citric acid and sodium citrate buffer system", *Materials Testing*, 58(2): 1 - 6, (2016).
- Pasinli A., "Hydroxyapatite for artificial bone applications", *Electronic Journal of Machine Technologies*, 25 - 35, (2004).
- Kokubo T., Kim H. M., Miyaji F., Takadama H. and Miyazaki T., "Ceramic-metal and ceramic-polymer composites prepared by a biomimetic process", *Composites Part A, Applied Science and Manufacturing*, 30: 405-409, (1999).
- Taş A. C., "Synthesis of biomimetic Ca-hydroxyapatite powders at 37 °C in synthetic body fluids", *Biomaterials*, 21: pp. 1429-1438, (2000)
- Sepahvandi A., Moztarzadeh F., Mozafari M., Ghaffari M., and Raee N., "Photoluminescence in the characterization and early detection of biomimetic bone-like apatite formation on the surface of alkaline-treated titanium implant", *State of the art. Biointerfaces*, 86: 390-396, (2011).
- Faure J., Balamurugan A., Benhayoune H., Torres P., Balossier G. and Ferreira J. M. F., "Morphological and chemical characterization of biomimetic bone like apatite formation on Ti6Al4V titanium alloy", *Materials Science and Engineering*, 29: 1252-1257, (2009).
- Li F., Feng Q. L., Cui F. Z., Li H. D. and Schubert H., "A simple biomimetic method for calcium phosphate coating", *Surface & Coating Technology*, 154: 88-93, (2002).
- Xiaobo C., Yuncang L., Peter D. H. and Cui'e W., "Microstructures and bond strengths of the calcium phosphate coatings formed on titanium from different simulated body fluids", *Materials Science and Engineering*, 29: 165-171, (2009).
- Pasinli A., Yüksel M., Çelik E., Şener S. and Taş C. A., "A new approach in biomimetic synthesis of calcium phosphate coatings using lactic acid-Na lactate buffered body fluid solution", *Acta Biomaterialia*, 6: 2282-2288, (2010).
- Çağlayan M. E., "Hydroxyapatite coating of Ti6Al4V alloys in alanin - alanine sodium salt environment with biomimetic method and observing of some features", *M.Sc. Thesis*, Celal Bayar University, Institute of Science, (2016).
- Kırman M., "Coating Ti6Al4V alloy by hydroxyapatite through biomimetic method using aminoacetic acid - sodium aminoacetate buffer system and examination of features of the coating", *M.Sc. Thesis*, Celal Bayar University, Institute of Science, (2016).
- Hayakawa T., Yoshinari M., Kiba H., Yamamoto H., Nemoto K., Jansen J. A., "Trabecular bone response to surface roughened and calcium phosphate (Ca-P) coated titanium implants", *Biomaterials*, 23: 1025-1031, (2002).
- Yoshinari M., Oda Y., Inoue T., Matsuzaka K., Shimono M., "Bone response to calcium phosphate coated and

- bisphosphonate immobilized titanium implants”, *Biomaterials*, 23: 2879 – 2885, (2002).
17. Citeau A., Guicheux J., Vinatier C., Layrolle P., Nguyen T. P., Pilet P. and Daculsi G., “In vitro biological effects of titanium rough surface obtained by calcium phosphate grid blasting”, *Biomaterials*, 26: 157 – 165, (2005).
 18. Aydın İ., Çetinel H., Pasinli A., and Yüksel M., “Preparation of hydroxyapatite coating by using citric acid sodium citrate buffer system in the biomimetic procedure”, *Materials Testing*, 58(2): 140 – 145, (2013).
 19. Aydın İ., Çağlayan M. E. and Pasinli A., “Hydroxyapatite coating of Ti6Al4V alloys in alanin - alanine sodium salt environment with biomimetic method”, *Celal Bayar University Journal of Science*, 12(2): 201 – 207, (2016).
 20. Aydın İ., Kırman M. and Pasinli A., “Coating Ti6Al4V alloy by hydroxyapatite through biomimetic method using aminoacetic acid - sodium aminoacetate buffer system and examination of features of the coating”, *1st International Mediterranean Science and Engineering Congress*, 26 - 28 October, Adana, Turkey, (2016).
 21. Şimşek F. A., “Chemical preparation of calcium hydroxyapatite in synthetic body fluids at 37 °C and its use for coating some metal surfaces”, *M.Sc. Thesis*, Middle East Technical University, Institute of Science, 1-107, (1997).
 22. Nagano M., Kitsugi T., Nakamura T., Kokuba T. and Tanahashi M., “Bone bonding ability of an apatite coated polymer produced using a biomimetic method: A mechanical and histological study in vivo”, *Journal of Biomedical Materials Research Part A*, 32: 487-494, (1996).
 23. Urist M. R., Lietze A. and Dawson E., “ β tricalcium delivery system for bone morphogenetic protein”, *Clinical Orthopedics and Related Research*, 187: 227-280, (1984).
 24. Despina D. Deligianni, Nikoleta D. Katsala, Petros G. Koutsoukos and Yiannis F. Missirlis., “Effect of surface roughness of hydroxyapatite on human bone marrow cell adhesion, proliferation, dilifferentiation and detachment strength”, *Biomaterials*, 22: 87 – 96, (2001).
 25. Han J. K., Song H.Y., Saito F. and Lee B. T., “Synthesis of high purity nano-sized hydroxyapatite powder by microwave-hydrothermal method”, *Materials Chemistry and Physics*, 99: 235 – 239, (2006).
 26. Takadama H., Kim H. M., Kukuba T. and Nakamura T., “TEM-EDX study of mechanism of bonelike apatite formation on bioactivite titanium metal in simulated body fluid”, *Journal of Biomedical Materials Research*, 57: 441 – 448, (2001).
 27. Barrere F., Van Blitterswijk C. A., Groot K. and Layrolle P., “Influence of ionic strength and carbonate on the Ca-P coating formation from SBFx5 solution”, *Biomaterials*, 23: 1921 – 1930, (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>

Effects of frequency and bias voltage on dielectric properties and electric modulus of Au/Bi₄Ti₃O₁₂/n-Si (MFS) capacitors

Yazar(lar) (Author(s)): Perihan DURMUŞ, Çiğdem BİLKAN, Mert YILDIRIM

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Durmuş P., Bilkan Ç. and Yıldırım M., “Effects of frequency and bias voltage on dielectric properties and electric modulus of Au/Bi₄Ti₃O₁₂/n-Si capacitors”, *Politeknik Dergisi*, 20(4): 1003-1008, (2017).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.369147

Effects of Frequency and Bias Voltage on Dielectric Properties and Electric Modulus of Au/Bi₄Ti₃O₁₂/n-Si (MFS) Capacitors

Araştırma Makalesi / Research Article

Perihan DURMUŞ^{1,*}, Çiğdem BİLKAN¹, Mert YILDIRIM²

¹Department of Physics, Gazi University, 06500, Ankara, Turkey

²Department of Mechatronics Engineering, Düzce University, 81620, Düzce, Turkey

(Geliş/Received : 18.11.2016 ; Kabul/Accepted : 05.01.2017)

ABSTRACT

In this work, a metal-ferroelectric-semiconductor (MFS) type capacitor was fabricated and admittance measurements were held in a wide frequency range of 1 kHz-5 MHz at room temperature for the investigation of frequency and voltage dependence of complex dielectric constant, complex electric modulus and electrical conductivity of the MFS capacitor. Bismuth titanate (Bi₄Ti₃O₁₂) with high dielectric constant was used as interfacial ferroelectric material and the structure of MFS capacitor was obtained as Au/Bi₄Ti₃O₁₂/n-Si. Experimental results showed that dielectric, modulus and conductivity parameters are strong functions of frequency and voltage especially in depletion and accumulation regions due to the existence of surface states (N_{ss}), series resistance (R_s), interfacial polarization and interfacial layer. It was found that R_s of the structure and interfacial ferroelectric layer are effective in accumulation region whereas surface states (N_{ss}) and interfacial polarization are effective in depletion region. Also the changes in dielectric, modulus and conductivity parameters become considerably high particularly at low frequencies due to high values of R_s and N_{ss}. The observed anomalous peak in voltage dependent plots of capacitance and dielectric constant was attributed to the particular density distribution of N_{ss}, R_s and minority carrier injection. Moreover, the value of conductivity at low and intermediate frequencies is almost independent of frequency thus low frequency data was used to extract d.c. conductivity. This work showed that the use of high-dielectric Bi₄Ti₃O₁₂ as ferroelectric interfacial layer in a MFS capacitor is preferable due to high values of its dielectric constant compared with traditional insulator layer materials such as SiO₂ and SnO₂. Therefore, a MFS capacitor with Bi₄Ti₃O₁₂ interfacial layer can store more energy thanks to its high dielectric constant.

Keywords: MFS capacitors, frequency and voltage dependence, surface states and interfacial polarization, dielectric properties and electrical modulus.

1. INTRODUCTION

Electrical and dielectric properties of metal-semiconductor (MS) type structures with an insulator, polymer and ferroelectric interlayers are usually different from the ideal case of conventional MS structures especially due to barrier inhomogeneity and variations in the energy dependent surface states (N_{ss}) and concentration of doping atoms as a result of growing interlayer. Therefore, there has been a great effort for enhancing the performance metal-semiconductor (MS) structures by using interfacial materials with high dielectric constant such as TiO₂ [1-3] Bi₃Ti₄O₁₂ (BTO) [4,5], BaTiO₃ [6], (graphene-oxide-doped PrBaCoO nanoceramics) [7], (7% graphene doped-PVA) [8] and (Al₂O₃/Ga₂O₃(Gd₂O₃)) [9]. Among these various interlayer materials, ferroelectrics come forward since not only it provides high dielectric constant but also it is suitable for photodiode and non-volatile memory applications [10]. These device applications mostly utilize metal-ferroelectric-semiconductor (MFS) structures therefore the study of metal-ferroelectric-semiconductor (MFS) structures is important. During admittance measurements, MFS structures behave like a series combination of typical parallel plate capacitors in

the high frequency limit. Therefore, charge storage ability of the capacitor also depends on the dielectric constant of the ferroelectric material. Therefore, the capacitance is given by $\epsilon'\epsilon_0 A/d$ where ϵ' is dielectric constant, ϵ_0 is permittivity of vacuum, A is capacitor area and d is the thickness of interfacial layer. Modifying the capacitance through changing the values of A and d is limited due to high space coverage and operating voltage in electronic devices [9,11], on the other hand charge storage ability of the capacitor is enhanced by using materials with high dielectric constant. It must also be noted that surface states (N_{ss}) with energies that correspond to forbidden band gap are formed in a way that they are in equilibrium with the semiconductor [12-15]. Nevertheless, the effect of N_{ss} is minimized by performing the admittance measurements at high frequencies.

