

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

	Sayfa No
Gökhan ÜNLÜ, Kurtuluş BORAN, Mustafa AKTAŞ, Ataollah KHANLARI Infrared Enerjili-Isı Pompalı PLC Kontrollü Bir Kurutucuda Kabak Çekirdeği Kurutulması Pumpkin Seed Drying in a PLC Controlled Infrared Energy-Heat Pump Dryer.....	519-525
Özer PAMUK, Ahmet DURGUTLU Patlama Kaynağı Yöntemi ile Birleştirilen Östenitik Paslanmaz Çelik (AISI 316L) – S235JR Kompozit Malzemelerde Patlayıcı Oranın Mikroyapı ve Yorulma Özelliklerine Etkisi The Effect of Explosive Ratio on Microstructure and Fatigue Properties of Austenitic Stainless Steel (AISI 316L) – S235JR Composite Materials Joined by Explosive Welding Method.....	527-534
Fusun DEMİREL, Sebahat Güllü İLİSULU, Merve GÖRKEK Sivas Kültür Merkezi Çok Amaçlı Salonu Akustik Tasarımı Acoustic Design of Sivas Cultural Center Multipurpose Hall.....	535-542
Kadir İMDAT, Yakup KAYA, Nizamettin KAHRAMAN Grade A Gemi Sacının Ortülü Elektrod Ark Kaynak Yöntemi ile Sualtı ve Atmosferik Şartlarda Birleştirilebilirliğinin Araştırılması An Investigation on Joinability of Grade A Ship Steel Through Shielded Metal Arc Welding Method in Underwater and Atmospheric Conditions.....	543-552
Abdi ATILGAN, Hatice ULUSOY, Hüseyin TAN, Hüseyin PEKER Ahsapta Ekolojik Boya Kullanımı ve Yüzey Pürüzlülüğü Usage of Ecological Dye in Wood and Surface Roughness.....	553-558
Aytaç ALTAN, Rifat HACIOĞLU The Algorithm Development and Implementation for 3D Printers based on Adaptive PID Controller 3 Boyutlu Yazıcılar için Uyarlamalı PID Kontrol Tabanlı Algoritma Geliştirilmesi ve Gerçeklenmesi.....	559-564
Ehri MALYER Ezerek Parlatma Yapılan AA7075 -T6 Alüminyum Alaşımında Meydana Gelen Kalıntı Gerilmelerin İncelenmesi Examining the Residual Stress on the Burnished AA7075-T6 Aluminum Alloy.....	565-573
Mustafa Batuhan KURT, Yelda KARATEPE MUMCU, Lütfi ÖZDEMİR Estimation of Screen Density According to Different Screening Methods With Artificial Neural Network Method in Flexo Printing System Fleko Baskı Sisteminde Farklı Tramlama Yöntemlerine Göre Tram Yoğunluğunun Yapay Sinir Ağı Yöntemi ile Tahmini.....	575-580
Gökhan DURMUS, Sadık ÖNAL Assessment of Energy Performance of Buildings Constructed in Different Regions of Turkey According To European Specification Ahmet Mustafa ERER Effect of Melting Temperature on Wettability of Sn-Ag-Cu Alloys on Cu Substrate Ergime Sicaklığının Cu Altlık Üzerinde Sn-Ag-Cu Alaşımının İslatabilirliğine Etkisi.....	581-586
Mustafa Cem ÖZKILIÇ, Atiye Hülya OBDAN GRE-FKÇ Yönteminin Sabit Noktalı İşaret İşleyicilerle Giriş Gerilimi Dengesizliği Olan Sistemlerde Kullanımı için Adaptasyonu Adaptation of MRF-PLL Method to be Utilized with Fixed Point Digital Signal Processors Under Unbalanced Input Voltage Conditions.....	591-596
Yakup KAYA S235JR ile S355JR Yapı Çeliklerinin Özlü Tel Elektrotla MAG Kaynak Yöntemiyle Birleştirilebilirliğinin Araştırılması An Investigation of Joinability of S235JR and S355JR Construction Steel by MAG Welding Method with Cored Wire Electrode.....	597-602
Mahmut ÇAVUR Yer ortalı Maden İşçilerini Gerçek Zamanlı Takip Etmek İçin RFID Teknolojisine Dayalı Özgün Bir Entegrasyon Metodolojisi A Unique Integration Methodology for RFID Technology to Track Underground Miners in Real-Time.....	603-610
Ümit AYATA, Nevzat ÇAKICIER Isıl İşlem Görmüş (ThermoWood) ve Su Bazlı Vernik Uygulanmış Bazı Ağaç Türlerinde Hızlandırılmış UV Yaşlandırmanın Yüze Yapıma Direncine Etkisi Impact of Accelerated UV Aging on the Surface Adhesion Strength of Water-Based Varnish Applied and Heat-Treated (ThermoWood) Some Wood Species.....	611-619
Bilal DÜZGÜN Türkiye Elektrik İletim ve Dağıtım Şebekesinin Enerji Verimliliğinin Değerlendirilmesi ve 2023 Projeksiyonları An Assessment of Transmission and Distribution Grid Efficiency in Turkey with Projections to 2023.....	621-632
Armağan KARAMANLI Flexure Analysis of Laminated Composite and Sandwich Beams Using Timoshenko Beam Theory Timoshenko Kiriş Teorisi Kullanılarak Lamine Kompozit ve Sandviç Kirişlerin Eğilme Analizleri.....	633-643
Mahir AĞGÜN, Halil DEMİR, İbrahim ÇİFTÇİ Mg2Si Partikül Takviyeli Magnezyum Alaşımının Tornalanmasında Yüzey Pürüzlülüğünün Optimizasyonu Optimization of Surface Roughness in Turning Mg2Si Particle Reinforced Magnesium.....	645-650
Hatice EYLEN, Gülçin EREL, Emir YILMAZ Açık ve Kapalı Sistemlerde Doluluk Oranının Parça Mukavemetine Etkisinin İncelenmesi Investigation on the Effect of The Open and Closed Systems.....	651-662
Gülce KAYA, Kerim ÇETİNKAYA Vidalı Transfer Sistemlerine Sahip Kartezyen Tipi 3B Yazıcılarda Gıda Malzemeleri Yazdırma Parametrelerinin İncelenmesi Analysing of Food Printing Parameters of Cartesian Type 3D Printers With Screw Transfer System.....	663-667
Yanus Emre TÜRKEL, Hamide TEKELİ Konut Türü Betonarme Binaların Deprem Risk Değerlendirmesi Earthquake Risk Evaluation of Residential Reinforced Concrete Buildings.....	669-680
Cisem ÖZ, Bilge COŞKUNER FİLİZ, Aysel KANTÜRK FİGEN Talaş Magnezyum Atığından Hidrojen Gazı Üretimi ve Hiz Profillerinin İncelenmesi Hydrogen Gas Production from Chip Magnesium Waste and Investigation of Rate Profiles.....	681-684
İsmail BAYRAM, Hale HAPOĞLU, Adnan ALDEMİR Kablosuz Ağ Uygulamaları ile Dirençli Hata Kontrolünün Sıvı Seviyesine Etkisi Impact of Robust Error Control on Fluid Level by Wireless Network Applications.....	685-691
Salih DİNDAR, İres İSKENDER Çok Çıkışlı Flyback Dönüştürücüde Çıkış Geriliminin Yüke Bağlı İncelenmesi Investigation of Output Voltages Depending On Load In Multi Output Flyback Converter.....	693-700
Mehmet ÇELİK Dizel Motorlarda Performans ve Egzoz Emisyonlarının n-hexadecane Katkı Maddesi ile İyileştirilmesi Improvement of Performance and Exhaust Emissions in Diesel Engines by Addition of n-hexadecane Material.....	701-706
Güzide ŞENEL Characterization of Soft Sets by δ -soft Operations Esnek Kümelerin δ -esnek Operasyonlarla Tanımlanması.....	707-713
Serhat KARVEYEN, Mustafa İBİBAS Türbülanslı Metan Alevinde Mikrojet Destekli Seyreltilmiş Kullanımının NO _x Emisyonlarına Olan Etkisinin Sayısal Olarak İncelenmesi Numerical Investigation of Microjet Assisted Diluents Usage on Effect of NO _x Emissions in Turbulent Methane Flame.....	715-721
Halil İbrahim VARIYENLİ Güneş Enerjisi Destekli Düz Ve Hapsedici Yüze Yüze Kurutma Fırınlarının Performanslarının Kivi Kurutarak Karşılaştırılması Comparison Of Performances Of Solar Energy Assisted Drying Ovens With Flat And Incarcerating Surface For Kiwi Drying.....	723-729
Ahmet Ali SÜZEN, Kubilay TAŞDELEN Recovering Multimedia Files from a Memory Image Geçici Bellek Yansımından Çoklu Ortam Dosyalarının Kurtarılması.....	731-737
Fırat ÇETİNKAYA, İbrahim Alper DOĞRU, Murat DÖRTERLER, Ramazan KOCAOĞLU Mobil Tasarız Ağlar için Acil Durum ve Kurtarma Senaryolarına Yönelik bir Protokol: E-AODV E-AODV: a Protocol Devoted to Emergency and Rescue Scenarios for Mobile Adhoc Networks.....	739-751
Kemal ULUTAS TlSe İnce Filminin Dalgalı İletkenliği Alternative Conductivity of TlSe Thin Film.....	753-757

POLİTEKNİK DERGİSİ

Journal of Polytechnic

POLİTEKNİK DERGİSİ

VOLUME / CİLT 21 NUMBER / SAYI 3 SEPTEMBER / EYLÜL 2018



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 EDITÖRLER/ASSOCIATE EDITORS

Prof. Dr. Jose Manuel LOPEZ-GUEDE, University of the Basque Country
Prof. Sanjeevikumar PADMANABAN, Aalborg University
Prof. Dr. Hacı Bayram KARADAĞ, İnönü Üniversitesi
Prof. Dr. İhsan ALP, Gazi Üniversitesi
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

Abid ABU-TAIR , Berzeit University	M. Baki KARAMIŞ , Erciyes Üniversitesi
Adel NASİRİ , University of Wisconsin Milwaukee	Mahmood GHORANNEUISS , Azad University
Alper BÜYÜKKARAGÖZ , Gazi Üniversitesi	Metin GÜRÜ , Gazi Üniversitesi
Arcan DERECİOĞLU , Orta Doğu Teknik Üniversitesi	Metin İPEK , Sakarya Üniversitesi
Arif WANI , California State University	Mustafa AKTAŞ , Gazi Üniversitesi
Ayhan ÖZÇİFTİ , Aksaray 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
Engin ÖZDEMİR , Kocaeli Üniversitesi	Nobumasa Matsui , Nagasaki University
Erol ARCAKLIOĞLU , Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi	Nusret AS , İstanbul Üniversitesi
Farzollah MIRZAPOUR , University of Zanjan	Osman ISIKAN , Marmara Üniversitesi
Hakan YAVUZ , Çukurova Üniversitesi	Peter LUND , Helsinki University of Technology
Halit KARABULUT , Gazi Üniversitesi	Ramazan BAYINDIR , Gazi Üniversitesi
Hamit SARUHAN , Düzce Üniversitesi	Ramazan KURT , Bursa Teknik Üniversitesi
Hani H.W.SAIT , King Abdulaziz University	Ramazan YILMAZ , Sakarya Üniversitesi
Henryka Danuta STRYCZEWA , Politechnika Lubelska	Recep ÇALIN , Kırıkkale Üniversitesi
Hüseyin AKILLI , Çukurova Üniversitesi	Rodica MILICI , Stefan cel Mare Suceava University
Hüseyin Rıza BÖRKLÜ , Gazi Üniversitesi	Saffa B. RIFFAT , Nottingham University
İbrahim DİNÇER , University of Ontario, Institute of Technology	Sare SAHİL , Gazi Üniversitesi
İbrahim SEFA , Gazi Üniversitesi	Saw Sor HEOH , INTI International University
İhsan KORKUT , Gazi Üniversitesi	Sing LEE , Institute for Plasma Focus
İlhami ÇOLAK , İstanbul Gelişim Üniversitesi	Souad A.M.ALBATHI , International Islamic University of Malaysia
İlker USTA , Hacettepe Üniversitesi	Tayfun MENLİK , Gazi Üniversitesi
İshak KARAKAYA , Orta Doğu Teknik Üniversitesi	Turgay AKBULUT , İstanbul Üniversitesi
Jamal KHATIB , University of Wolverhampton	Ulvi ŞEKER , Gazi Üniversitesi
Jerzy Smardzewski , Ponzan University	Yılmaz ARUNTAŞ , Gazi Üniversitesi
John KINUTHIA , University of South Wales	

Cilt /volume : 21	Sayı / number : 3	Eylül/ September : 2018
<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 21 SAYI 3) KATKI VEREN HAKEMLER		
Abdülmeçit GÜLDAŞ	Hakan KESKİN (2 kez)	Nurettin TOPALOĞLU
Adem ACIR	Hüdayim BAŞAK	Nurullah KIRATLI
Adnan SÖZEN (2 kez)	Hüseyin POLAT	Onuralp ULUER
Ahmet SEÇKİN	İhsan ALP	Özgül YILMAZ KARAMAN
Ahu AÇIKGÖZ	İhsan KORKUT	Pınar KIRCI
Akın ATAŞ	İhsan TOKTAŞ (2 kez)	Raif BAYIR
Alper BİDECİ	İlker ÖRS	Ramazan KAÇAR
Alper ERGÜN	İlknur KARS DURUKAN	Ramazan YILMAZ
Ayhan ONAT	İsmail ŞAHİN (2 kez)	Recep BİRGÜL
Aynur ÖZCAN	Jülide YENER	Sabri KOÇER
Bahar ASLAN	Konca ŞAHER	Selçuk KEÇEL
Bedii ÖZDEMİR	Kurtuluş BORAN	Selim ACAR
Bora LİŞESİVDİN	M. Tolga ÖZKAN	Şener KARABULUT
Can ÇOLPAN	Mehmet AVCAR	Şennur CANDAN
Çetin KARATAŞ	Memet ŞAHİN	Serhat KARYEYEN
Cevdet SÖĞÜTLÜ	Metin KAPIDERE	Serkan ISLAK
Cihan BAYINDIRLI	Munise DEMİRBAŞ	Serkan ÖZEL
Emin HÖKELEKLİ	Murat YÜCEL	Seyfi ŞEVİK (2 kez)
Emre YILMAZ	Mustafa ACARER	Sinan TOKLU
Erdoğan KÖSE	Mustafa AKTAŞ	Süleyman GÜNDÜZ
Erkan DUMAN	Mustafa BURUNKAYA (2 kez)	Tayfun MENLİK
Eyüp Burak CEYHAN	Mustafa İLBAŞ	Uğur ARABACI
Fırat KAFKAS	Mustafa ÖZDEMİR	Uğur ÖZSARAC
Günay ÖZBAY	Mustafa ÖZTÜRK	Yasin KİŞİOĞLU
Hakan DİLİPAK	Nizamettin KAHRAMAN	Yunus TÜREN

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://dergipark.gov.tr/politeknik>

İnfrared enerjili - ısı pompalı PLC kontrollü bir kurutucuda kabak çekirdeği kurutulması

Pumpkin seed drying in a PLC controlled infrared energy - heat pump dryer

Yazar(lar) (Author(s)): Gökhan ÜNLÜ¹, Kurtuluş BORAN², Mustafa AKTAŞ³, Ataollah KHANLARI⁴

ORCID¹: 0000-0001-9008-7768

ORCID²: 0000-0003-0184-8233

ORCID³: 0000-0003-1187-5120

ORCID⁴: 0000-0001-9691-9799

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Ünlü G., Boran K., Aktaş M., ve Khanları A., “İnfrared enerjili - ısı pompalı plc kontrollü bir kurutucuda kabak çekirdeği kurutulması”, *Politeknik Dergisi*, 21(3): 519-525, (2018).

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

DOI: 10.2339/politeknik.417746

İnfrared Enerjili-Isı Pompalı PLC Kontrollü Bir Kurutucuda Kabak Çekirdeği Kurutulması

Araştırma Makalesi / Research Article

Gökhan ÜNLÜ^{1*}, Kurtuluş BORAN², Mustafa AKTAŞ², Ataollah KHANLARI¹

¹Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye

²Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye

(Geliş/Received : 03.06.2016 ; Kabul/Accepted : 26.08.2016)

ÖZ

Bu çalışmada, kapalı çevrimli infrared enerjili ısı pompalı PLC kontrollü bir kurutucuda kabak çekirdeği kurutulmuş ve ortaya çıkan veriler incelenmiştir. Kurutmayı etkileyen üç önemli unsur (hava hızı, bağıl nemi ve sıcaklık) PLC ekranından ayarlanmış ve set değerlerine göre kontrol edilmiştir. Deney düzeneğinde nem alma ünitesi kullanılarak kurutma havası bağıl nemi % 25 değerinde tutulmuştur. Deney süresince kurutma havası hızı 1 m/s ve sıcaklığı 45 °C'ye set edilmiştir. Isı pompasının performans katsayısı (COP_{hp}) 4.86 ve tüm sistem performans katsayısı (COP_{ts}) ise 1.37 olarak hesaplanmıştır. Kabak çekirdekleri 0.470 g_{su}/g_{kurru} madde başlangıç nem miktarından, 0.055 g_{su}/g_{kurru} madde son nem miktarına 1.5 saatte düşürülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Kurutma, ısı pompası, kabak çekirdeği, infrared.

Pumpkin Seed Drying in a PLC Controlled Infrared Energy-Heat Pump Dryer

ABSTRACT

In this study, pumpkin seed was dried in an infrared energy closed type heat pump dryer and the results were investigated. Three important factors (air velocity, relative humidity and temperature) affecting the drying were adjusted on PLC display screen and the set data were controlled. The relative humidity value was fixed as 25 % by using dehumidifying unit on experimental setup. Drying air velocity and temperature were set as 1 m/s and 45 °C, respectively. Coefficient of performance of the heat pump (COP_{hp}) was calculated as 4.86 and whole system coefficient of performance (COP_{ts}) was calculated as 1.37. Pumpkin seeds were dried from 0.470 g_{water}/g_{dry matter} initial moisture content to 0.055 g_{water}/g_{dry matter} final moisture content in 1.5 hour.

Keywords: Drying, heat pump, pumpkin seeds, infrared.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kurutma bir ısı ve kütle geçişi olayıdır. Belli bir zamanda maddenin kuruma şartlarını sağlayan ve farklı birimlerden oluşan ünitelerin (yoğuşma, ısıtma, nem alma ve verme vb.) tümüne kurutma sistemi denir. Günümüzde özellikle yaygın olarak gıda ürünlerini kurutmak için kullanılan kurutma sistemleri farklı birçok sanayi kolunda da (deri, kağıt, çimento, kimya) kullanılmaktadır.

Kabak, salatalık, karpuz, acur ve kavun gibi ürünler ile beraber kabakgiller (Cucurbitaceae familyası) familyasını oluştururlar. Kabaklar kullanımına göre meyve ve sebze grubuna da girmektedir. Bal kabağı yemekte kullanıldığı zaman sebze, tatlısı yapıldığı zaman ise meyve niteliğini taşır [1].

Kabak çekirdeği içerdiği yağ, mineral ve aminoasitler bakımından oldukça zengindir. İçerisinde yüksek oranda K vitamini bulundurmaktadır.

Kemik yapısının güçlenmesinde, kansızlık, hücre yenilenmesinde ve sinir, kas sisteminin güçlenmesinde büyük

etkiye sahiptir. Kabak çekirdeği sanayide hammadde olarak da kullanılır. Yağının haricinde çekirdekleri ekmek, pasta sosu, şekerleme olarak farklı endüstri kollarında (gıda, ilaç, kozmetik), hayvan beslenmesinde kullanılabilir gibi tohumları ise süs eşyası olarak da kullanılmaktadır. Türkiye’de kabuksuz ve kabuklu kabak çekirdeklerinden yağ çıkarılmaktadır. Dünya kabak üretiminde; 7.000.000 ton ile Çin sıralamanın başında yer alırken, bunu 4.900.000 ton ile Hindistan, 1.080.845 ton ile Rusya takip etmektedir. Türkiye ise; 395.986 ton üretim miktarı ile dünya sıralamasında 11. sırada yer almaktadır [FAO, 2012]. Kabak Türkiye’de çerezlik olarak da yetiştirilmektedir. Türkiye’de yaygın olarak kabak çekirdeği yetiştiriciliğinin İç Anadolu’da yapıldığı bilinmektedir [2].

Kurutma konusunda birçok çalışma bulunmaktadır.

Hawlder ve Jahangeer (2006), yaptıkları bir çalışmada güneş enerjisi destekli ısı pompalı bir kurutucunun ve su ısıtıcının performansını incelemişlerdir. Bu sistem ile ilgili bir simülasyon programı çalışması yapmışlardır. Kurutma kabinindeki mevcut yüklerin, kompresör hızının ve güneş ışınlarındaki radyasyonun kurutma sistemi

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta : unlugokhan86@gmail.com

performansını etkileyen faktörler olduğunu saptamışlardır [3].

Akpınar ve ark. (2003), yaptıkları çalışmada 60, 70 ve 80 °C olmak üzere üç farklı hava sıcaklığı değeri ve iki farklı 1 ve 1.5 m/s hava hızı değerinde, 35 mm çap ve 5 mm kalınlık boyutlarında kesilmiş kabak dilimlerini siklon tipi kurutucuda kurutmuşlardır. Deney sonuçlarına göre kuruma hız-nem içeriği değişim eğrileri regresyon analizi kullanılarak modellenmiştir. Farklı sıcaklık ve hızlarda kurutulan ürünlerde kuruma süresinde hava hızından çok, sıcaklığın etkisinin olduğu anlaşılmıştır [4].

Lahsası ve ark. (2004), yaptıkları çalışmada Frenk incirinin konvektif bir güneş enerjili kurutma sisteminde kuruma kinetiğini incelemiştir. Deneyleri 50, 55 ve 60 °C değerinde değişik hava sıcaklığında, 0.0227, 0.0556 ve 0.0833 m³/s hava debisinde ve 0.5667, 1.133 ve 1.7 m/s hava hızlarında yapılmıştır. İncirleri kurutma işleminden önce 1 g ağırlığında ve 0.5 cm çap ve 2 cm yüksekliğinde dilimlemiştir. Elde edilen eğriler sonucunda hava hızı ve sıcaklığının kurutmaya etki eden en önemli faktörler olduğunu belirtmişlerdir [5].

Le ve Kim (2009), ince olarak dilimledikleri kırmızı turpu ısı pompalı kurutucu ve sıcak havalı ısıtıcı ile ayrı ayrı kurutup karşılaştırma yapmışlardır. Isı pompasında özgül nem çekme oranı (SMER) 3.4 kg/kWh olarak hesaplamışlardır. Isı pompalı kurutucu, sıcak havalı kurutmaya göre 1-1.5 kat daha uzun sürmesine rağmen ısı pompalı sistemin enerji kazancı yaklaşık üç kat daha iyi olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmada kurutma havası sıcaklığını arttırdıklarında bağıl nemin azaldığı ve MER ve SMER değerlerinin arttığını tespit etmişlerdir. Isı pompalı kurutma sisteminin sıcak havalı kurutmaya göre %58.9-%69.5 oranında enerji tasarrufu sağladığı görülmüştür [6].

Aktaş ve Gönen (2014), yaptıkları çalışmada kapalı devre ısı pompalı bir kurutucuda defne yaprağı kurutmuşlardır. Kurutma sisteminde kurutma havası sıcaklık değerlerini 40, 45 ve 50 °C olarak kurutma havası hız değerlerini ise 1 ve 1.5 m/s olarak belirlemişlerdir. Kurutma işlemi sonunda elde edilen deney verilerine göre tüm sistem için en yüksek COP_{ts} değeri 45 °C ve 1.5 m/s için 3.02 olarak hesaplamışlardır. Kurutulmuş defne yapraklarının su aktivitesi değerleri 0.49-0.55 aralığının da ölçülmüştür. Yaptıkları çalışmada enerji verimliliği bakımından defne yaprağı kurutulmasındaki en ideal değer 45 °C olduğu kurutma hava hızının ise 1.5 m/s olduğu tespit etmişlerdir [7].

Hebbar ve ark. (2004), sebzelerin kurutulması için infrared ve sıcak havalı kombine olarak çalışan kurutucu tasarlamışlardır. Bu çalışmada kombine kurutucuda kurutma havası sıcaklığının 80°C ve kurutma hava hızının 1 m/s olduğu değerlerde kurutma süresinin %48 azaldığı ve aynı zamanda enerji tasarrufunun diğer koşullara göre %63 azaldığı görülmüştür [8].

Nowak ve Lewicki (2004), eşit etki değerine sahip konveksiyonel ve infrared kurutucu kullanarak elma dilimlerinin kurutma karakteristikleri incelemiştir. Bu

çalışmada kurutma kinetiğinin infrared kaynağının mesafesine ve hava hızına bağlı olduğu görülmüştür [9].

Kocacı ve Tezer (2009), havuç dilimlerini bir infrared kurutucuda 8.52 kg_{su}/kg_{kuru madde} başlangıç nem içeriğinden 0.11 kg_{su}/kg_{kuru madde} nem içeriğine kadar kurutmuşlardır. Denemeleri üç farklı infrared gücünde ve üç farklı hava hızında gerçekleştirmişlerdir. Kuruma zamanının 1.0 - 2.0 m/s hava hızlarında, 300 - 500 W infrared gücünde sırasıyla 252-277 dakika, 205-236 dakika, 145-155 dakika arasında değiştiğini bulmuşlardır. Kuruma hızının infrared gücünün artmasıyla arttığını tespit etmişlerdir. Özgül enerji tüketimi değerlerinin bütün kurutma şartları için 12.220-14.580 MJ/(kg-buharlaşan su) arasında değiştiğini bulmuşlardır. Ayrıca rehidrasyon oranı ve renk parametrelerinin kurutma şartlarından etkilendiğini belirlemişlerdir [10].

Queiroz ve ark. (2004), yaptıkları çalışmada ısı pompalı ve elektrik rezistanslı olmak üzere iki farklı kurutucu kullanılarak domatesi kurutularak kurutucuların performanslarını karşılaştırmışlardır. Bu çalışmada paralel ve karşıt akış kurutma havası kullanmışlardır. Yaptıkları çalışmada matematiksel modelleme yapmışlardır. Çalışmalar sonucunda ısı pompası COP değerini 2.56-2.68 arasında hesaplamışlardır. Isı pompalı kurutucunun elektrikli rezistansa göre enerji bakımından % 40 daha ekonomik olduğunu belirlemişlerdir [11].