When the thickness of interfacial ferroelectric layer is small, the device behaves like a typical Schottky barrier diode which could be utilized as photodiode, solar cell, and alike. However, when the thickness is sufficiently large, it becomes difficult for the charges on metal and semiconductor to exchange, hence the charge storage feature of the MFS structure comes forward, and therefore MFS structure basically behaves like a MFS capacitor which could be utilized in ferroelectric field effect transistors [16-19]. Like the other kinds of MS structures with various interlayer materials, the

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : pdurmuz@gazi.edu.tr

performance and reliability of a MFS structure are dependent of various factors/parameters such as the interfacial layer thickness, its homogeneity and dielectric constant, the process of surface preparation or fabrication processes, doping concentration of donor or acceptor atoms (N_D or N_A), barrier formation at M/S interface and its homogeneity, density of N_{ss} or dislocations at interlayer/semiconductor interface, series resistance (R_s) of device, as well as measurement conditions such frequency of a.c. signal, applied bias voltage and device temperature [20-24].

The aim of this study is to investigate the effects of frequency and applied bias voltage on the dielectric properties, electric modulus and electrical conductivity of Au/Bi₄Ti₃O₁₂/n-Si (MFS) capacitors. For this purpose, admittance measurements were carried out in wide frequency (1 kHz-5 MHz) and bias voltage (± 4 V) ranges at room temperature. Obtained capacitance (C) and conductance (G) data were utilized for calculating dielectric, electric modulus and electrical conductivity parameters. Dependence of these parameters on frequency and bias voltage was clear. The bias voltage dependence was explained by the effects of R_s , N_{ss} and interfacial BTO layer whereas the frequency dependence was explained by Maxwell-Wagner polarization.

2. EXPERIMENTAL DETAILS

Au/Bi₄Ti₃O₁₂/n-Si (MFS) capacitor was fabricated using phosphor doped single crystal Si wafer with diameter of 3 inches, orientation of (111) and thickness of ~ 300 μ m. Before the fabrication, n-Si wafer was cleaned in a mixture of a peroxide-ammoniac solution and then in H₂O+HCl solution for 10 min and then it was thoroughly rinsed in deionized-water with 18 M Ω cm resistivity in an using an ultrasonic bath for 15 minutes. After the cleaning process, the wafer was immediately taken into thermal evaporator in which highly pure (99.999%) Au metal was evaporated onto the whole back side of n-Si wafer at 10^{-6} Torr. Thus, 200 nm gold layer was grown on the wafer. However it needed to be annealed at 450 $^{\circ}$ C for 5 min in N₂ atmosphere to get an ohmic contact with low resistivity by sintering the Au layer. After the formation of ohmic contact, Bi₄Ti₃O₁₂ ferroelectric interfacial layer was deposited on the front side of n-Si wafer by RF magnetron sputtering using a hot

compacting of Bi₄Ti₃O₁₂ powder of a stoichiometric composition as a target material. The mixture of argon (Ar) and oxygen (O₂) was used as working medium and the substrate was kept at 650 $^{\circ}$ C. Thickness of the deposited BTO layer was measured with Veeco Dektak 6 M thickness profilometer as 540 nm. Finally, circle-shaped pure Au (99.999%) front contacts with diameter of 1 mm were deposited through same thermal evaporation system and conditions. Thus, 200 nm gold layer was grown on BTO layer so that the fabrication of MFS capacitor is completed. In order to perform admittance measurements, the fabricated Au/Bi₄Ti₃O₁₂/n-Si (MFS) capacitor was mounted on a copper holder with the help of silver dag and later the electrical contact with one of the front contacts was ensured by the use of thin silver coated Cu wires with the help of silver paste. C-V-f and G/ ω -V-f data was obtained by using a HP4192A LF impedance analyzer between -4 V and $+4$ V at room temperature. During the measurements, the MFS capacitor was applied with a small a.c. test signal of 40 mV_{rms} in a wide frequency range of 1 kHz and 5 MHz. All measurements were carried out with the help of a microcomputer through an IEEE-488 ac/dc converter card.

3. RESULT AND DISCUSSION

Admittance spectroscopy has proven to be an efficient tool for characterizing electrical parameters such as traps, series resistance, doping concentration, barrier height, depletion width and dielectric parameters of Schottky barrier diodes (SBDs) and capacitors of the similar heterostructure. For this purpose, admittance measurements were held in a wide frequency and/or temperature range. Figure 1 (a) and (b) show C-V and G/ ω -V plots of Au/Bi₄Ti₃O₁₂/n-Si capacitor, respectively.

These plots clearly exhibit inversion, depletion and accumulation regions just like a typical SBD. There is a peak behavior just after the depletion region for C-V curves at low frequencies and then the capacitance value drops rapidly particularly for the data measured at 1 kHz. Such peak behavior is common for the structures that has interfacial layer of insulator type. On the other hand, the decrease after the peak is stronger at low frequencies because of R_s of the capacitor. Another reason of peak

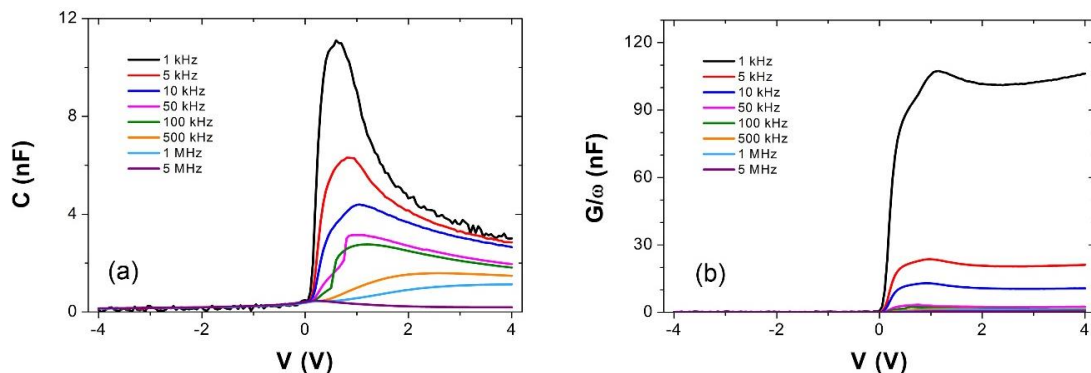


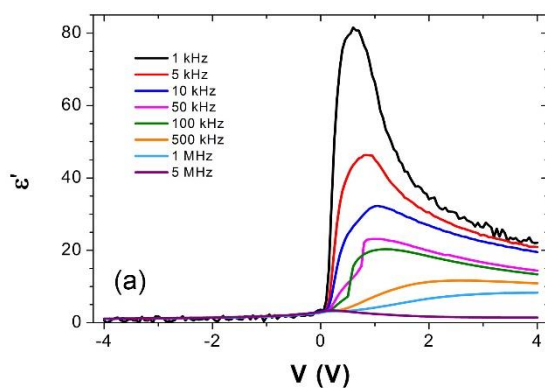
Figure 1. (a) C-V and (b) G/ ω -V plots of the MFS capacitor at different frequencies.

behavior at low frequencies is due to the effect of N_{ss} because excess capacitance and conductance is yielded for admittance data measured at low frequencies. This effect also shows itself in G/ω -V plots such that higher conductance values are obtained at low frequencies due to the contribution of excess conductance formed by N_{ss} . The effects of R_s and N_{ss} on capacitance and conductance is important since dielectric parameters are calculated using the measured capacitance and conductance values. This is also because the applied bias on the semiconductor device is shared by R_s , N_{ss} and interfacial layer. However, while the value of R_s on the C-V and G/w -V is effective only the accumulation region, surface states (N_{ss}) are effective both in inversion and depletion regions. When the life time of surface states is lower than the period (T), the charges at surface states can easily follow the external ac signal and yield an excess capacitance and conductance to their measured value. Therefore, this effect becomes more effective in the low and intermediate frequency regions ($T=1/f$) and at enough high frequencies ($f \geq 500$ kHz) the effect of N_{ss} can be neglected low. Because, the life time of surface states (τ) at high frequencies becomes higher than T. Nicollian and Brew suggested that real part of impedance in the high accumulation region yields R_s , thus R_s values were calculated using the equation below [21];

$$R_s = \frac{G}{G^2 + \omega^2 C^2}$$

In addition, Fonash's method [25] was utilized for the calculation of N_{ss} values which can be calculated by the following equation;

$$\alpha = \frac{qdN_{ss}}{\epsilon_i}$$



increasing frequency. As the frequency of a.c. signal is increased, period of the signal gets smaller and after some point it becomes smaller than the time constant of interface states. Therefore, interface states cannot follow the a.c. signal and contribution of excess capacitance is minimized. R_s values also decrease with increasing frequency in consistency with the increasing conductance values with increasing frequency.

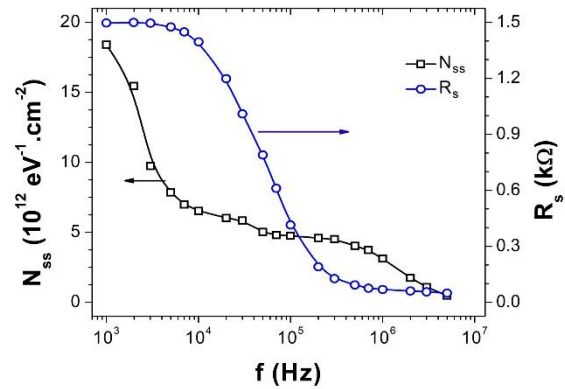


Figure 2. Frequency dependence of N_{ss} and R_s of the MFS capacitor.

It is well known that permittivity (ϵ^*) consists of real and imaginary parts such that it is equal to $\epsilon' - i\epsilon''$ where ϵ' is a measure of the capacitor's ability to store charge and ϵ'' is associated with the energy dissipation, and they are referred as dielectric constant and dielectric loss, respectively. These parameters are calculated on the basis that fabricated MFS device is literally a combination of parallel plate capacitor, thus dielectric constant and dielectric loss are obtained by using the following equations [1,2,3,5,7,8];

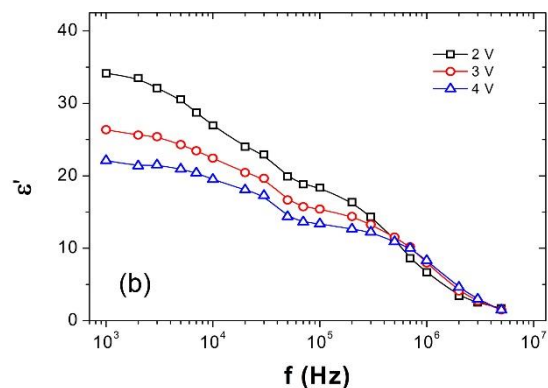


Figure 3. (a) ϵ' -V and (b) ϵ' -f plots of the MFS capacitor.