Phani ve ark. (2005), yaptıkları çalışmada kapalı çevrimli sürekli akışlı ısı pompası destekli bir kurutma sistemini test etmişlerdir. Yaptıkları çalışmada 30-35 °C sıcaklık değerleri arasındaki kurutulan bitkileri kurutmuşlardır. Yaptıkları teorik analizde özgül nem çekme oranı (SMER) 0.006-0.61 kg/kWh değerleri arasında bulmuşlardır [12].

Özdemir ve Özkaya (2015), yaptıkları çalışmada bir odayı ısıtmak ve soğutmak için düşey tip toprak kaynaklı bir ısı pompası kurmuşlardır. Isıtma mevsimi için ısı pompasının performans katsayısı COP_{ip} ve sistemin performans katsayısı COP_{sis} değerleri sırasıyla 3.85 ve 3.45 olarak hesaplamışlardır. Ayrıca ısı pompası ünite bazında ekserji verimi % 77, sistem bazında % 71 olarak hesaplamışlardır. Soğutma mevsimi için ısı pompasının performans katsayısı COP_{ip} ve sistemin COP_{ts} değerleri ise sırasıyla 3.12 ve 2.81 olarak hesaplamışlardır. Ayrıca ısı pompası ünite bazında ekserji verimi % 78.6, sistem bazında % 70.8 hesaplamışlardır [13].

Şevik ve ark. (2011), yaptıkları çalışmada ısı pompası ve güneş enerjili destekli ısıtma ve kurutma prosesi modellemiştir. Sistem dizaynının enerji analizini yapmışlardır [14].

Bu çalışmada ısı pompalı nem kontrollü kapalı çevrim infrared enerjisi destekli bir kurutucunun test edilmesi amaçlanmıştır.

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

Sistemde yaş ürün olarak, Türkiye’de üretimi ve ihracatı yapılmakta olan, farklı sanayi kollarında hammadde olarak kullanılan, zengin vitamin ve minerallerle sahip kabak çekirdeği seçilmiştir. Balkabağı türü kabaklar dilimlenerek içinden çekirdekleri çıkartılıp kurutulma süresine kadar özelliğini kaybetmeyecek şekilde muhafaza edilmiştir.

Kurutma havası sıcaklığı, hızı ve bağıl nemi istenilen şartlarda tutularak infrared enerjili, ısı pompalı PLC kontrollü bir kurutma sistemi ile deney yapılması amaçlanmıştır. Sıcaklık, hız ve bağıl nemin hassas kontrol edilmesi ürün kalitesini olumlu etkileyecektir. Aynı zamanda yüksek bağıl nemde yapılan kurutma işlemi ürünün kuruma süresinin uzamasına sebebiyet vermektedir. Yine yüksek sıcaklık ya da yüksek hava hızında yapılan kurutma da ürünün aromasının bozulmasına sebebiyet vermektedir. Düşük hava hızında yapılacak kurutma işlemi ile de kurutma süresi uzamaktadır. Bu sebepler göz önüne alınarak daha önceki çalışmalar ve sonuçları analiz edilerek infrared enerjili ısı pompalı PLC kontrollü bir kurutma fırını tasarlanıp imal edilmiştir.

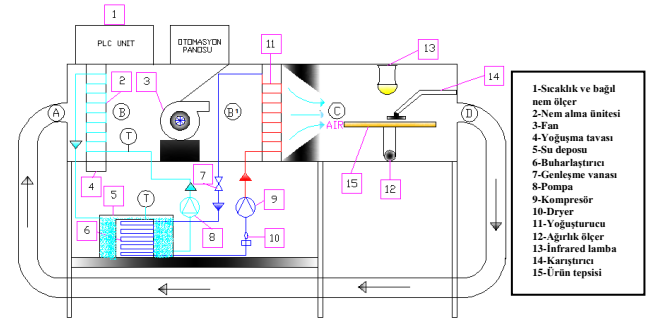
PLC kontrol sistemi, kurutma sisteminde deney esnasında elde edilen verileri PC’ye aktaran, kurutma havası bağıl nemi, kurutma havası sıcaklığı, kurutma havası debisi ve ürün ağırlığı değişimini gösteren sistemdir.

Şekil 1’de infrared enerjili ısı pompalı PLC kontrollü bir kurutma sistemi görünmektedir. Sistemde kompresör, pompa ve fan olmak üzere üç adet enerji tüketen mekanik sistem, bir adet enerji tüketen infrared lamba, iki adet ısı

değiştirici (yoğuşturucu ve buharlaştırıcı), dryer, kılcal boru, su deposu, anemometre, sıcaklık ve bağıl nem sensörleri, nem alma ünitesi, kurutma kabini, ağırlık ölçer (load-cell), ürün tepsisi ve PLC kontrol cihazı vardır.

Sistemde kapalı devre olarak dolaşan kurutma havası üründe bulunan mevcut nemi bünyesine alarak nemlenmektedir. Buharlaştırıcı tarafından sıcaklığı düşürülen su, pompa ile nem alma bataryasına iletilir. Kurutma odası çıkışında nemlenen kurutma havasının nemi nem alma ünitesinin soğuk yüzeyinden geçirilerek alınır.

Kurutma sisteminde, PLC kontrol cihazında ayarlanan sıcaklık değeri ve bağıl nem değeri sıcaklık ve bağıl nem sensörü ile hava hızı anemometre ile ölçülmektedir. Kabak çekirdeği yüzey sıcaklığı set değerine ulaştığında PLC sistemi infrared lambayı durdurmuştur. Bunun yanında istenilen kurutma havası set sıcaklığına ulaştığında kompresör durdurulmuştur.



Şekil 1. İnfrared enerjili ısı pompalı PLC kontrollü kurutma sistemi (PLC controlled infrared energy heat pump drying system)

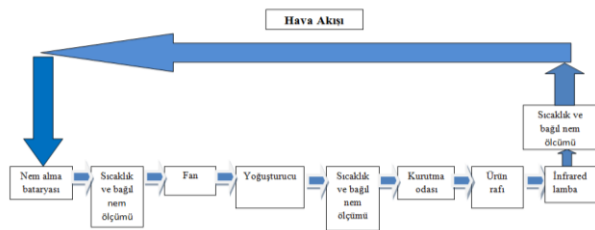
Çizelge 1. Ölçüm cihazlarının özellikleri (Properties and sensitivity of measurement devices)

Kullanılan Cihaz	Teknik Özellikleri
Ağırlık Ölçer (Load-Cell)	5 kg kapasite, 40 ~ + 80 °C, 5 ~ 12 (DC), hassasiyeti ± % 0,02
Bağıl nem ve sıcaklık transmitteri	% 0 - 100 bağıl nemde % ± 2 ölçüm hassasiyeti, - 40, + 120 °C sıcaklıkta ± 0,1 °C ölçüm hassasiyeti, çalışma sıcaklığı - 10 + 60 °C
Hava hızı ve sıcaklık ölçüm cihazı	Sıcaklık - 20, + 70 °C, hız 0 - 20 m/s ölçüm hassasiyeti ± 0,01 m/s, ± 0,1 °C, NTC sensör
Su aktivitesi ölçüm cihazı	Su aktivitesi a _w değeri 0 – 1 arasında olduğunda ölçüm hassasiyeti ± 0,001
Isıl çift	Skala 0 - 70 °C, besleme 24 V - DC, çıkış 4 - 20 mA, hassasiyeti ± 0,1 °C
Dijital tartı	En yüksek ölçülebilecek miktar 6100 g, ölçüm hassasiyeti ± 0,01 g

Kurutma havası nem alma ünitesinden geçerek 'B' şartlarında yoğuşturucu'da duyulur olarak ısıtılır ve sıcaklığı ΔT kadar yükseltilerek 'C' şartlarına getirilir. (B¹ – B fanın verdiği ısıdan dolayı, havanın sıcaklığı yükselmektedir). 'C' şartlarına gelen kurutma havası kurutma kabine girer ve nem değeri bir miktar yükselmekte ve kuru termometre sıcaklığı da bir miktar azalmaktadır. Kurutma kabinden 'D' şartlarında çıkan hava izole edilmiş silindir kanaldan geçerek nem alma ünitesine gelir. Kurutma sisteminde PLC ekranına girilen bağıl nem değeri kurutma havasındaki nem değerinden düşük ise deney düzeneğinde bulunan nem alma bataryası devreye girerek sistemde dolaşan nemli havanın nemini soğuk yüzeyde çeker. "A" şartlarında bulunan kurutma havası tekrar "B" şartlarına getirilir.

İnfrared enerjili ısı pompalı PLC kontrollü bir kurutma fırınında kullanılan cihazlar, teknik özellikleri ve ölçüm hassasiyetleri çizelge 1'de verilmiştir.

Sistemde yapılan teorik analizler sonucunda optimum şartlarda kabak çekirdeği kurutma deneyi yapılmıştır. Kapalı devre kurutucuda hava akış şeması şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Hava akışı şeması (Schema of air flow)

3. TEORİK ANALİZ (THEORETICAL ANALYSIS)

Deneye başlamadan önce kesilmiş balkabağından çıkartılan kabak çekirdeğinin kuru ağırlığı belirlenmiştir. Etüv fırınında 100 ± 2 °C'de kurutulmuştur. Bu işlem süresince kabak çekirdeği hassas dijital teraziye saatte bir tartılmış ve iki ölçüm arasındaki fark %1 den az olduğunda kabak çekirdeği kuru kabul edilmiştir.

Kabak çekirdeğinin kuru esasa göre hesaplanan nem miktarı için;

$$SO_{KA} = \frac{Y_A - K_A}{K_A} \quad (1)$$

eşitliği kullanılır.

Kabak çekirdeğinin yaş esasa göre hesaplanan nem miktarı için;

$$SO_{YA} = \frac{Y_A - K_A}{Y_A} \quad (2)$$

eşitliği kullanılır [15].

Sistemde yoğuşturucudan havaya atılan ısı miktarı (\dot{Q}_Y) aşağıdaki eşitlik ile hesaplanabilir [16].

$$\dot{Q}_Y = \dot{m}_{ia} \cdot C_{phava} \cdot (T_{ia} - T_{aai}) \quad (3)$$

$$\dot{m}_{ia} = \rho_{ia} \cdot \dot{V}_i \quad (4)$$

Kurutma sisteminde ısı pompası performans katsayısı aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanabilir.

$$COP_{ip} = \frac{\dot{Q}_Y}{\dot{Q}_C} \quad (5)$$

Kurutma sisteminde ısı pompası için tüm sistemin performans katsayısını (COP_{ts}) belirlemek için aşağıdaki eşitlik kullanılır [17].

$$COP_{ts} = \frac{\dot{Q}_Y}{\dot{Q}_c + \dot{Q}_f + \dot{Q}_p + \dot{Q}_i} \quad (6)$$

Tüm sistem için özgül nem çekme oranı ($SMER_{ts}$), üründen buharlaştırılan 1 kg nem için harcanan toplam enerji miktarına oranı olarak tanımlanıp eş. 7 ile verilmiştir [7].

$$SMER_{ts} = \frac{\dot{m}_{su}}{\dot{W}_c + \dot{W}_f + \dot{W}_p + \dot{W}_i} \quad (7)$$

Üründeki nem oranı aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanır.

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} \quad (8)$$

Deney verilerine göre kurutma hızı aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır.

$$DR = \frac{MC_{tb} - MC_{ts}}{dt} \quad (9)$$

4. DENEYLER (Experiments)

4.1. Kabak çekirdeği kuru madde miktarının tespiti (Determination of pumpkin seeds dry matter)

Kesilip kabaktan ayrılmış çekirdekler etüv fırınında (100 ± 2 °C) kurutulmaya başlanmıştır. Yapılan ölçümler ile kuru madde miktarı belirlenerek ürünün başlangıç nem miktarı tespit edilmiştir.

4.2. Kabak çekirdeğinin kurutulması (Drying of the pumpkin seeds)

Başlangıç nem miktarı belirlenmiş olan kabak çekirdeği infrared enerjili ısı pompalı PLC kontrollü bir kurutma sisteminin kurutma kabinde bulunan rafa yerleştirilmiştir. 45 °C kurutma havası sıcaklığı ve 1 m/s hava hızında deney yapılmıştır. Kurutma işlemi süresince kabak çekirdeğinin ağırlıkları her 10 dakikada bir PLC ekranından kontrol edilerek kayıt altına alınmıştır. Deney öncesinde ve sonrasında kabak çekirdeği resimleri şekil 3'de verilmiştir.

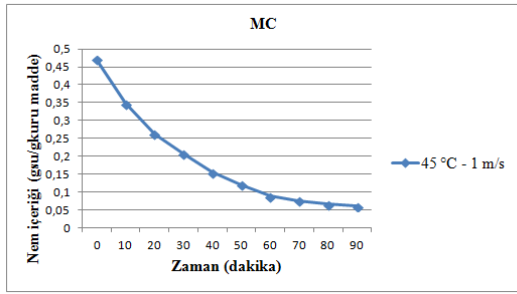


a) Kurutma öncesi (Before drying) b) Kurutma sonrası (After drying)

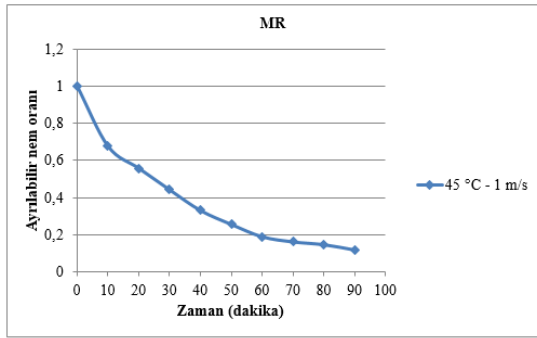
Şekil 3. Kabak çekirdeği, kurutma öncesi ve sonrası resimleri (Pictures of pumpkin seed before and after drying)

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

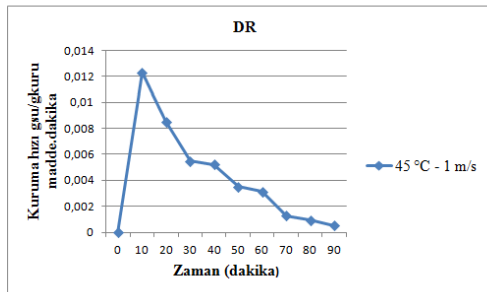
45 °C üfleme havası sıcaklığı, 45 °C ürün yüzey sıcaklık set değerlerinde 1 m/s hava hızında ve % 25 üfleme set bağıl nemde kabak çekirdeği 1.5 saatte kurutulmuştur. Şekil 4, 5 ve 6'da görüldüğü gibi yapılan deneyler sonucunda kabak çekirdeklerinin kuru esasa göre nem miktarı değişimi (MC), nem oranı (MR) ve kuruma hızlarının (DR) zamana göre değişimi görülmektedir.



Şekil 4. Kurutma esnasında kabak çekirdeğinin zamana göre nem miktarının değişimi (Moisture content changes during the drying of pumpkin seeds versus drying time)



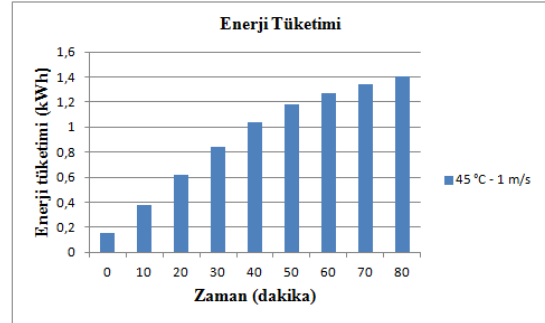
Şekil 5. Kurutma esnasında kabak çekirdeğinin zamana göre nem oranının değişimi (Moisture ratio changes during the drying of pumpkin seeds versus drying time)



Şekil 6. Kurutma esnasında kabak çekirdeğinin zamana göre kuruma hızının değişimi (Drying rate changes during the drying of Pumpkin seeds versus drying time)

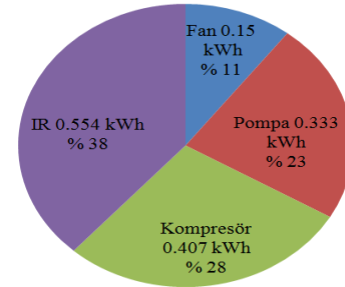
Şekil 6'da bağıl nem kontrolünden dolayı kuruma hızı bir miktar dalgalanmıştır.

Kurutma işlemi süresince harcanan enerji miktarı şekil 7'de gösterilmiştir. Kurutma esnasında enerji tüketiminin zamana bağlı olarak değişimine . PLC'de set edilen değerlere göre pompa, kompresör ve infrared lambanın aç-kapa kontrolü enerji tüketiminin dalgalanmasına yol açmıştır.



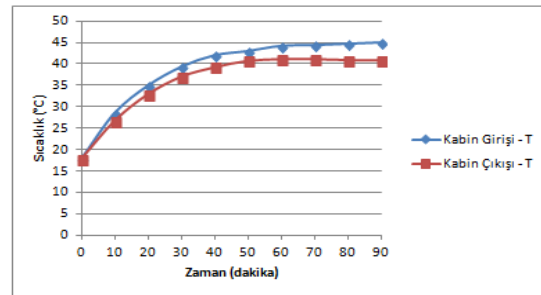
Şekil 7. Kurutma sürecinde tüketilen enerjinin zamana göre değişimi (Energy consumption during the drying process versus time)

Şekil 8'de infrared enerjili ısı pompalı PLC kontrollü bir kurutma sisteminde kullanılan ve enerji tüketen ekipmanların sistemde tükettiği enerji oranları verilmiştir. Yapılan deneyde kurutma sisteminde en çok enerji tüketen ekipman infrared lamba, en az enerji tüketen ekipman ise fan'dır.



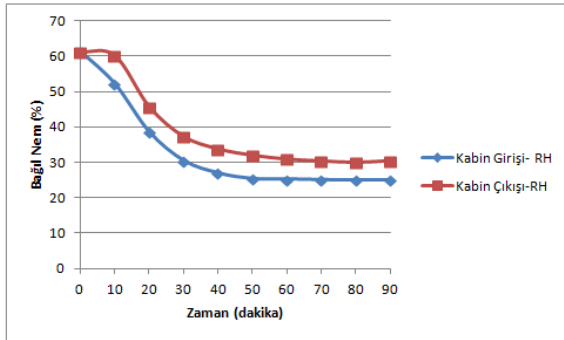
Şekil 8. Ekipmanların enerji tüketim değerleri ve yüzdeleri (Energy consumption values of equipment and percentage)

Şekil 9'da yapılan deneyde kurutma kabınınin giriş ve çıkışındaki sıcaklık değişiminin zamana göre değişim grafiği verilmiştir. Kurutma işlemi süresince gerçekleşen ısı ve kütle transferinden dolayı kabin çıkış sıcaklığı giriş sıcaklığından düşük değerlerde kalmıştır.



Şekil 9. Kabak çekirdeği kurutma deneyinde kabin giriş ve çıkış havası sıcaklık değişim grafiği (Changing of drying cabinet inlet and outlet air temperature)

Şekil 10'da kurutma işlemi süresince üründen nem alındığından dolayı kabin çıkış bağıl nemi giriş değerinden yüksektir.



Şekil 10. Zamana göre kurutma havası giriş ve çıkış bağıl nem değişimleri (Relative humidity changes of inlet and outlet air versus drying time)

Eş. 6 kullanılarak tüm sistemin performans katsayısı (COP_{ts}) ve eş. 5 kullanılarak ısı pompası performans katsayısı (COP_p) hesaplanmıştır. Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar çizelge 2'de görülmektedir.

Çizelge 2. Deney verileri sonucu (experimental data results)

Deney hız ve sıcaklık değeri	COP_{ts}	COP_p	Kurutma süresi (dk)	Harcanan toplam enerji (kWh)
45 °C	1.37	4.86	90 dk	1.444
1 m/s				(kWh)

6. SONUÇ (CONCLUSION)

Kabak çekirdeği doğal yollar ile kurutulduğunda uzun bir kurutma süresine tabi kalmaktadır. Ayrıca doğal yolla kurutma sonucunda ürünün kalitesinde bozulmalar meydana gelmektedir. Ayrıca geceleri ve her mevsim kurutma imkânı sağlanamamaktadır. Bu kurutma sistemi ile kabak çekirdeği 1.5 saat süren kısa bir kurutma süresi ile istenilen ürün nem değerine getirilerek bahsedilen olumsuzluklar ve zaman kaybı ortadan kalkmaktadır.

Deney verileri irdelenmiş ve kurutma sisteminde ısı pompasının performans kat sayısı hesaplanarak (COP_p) 4.86 değerinde bulunmuştur. Dolayısıyla enerji performansı yüksek bir kurutucu bu çalışma ile ortaya konulmuştur.

Deney sonucunda kabak çekirdeğine duyulur analiz yapılarak ürünün renk, tat ve kokusunda herhangi bir değişiklik gözlenmemiştir.

SEMBOLLER (SYMBOLS)

c	Havanın özgül ısısı [kJ/kg°C]
h	Entalpi [kJ/kg]
KA	Kurutma sonrası numune kütlesi [g]

\dot{m}_{ia}	Havanın kütleli debisi [kg/s]
\dot{V}_i	Kurutma havasının hacimsel debisi [m ³ /s]
ρ_{ia}	Kurutma havası yoğunluğu [kg/m ³]
T_{ia}	Yoğuşturucudan çıkan havanın sıcaklığı [°C]
T_{aai}	Yoğuşturucuya giren havanın sıcaklığı [°C]
\dot{Q}	Birim zamanda harcanan enerji [kW]
\dot{Q}_c	Kompresör gücü [kJ/s]
\dot{Q}_f	Fan gücü [kJ/s]
\dot{Q}_p	Pompa gücü [kJ/s]
\dot{Q}_i	İnfrared gücü [Kj/s]
SO_{KA}	Kuru maddeye göre ürün içerisindeki su miktarı [g su/g kuru madde]
SO_{YA}	Yaş maddeye göre ürün içerisindeki su miktarı [g su/g yaş madde]
\dot{W}	Birim zamanda yapılan iş [kJ/s]
YA	Kurutma öncesi numune kütlesi, [g]
DR	Kurutma hızı
MC_{ts}	"t" anındaki nem miktarı
MC_{tb}	"t" anındaki başlangıç nem miktarı
M_e	Denge nemi
M_o	Başlangıçtaki ürün kütlesi [g]

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Kara, D., "Sakarya'da Yetişen İki Farklı Kabak Çekirdeğinden (Cucurbita Maxima ve Moschata) Katalaz Enziminin Karakterizasyonu", Yüksek Lisans Tezi, **SAKARYA Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Sakarya, (2008).
- [2] Yanmaz, R., ve Gülşen, O., "Çerezlik Kabak Çalışmayı", **Kayseri Valiliği İl Gıda Tarım ve Hayvancılık Müdürlüğü**, KAYSERİ, (2014).
- [3] Hawlader, M.N.A., Jahangeer, K.A., "Solar Heat Pump Drying and Water Heating in the Tropics", **Solar Energy**, 80 (5): 492-499, (2006).
- [4] Akpınar E.K., Biçer Y., "Siklon Tipi Bir Kurutucuda Kabağın Kuruma Davranışının İncelenmesi", **Gazi Üniversitesi Fen bilimleri dergisi**, 16(1): 159-169, (2003).
- [5] Lahsani S., Kouhila M., Mahrouz M., Jaouhari J.T., "Drying Kinetics of Prickly pear Fruit (Opuntia Ficus Indica)", **Journal of Food Engineering**, 61: 173-179, (2004).
- [6] Lee, K.H., Kim, O.J., "Investigation on Drying Performance and Energy Savings of the Batch-Type Heat Pump Dryer", **Drying Technology**, 27: 565-573, (2009).
- [7] Aktaş M., Gönen E., "Isı Pompalı Nem Kontrollü Bir Kurutucuda Defne Yaprağı Kurutulması", **Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Der.**, 29(2): 433-441, (2014)..
- [8] Hebbbar, H., Vishwanathan, K.H., Ramesh, M.N., "Development of Combined Infrared and Hot Air Dryer for Vegetables", **J. of Food Eng.** 65: 557-563, (2004).
- [9] Nowak, D., Lewicki P. P., "Infrared Drying of Apple Slices", **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, 5: 353-360, (2004).

- [10] Kocabiyik H. and Tezer D., “Dryain of CarrotSlices Using İnfraredRadiation”, *International Journal of food science and tecnology*, 44: 953-959, (2009).
- [11] Queiroz, R.,Gabas, A. L., Telis, V. R. N., “Drying Kinetics of Tomatoby Using Electric Resistance and Heat Pump Dryers”, *Drying Technology*, 22: 1603-1620, (2004).
- [12] Phani, K., A., Greg, J., S., “Re-circulating Heat Pump Assisted Continuous Bed Drying and Energy Analysis”, *International Journal of Energy Research*, 29: 961-972, (2005).
- [13] Özdemir, B., M., Özkaya, G., M., “Ankara İli Şartlarında Düşey Tip Toprak Kaynaklı Isı Pompası Sisteminin Enerji ve Ekserji Analizi”, *Politeknik Dergisi*, 18 (4) : 269-280, (2015).
- [14] Şevik, S., Doğan H., Aktaş M., “Güneş Enerjisi ve Isı Pompası Destekli Isıtma Kurutma Sisteminin Modellenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 14: 85-91, (2011).
- [15] Aktaş, M., Kara M., Ç., “Güneş Enerjisi ve Isı Pompalı Kurutucuda Dilimlenmiş Kivi Kurutulması”, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 28(4): 733-741, (2013).
- [16] Aktaş M., Aktekeli Z., Doğan H. ve Ceylan D., “Güneş Enerjisi Destekli, Isı Pompalı Kırmızı Biber Kurutucusunun Tasarımı, İmalatı ve Performans Dencyleri”, *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 30(1): 111-120 (2010).
- [17] 17. Kavak Akpınar E., “Drying of Mint Leaves in a Solar Dryer and Under Open Sun: Modelling, Performance Analyses”, *Energy Con. And Man.*, 51: 2407-2418, (2010).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>

**Patlama kaynağı yöntemi ile birleştirilen
östenitik paslanmaz çelik (AISI 316L)-S235JR
kompozit malzemelerde patlayıcı oranının
mikroyapı ve yorulma özelliklerine etkisi**

*The effect of explosive ratio on microstructure
and fatigue properties of austenitic stainless
steel (AISI 316L)-S235JR composite materials
joined by explosive welding method*

Yazarlar (Authors): Özer PAMUK¹, Ahmet DURGUTLU²,

ORCID¹: 0000-0001-6810-8526

ORCID²: 0000-0003-3839-2903

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Pamuk Ö., Durgutlu A., “Patlama kaynağı yöntemi ile birleştirilen östenitik paslanmaz çelik (AISI 316 L) - S235JR kompozit malzemelerde patlayıcı oranının mikroyapı ve yorulma özelliklerine etkisi”, *Politeknik Dergisi*, 21(3): 527-534, (2018).