where ϵ_i is dielectric constant of insulating BTO layer, q is electronic charge, d is the thickness of insulating BTO layer and α is a parameter given by $(1-c_2)/c_2$ where c_2 corresponds to the ratio of experimental value of doping concentration to its theoretical value ($7,837 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$) such that the experimental value can be extracted from the slope of C^2 -V curves [4]. Figure 2 shows frequency dependence of N_{ss} and R_s of Au/ $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ /n-Si capacitor. As previously discussed, N_{ss} values decrease with

$$\epsilon' = \frac{C}{C_o}$$

$$\epsilon'' = \frac{G}{\omega C_o}$$

Here C_o is the capacitance of empty capacitor and equals to $\epsilon_o A/d$ where ϵ_o is permittivity of vacuum ($8.85 \times 10^{-14} \text{ F/cm}$) and A is the area of front contact. Bias voltage and

frequency dependent plots of dielectric constant of Au/Bi₄Ti₃O₁₂/n-Si (MFS) capacitor is given in Figure 3 (a) and (b) respectively. Similarly, bias voltage and frequency dependent plots of dielectric loss of the MFS capacitor are given in Figure 4 (a) and (b), respectively.

that the latter is reciprocal of the former, i.e. $M^* = 1/\epsilon^*$ [1,2,3,5,7,8], therefore real and imaginary parts of electric modulus are calculated using the following equation;

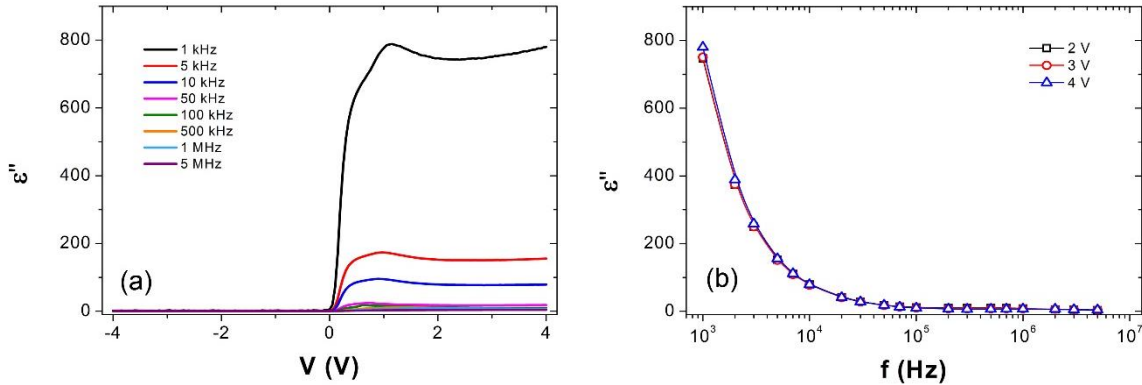


Figure 4. (a) ϵ'' -V and (b) ϵ'' -f plots of the MFS capacitor.

Voltage dependence of these dielectric parameters resembles to that of admittance data. Therefore similar peak behavior is observed at low frequencies due to high values of R_s and N_{ss} . In Figure 3 (b) and Figure 4 (b), it is clear that ϵ' and ϵ'' decrease with increasing frequency. ϵ' also shows strength of polarization in the studied material. It is well known that polarization is comprised of interfacial polarization, dipolar polarization, ionic polarization and electronic polarization. Last three polarization types exist in the whole frequency range of a.c. signal of applied to the MFS capacitor. However, contribution of interfacial polarization, which is also called as Maxwell-Wagner polarization, to total polarization disappears as the frequency goes up to MHz level. Therefore, we observe a gradual decrease in ϵ' values with increasing frequency. On the other hand, there is a rapid decrease for ϵ'' values with no sign of relaxation. Nevertheless, it might be masked due to conductivity of the MFS capacitor, hence dielectric properties of Au/Bi₄Ti₃O₁₂/n-Si (MFS) capacitor are further explored using electric modulus (M^*) approach. The relation between permittivity and electric modulus is

$$M^* = M' + iM'' = \frac{\epsilon'}{\epsilon'^2 + \epsilon''^2} + i \frac{\epsilon''}{\epsilon'^2 + \epsilon''^2}$$

Figure 5 (a) and (b) show bias voltage and frequency dependent plots of M' , and same plots of M'' are shown in Figure 6 (a) and (b), respectively. The reciprocal behavior of modulus plots is particularly clear for the frequency dependent plots. The increase in these parameters with increasing frequency is already expected for this reason. Besides, M'' -f plots reveal peaks as can be seen in inset of Figure 6 (b). Such peak behavior of M'' data is associated with the relaxation of the sample. Therefore, it can be said that relaxation frequency of the sample is around 70 kHz.

When the MFS capacitor is applied with a.c. signal, its electrical conductivity is referred as a.c. conductivity (σ_{ac}). The values of σ_{ac} were calculated using the equation $\sigma_{ac} = \omega \epsilon'' \epsilon_0$ [1,2,3,5,7,8] and its bias voltage dependence is given in Figure 7 (a). The MFS capacitor yields much larger conductivity values in the forward bias region compared to reverse bias region because the MFS

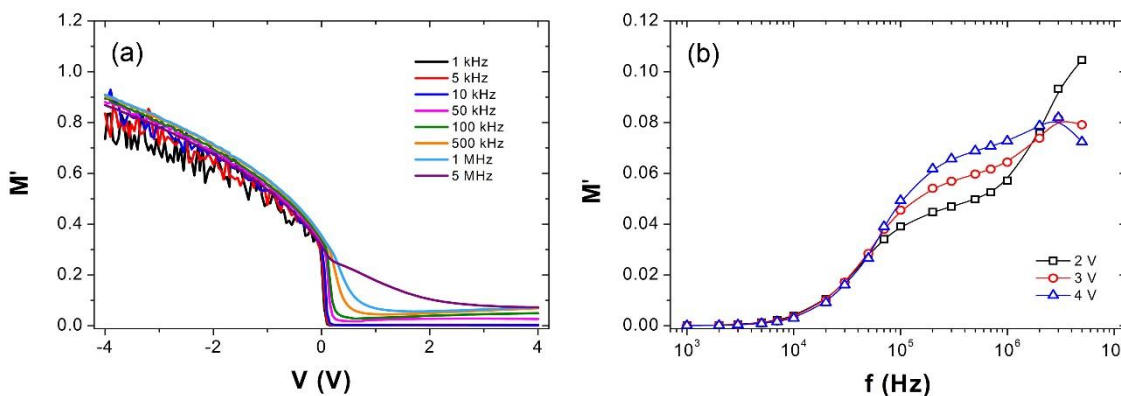
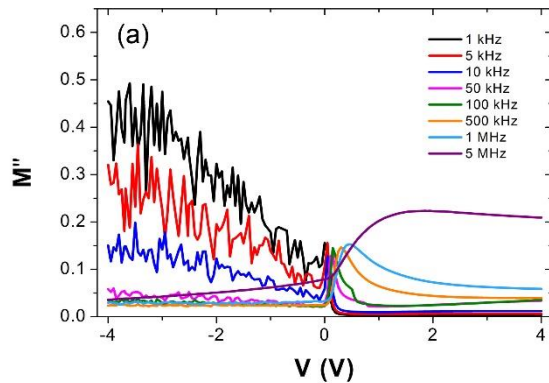


Figure 5. (a) M' -V and (b) M' -f plots of the MFS capacitor.

capacitor is in the form of a Schottky barrier diode. Figure 7 (b) shows frequency dependence of σ_{ac} .



at low frequencies. This was explained by the excess capacitance and conductance due to interface states.

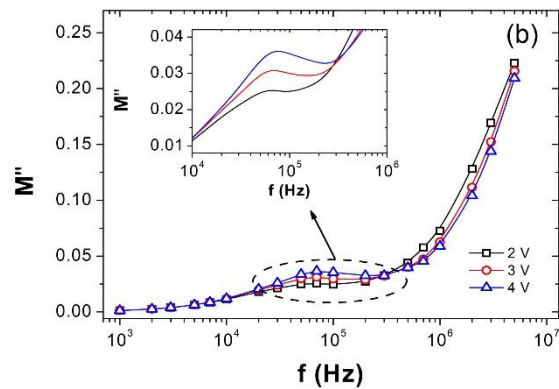


Figure 6. (a) M'' - V and (b) M'' - f plots of the MFS capacitor.

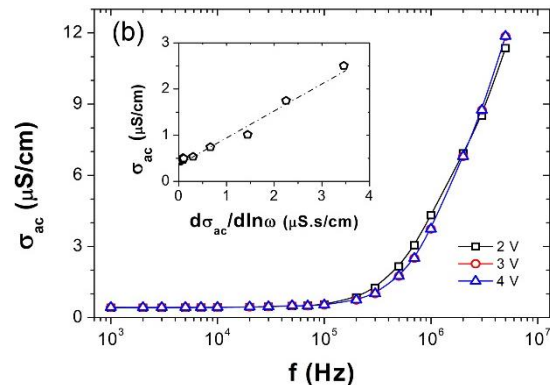
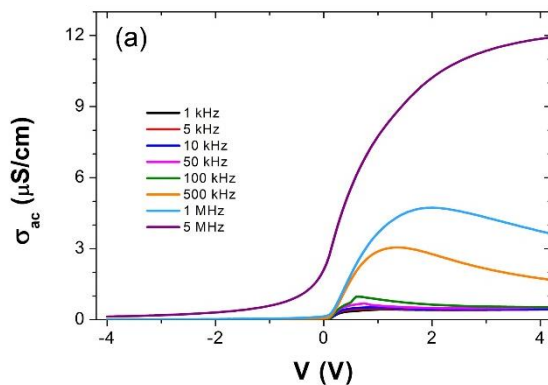


Figure 7. (a) σ_{ac} - V and (b) σ_{ac} - f plots of the MFS capacitor. The inset shows the $\sigma_{ac} - d\sigma_{ac}/d\ln\omega$ plot.

It is seen that σ_{ac} - f plots increase gradually up to 0.1 MHz, then they increase rapidly. The increase in σ_{ac} with increasing frequency leads to an increase in eddy current and this is consistent with the decreasing strength of series resistance with frequency (Figure 2). σ_{ac} is a combination of capacitor's d.c. conductivity (σ_{dc}) and conductivity contribution due to a.c. signal, and its frequency dependence is expressed by the following equation [1,2,3,5,7,8];

$$\sigma_{ac} = \sigma_{dc} + A\omega^s$$

where A is a constant and s is a parameter that shows the strength of frequency dependence. Another expression of frequency dependence of σ_{ac} is as below [5];

$$\sigma_{ac} = \sigma_{dc} + \frac{1}{s} \frac{d\sigma_{ac}}{d \ln \omega}$$

Inset of Figure 7 (b) shows $\sigma_{ac} - d\sigma_{ac}/d \ln \omega$ plot whose y-intercept corresponds to σ_{dc} . Thus, σ_{dc} of the MFS capacitor was extracted as 4.1×10^{-7} S/cm. This value might look small, however it is reasonable considering the thickness of BTO interlayer.

4. CONCLUSION

The fabricated Au/Bi₄Ti₃O₁₂/n-Si MFS capacitor yielded high values of capacitance and conductance particularly

Interface states and series resistance were the reasons of peak behavior in C-V and G/ ω -V plots. When these two parameters were calculated, it was seen that they decrease with increasing frequency. Similar effect was also seen in dielectric constant and dielectric loss such that they decrease as the frequency is increased because interface states can no longer follow a.c. signal since lifetime of traps is larger than inverse of angular frequency. Dielectric constant at 1 kHz is around 20s in the high accumulation region. Modulus formalism was utilized to explore relaxation behavior of the capacitor and it was found that relaxation occurs around ~70 kHz. Moreover, investigation of a.c. conductivity in the low frequency region revealed a d.c. conductivity value of 4.1×10^{-7} S/cm. Overall, the usage of BTO interfacial layer is preferable due to high value of dielectric constant because it allows storing more energy and enhance capacitor's ability.

REFERENCES

- [1] Asar Y. Ş., Asar T., Altındal Ş. and Özçelik S., "Dielectric spectroscopy studies and ac electrical conductivity on (AuZn)/TiO₂/p-GaAs (110) MIS structures", *Philosophical Magazine*, 95: 2885-2898, (2015).
- [2] Asar Y. Ş., Asar T., Altındal Ş. and Özçelik S., "Investigation of dielectric relaxation and ac electrical conductivity using impedance spectroscopy method in

- (AuZn)/TiO₂/p-GaAs (110) schottky barrier diodes” *Journal of Alloys and Compounds*, 628: 442-449, (2015).
- [3] Tanrıku E. E., Yıldız D. E., Günen A. and Altındal Ş., “Frequency and voltage dependence of electric and dielectric properties of Au/TiO₂/n-4H-SiC (metal-insulator-semiconductor) type Schottky barrier diodes”, *Physica Scripta*, 90: 095801, (2015).
- [4] Yıldırım M., Durmuş P. and Altındal Ş., “Analyses of temperature-dependent interface states, series resistances, and AC electrical conductivities of Al/p-Si and Al/Bi₄Ti₃O₁₂/p-Si structures by using the admittance spectroscopy method”, *Chinese Physics B*, 22: 108502, (2013).
- [5] Durmuş P. and Yıldırım M., “Influence of interfacial layer thickness on frequency dependent dielectric properties and electrical conductivity in Al/Bi₄Ti₃O₁₂/p-Si structures”, *Journal of Vacuum Science and Technology*, 32: 061512 (2014).
- [6] Reddy V. R., Manjunath V., Janardhanam V., Kil Y. H. and Choi C. J., “Electrical Properties and Current Transport Mechanisms of the Au/n-GaN Schottky Structure with Solution-Processed High-*k* BaTiO₃ Interlayer”, *Journal of Electronic Materials*, 43: 3499-3507 (2014).
- [7] Kaya A., Alialy S., Demirezen S., Balbaşı M., Yerişkin S. A. and Aytimur A., “The investigation of dielectric properties and ac conductivity of Au/GO-doped PrBaCoO nanoceramic/n-Si capacitors using impedance spectroscopy method”, *Ceramics International*, 42: 3322-3329, (2016).
- [8] Yerişkin S. A., Balbaşı M. and Tataroğlu A., “Frequency and voltage dependence of dielectric properties, complex electric modulus, and electrical conductivity in Au/7% graphene doped-PVA/n-Si (MPS) structures”, *Journal of Applied Polymer Science*, 133: 43827, (2016).
- [9] Chu L. K., Chiang T. H., Lin T. D., Lee Y. J., Chu R. L., Kwo J. and Hong M., “Ge metal-oxide-semiconductor devices with Al₂O₃/Ga₂O₃(Gd₂O₃) as gate dielectric”, *Microelectronic Engineering*, 91: 89-92 (2012).
- [10] Yıldırım M., “Current conduction and steady-state photoconductivity in photodiodes with bismuth titanate interlayer”, *Thin Solid Films*, 615: 300-304, (2016).
- [11] Jayalakshmi M. and Balasubramanian K., “Simple Capacitors to Supercapacitors - An Overview”, *International Journal of Electrochemical Science*, 3: 1196-1217, (2008).
- [12] Sze S. M., “Physics of Semiconductor Devices”, *Wiley*, New York, (1985).
- [13] Rhoderick E. H., “Metal-Semiconductor Contacts”, *Oxford University Press*, Oxford, (1978).
- [14] Altındal Ş., Kanbur H., Tataroğlu A. and Bülbül M. M., “The barrier height distribution in identically prepared Al/p-Si Schottky diodes with the native interfacial insulator layer (SiO₂)”, *Physica B*, 399: 146-154, (2007).
- [15] Chattopadhyay P. and Raychaudhuri B., “Origin of the anomalous peak in the forward capacitance-voltage plot of a Schottky barrier diode”, *Solid-State Electronics*, 35: 875-878, (1992).
- [16] Lee, H. N., Kim, Y. T. and Choh, S. H. “Comparison of memory effect between YMnO₃ and SrBi₂Ta₂O₉ ferroelectric thin films deposited on Si substrates”, *Applied Physics Letters*, 76: 1066-1068, (2000).
- [17] Fujisaki Y., Kijima T. and Choh S. H., “High-performance metal-ferroelectric-insulator-semiconductor structures with a damage-free and hydrogen-free silicon-nitride buffer layer”, *Applied Physics Letters*, 78: 1285-1287, (2001).
- [18] Lee S. K., Kim Y. T., Kim S. I. and Lee C. E., “Effects of coercive voltage and charge injection on memory windows of metal-ferroelectric-semiconductor and metal-ferroelectric-insulator-semiconductor gate structures”, *Journal of Applied Physics*, 91: 9303-9307, (2002).
- [19] Altındal, Ş., Parlaktürk F., Tataroğlu A. and Bülbül M. M., “Temperature and frequency dependent dielectric properties of Au/Bi₄Ti₃O₁₂/SiO₂/Si (MFIS) structures”, *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*, 12: 2139-2144, (2010).
- [20] Card H. C. and Rhoderick E. H., “Studies of tunnel MOS diodes I. Interface effects in silicon Schottky diodes”, *Journal of Physics D: Applied Physics*, 4: 1589, (1971).
- [21] Nicollian E. H. and Brews J. R., “MOS Physics and Technology”, *Wiley*, New York, (1982).
- [22] Reddy M. S. P., Kang H. S., Lee J. H., Reddy V. R. and Jang J. S., “Electrical properties and the role of inhomogeneities at the polyvinyl alcohol/n-inp schottky barrier interface”, *Journal of Applied Polymer Science*, 131: 39773, (2014).
- [23] Reddy, V. R., Janardhanam, V., Leem, C. H. and Choi, C. J., “Electrical properties and the double Gaussian distribution of inhomogeneous barrier heights in Se/n-GaN Schottky barrier diode”, *Superlattices and Microstructures*, 67: 242-255, (2014).
- [24] Sharma B. L., “Metal-Semiconductor Schottky Barrier Junctions and Their Applications”, *Springer Science & Business Media*, (2013).
- [25] Fonash S. J., “A reevaluation of the meaning of capacitance plots for Schottky barrier type diodes”, *Journal of Applied Physics*, 54: 1966-1975, (1983).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

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

Multi-response optimization of ultrasonic pulse velocity and the modulus of elasticity of concrete containing polymeric wastes

Polimerik atıklar içeren betonun ultrason hızının ve dinamik elastisite modülünün çok yanıtli eniyilenmesi

Yazar(lar) (Author(s)): Barış ŞİMŞEK, Tayfun UYGUNOĞLU

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Şimşek B. and Uygunoğlu T., “Polimerik atıklar içeren betonun ultrason hızının ve dinamik elastisite modülünün çok yanıtli eniyilenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 20(4): 1009-1017, (2017).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik>

DOI: 10.2339/politeknik.369924

Polimerik Atıklar İçeren Betonun Ultrason Hızının ve Dinamik Elastisite Modülünün Çok Yanıtlı Eniyilenmesi

Araştırma Makalesi / Research Article

Barış ŞİMŞEK^{1*}, Tayfun UYGUNOĞLU²

¹Çankırı Karatekin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Çankırı, Türkiye

²Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Afyon, Türkiye

(Geliş/Received : 01.10.2016 ; Kabul/Accepted : 14.02.2017)

ÖZ

Bu çalışmada polimerik atıklar içeren betonun ultrason hızı ve elastisite modülü özellikleri üzerindeki etken etkileri çok değişkenli regresyon çözümlemesi ile çözümlendi. Her biri üç seviyeye sahip yedi polimer; yüksek yoğunluklu polietilen, düşük yoğunluklu polietilen, polipropilen, termoplastik elastomer, dimetil tereftalat, polietilen tereftalat, polietilen naftalat ve deneylerin tasarımında (L_{27}) ortogonal dizini seçildi. Ultrason hızı üzerinde azaltıcı etkiye sahip polimerler sırası ile 0.000, 0.009, 0.007, 0.008 ve 0.001 p-değerleri ile yüksek yoğunluklu polietilen, düşük yoğunluklu polietilen, termoplastik elastomer, polietilen tereftalat ve polietilen naftalat olarak belirlendi. Dinamik elastisite modülü üzerinde azaltıcı etkiye sahip polimerler ise, sırasıyla, 0.001, 0.002 ve 0.001 p-değerleri ile yüksek yoğunluklu polietilen, polipropilen ve polietilen naftalat olarak belirlendi. Polimerik atıklar içeren betonun optimal karışım oranları doğrusal regresyon modelleri tabanlı çok yanıtlı doğrusal programlama yöntemiyle belirlendi. Optimal karışım oranları ile gerçekleştirilen doğrulama deneyi, çok yanıtlı doğrusal programlama yönteminin beton bileşimi eniyileme problemlerini çözmede etkili biçimde kullanılabilceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Beton, regresyon analizi, çok yanıtlı doğrusal programlama, taguchi tasarımı, polimerik atıklar.

Multi-Response Optimization of Ultrasonic Pulse Velocity and the Modulus of Elasticity of Concrete Containing Polymeric Wastes

ABSTRACT

In this study, the effect of the factors on ultrasonic velocity and elasticity modulus properties of concrete containing polymeric wastes was solved by multivariable regression analysis. Seven polymers, namely, low density polyethylene, high density polyethylene, polypropylene, thermoplastic elastomer, dimethyl terephthalate, polyethylene terephthalate, polyethylene naphthalate, each at three levels were selected, and an orthogonal array (L_{27}) was used to carry out the experimental runs. Polymers with reducing effect on ultrasound pulse velocity were identified as high density polyethylene, low density polyethylene, thermoplastic elastomer, and polyethylene terephthalate and polyethylene naphthalate with p-values of 0.000, 0.009, 0.007, 0.008 and 0.001, respectively. Polymers having a reducing effect on the dynamic elasticity modulus were identified as high density polyethylene, polypropylene and polyethylene naphthalate with p-values of 0.001, 0.002 and 0.001, respectively. Optimal mixing ratios of concrete containing polymeric waste were determined by multi-response linear programming method based on linear regression models. Verification experiment with optimum mixture ratios shows that the multi-response linear programming method can be used effectively in solving the concrete compound optimization problems.