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

DOI: 10.2339/politeknik.426641

Patlama Kaynağı Yöntemi ile Birleştirilen Östenitik Paslanmaz Çelik (AISI 316L) – S235JR Kompozit Malzemelerde Patlayıcı Oranının Mikroyapı ve Yorulma Özelliklerine Etkisi

Araştırma Makalesi / Research Article

Özer PAMUK^{1*}, Ahmet DURGUTLU²

¹Mühendislik Fakültesi, Malzeme Bilimi ve Nanoteknoloji Mühendisliği Bölümü, Uşak Üniversitesi, Türkiye

²Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 24.11.2016 ; Kabul/Accepted : 01.04.2017)

ÖZ

Bu çalışmada, östenitik paslanmaz çelik (AISI 316L) ve S235JR levhalar, katı hal kaynak yöntemlerinden olan patlama kaynak yöntemiyle iki farklı patlayıcı oranı (R=1.5-2) kullanılarak birleştirilmiştir. Elde edilen kompozit malzemelerin birleşme arayüzlerinde meydana gelen değişimleri görmek ve mekanik özelliklerini tespit etmek amacıyla mikroyapı, sertlik ve yorulma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucunda düşük patlayıcı oranının kullanıldığı numunelerin birleşme arayüzünde oluşan dalgalanmanın çok düşük boyutlarda olduğu görülmüştür. Daha yüksek patlayıcı oranının kullanıldığı numunede ise artan patlayıcı oranı ile beraber arayüzde oluşan dalgalanmaların boylarında ve genliklerinde bir artış meydana geldiği tespit edilmiştir. Patlayıcı oranının artmasıyla beraber oluşan deformasyondan dolayı kompoziti meydana getiren malzemelerin sertliklerinde de bir artışın meydana geldiği belirlenmiştir. Kompozit malzemelere uygulanan yorulma deneylerinde ise patlayıcı oranının artmasıyla beraber kompozitlerin yorulma ömürlerinde bir azalmanın meydana geldiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Patlamalı kaynak, patlama oranı, mikroyapı, yorulma, sertlik.

The Effect of Explosive Ratio on Microstructure and Fatigue Properties of Austenitic Stainless Steel (AISI 316L) – S235JR Composite Materials Joined by Explosive Welding Method

ABSTRACT

In this study, austenitic stainless steel (AISI 316L) and S235JR plates were joined via explosion welding method, which is one of solid state welding methods, and by using two different explosive rates (R=1.5-2). The developed composite materials microstructure was evaluated in order to see changes occurring in the joint interfaces and the hardness, and fatigue tests were carried out to determine their mechanical properties. As a result of the experiment, the fluctuation occurring in the joint interface of samples was observed to be very low for low explosive rate, On the other hand, it was determined that in the sample in which higher explosive rate was used the lengths and amplitudes of waves increased in the joint interface. An increase was determined in hardness of materials forming the composite due to deformation occurring as a result of increase of explosive rate. In fatigue tests applied to composite materials, a decrease was found in fatigue life of composites as a result of increase of explosive rate.

Keywords: Explosive welding, explosion rate, microstructure, fatigue, hardness

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

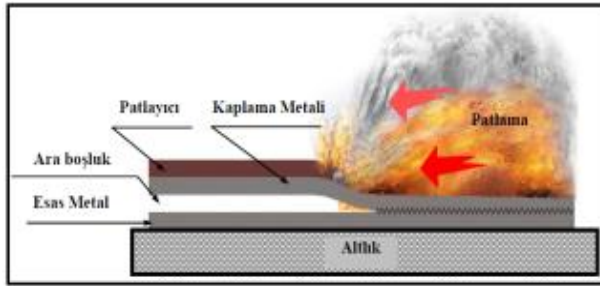
Patlamalı kaynak; geleneksel kaynak yöntemleri ile birleştirilemeyen aynı ya da farklı türdeki metallerin kontrol edilebilen koşullar altında bir metalik kütlenin başka bir metalik kütle üzerinde patlama etkisi ile bir bağ oluşturma işlemidir. Katı hal kaynak tekniklerinden biri olan patlamalı kaynakta patlama ile elde edilen yüksek basınç yardımı ile metal yüzeylerinde meydana gelen

çarpışma neticesinde elde edilen çarpışma enerjisi vasıtasıyla yüzeyler, oluşan ilk temaslarını birbirleri üzerinde bir akış sergileyerek devam ettirmeleri sonucunda bir birleşme meydana gelmektedir. Kaynak sırasında meydana gelen temas basıncı oldukça yüksek olduğu için üst tabakanın kinetik enerjisi dalgalı bir arayüzeyin oluşmasına neden olmaktadır. Bu darbe neticesinde iki yüzey birbirlerine mekanik olarak kilitlenir. Bu kaynak yönteminde kaynak işlemi gerçekleştirilmek için dışarıdan herhangi bir ısı verilmez. Patlayıcının infilak etmesinden dolayı bir ısı ortaya

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : ozer.pamuk@usak.edu.tr

çıkmasına rağmen ısı transferi için yeterli zaman olmadığı için metaller arasında bir ısı akışı meydana gelmez ve çoğu zaman arayüzeyde difüzyon olayı gerçekleşmez [1-5]. Ancak araştırmacılar bazı durumlarda kaynak esnasında 0.1 μm kadar bir difüzyonun gerçekleştiğini belirtmişlerdir [6].

Patlamalı kaynak işleminde birleşmenin gerçekleşebilmesi için gerekli olan şartın fişkırmaya çarpması biçiminde oluşan eğimli çarpışma olduğu ileri sürülmektedir. Fişkırmaya mekanizması, kaynaklanan levhaların yüksek hızda çarpışmaları neticesinde levhalar arasından dışarıya çıkmaya zorlanan ve çarpışmanın ucunda şekillenen metalin fişkırmaya için kontrol edilen levha hızı, basınç, çarpışma açısı ve çarpışma noktası hızının bulunduğu eğimli bir çarpışma olarak tanımlanmaktadır [7-9]. Patlama neticesinde oluşan yüksek basınç ile çarpışma noktasındaki temiz metal yüzeyleri yakın temasa zorlanmaktadır. Patlamalı kaynak işlemi iki aşamalı olarak düşünülebilir. Birincisi, fişkırmaya ile yüzey filmlerinin parçalanıp temizlenmesi, ikincisi, yüksek basınç ile atomlar arası kuvvetlerin birleşme arayüzeyi oluşturabileceği konum olan yakın temas için metal yüzeyleri zorlaması [10-12]. Patlamalı kaynak yönteminin şematik gösterimi Şekil 1'de gösterilmiştir.



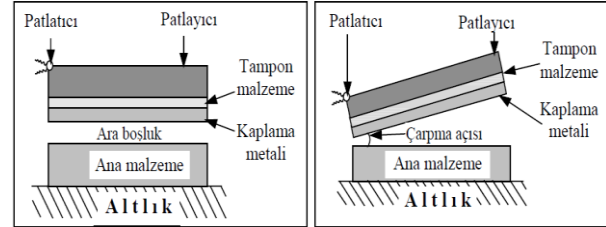
Şekil 1. Patlamalı kaynak yönteminin şematik görünümü
(Explosive welding method schematic view)

Patlamalı kaynak yöntemi aynı ya da farklı türdeki metal ve alaşımlarının kaynağının yanında çok katlı ve tel ile güçlendirilmiş kompozit malzeme üretimi içinde kullanılabilir. Ayrıca bu kaynak yöntemi korozyon dayanımı istenen kaplamalı metallere üretiminde de kullanılmaktadır [13-15].

Patlamalı kaynak yönteminde paralel düzlemde birleştirme ve açılı (eğik) düzlemde birleştirme olmak üzere iki geometrik şekil vardır. Bu yöntemde bir altlık üzerine sırasıyla, ana malzeme, ara boşluk, ana malzemeye göre eğimli veya paralel yerleştirilmiş kaplama parçası, malzemelerin patlama sırasında hasara uğramalarını engellemek için tampon malzeme, patlayıcı malzeme ve füyne yerleştirilmektedir [16,17]. Patlamalı kaynak işleminin paralel ve açılı (eğik) düzlemde kaynak geometrisi Şekil 2'de gösterilmektedir.

Patlamalı kaynak yönteminde de diğer kaynak yöntemlerinde olduğu gibi kabul edilebilir nitelikte kaliteli birleşmelerin elde edilebilmesi için kaynak işlemi kontrol altında tutulabilecek işlem

parametrelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Birleştirme işleminde arayüzeyi ve kaynak kalitesini etkileyen bazı önemli kaynak parametreleri; ara boşluk mesafesi (s), patlayıcı oranı (patlayıcı kütlesinin üst levha kütlesine oranı) (R), patlayıcının patlama hızı (V_d), üst levhanın çarpma hızı (V_p), çarpışma açısı (Q), kaynak hızı (V_c) ve altlık olarak sıralanabilir [15,18,19].



Şekil 2. Patlamalı kaynak işleminin paralel ve eğik düzlemdeki şematik gösterimi (Schematic view of explosive welding process on parallel and inclined plane)

Bu çalışmada, gelişmiş ülkelerde yaygın bir şekilde kullanılan ancak ülkemiz endüstrisinde henüz istenilen yeri alamayan patlamalı kaynak yöntemi kullanılarak kompozit malzeme üretilmiş ve üretilen bu kompozit malzemelerin mikroyapıları ile yorulma davranışları incelenmiştir. Tek malzeme yerine kompozit malzeme tercih edilmesinin nedeni; korozyon direnci geliştirilmiş, ısı transfer özellikleri artırılmış, elektriksel özellikleri iyileştirilmiş, kabul edilebilir dayanım değerleri ile iyi aşınma ve erozyon direncine sahip malzemeleri düşük maliyette üretebilmektir. Bu amaçla, S235JR malzeme yüzeyi östenitik paslanmaz çelik (AISI 316L) ile patlamalı kaynak yöntemi kullanılarak kaplanmıştır. Elde edilen malzemeler mikroyapı, sertlik ve yorulma testlerine tabi tutularak kompozitlerin birleşme arayüzeyi özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT (MATERIAL and METHOD)

Bu çalışmada, sabit ara boşluk mesafesi (s) ve farklı patlayıcı oranları ($R=1.5-2$) kullanılarak patlamalı kaynak yöntemiyle üretilen kompozitlerin mikroyapı, sertlik ve yorulma özellikleri belirlenmek istenmiştir. Bu amaçla 200x200x1 mm ebatlarında, 195 HV_{0.3} sertlik değerine sahip östenitik paslanmaz çelik (AISI 316L) ile 200x200x3,5 mm ebatlarında, 160 HV_{0.3} sertlik değerine sahip S235JR metal çiftleri patlamalı kaynak yöntemi ile paralel levha geometrisi düzeneği kullanılarak birleştirilmiştir.

Kaynak işlemi sırasında patlayıcı olarak M.K.E Barutsan A.Ş. tarafından üretilen % 92 Amonyum Nitrat, % 5 Motorin ve % 3 TNT içeren Elbar-5 kodlu toz patlayıcı kullanılmıştır. Kullanılan toz patlayıcı miktarı, üst levha olarak kullanılan östenitik paslanmaz çelik (AISI 316L) levhanın ağırlığı ile orantılı olarak belirlenmiştir. Çizelge 1'de deneyler sırasında kullanılan patlayıcı oranı (R) ve miktarları verilmektedir.