Keywords: Concrete, regression analysis, multi-response linear programming, taguchi design, polymeric wastes.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Veri madenciliğinde, regresyon analizi çıktı değişkenlerini bağımsız girdi değişkenleri ile fonksiyonel olarak ilişkilendirmek için kullanılır [1]. Basit matematiksel fonksiyonlar ile başarılı bir şekilde çıktı parametrelerini modelleyebilen doğrusal regresyon analizinin endüstride oldukça geniş bir kullanım alanı vardır. Örneğin, müşteri taleplerini [2], baca gazı CO_2

emiyonunu [3], iyonik sıvıların termodinamik özelliklerini [4], çeşitli biyodizellerin kullanıldığı sıkıştırılmalı ateşlemeli motorun gürültü ve ses özelliklerini [5], Alzheimer hastalığının ilerleme sürecini [6], binalarda elektrik tüketimini [7], nano-silika içeren yüksek dayanımlı betonun basınç dayanımını [8] tahmin etmede oldukça başarılıdır. Literatürdeki çalışmalar dikkate alındığında, doğrusal regresyonun, yeterince yüksek ilişkililik katsayısına sahip olması bakımından, birçok sistem veya ürün özelliklerini tahmin etmede yeterli olduğu sonucuna varılabilir [9].

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : barissimsek@karatekin.gazi.edu.tr

Son yıllarda betona düşük yoğunluk, ısı veya ses yalıtımı gibi ek özellikler kazandıran polimerlerin betonda kullanımını artmaktadır [10]. Polimerler betona ses veya ısı yalıtım özeliği kazandırabilmekte, ancak mekanik dayanımı düşürmektedir [11]. Her bir kıstas için ayrı ayrı optimal karışım oranlarının belirlenmesi, belirlenen karışım oranlarının endüstriyel kullanımını zorlaştırmaktadır. Birbiri ile çatışan amaçların çok yanıtli eniyilemesi, betonu oluşturan hammaddelerin etkin kullanımını sağlamaktadır [11]. Literatürde tek yanıtli ve farklı beton tipleri için optimal karışım oranlarının belirlendiği çok yanıtli eniyileme çalışmaları mevcuttur. Bu çalışmalardan bazıları; normal ağırlıklı betonun işlenebilirlik ve mekanik özellikleri için cevap yüzey yöntemi tabanlı karesel programlama [11], normal ağırlıklı betonun basınç dayanımı özeliği için cevap yüzey yöntemi tabanlı D-optimal tasarım [12], metakaolin ve uçucu kül karışımı içeren betonların basınç dayanımı, su emmesi, kılcal geçirimsizlik katsayısı ve klorür geçirgenliği özellikleri için cevap yüzey yöntem bilgisi [13], kompozit hibrid betonarme kirişlerin ağırlık ve maliyet optimizasyonunda elektrik sarfiyatı tahmini için regresyon çözümlemesi, sinir ağları ve en küçük kareler destek mekanizmasının karşılaştırılması [14], geçirgen betonun mekanik ve bağlayıcı hamurunun akışkanlık özellikleri için cevap yüzey yöntem bilgisi [15] olarak sıralanabilir.

Elastisite modülü, sertleşmiş betonun elastik bölgedeki gerilme-şekil değiştirme davranışını tanımlayan önemli bir özellik olup statik yükü altında yükleme-boşaltma, dinamik deneysel (ultrason hızı ve rezonans frekansı) ölçümlerden ve analitik yöntem ve bağıntılarla elde edilebilmektedir. Statik elastisite modülü betonun gerilme-şekil değiştirme eğrisinin eğiminden elde edilmektedir [16]. Dinamik elastisite modülü çok küçük gerilmelerin söz konusu olduğu ultrason hızı, Poisson oranı ve birim hacim kütlesi (veya yoğunluğu) kullanılarak elastisite kuramından tahmin edilebilmektedir [16].

Ancak çok küçük gerilme düzeylerinde elde edilen dinamik elastisite modülleri genellikle statik elastisite modülünden daha yüksek değerler almaktadır [17].

Bu çalışmada regresyon analizi uygulanarak 0/4 mm taneli polimerik atıklar ve uçucu kül içeren normal ağırlıklı betonun, içyapı ve mekanik özelliklerine bağlı olarak değişen, ultrason hızı ve dinamik elastisite modülü üzerinde polimerlerin etki düzeylerinin belirlenmesi amaçlandı. Ayrıca, regresyon analizi ile oluşturulan doğrusal meta-modeller ile ultrason hızını minimize eden ve dinamik elastisite modülünü maksimize eden optimal karışım oranlarının belirlenmesi amaçlandı. Çalışmanın ana katkısı, polimer atıklar içeren betonun ultrason hızı ve dinamik elastisite modülü üzerinde etkili olan polimerlerin varyans analizi ile belirlenmesidir. Çalışmanın bir diğer katkısı ise, çok yanıtli doğrusal programlama yöntemi ile polimer betonun ultrason hızının ve ultrason hızı ve sertleşmiş betonun Poisson oranı, birim hacim kütlesi ölçümlerinden hesaplanan dinamik elastisite modülünün literatürde ilk defa

optimize edilmesidir. Literatürde ilk defa, eniyileme performansı açısından ayrı ayrı uygulanan TOPSIS (İdeal Çözümlere Yakınlık Yoluyla Tercihlerin Sıralanması Tekniği) tabanlı Taguchi yöntemi [18] ile Taguchi tabanlı doğrusal programlama karşılaştırıldı [19].

2. MALZEME VE METOT (MATERIALS AND METHODS)

2.1. Malzeme (Materials)

İnce agregalar olarak tane büyüklüğü 0/4 mm olan kırma kum, kaba agregalar olarak 4/11 mm Kırmataş I ve 11/22 mm Kırmataş II kullanıldı. İnce ve iri agregaların tane yoğunlukları sırası ile 2.65 ve 2.70 kg/dm³, kütlece su emme oranları ise % 1.7 ve % 1.1'dir. Çalışmada TS EN 197-1 [20] ile uyumlu, tane yoğunluğu 3.01 kg/dm³ ve özgül yüzeyi 351.0 m²/kg olan CEM I 42.5 R Portland çimentosu (Bolu Çimento) ve TS EN 197-1 [20] ile uyumlu, tane yoğunluğu 2.51 kg/dm³ ve özgül yüzeyi 351.5 m²/kg olan F sınıfı uçucu kül (Zonguldak/Çatalağzı) kullanıldı. Kimyasal katkı olarak BASF® firmasından temin edilen polikarboksilik eter bazlı süper akışkanlaştırıcı MasterGlenium 150 kullanıldı. Çalışmada kullanılan çimento ve uçucu külün özellikleri Çizelge 1'de görülmektedir.

Çizelge 1. Çimento ve uçucu külün kimyasal bileşimi (Chemical compositions of cement and fly ash)

Kimyasal bileşen /özelik	İçerik (kütlece %)	
	CEM I 42.5 R	Uçucu kül
CaO	66.12	4.81
SiO ₂	21.72	56.16
Al ₂ O ₃	5.94	23.30
Fe ₂ O ₃	2.59	6.31
SO ₃	1.61	0.75
MgO	1.19	2.09
K ₂ O	0.64	2.49
Na ₂ O	0.13	0.31
Cl ⁻	0.0076	0.0019
Kızdırma kaybı	3.69	2.22

İnce agreganın bir bölümü yerine kullanılan polimerler geri kazanım tesislerinden tedarik edilen, düşük yoğunluklu polietilen (LDPE), yüksek yoğunluklu polietilen (PE), Polipropilen (PP), polietilen tereftalat (PET) ile polyester üretici firmalardan tedarik edilen termoplastik polyester elastomer (TPE), polietilen naftalat (PEN) ve dimetil tereftalat (DMT)'dir. Bu malzemelerin fiziksel özellikleri Çizelge 2'de verildi.

Bu amaçla ilk olarak ultrason hızı ve dinamik elastisite

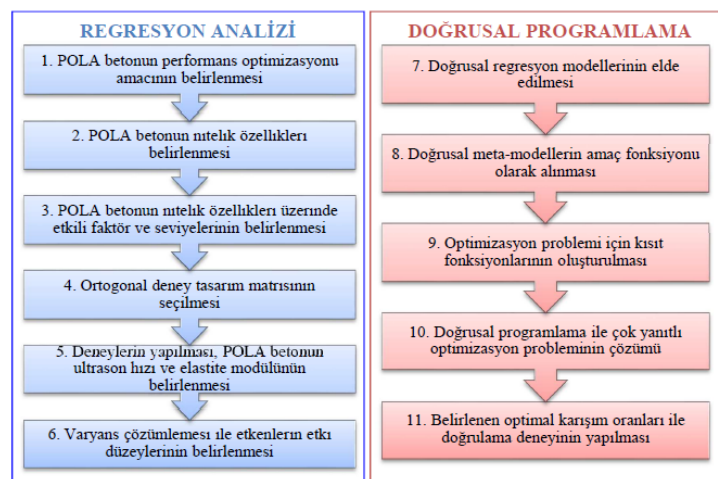
Çizelge 2. Polimerlerin fiziksel özellikleri (Physical properties of polymers)

Fiziksel Özellikler	Değerler						
	LDPE	HDPE	PP	TPE	PEN	DMT	PET
Erime akış hızı, g/10dk	2.0-3.5	4.5-6.0	8.0	12-20	-	-	-
Yoğunluk, kg/dm ³	0.918	0.963	0.905	1.20	1.35	1.2	1.38
Erime noktası, °C	110	95	230-260	205-215	155	142	235
Kopma Gerilmesi, MPa	14.0	17.0	-	30.0	20.0	-	80.
Kopma Uzama Oranı, %	600	1250	6	850	60	-	-
Eğilme dayanımı, GPa	-	1.0	-	0.5	5 ± 0.5	-	2-4
Granül aralığı, mm	≤4 mm	≤4 mm	≤4 mm	≤4 mm	≤4 mm	≤4 mm	≤4 mm

2.2. Metot (Method)

Bu çalışmada, Polimerik atıklar içeren betonun (POLA) betonun optimal karışım oranlarının belirlenmesi ve etken analizi için 11 adımdan oluşan bir yöntem bilgisi izlendi (Şekil 1).

modülü POLA betonun nitelik özellikleri (karakteristikleri) olarak belirlendi. Bu nitelik karakteristiklerini etkileyen etkenler her biri üç seviyeli; olarak belirlendi. Faktörlerde su-çimento oranı yerine su miktarı (W) kullanıldı.



Şekil 1. POLA betonun optimal karışım oranlarının belirlenmesi için önerilen akış diyagramı (Proposed flow diagram for optimal mixture design of POLA concrete)

Çizelge 3. Etkenler ve seviyeleri (Factors and their levels)

Faktörler	Seviyeler			Serbestlik derecesi ^o
	Birinci Seviye	İkinci Seviye	Üçüncü Seviye	
Düşük yoğunluklu polietilen (LDPE), % ^a	1	5	10	2
Yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE), %	1	5	10	2
Polipropilen (PP), %	1	5	10	2
Termoplastik polyester elastomerleri (TPE), %	1	5	10	2
Dimetil teraftalat (DMT), %	1	5	10	2
Polietilen teraftalat (PET), %	1	5	10	2
Polietilen naftalat (PEN), %	1	5	10	2
CEM I Çimento miktarı (C), kg	350	400	450	2
Uçucu kül miktarı (F), kg	80	100	120	2
Su çimento oranı (S/C)	0.38	0.42	0.46	2
Süper akışkanlaştırıcı içeriği (PCE), % [*]	0.80	1.05	1.30	2
İnce agreganın (FA) toplam agregaya kütlece karışım oranı	0.40	0.50	0.60	2
I no.lu (4/16 mm) iri agreganın (CA) toplam agregaya kütlece karışım oranı	0.15	0.20	0.25	2
	Toplam			26

^a100 kg bağlayıcı (çimento ve su) için tanımlandı.

^oÜç seviye için serbestlik derecesi 3-1=2 şeklinde tanımlandı.

^{*}İnce agrega yerine tanımlandı.

Ortogonal dizinler, kontrol edilebilen faktörlerin serbestlik derecelerinin toplamına göre seçildi. Her faktörün serbestlik derecesi, faktör seviye sayısının bir eksiği olarak tanımlandı. Tüm faktörleri üç seviyeli olan ve deneme sayısı 26' den büyük, en küçük ortogonal dizin L_{27} 'dir. Seçilen L_{27} ortogonal dizinin tüm sütunlarına faktörler sırası ile atandı ve deneyler gerçekleştirildi. Varyans çözümlemesi ile kullanılan polimerlerin, POLA betonun ultrason hızı ve dinamik elastisite modülü üzerindeki etkisi tahmin edildi. POLA betonun nitelik özellikleri ile faktörler arasındaki ilişkiyi matematiksel olarak modelleyebilmek için Regresyon analizi kullanıldı.

Regresyon analizinde temel amaç, y ile bağımsız değişken seti arasındaki gerçek fonksiyonel ilişki için uygun bir tahmin bulmaktır. Genellikle bağımsız değişkenlerin bir bölgesi içindeki düşük dereceli bir polinom fonksiyon kullanılır. Eğer cevap, bağımsız değişkenlerin lineer bir fonksiyonuyla iyi bir şekilde modellenilebiliyorsa tahmin fonksiyonu birinci derecedir [21].

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon \quad (1)$$

Denklemden, β_0 sabit terim, β_1 , β_2 ve β_k modelin doğrusal katsayılarını temsil etmektedir. Elde edilen doğrusal meta-modeller amaç fonksiyonu olarak belirlendi. Daha sonra, faktörlerin deneylerde kullanıldığı alt ve üst limitler kısıt fonksiyonu olarak belirlendi. Son olarak doğrulama deneyleri kullanılarak, doğrusal programlama tabanlı çok yanıtlı optimizasyon yöntemi ile TOPSIS tabanlı Taguchi yaklaşımı karşılaştırıldı.

2.3. Deneyel Çalışma (Experimental Work)

POLA betonun dinamik elastisite modülü ultrason geçiş hızından hesaplandı [17, 22, 23]. Ultrason hızları, bir kenarı 150 mm olan 28 günlük POLA küp numunelerde ölçüldü (Şekil 2).

Ultrason hızları Denklem (2) kullanılarak hesaplandı.



Şekil2. POLA betonda ultrason geçiş süresinin ölçümü (Measurement of the ultrasonic pulse velocity in POLA Concrete)

$$V = \frac{L}{t} \quad (2)$$

Denklemden, V , ultrason hızını (km/s); L , mesafeyi (mm); t , ultrason geçiş süresini (μ s) göstermektedir [17, 23]. POLA betonların dinamik elastisite modülleri, doğrusal elastik ortamda düzlem dalga biçimine sahip ultrason hızı ile dinamik elastisite modülü arasında aşağıdaki (3) nolu bağıntı kullanılarak hesaplandı [17, 23].

$$E_d = ((1+\nu) \cdot (1-2 \cdot \nu) / (1-\nu)) \cdot V^2 \cdot \Delta \quad (3)$$

Bağıntıda, E_d , dinamik elastisite modülünü (MPa), V , ultrason hızını (km/s), Δ , yoğunluğu veya birim kütleyi (kg/m^3) ve ν ise poisson oranını (0.20) simgelemektedir.

3. BULGULAR (FINDINGS)

3.1. Deney Tasarım Matrisi ve Deney Sonuçları

(Experimental Design Matrix and Experimental Results)

Bu aşamada geniş bir arama uzayı seçildi. Tüm polimerik malzemelerin ve beton bileşenlerinin eşanlı değerlendirmesi istendiğinden deney tasarım matrisi olarak L_{27} (3^{13} kısmî faktöriyel) ortogonal tertibi seçildi. İlgili deney tasarım matrisine göre deneyler gerçekleştirildi ve sonuçlar Çizelge 4'te verildi. Her deney koşumuna ait 6 adet numune üretildi, ultrason hızının ölçülmesinde ve belirlenmesinde 3 numunenin ortalaması alındı. TS EN 12390-7'ye göre belirlenen numunelerin yüzeyi kuru doygun ağırlıkları, su içinde asılı ağırlıkları ve etüv kurusu ($105^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ sıcaklıkta) ağırlıkları kullanılarak hesaplanan kuru birim hacim kütleleri 2.03 ile 2.37 kg/dm^3 arasında değişmektedir [24]. Taze haldeki POLA betonların çökme değerleri 50 mm ile 230 mm arasında değişmektedir. Çizelge 4'ün 2-14 kolonlarında etkenler, 15 ve 16 kolonlarında ise deneyler sonucu elde edilen POLA beton özellikleri (tepkiler) gösterilmektedir.

Çizelge 4. L₂₇ ortogonal tasarım matrisi ve deney sonuçları (L₂₇orthogonal design matrix and experimental results)

Deney No.	Etkenler (kg/m ³)										Yanıtlar						
	LDPE	HDPE	PP	IPE	DMT	PET	PEN	C	F	W	PCE	FA	CA	Yoğunluk, Δ (kg/m ³)	Çökmeye Değeri (cm) [27]	E _a (MPa)	V (km/s)
M0*	-	-	-	-	-	-	-	350	80	170.0	3.5	880.0	900.0	2383.5	16	46904	4.37
MI1	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	350	80	142.9	3.1	734.7	1070.5	2400.8	2	50348	4.59
MI2	3.1	3.1	3.1	3.1	15.8	15.8	15.8	400	100	181.3	4.6	833.2	687.7	2266.6	44	35641	3.93
MI3	3.6	3.6	3.6	3.6	33.6	33.6	33.6	450	120	224.2	6.5	587.6	604.7	2108.2	80	36814	3.98
MI4	18.9	3.8	18.9	18.9	3.8	3.8	3.8	400	100	180.5	5.7	809.7	676.3	2244.1	22	44124	4.56
MI5	11.2	2.2	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2	450	120	226.1	4.0	409.8	907.7	2187.0	80	52596	4.87
MI6	17.3	3.5	17.3	17.3	34.7	34.7	34.7	350	80	142.2	4.0	395.8	935.5	2067.0	5	53015	4.81
MI7	28.0	2.8	28.0	28.0	2.8	2.8	2.8	450	120	225.2	5.2	489.5	756.2	2141.3	80	49226	4.72
MI8	41.6	4.2	41.6	41.6	20.8	20.8	20.8	350	80	141.4	5.0	594.8	748.2	2110.8	8	31693	3.86
MI9	25.2	2.5	25.2	25.2	25.2	25.2	25.2	400	100	182.2	3.5	260.1	1019.1	2118.6	15	36165	4.07
MI10	3.3	16.3	16.3	32.5	3.3	16.3	32.5	350	100	177.1	3.1	543.2	878.5	2172.4	19	32081	3.88
MI11	3.8	19.1	19.1	38.1	19.1	38.1	3.8	400	120	166.7	4.7	636.4	686.1	2155.0	16	44829	4.48
MI12	2.4	12.1	12.1	24.1	2.4	12.1	2.4	450	80	197.7	6.3	402.6	976.6	2202.5	20	44859	4.43
MI13	12.7	12.7	25.4	2.5	2.5	12.7	25.4	400	120	165.9	5.8	424.1	1028.8	2238.5	17	39807	4.12
MI14	15.1	15.1	30.2	3.0	15.1	30.2	3.0	450	80	199.5	3.9	503.6	814.4	2163.1	19	43538	4.41
MI15	19.5	19.5	39.0	3.9	39.0	3.9	19.5	350	100	176.3	4.1	651.7	702.7	2129.1	22	34924	3.94
MI16	36.2	18.1	3.6	18.1	3.6	18.1	36.2	450	80	188.6	5.1	604.1	651.3	2113.0	70	43102	4.45
MI17	26.0	13.0	2.6	13.0	13.0	26.0	2.6	350	100	175.6	5.1	434.4	1053.4	2214.7	70	46769	4.41
MI18	31.8	15.9	3.2	15.9	31.8	3.2	15.9	400	120	167.6	3.6	530.5	857.9	2197.3	80	48676	4.59
MI19	3.9	39.3	39.3	19.6	3.9	39.3	19.6	350	120	164.8	3.2	603.9	707.3	2114.1	14	19085	3.45
MI20	2.5	24.9	24.9	12.5	12.5	2.5	24.9	400	80	195.3	4.5	383.1	1009.4	2177.0	70	36729	4.04
MI21	3.1	30.5	30.5	15.3	30.5	15.3	3.1	450	100	181.4	6.4	469.5	824.8	2160.4	19	50789	4.62
MI22	15.6	31.1	3.1	31.1	3.1	31.1	15.6	400	80	194.5	5.6	478.7	840.9	2130.4	20	42897	4.40
MI23	18.3	36.7	3.7	36.7	18.3	3.7	36.7	450	100	183.3	3.9	563.8	663.6	2118.7	14	24417	3.37
MI24	13.1	26.2	2.6	26.2	26.2	13.1	2.6	350	120	164.0	4.2	400.8	1060.6	2209.6	14	46141	4.53
MI25	24.4	24.4	12.2	2.4	2.4	24.4	12.2	450	100	182.3	5.1	375.7	990.1	2205.6	17	48778	4.67
MI26	32.7	32.7	16.4	3.3	16.4	3.3	32.7	350	120	163.3	5.2	503.0	883.6	2162.6	17	34439	3.93
MI27	37.4	37.4	18.7	3.7	37.4	18.7	3.7	400	80	196.1	3.5	574.8	673.1	2084.5	16	25834	3.56

*M0: Referans beton (Polimerik katkı malzemesi kullanılmadı)

3.2. Doğrusal Regresyon Modellerinin Eldesi (Obtaining Linear Regression Models)

POLA betonun ultrason hızı ve dinamik elastisite modülü bağıntıları regresyon analizi ile Minitab kullanılarak elde

arasındaki yüksek korelasyon (R^2 değerleri ultrason hızı için 0.9845, dinamik elastisite modülü için 0.9890) modellerin yanıtları tahmin etmede etkili olduğunu göstermektedir. Sonuçlar şunu da göstermiştir ki seçilen doğrusal modeller yanıtları tahmin etmede etkilidir [25].