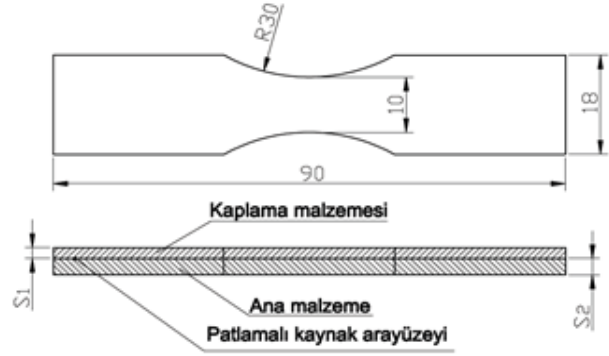
Çizelge 1. Patlayıcı oranları ve miktarları (Explosive ratios and amounts)

Numune No	Ana Malzeme	Kaplama Malzemesi	Patlayıcı	Üst levha ağırlığı (g) (m)	Patlayıcı Oranı (R)	Patlayıcı Miktarı (mxR) g
1	S235JR	Östenitik Paslanmaz Çelik (AISI 316L)	Elbar-5	314	1.5	471
2				314	2	628

Birleştirme işlemleri kum havuzu içerisine yerleştirilmiş olan ve yüzey düzgünlüğü ayarlanmış 1500x1500x150 mm ebatlarındaki çelik bir tabla üzerinde gerçekleştirilmiştir. Kaynak işlemi sırasında, patlamanın alt parçada oluşturabileceği zararları en aza indirebilmek için çelik tabla ile alt parça arasına 5 mm kalınlığında lastik bir tampon konulmuş ve böylece birleştirilen parçaların altlığın akustik özelliğinden etkilenerek ayrılmalarının ve geri fırlamalarının önüne geçilmesi amaçlanmıştır. Ara boşluk mesafesini (s) elde etmek için uygun kalınlıktaki rondelalar kullanılarak alt parçanın üzerinde dört köşesine gelecek şekilde yerleştirilmiş ve üst levha rondelaların üzerine yerleştirilerek uygun ara boşluk mesafesi ayarlanmıştır. Hazırlanan 210x210x50 mm boyutlarında patlayıcı kutuları üst levha üzerine yerleştirilerek kaynak düzeneği hazır hale getirilmiştir. Hazırlanan bu kaynak düzeneği elektrikli bir manyeto düzeneği tarafından patlatılarak kaynak işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Kaynak işlemi sonrası arayüzeyde meydana gelen değişimleri görmek amacıyla kompozit malzemelerden patlama yönüne paralel olacak şekilde tel erozyon yöntemi ile mikroyapı numuneleri kesilerek hazırlanmıştır. Kesilen bu numuneler bakalite gömme, zımparalama ve parlatma işlemine takiben viella dağlayıcısıyla dağlandıktan sonra optik mikroskop yardımı ile mikroyapı incelemesine tabi tutulmuştur. Yine aynı numuneler, kaynak işlemi sırasında patlamanın neden olduğu yüksek hızdaki çarpışma neticesinde birleşme arayüzeyinde ve kompoziti oluşturan metal çiftlerinin kesitleri boyunca oluşan sertlik değişimlerini görmek amacı ile sertlik ölçme işlemine tabi tutulmuştur. Sertlik ölçümleri, Vickers mikrosertlik ölçme yöntemiyle 300g yük kullanılarak her iki malzemede birleşme arayüzeyinden başlayarak metal çiftlerinin yüzeylerine kadar belirli aralıklarla ölçümler yapılmıştır. Her bir noktadan üç adet sertlik değeri alınmış ve ortalama değer sertlik değeri olarak kabul edilmiştir. Birleştirilen kompozit malzemelerin yorulma davranışlarını belirlemek için, patlama yönüne paralel olacak şekilde yorulma deneyi numuneleri ASTM E-466 standardına uygun olarak tel erozyon yöntemi ile kesilerek hazırlanmıştır. Eğmeli yorulma deneyi için hazırlanan numunelerin şematik görünüşü Şekil 3'de verilmektedir. Yorulma deneyleri, eğmeli yorulma deneyleri için özel olarak tasarlanan eğmeli yorulma test cihazında gerçekleştirilmiştir (Her bir parametreden 3 adet deney yapılmış ve ortalama değer tespit edilmiştir).

Kaynak işlemi sırasında patlama neticesinde parçaların yüzey kısımlarında meydana gelen yüzey durumlarının kompozitlerin yorulma ömürlerine olan etkilerini belirlemek amacıyla yorulma numuneleri birleştirme sonrası orijinal halleri ile yorulma testlerine tabi tutulmuş olup herhangi bir yüzey veya talaş kaldırma işlemi uygulanmamıştır.

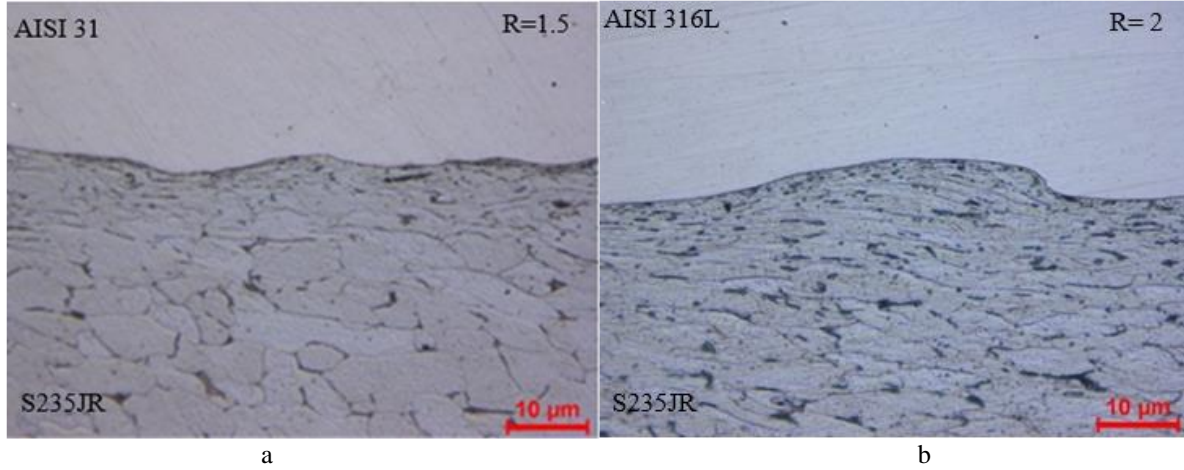
**Şekil 3.** Eğmeli yorulma test numunesi (Bending fatigue test sample)

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

AISI 316L–S235JR metal çiftlerinden oluşan kompozitlerin patlamalı kaynak yöntemi ile üretimi başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Üretilen kompozit malzemelerin mikroyapıları incelenmiştir. Ayrıca numuneler sertlik ve yorulma testlerine tabi tutularak kaynak işlemi sırasında kullanılan kaynak parametreleri ile olan ilişkileri belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca eğmeli yorulma testine tabi tutulan numunelere ait kırık yüzey görüntüleri Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) kullanılarak x30, x100 ve x250 büyütme oranlarında alınmıştır. Yapılan testler sonrasında elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

3.1. Mikroyapı İncelemesi (Microstructure Examinations)

AISI 316L–S235JR metal çiftinden oluşan ve tek bir ara boşluk mesafesi (s) ile farklı patlayıcı oranları (R=1.5-2) kullanılarak patlamalı kaynak yöntemi ile üretilen kompozit malzemelerin birleşme arayüzeylerine ait mikroyapı görüntüleri Şekil 4. a ve b'de gösterilmiştir.



Şekil 4. Birleştirilen numunelerin arayüzey mikroyapı görüntüleri a-) R=1.5, b-) R=2, (Interface microstructure views of joined samples a-) R=1.5, b-) R=2)

Şekil 4’de verilen kompozit malzemelere ait arayüzey mikroyapı görüntülerinden, patlayıcı oranının ($R = 1.5$) kullanıldığı 1 numaralı numune mikroyapısı (Şekil 4.a) incelendiğinde birleşme arayüzeyinde dalgalı bir yapının meydana geldiği görülmektedir. Ancak arayüzeyde meydana gelen bu dalgalanmanın çok fazla olmadığı ve bunun da sebebinin patlayıcı oranının yeterli düzeyde olmadığından kaynaklandığı düşünülmektedir. Arayüzeyde meydana gelen bu dalgalanma hiçbir şekilde ana malzemede bir katlanma oluşumuna neden olmamış ve malzemelerde herhangi bir kenetlenme meydana gelmemiştir. Yine bu birleştirmelerden patlayıcı oranının ($R = 2$) kullanıldığı 2 numaralı numuneye ait mikroyapı görüntüsü (Şekil 4.b) incelendiğinde birleşme arayüzeyinde oluşan dalgaların boylarında ve genliklerinde artışların meydana geldiği görülmektedir. Bu durum ise kullanılan patlayıcı oranının birleşme arayüzeyinde dalga oluşumunu sağlayacak seviyede olduğunu göstermektedir. Yine Şekil 4.b’den görüldüğü gibi birleşme arayüzeyinde üst levhadaki fişkırmaman momentumundan kaynaklanan alt levhada oluşan deformasyon yanı sıra alt levhanın uç kısmında başlayan katlanma oluşumu görülmektedir. Her iki numunede patlama neticesinde çarpışmanın neden olduğu deformasyondan dolayı birleşme arayüzeyine yakın bölgedeki tanelerin patlama yönüne paralel bir şekilde uzadığı görülmektedir. Ayrıca yüksek patlayıcı oranının kullanıldığı (Şekil 4.b) numunedeki tanelerin uzamasının ve deformasyon miktarının düşük patlayıcı oranı ile elde edilen numunedekilere nazaran daha fazla olduğu görülmektedir. Bu durum artan patlayıcı oranıyla beraber deformasyon oranının arttığını belirtmektedir. Literatürde, patlama kaynak işlemlerinde patlayıcı oranının artmasıyla beraber birleşme arayüzeyinde meydana gelen deformasyon miktarının artabileceği ve oluşan dalgalanmanın genliğinde ve boylarında artışların meydana gelebileceği belirtilmektedir [20].

3.2. Sertlik Sonuçları (Hardness Results)

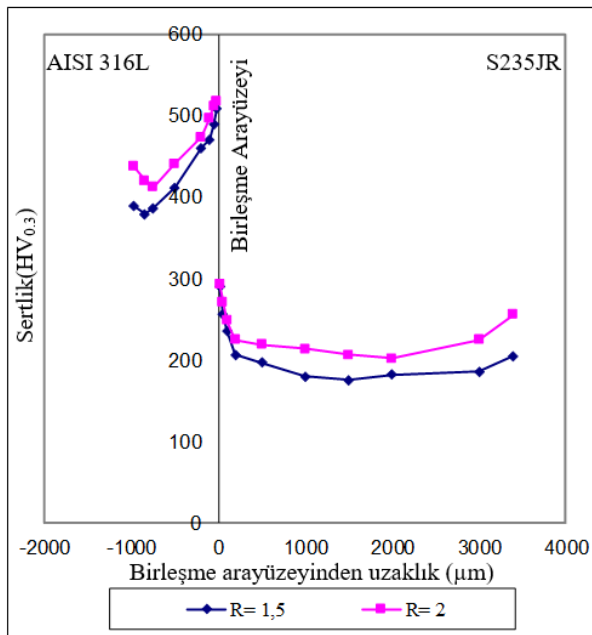
Patlamalı kaynak yöntemi ile sabit ara boşluk mesafesi (s) ve farklı patlayıcı oranları ($R = 1.5-2$) kullanılarak

üretilen AISI 316L-S235JR metal çiftlerine ait kompozitlerin sertlik ölçümleri yapılarak malzemelerin orijinal sertlik değerleri ile mukayese edilmiştir. AISI 316L-S235JR metal çiftinden oluşan kompozite ait sertlik değerlerini belirlemek için 1 mm et kalınlığa sahip AISI 316L levhada, birleşme arayüzeyinden başlayarak malzemenin dış yüzeyine doğru 20, 50, 100, 200, 500, 750, 850, 980 μm mesafelerden ölçümler gerçekleştirilmiştir. Diğer yandan 3,5 mm et kalınlığına sahip S235JR levha için birleşme arayüzeyinden başlayarak malzemenin dış yüzeyine doğru 20, 50, 100, 200, 500, 1000, 1500, 2000, 3000, 3400 μm mesafelerden sertlik ölçümleri yapılmıştır. Kompoziti meydana getiren metal çiftlerinden AISI 316L levhanın başlangıç sertlik değeri 195 $\text{HV}_{0.3}$, S235JR levhanın başlangıç sertlik değeri ise 160 $\text{HV}_{0.3}$ olarak tespit edilmiştir. Üretilen kompozit malzemelere ait sertlik değerleri Çizelge 2’de verilmiş ve grafiksel olarak Şekil 5’de gösterilmiştir.

Çizelge 2. incelendiğinde patlayıcı oranının ($R=1.5$) olduğu 1 numaralı numunede, kompoziti meydana getiren metal çiftlerinden başlangıç sertlik değeri 195 $\text{HV}_{0.3}$ olan AISI 316L için birleşme arayüzeyine en yakın bölge olan 20 μm mesafedeki sertlik 510 $\text{HV}_{0.3}$ değerine yükselmiştir. AISI 316L’ye ait sertlik birleşme arayüzeyinden levha merkezine doğru gidildikçe azalma göstererek 750 μm mesafede 329 $\text{HV}_{0.3}$ olarak ölçülmüştür. Birleşme arayüzeyinden en uzak mesafe olan ve yüzeye en yakın bölge olan 980 μm mesafede AISI 316L’nin sertliği tekrar 345 $\text{HV}_{0.3}$ değerine yükseldiği belirlenmiştir. Kompoziti oluşturan metal çiftlerinden diğeri olan ve başlangıç sertliği 160 $\text{HV}_{0.3}$ olan S235JR birleşme arayüzeyine en yakın mesafe olan 20 μm mesafedeki sertlik 290 $\text{HV}_{0.3}$ değerine ulaşmıştır. S235JR malzemeye ait sertlik birleşme arayüzeyinden 2000 μm mesafeye gelinceye kadar sürekli azalma göstererek 172 $\text{HV}_{0.3}$ olarak ölçülmüştür.

Çizelge 2. Metal çiftlerine ait sertlik değerleri (HV_{0,3}), (Hardness values of metal couples (HV_{0,3}))

Numune No		1	2
Malzemeler		Östenitik Paslanmaz Çelik (AISI 316L) + S235JR	Östenitik Paslanmaz Çelik (AISI 316L) + S235JR
Patlayıcı Oranı		R= 1,5	R= 2
Arayüzeyden uzaklık (µm)	AISI 316L	-980	345
		-850	331
		-750	329
		-500	372
		-200	445
		-100	471
		-50	490
		-20	510
		0	-
		20	290
	S235JR	50	256
		100	236
		200	216
		500	197
		1000	180
		1500	176
		2000	172
		3000	186
		3400	205



Şekil 5. Metal çiftlerine ait sertlik grafikleri
(Hardness graphics of metal couples)

Birleşme arayüzeyinden en uzak mesafe olan ve yüzeye en yakın bölge olan 3400 µm mesafede S235JR malzemenin sertliğinin tekrar 205 HV_{0,3}'ye yükseldiği belirlenmiştir. Patlayıcı oranının (R=2) kullanıldığı 2 numaralı numunedeki kompoziti meydana getiren metal çiftlerindeki sertlik dağılımları artan patlayıcı oranına

bağlı olarak 1 numaralı numune ile benzerlik göstermektedir.

Kaynak işlemi sırasında patlayıcının etkisiyle levhalarda meydana gelen çarpışma neticesinde birleşme arayüzeyinde oluşan soğuk deformasyon ile malzemelerde bir deformasyon sertleşmesi meydana gelmekte ve bu durum malzemelerin sertliklerinin artmasına neden olmaktadır. Meydana gelen deformasyonun şiddetinin arayüzeyden merkeze doğru ilerledikçe azaldığı için malzemelerin sertlikleri de azalarak orijinal sertlik değerlerine yaklaşmaktadır. Kaynak işlemi sonrası her iki malzemenin yüzey bölgelerinin sertlik değerlerinde de bir artış meydana geldiği görülmektedir. Bunun sebebi olarak, kaynak işlemi sırasında patlayıcının patlaması neticesinde meydana gelen şok dalgasının üst levhanın yüzeyinde meydana getirdiği deformasyon ve alt levhanın dış yüzeyinin altlık ile çarpışması neticesinde oluşan deformasyon olarak düşünülmektedir. Literatürde, patlamalı kaynak yöntemi ile üretilen kompozit malzemelerin sertlikleri üzerine yapılan çalışmalarda, en yüksek sertlik artışının arayüzeye yakın bölgelerde oluştuğunu, iç bölgelere gidildikçe sertlikte azalmaların meydana geldiği belirtilmektedir [21-24]. Yine literatürde, artan patlayıcı oranıyla beraber kompoziti meydana getiren malzemelerin sertlik değerlerinde bir artış meydana geldiğini, bunun nedeninin ise artan patlayıcı oranı ile meydana gelen deformasyon şiddetinin artmasından kaynaklandığı belirtilmektedir [1, 2, 21, 25].

3.3. Yorulma Test Sonuçları (Fatigue Test Results)

Patlamalı kaynak yöntemi ile üretilen AISI 316L-S235JR metal çiftinden oluşan kompozit malzemeler patlama kaynağı sonrası orijinal halleri ile eğmeli yorulma testlerine tabi tutulmuştur. Böylelikle kaynak işlemi sırasında patlayıcının neden olduğu ve numune yüzeylerinde oluşan yüzey durumunun yorulmaya etkisi de belirlenmeye çalışılmıştır. Eğmeli yorulma deneyleri sırasındaki eğilme gerilmesi (σ) deneyler sırasında ölçülen eğilme momenti (Me) kullanılarak aşağıdaki 1 ve 2 numaralı formüller yardımıyla hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar yardımı ile Wöhler eğrileri en yüksek gerilme değerine karşılık gelen çevrim sayıları logaritmik olarak işlenerek çizilmiştir. Birleştirilen kompozit malzemelere ait eğmeli yorulma değerleri Çizelge 3'de

13.63 (kg/cm^2) gerilme değerinde 15400 çevrimlik bir yorulma ömrü sergilediği görülmektedir. Patlayıcı oranının ($R=2$) olduğu 2 numaralı numunede ise 12,22 (kg/cm^2) gerilme değerinde yorulma ömrünün 10620 çevrim değerinde olduğu belirlenmiştir. Sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde artan patlayıcı oranı ile beraber kompozitlerin yorulma ömürlerinde azalma meydana geldiği görülmektedir. Bunun sebebi olarak patlamalı kaynak işlemi sırasındaki patlama neticesinde, kaplama malzemesi dış yüzeyinde, birleşme arayüzeyinde ve ana malzemenin dış yüzeyinde meydana gelen yüksek deformasyonun neden olduğu malzemedeki iç gerilmeler olarak düşünülmektedir. Birleştirmelerin sertleşen bölgelerinde malzemelerde oluşan deformasyon sebebi ile kalıcı çekme kalıntı gerilmeleri oluşmakta olup bu

Çizelge 3. Kompozit malzemeye ait yorulma değerleri (Fatigue values of composite material)

Numune No		1		2	
Malzemeler		Östenitik Paslanmaz Çelik (AISI 316 L) + S235JR		Östenitik Paslanmaz Çelik (AISI 316 L) + S235JR	
Patlayıcı oranı		R= 1.5		R= 2	
		Gerilme (kg/cm^2)	Ömür (Çevrim)	Gerilme (kg/cm^2)	Ömür (Çevrim)
Deney numarası	1	13.63	15400	12.22	10620
	2	13.03	14600	15.10	7950
	3	24.23	9500	26.66	6160
	4	30.30	9200	35.76	5150

verilmiş ve grafiksel olarak Şekil 6'da gösterilmiştir. Bu kompozit malzemeye ait eğmeli yorulma testi sırasındaki çatlak başlangıcı, çatlakın ilerlemesi ve kırılma anını gösteren resimler Şekil 7'de gösterilmiştir.

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6} \quad (1)$$

$$\sigma = \frac{Me}{W} \quad (2)$$

Burada;

σ = Eğilme gerilmesi (kg/cm^2),

Me = Eğilme momenti (kg/cm),

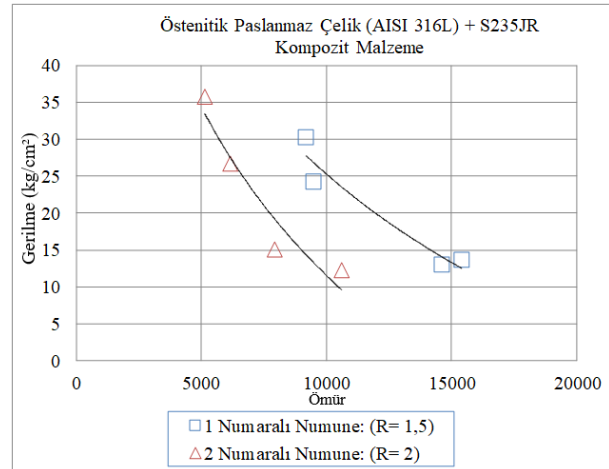
b = Genişlik (cm)

W = Eksenel direnç momenti (cm^3),

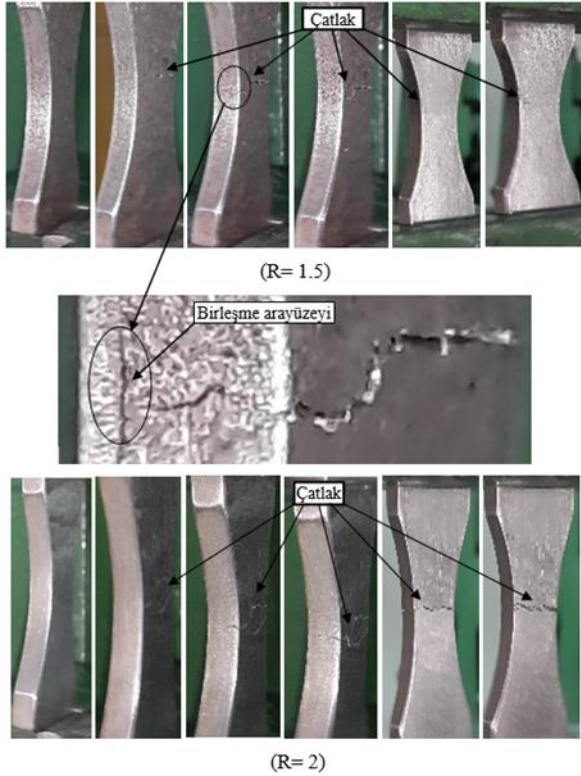
h = Kalınlık (cm)

Çizelge 3'de verilen eğmeli yorulma değerleri ile Şekil 6'da gösterilen eğmeli yorulma grafikleri incelendiğinde, patlayıcı oranının ($R=1.5$) olduğu 1 numaralı numunenin

gerilmeler de malzemelerin yorulma davranışlarını olumsuz yönde etkilemektedirler. Deformasyonun dolayısıyla gerilmelerin fazla olduğu numunelerde yorulma sonucu çatlaklar meydana gelmektedir.



Şekil 6. Kompozit malzemeye ait yorulma grafikleri (Fatigue graphics of composite material)



Şekil 7. Kompozitlerin yorulma deneyi görüntüleri (Fatigue tests pictures of composites)

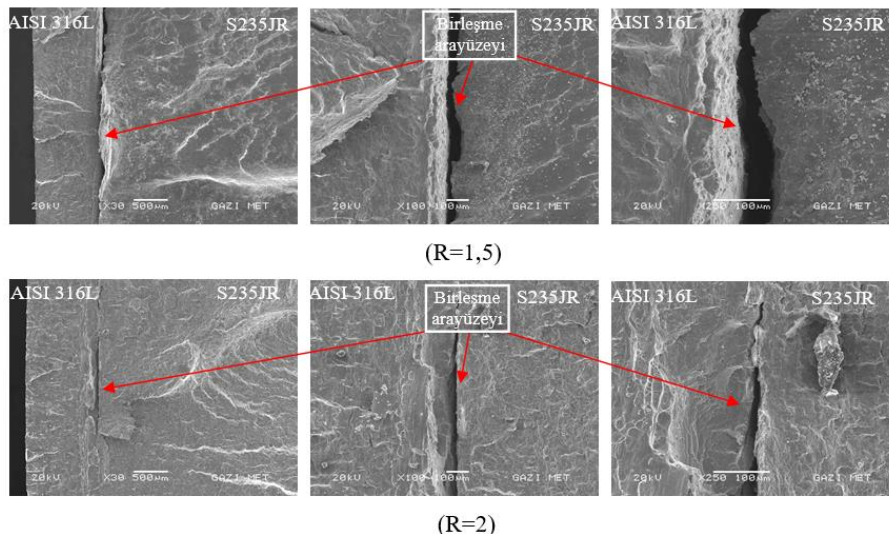
Kompozit malzemelere ait yorulma dayanımları ile sertlik değerleri arasındaki ilişki incelendiğinde aralarında ters bir orantı olduğu görülmektedir. Artan patlayıcı oranı ile beraber kompoziti oluşturan malzemelerin sertliklerinin arttığı görülmektedir. Ancak artan sertlik oranıyla beraber kompozitlerin yorulma ömürlerinin azaldığı belirlenmiştir. Patlama sırasında meydana gelen deformasyonun, malzemelerde deformasyon sertleşmesine neden olarak sertlik artışına

ve yine oluşan deformasyon ile kompoziti meydana getiren malzemede iç gerilmelerin fazlaşmasına, dolayısıyla yorulma ömrünün azalmasına neden olduğu düşünülmektedir. Ayrıca kaynak işlemi sonrası levha yüzeylerinde meydana gelen ve artan patlayıcı oranı ile beraber artış gösteren düzensizliklerin yorulma deneyi sırasında çatlak başlangıcı için uygun zeminleri hazırlamaları nedeniyle kompozitlerin yorulma dayanımlarında ve ömürlerinde azalma meydana geldiği görülmüştür.

3.4. Kırık Yüzey SEM Sonuçları (Fracture Surface SEM Results)

Patlamalı kaynak yöntemi ile farklı patlayıcı oranları ($R=1.5-2$) kullanılarak üretilen AISI 316L-S235JR metal çiftlerinden oluşan ve eğmeli yorulma testine tabi tutulan numunelerin kırık yüzeylerine ait x30, x100 ve x250 büyütme oranlarında alınmış olan SEM görüntüleri Şekil 8'de gösterilmiştir.

Kompozit malzemelere ait SEM görüntüleri incelendiğinde düşük ve yüksek patlayıcı oranları ile birleştirilen malzemelerin her ikisinin de arayüzlerinde ayrılmaların meydana geldiği ancak yüksek patlayıcı oranı ile birleştirilen numunede bu ayrılmanın daha az olduğu görülmektedir. Yorulma deneyleri esnasında kırılmaların ilk olarak S235JR ana malzemesinde olduğu belirlenmiştir. Eğmeli yorulma deney numunelerinin kırık yüzeylerinden alınan SEM görüntülerinde kompoziti meydana getiren metal çiftlerinden daha düşük sertliğe sahip S235JR levhada oluşan yorulma çatlaklarının daha fazla olduğu ve artan patlayıcı oranı ile bu yorulma çatlaklarının miktarının da arttığı görülmektedir. Oluşan bu yorulma çatlaklarının patlamanın neden olduğu deformasyon neticesinde oluşan gerilim yığılmalarına bağlı olarak meydana geldiği ve numuneye uygulanan kuvvet karşısında malzemenin kırılmasına neden olduğu düşünülmektedir.