Çizelge 5. Elde edilen regresyon modelleri (Regression models obtained)

Nitelik karakteristiği (özeligi)	Doğrusal meta-modeller (amaç fonksiyonları)	Çoklu belirleyicilik katsayıları	
		R^2	Ayarlı R^2
1	$V \text{ (km/s)} = 34.9 - 0.0409 \text{ HDPE} - 0.0315 \text{ LDPE} - 0.0372 \text{ PP} - 0.0315 \text{ TPE} - 0.0376 \text{ DMT} - 0.0361 \text{ PET} - 0.0520 \text{ PEN} - 0.00782 \text{ C} - 0.00864 \text{ F} - 0.0335 \text{ W} + 0.0318 \text{ PCE} - 0.0126 \text{ FA} - 0.0115 \text{ CA}$	0.806	0.621
2	$E_d \text{ (MPa)} = 621094 - 813 \text{ HDPE} - 617 \text{ LDPE} - 762 \text{ PP} - 626 \text{ TPE} - 657 \text{ DMT} - 712 \text{ PET} - 1004 \text{ PEN} - 135 \text{ C} - 166 \text{ F} - 669 \text{ W} + 1065 \text{ PCE} - 239 \text{ FA} - 215 \text{ CA}$	0.824	0.665

edildi. Elde edilen doğrusal regresyon meta-modelleri Çizelge 5'te görülmektedir.

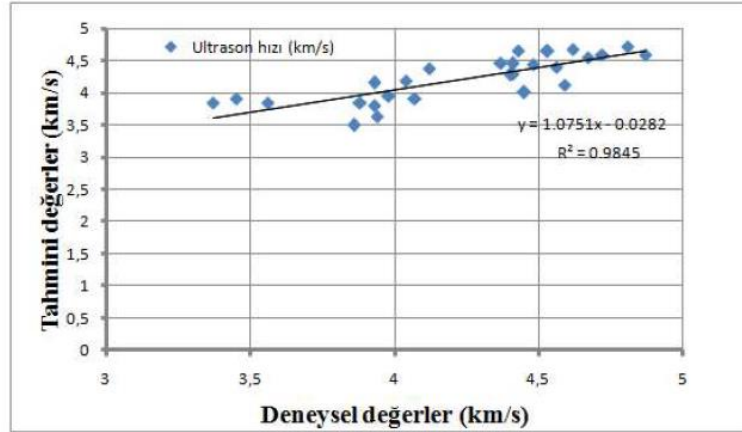
3.3. Doğrusal Regresyon Modellerinin Doğrulanması (Validation of the Linear Regression Models)

Meta-modellerin doğrulanması için gerçekleştirilen yirmi yedi deney için; (Çizelge 4) tahmin edilen değerler - deneysel değerler çizgeleri oluşturuldu (Şekil 3 ve 4). Deneysel değer ile modellerden tahmin edilen değerler

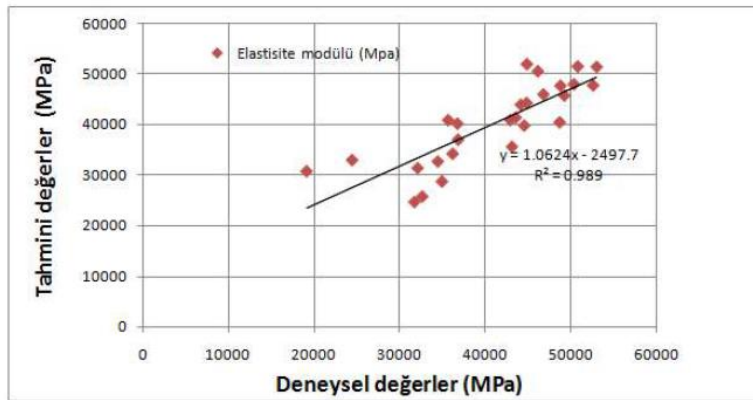
4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS and DISCUSSION)

4.1. Regresyon Analizi (Regression Analysis)

Çizelge 6'da, kullanışlı olan modellerin etkenleri ve tüm yanıtları için % 5 anlamlılık düzeyinde p-değerleri görülmektedir.



Şekil 3. Ultrason hızı için tahmini değerlere karşı deneysel değerler (Experimental values vs. predicted values for ultrasonic pulse velocity)



Şekil 4. Dinamik elastisite modülü için deneysel değerlere karşı tahmini değerlere karşı deneysel değerler (Experimental values vs. predicted values for the dynamic modulus of elasticity)

Negatif işaret etkenin antagonistik (azaltıcı) etkisi, pozitif işaret ise etkenin yanıt üzerinde sinerjistik (arttırıcı, destekleyici) etkisi olduğunu simgelemektedir [19].

Etkenler →	Ultrason hızı		Dinamik elastisite modülü	
	T	p	T	p
Tahmin edici ↓				
Sabit	3.92	0.002*	3.40	0.005*
HDPE	-4.65	0.000*	-4.50	0.001*
LDPE	-3.04	0.009*	-2.91	0.012
PP	-3.83	0.002*	-3.81	0.002*
TPE	-3.20	0.007*	-3.10	0.009*
DMT	-3.40	0.005*	-2.89	0.013
PET	-3.13	0.008*	-3.01	0.010
PEN	-4.46	0.001*	-4.19	0.001*
C	-2.11	0.055	-1.78	0.098
F	-2.05	0.062	-1.92	0.077
W	-3.75	0.002*	-3.65	0.003*
PCE	0.57	0.580	0.93	0.370
FA	-3.65	0.003*	-3.39	0.005*
CA	-3.34	0.005*	-3.04	0.010

*anamlılık düzeyi $p < 0.010$; (+) Sinerjistik etki; (-) Antagonistik etki

Çizelge 6'dan görüldüğü üzere ultrason geçiş hızı için çalışmada kullanılan tüm polimerler antagonistik (anamlı ($p < 0.010$) düzeyde azaltıcı), dinamik elastisite modülü için ise kullanılan polimerlerden yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE), polipropilen (PP), termoplastik polyester elastomer (TPE) ve polietilen naftalat (PEN) antagonistik (anamlı ($p < 0.010$) düzeyde azaltıcı) etkiye sahiptir. Ultrason geçiş hızındaki azalmalar beton içerisindeki boşluklardan veya dayanımı azaltıcı etkisi olan katkı maddelerinden kaynaklanmaktadır [16, 26]. Akçaözöğlü ve ark. [27] atık PET'i ince agrega yerine % 60 oranında beton içerisinde kullanmış ve ultrason hızında düşme belirlemişlerdir. Bu çalışma şunu göstermiştir ki literatür ile örtüştüğü üzere, kullanılan tüm dayanım azaltıcı polimerik katkı betonun ultrason geçiş hızını azaltmıştır. Bununla beraber, V değeri 3.0-3.5 km/s arasındaysa beton

dayanımı düşük; 3.5-4.0 km/s arası iyi düzeyde olduğunu ve 4.0 km/s üzerindeyse yüksek dayanımlı beton sınıfında olabileceği bildirilmektedir [16].

4.2.Eniyileme (Optimization)

Çizelge 5'te elde edilen tüm ölçütlerin (amaç fonksiyonları) ağırlıkları eşit alınarak aşağıdaki kısıt fonksiyonları ile çok yantlı eniyileme çalışması gerçekleştirildi. Ultrason hızı için 4.0 km/s hedef değeri, dinamik elastisite modülü için 50000 MPa hedef değeri esas alınıp optimal karışım oranları "MATLAB® optmtool" aracı kullanılarak belirlendi.

$$2 \text{ kg} \leq \text{HDPE} \leq 42 \text{ kg} \quad (3)$$

$$2 \text{ kg} \leq \text{LDPE} \leq 42 \text{ kg} \quad (4)$$

$$2 \text{ kg} \leq \text{PP} \leq 42 \text{ kg} \quad (5)$$

$$2 \text{ kg} \leq \text{TPE} \leq 42 \text{ kg} \quad (6)$$

$$2 \text{ kg} \leq \text{DMT} \leq 42 \text{ kg} \quad (7)$$

$$2 \text{ kg} \leq \text{PEN} \leq 42 \text{ kg} \quad (8)$$

$$2 \text{ kg} \leq \text{PET} \leq 42 \text{ kg} \quad (9)$$

$$350 \text{ kg} \leq \text{C} \leq 450 \text{ kg} \quad (10)$$

$$80 \text{ kg} \leq \text{F} \leq 120 \text{ kg} \quad (11)$$

$$141 \text{ kg} \leq \text{W} \leq 230 \text{ kg} \quad (12)$$

$$3 \text{ kg} \leq \text{PCE} \leq 6.5 \text{ kg} \quad (13)$$

$$260 \text{ kg} \leq \text{FA} \leq 840 \text{ kg} \quad (14)$$

$$600 \text{ kg} \leq \text{CA} \leq 1070 \text{ kg} \quad (15)$$

Optimal karışım oranları; yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) için 32.785 kg, düşük yoğunluklu polietilen (LDPE) için 24.728 kg, polipropilen (PP) için 42 kg, termoplastik polyester elastomerleri (TPE) için 27.389 kg, dimetil teraftalat (DMT) için 42 kg, polietilen teraftalat (PET) için 34.059 kg, polietilen naftalat (PEN) için 33.636 kg, çimento miktarı için 367.021 kg, uçucu kül için 81.827 kg, su miktarı 196.093 kg, süper akışkanlaştırıcı miktarı 4.033 kg, ince agrega miktarı 421.274 kg ve I nolu iri agrega miktarı 626.114 kg olarak belirlendi.

4.3.Eniyileme için doğrulama deneyi (Validation experiment for optimization)

Doğrusal programlama kullanarak tahmin edilen optimal karışım oranları ile üç adet tekrar deneyi gerçekleştirildi.

Çizelge 7. Sonuçların onayı için t- test sonuçları (t-test results for validation of results)

Tekrar deneyi Numara	Yanıtlar	Tahmini değerler ¹	Onay deneyi ²	Fark (d)	Ortalama. \bar{d}	Standart sapma	t-Test İstatistiği [‡]	$T_{2;0.025} (t_{n-1, \alpha=0.025})$	
1	V	km/s	4	4.21	-0.21	-264.59	296.62	-2.1833 ³	-4.032
2	V	km/s	4	4.14	-0.14				
3	V	km/s	4	4.19	-0.19				
4	Ed	MPa	50000	50644	-644				
5	Ed	MPa	50000	50489	-489				
6	Ed	MPa	50000	50454	-454				

Toplam n=6

¹Optimal karışım oranları bu hedef değerler için belirlendi.

²Taguchi tabanlı doğrusal programlama yöntemi ile belirlendi.

³Sıfır varsayımı $H_0 =$ Deneyel değerler ile modelden tahmin edilen değerler arasında anlamlı bir fark yoktur. Çünkü $0.9938 < 2.571$. sıfır varsayımı ret edilemez

[‡] $t = \bar{d} \sqrt{n} / s_d$

MATLAB® optimtool aracı ile tahmin edilen sonuçlar ile deneysel sonuçlar birbirine oldukça yakındır (Çizelge 7). Veri çifti üzerinde yapılan t-sınaması tahmin edilen sonuçlar ile deneysel değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığını gösterdi.

4.4. Eniyileme yöntemlerinin karşılaştırılması (Comparison of optimization methods)

Eniyileme yöntemlerinin kıyaslanmasında regresyon modelleri tabanlı doğrusal programlama yöntemi, TOPSIS tabanlı Taguchi yaklaşımı kullanıldı. Bu amaçla ilk olarak dinamik elastisite modülü ve ultrason geçiş hızı için sırası ile “en büyük en iyidir” ve “en küçük en iyidir” sinyal gürültü oranları belirlendi. Daha sonra sırası ile karar matrisi, ağırlıklı karar matrisi, ideal ve negatif ideal çözüm, ayırım ölçüleri ve son olarak İdeal Çözüme Göreli Uzaklığı belirlendi. Yöntemin ayrıntıları Şimşek ve ark. [18], Şimşek ve Uygunoğlu [28] ve İç ve Yıldırım [29]’de bulunabilir. Optimal karışım oranları; düşük yoğunluklu polietilen (LDPE) için 3.36 kg, yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) için 33.6 kg, polipropilen (PP) için 33.6 kg, termoplastik polyester elastomerleri (TPE) için 3.36 kg, dimetil teraftalat (DMT) için 16.8 kg, polietilen teraftalat (PET) için 16.8 kg, polietilen naftalat (PEN) için 33.6 kg, çimento miktarı için 350 kg, uçucu kül için 80 kg, su miktarı 226 kg, süper akışkanlaştırıcı miktarı 3.98 kg, ince agrega miktarı 517 kg ve I nolu iri agrega miktarı 303 kg olarak belirlendi.

yoğunluklu polietilen (HDPE), polipropilen (PP), termoplastik polyester elastomer (TPE) ve polietilen naftalat (PEN) dinamik elastisite modülü üzerinde azaltıcı etkiye ($T < 0$ ve $p < 0.01$) sahiptir. Su miktarı ve ince agregasında ultrason hızı ve dinamik elastisite modülü üzerinde azaltıcı yönde etkiye sahip olduğu ($T < 0$, $p < 0.01$) belirlendi.

Yapılan regresyon analizi ile belirleyicilik (determination) katsayısı 0.80’in üzerinde meta-modeller elde edildi. Bu modeller amaç fonksiyonu alınarak kısıt fonksiyonları eşliğinde çok yanıtı doğrusal programlama uygulaması yapıldı. Yapılan doğrulama deneyleri sonuçları, polimerik atıklar içeren beton optimal karışım oranlarının belirlenmesinde çok yanıtı doğrusal programlama tekniğinin etkin olarak kullanılabilceğini göstermektedir. Son olarak Regresyon modelleri tabanlı doğrusal programlama yöntemi, TOPSIS tabanlı Taguchi yöntemi ile F-Testi kullanılarak kıyaslandı. Bu iki yöntemin keskinliği arasında anlamlı bir fark bulunamadı.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK-MAG-214M392) tarafından desteklendi. Yazarlar, desteklerinden dolayı TÜBİTAK’a teşekkür eder.

Çizelge 8. İki eniyileme metodunun karşılaştırılması (Comparison of the two optimization methods)

Numara	Tepkiler	TOPSIS tabanlı Taguchi ¹	Regresyon modelleri tabanlı DP	Standart sapma TOPSIS.sd1	Standart sapma DP. sd2	F.Test İstatistiği ‡	F _{5,5;0.95} (t _{n-1,m-1,1-α})	
1	V	km/s	4.14	4.21	26270	27674	0.90*	5.05
2	V	km/s	4.06	4.14				
3	V	km/s	4.06	4.19				
4	E _d	MPa	48591	50644				
5	E _d	MPa	47911	50489				
6	E _d	MPa	47381	50454				
Toplam			6	6				

¹TOPSIS tabanlı Taguchi yöntemi ile belirlendi

*Sıfır varsayımı $H_0 =$ iki yöntem ile elde edilen değerler arasında anlamlı bir fark yoktur. Çünkü $0.90 > 5.05$. sıfır varsayımı kabul edilir. ‡ $F = s_{d1} / s_{d2}$

İki metodun keskinliği arasında anlamlı bir fark bulunamamıştır.

5. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada; polimerik atıklar içeren normal ağırlıklı uçucu kül içeren hazır betonun ultrason hızı ve dinamik elastisite modülü üzerinde etkili olan polimerler deneysel tasarım yöntemi ile belirlendi. Her biri üç seviyeye sahip yedisi polimer olmak üzere toplam on üç etken belirlendi. Deneylerin gerçekleştirilmesinde $L_{27}(3^{13})$ kısmi faktöriyel ortogonal dizini kullanıldı.

Çalışmada kullanılan tüm polimerlerin ultrason hızını azaltıcı yönde ($T < 0$ ve $p < 0.01$) etkisi olduğu, bir başka deyişle betonun ultrason hızını azaltma eğiliminde olduğu görüldü. Kullanılan polimerlerden yüksek

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Yang L., Liu S., Tsoka S. and Papageorgiou G., “Mathematical programming for piece wise linear regression analysis”, *Expert Systems With Applications*, 44: 156-167, (2016).
- [2] Kone E.R.S. and Karwan M. H., “Combining a new data classification Technique and regression analysis to predict the cost-to-serve new customers”, *Computer and Industrial Engineering*, 61 (1): 184-197, (2011).
- [3] Pan J., Kung P., Bretholt A. And Lu J., “Prediction of energy’s environmental impact using a three variable time

- series model”, *Expert Systems With Applications*, 41 (4): 1031-1040, (2014).
- [4] Chen L., Zhao Y., Zhang J. and Zhong Zou J., “Automatic detection of alertness/drowsiness from physiological signals using wavelet-based nonlinear features and machine learning”, *Expert Systems With Applications*, 42 (21): 7344-7355, (2015).
- [5] Uludamar E., Tosun E. and Aydın K., “Experimental and regression analysis of noise and vibration of a compression ignition engine fuelled with various biodiesels”, *Fuel*, 177: 326-333, (2016).
- [6] Xie Q., Wang S., Zhu J. and Zhang X., “Modeling and predicting AD progression by regression analysis of sequential clinical data”, *Neurocomputing*, 195: 50-55, 2016.
- [7] Kaytez F., Taplamacıoğlu M. C., Cam E. and Hardalac F., “Forecasting electricity consumption: a comparison of regression analysis, neural networks and least squares support vector machines”, *Electrical Power and Energy Systems*, 67: 431-438, (2015).
- [8] Chithra S., Senthil Kumar S.R.R., Chinnaraju K. and Alfin Ashmta F., “A comparative study on the compressive strength prediction models for High Performance Concrete containing nano silica and copper slag using regression analysis and Artificial Neural Networks”, *Construction and Building Materials*, 114: 528-535, (2016).
- [9] Viana F.A.C., Simpson T.W., Balabanov V. and Toropov V., “Metamodeling in multi disciplinary design optimization: how far have we all come”, *American Institute of Aeronautics and Astronautics*, 52 (4): 670–690, (2014).
- [10] Toufigh V., Hosseinali M. and Shirshorshidi S. M., “Experimental study and constitutive modeling of polymer concrete’s behavior in compression”, *Construction and Building Materials*, 112: 183-190, (2016).
- [11] Şimşek B., İç Y.T., Şimşek E.H. and Güvenç A.B., “Development of a graphical user interface for determining the optimal Mixture parameters of normal weight concretes: A response surface methodology based quadratic programming approach”, *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 136: 1-9, (2014).
- [12] Cihan M.T., Güner A. and Yüzer N., “Response surfaces for compressive strength of concrete”, *Construction and Building Materials*, 40: 763–774, (2013).
- [13] Güneyisi E., Gesoğlu M., Algin, Z. and Mermerdaş K., “Optimization of concrete Mixture with hybrid blends of metakaolin and fly ash using response surface method”, *Composites: Part B*, 60: 707–715, (2014).
- [14] De Munck M., De Sutter S., Verbruggen S., Tysmans T. and Coelho R.F., “Multi-objective weight and cost optimization of hybrid composite-concrete beams forecasting electricity consumption: a comparison of regression analysis, neural networks and least square support vector machines”, *Composite Structures*, 134: 369-377, (2015).
- [15] Jimma B. E. and Rangaraju P.R., “Chemical admixtures dose optimization in pervious Concrete paste selection – A statistical approach”, *Construction and Building Materials*, 101: 1047-1058, (2015).
- [16] Erdoğan T.Y., “Beton”, *ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayın ve İletişim Şti.*, Ankara, (2003).
- [17] Postacıoğlu B., “Beton: agregalar, beton”, Cilt 2, *İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Matbaa Teknisyenleri Basımevi*, İstanbul, (1989).
- [18] Şimşek B., İç Y.T. and Şimşek E.H., “A TOPSIS-based Taguchi optimization to determine optimal mixture proportions of the high strength self-compacting concrete”, *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 125: 18–32, (2013).
- [19] Wang S. and Huang G.H. “A multi-level Taguchi-factorial two-stage stochastic programming Taguchi approach for characterization of parameter uncertainties and their interactions: An application to water resources management”, *European Journal of Operational Research*, 240 (2): 572–581, (2015).
- [20] TS EN 197-1, “Çimento - Bölüm 1: Genel çimentolar - Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri”, (2012).
- [21] Koç B., Ertekin K.F., “Yanıt Yüzey Yöntemi ve Gıda İşleme Uygulamaları”, *Gıda Dergisi*, 35 (1): 1-8, (2012).
- [22] Özkan İ. and Yayla Z., “Evaluation of correlation between physical properties and ultrasonic pulse velocity of fired clay samples”, *Ultrasonics*, 66: 4-10, (2016).
- [23] Neville A. M., “Properties of Concrete”, 5th ed., *Pearson Education Limited*, UK, (2011).
- [24] TS EN 12390-7, “Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 7: Sertleşmiş beton yoğunluğunun tayini”, (2010).
- [25] Şimşek B., İç Y.T. and Şimşek E.H., “A RSM-Based Multi-Response Optimization Application for Determining Optimal Mix Proportions of Standard Ready-Mixed Concrete”, *Arab J Sci Eng*, 41 (4): 1435-1450, (2016).
- [26] Uyanık O., Gülay F.G. ve Tezcan S., “Beton Dayanımının Tahribatsız Ultrasonik Yöntemle Tayini”, *Hazır Beton Dergisi*, (2012).
- [27] Akçaözöğlü S., Akçaözöğlü K. and Atış C.D., “Thermal conductivity, compressive strength and ultrasonic wave velocity of cementitious composite containing waste PET lightweight aggregate (WPLA)”, *Composites Part B: Engineering*, 45 (1): 721–726, (2013).
- [28] Şimşek B. and Uygunoğlu T., “Multi-response optimization of polymer blended concrete: A TOPSIS based Taguchi application”, *Construction and Building Materials*, 117: 251–262, (2016).
- [29] İç Y.T. and Yıldırım S., “Improvement of a product design using multi criteria decision making methods with Taguchi Method”, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 27 (2): 447-458, (2012).