Şekil 8. Kompozit malzemelere ait kırık yüzey SEM görüntüleri (Fracture surface SEM images of composite materials)

4. SONUÇLAR (RESULTS)

1. AISI 316L-S235JR çelik malzemeler uygun kaynak parametreleri ile başarılı bir şekilde patlamalı kaynak yöntemi ile birleştirilebilmektedir.
2. Artan patlayıcı oranı ile beraber birleşme arayüzeyinin dalgalı bir görünüme geçtiği görülmekte ve oluşan dalgaların boylarında ve genliklerinde bir artış meydana gelmektedir.
3. Malzemelerin birleşme arayüzeylerine yakın olan bölgelerdeki taneler meydana gelen deformasyon nedeni ile patlama yönünde olacak şekilde yönelmektedir.
4. Birleştirme işlemi sonrası levhaların sertliklerinde bir artış meydana gelmekte ve en büyük sertlik artışı birleşme arayüzeyine yakın bölgelerde gerçekleşmektedir. Kullanılan patlayıcı oranının artışıyla beraber sertlik değerlerinde de bir artış meydana gelmektedir.
5. Birleştirme işlemindeki patlayıcı oranının artışıyla beraber sertlik değerlerindeki artışa bağlı olarak kompozit malzemelerdeki gerilme yığılmalarından dolayı yorulma dayanımları azalmaktadır.
6. Levha yüzeylerinde meydana gelen ve kullanılan patlayıcı oranının artmasıyla beraber artış gösteren düzensizlikler yorulma deneyi sırasında çatlak başlangıçlarını oluşturduğu düşünülmektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Kahraman N., Gülenç B., "Patlamalı Kaynak Yöntemi ile Birleştirilen Titanyum ve Bakır Levhaların Mikroyapı ve Korozyon Davranışlarının İncelenmesi", *Politeknik Dergisi*, 7(2): 45-52, (2004).
2. Durgutlu A., Gülenç B., "Patlama Kaynağıyla Paslanmaz Çelik – Bakır Levhaların Kaynaklanabilirliği ve Patlayıcı Oranının Birleşme Arayüzeyine Etkisi", *Politeknik Dergisi*, 5(3): 243-247, (2002).
3. Kearns W. H., "Explosion Welding", *Welding Handbook, AWS*, 3: 264-278, 1980.
4. Patterson R.A., "Fundamentals of Explosion Welding", *ASM Handbook*, 6: 160-164, (1993).
5. Gupta R. C., Kainth G. S., "Swinging Wake Mechanism For Interface Wave Generation in Explosive Welding of Metals", *Transactions of the ASME*, 57:514-521, (1990).
6. Yang Y., Xinming Z., Zhenghua L., Qingyun L., "Adiabatic Shear Band on the Titanium Side in the Ti/Mild Steel Explosive Cladding Interface", *Acta Mater*, 44 (2): 561- 565, (1996).
7. Cown G. R., Bergmann O. R, Holdzman A. H., "Mechanism of Bond Zoneave Formation in Explosive-Clad Metals", *Metallurgical Transactions*, 2: 3145-3155, (1971).
8. Yang Y., Wang Z. M., Zhang S. R., "Some Metallurgical Behaviours of Adiabatic Share on Ti Side in the Ti/Mild Steel Explosive Cladding Interface". *Rareetal Materials and Engineering*, 26: 13-17, (1997).
9. Erza A.A., "Principles and Practice of Explosive Metal Working", *Industrial Newspaper Ltd.*, 276-289, (1973).
10. James F.K., Hay D.R., "Amechanizm of Explosive Bonding", *Metallurgia Transactions*, 2: 1953-1958, (1971).
11. Reid S.R., "A Discussion of theMechanism of Interface Wave Generation in Explosive Welding", *Int. Journal of Mechanical Science*, 6: 399-413, (1974).
12. Yang Y., Li Z.H., Lu P.C., "A Temperature Distrubition Model of Explosive Cladding İnterfaceand Its Aplication". *Rare Metal Metarials and Engineering*, 29 (3): 161-163, (2000).
13. Abe A., "Numerical study of the Mechanism of Wavy Interface Generation in Explosive Welding", *JSME International Journal*, 40 (3): 395-401, (1997).
14. Abe A., "Numerical Simulation of the Plastic Low Field Near the Bonding Surface of Explosive Welding", *Jornal of Materials Processing Technology*, 85: 162-165, (1999).
15. Acarer M., "Patlamalı Kaynak İşlem Parametrelerinin Birleşmeye Etkisi", *Doktora Tezi*, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2001.
16. James F. K., Hay D. R., "A Mechanizm of Explosive Bolding", *Metallurgical Transactions*, 2: 1953-1958, (1971).
17. Demirkol M., "Patlamalı Kaynak Yöntemi", *II. Ulusak Kaynak Sempozyumu, İTÜ*, İstanbul, Türkiye, 142-151, (1989).
18. Balasubramanian V., Rathinasabapathi M., Raghukandan K., "Modelling of Process Parameters in Explosive Cladding of Mildsteel and Aluminium", *Journal of Materials Processing Technology*, 63: 83-88, (1997).
19. Livne Z., Munitz A., "Characterization of Explosively Bonded Iron and Copper Plates", *Journal of Materals Science*, 22: 1495-1500, (1987).
20. Durgutlu, A., "Patlamalı Kaynak Yöntemi İle Bakır-Paslanmaz Çelik Malzemelerin Birleştirilmesi ve Arayüzeyin Mekanik-Mikroyapı Özelliklerinin incelenmesi", *Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2003).
21. Yan, Z., Cui L. S., and Zheng, Y. J., "Microstructure and martensitic transformation behaviors of explosively welded NiTi/NiTi laminates", *Chinese Journal of Aeronautics*, 20: 168-171 (2007).
22. Gulbin, V.N., Kobelev, A.G., Borissov, D.E., "Thermobimetals Mechanical Properties Produced by Explosive Welding With Rolling", *Journal de Physique* 4:49-54 (1997).
23. Truetnev, V.V., ve arkadaşları., "Comparative Assessment of The Quality of The Explosive Joining of Aluminium to Titanium ,stell and Nickel", *Svar. Roiz.*, 7:19-21 (1973).
24. Bina, M. H., Dehghani, F., and Salimi, M., "Effect of heat treatment on bonding interface in explosive welded copper/stainless steel", *Materials and Design*, 45: 504-509 (2013).
25. Kahraman, N., "Titanyum levhaların patlamalı kaynak yöntemi ile farklı metallerle birleştirilmesi ve arayüzey özelliklerinin incelenmesi", *Doktora Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (2003).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>

Sivas Kültür Merkezi çok amaçlı salonu akustik tasarımı

Acoustic design of Sivas Cultural Center multipurpose hall

Yazar(lar) (Author(s)): Füsun DEMİREL¹, Sebahat Gül İLİSULU², Merve GÖRKEM³

ORCID¹: 0000-0002-8217-4797

ORCID²: 0000-0002-9381-5908

ORCID³: 0000-0002-1077-5614

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz(To cite to this article): Demirel F., İlisulu S. G. ve Görkem M., "Sivas Kültür Merkezi çok amaçlı salonu akustik tasarımı", *Politeknik Dergisi*, 21(3): 535-542, (2018).

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

DOI: 10.2339/politeknik.450610

Sivas Kültür Merkezi Çok Amaçlı Salonu Akustik Tasarımı

Araştırma Makalesi / Research Article

*Bu çalışma Gazi Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Döner Sermaye Projesi çerçevesinde yapılmıştır.

Fusun DEMİREL^{1*}, Sebahat Gül İLİSULU², Merve GÖRKEM³

¹Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Gazi Üniversitesi, Türkiye

²Güzel Sanatlar Tasarım ve Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Başkent Üniversitesi, Türkiye

³ Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Gazi Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : ; Kabul/Accepted :)

ÖZ

Bu çalışma kapsamında, Sivas Kültür Merkezi Çok Amaçlı Salonu* için; konferans işlevi, konser işlevi, opera/tiyatro işlevini barındıran farklı işlevlere yönelik akustik koşulların, aynı hacim içerisinde sağlanması amacı ile geliştirilen akustik tasarımların analiz ve değerlendirilmeleri yapılmıştır. Sivas Kültür Merkezi Çok Amaçlı Salonun, hacim akustiğine yönelik olarak yapılan analizleri ışığında; ülkemizde yürürlükte olan yönetmeliklerin, uluslararası standartların ve literatürün önerdiği, akustik konfor koşullarının sağlanmasına ilişkin öneriler getirilmiştir. Geliştirilen bu öneriler sonucunda; Sivas Kültür Merkezi Çok Amaçlı Salonu'nda; 3 farklı kullanım senaryosuna (konferans / konser / opera-tiyatro işlevlerine) yönelik ulusal/uluslararası mevzuatlarda önerilen akustik koşullar sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Mimari akustik, hacim akustiği, çok amaçlı salon akustiği.

Acoustic Design of Sivas Cultural Center Multipurpose Hall

*This study has been made within the framework of the Gazi University Faculty of Architecture Revolving Funds Project.

ABSTRACT

Within the scope of this work, the analysis and evaluation of the acoustic designs which are developed to be provided within the same volume regarding the acoustic conditions intended for different functions including the conference function, the concert function and the opera/theatre function was carried out for the Sivas Cultural Center Multipurpose Hall*. In the light of the analyses, proposals concerning the meeting the requirements of acoustic comfort recommended by the regulations in effect in our country, international standards and the literature have been submitted. As a result of these proposals that are developed for Sivas Cultural Center Multipurpose Hall, acoustic conditions which are recommended by national / international legislations are fulfilled for 3 different utilization scenarios (conference / concert / opera – theatre functions).

Keywords: Architectural acoustics, room acoustics, acoustic design of multipurpose hall.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Konferans, konser ve opera/tiyatro gibi farklı işlevlere hizmet veren çok amaçlı salonlarda; birbiri ile çelişen ve birbirinden çok farklı akustik koşulların, aynı hacim içerisinde sağlanması gerekmektedir. Bu çalışmada; Sivas Kültür Merkezi Çok Amaçlı Salonun, konferans, konser ve opera/tiyatro işlevleri için sağlanması gereken akustik koşullar; hacim akustiğine yönelik olarak analiz edilmiş, uluslararası standartlarda ve literatürde önerilen akustik parametrelere göre değerlendirilmiştir.

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

Sivas Kültür Merkezi Çok Amaçlı Salonunda; farklı işlevler ve farklı salon kullanımı, hacim akustiği

parametrelerinin de farklı olmasını gerektirmektedir. Değişken akustik koşullar, mimari uygulama projesi üzerinde geliştirilen akustik tasarımlar ile sağlanarak, her işleve yönelik (konferans, konser ve opera/tiyatro) optimum akustik konfor koşulları elde edilmiştir. Hacim akustiğine yönelik analizler ile amaçlanan;

- Mekânın değişik işlevlerine yönelik için ihtiyaç duyulan reverberasyon süresinin sağlanması,
- Mekân içerisinde konuşmanın anlaşılabilirliğinin yükseltilmesi,
- Yankı (eko), tekrarlanan eko ve odaklanma gibi önemli akustik problemlerin önlenmesidir.

Bu amaçlar doğrultusunda; mimari uygulama projesindeki salon formu ve hacmi korunup, kullanılan malzemeler ve uygulanacak yüzeyler belirlenerek, analizleri ve değerlendirmeleri yapılmıştır.

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : islekg@baskent.edu.tr

Bu çalışmada yöntem olarak, Sivas Kültür Merkezi Çok Amaçlı Salonu'nda; farklı işlevler için ihtiyaç duyulan akustik koşulların, hacim akustiğine yönelik analizleri için, ODEON (V 10.02 Combined) hacim akustiği simülasyon programı kullanılmıştır [1]. Hacim akustiğine yönelik analizler için Çok Amaçlı Salon; öncelikle üç boyutlu olarak modellenerek mevcut durum ortaya konmuştur. Ardından, konferans, konser ve opera/tyatro işlevlerine yönelik akustik koşulların sağlanması amacı ile geliştirilen akustik tasarımlar, ODEON programına aktarılmıştır. Bunu takiben sözü edilen program aracılığıyla geliştirilen akustik tasarımların analizleri yapılmış ve geliştirilen öneriler sonucunda elde edilen verilerin ulusal/uluslararası mevzuat ile karşılaştırmaları yapılarak, tasarımların doğruluğu kanıtlanmıştır.

3. SİVAS ÇOK AMAÇLI SALONU'NUN SİMULASYON YÖNTEMİ İLE AKUSTİK ANALİZİ (ACOUSTICAL ANALYSIS OF SIVAS MULTIPURPOSE HALL BY SIMULATION METHOD)

Sivas Kültür Merkezi Çok Amaçlı Salonu; 716 kişilik izleyici kapasitesine sahip olup içerisinde konferans, konser ve opera/tyatro işlevlerini barındırması

Çizelge 1. Çok Amaçlı Salon-mevcut durumun hacim akustiği açısından analiz sonuçlarının değerlendirilmesi (Multipurpose Hall-Evaluation of analysis results in terms of room acoustic for current state) [2]

Hacim Akustiği Parametreleri	Optimum Değerler	Mevcut Durum Analizi	Hissedilen Fark (JND)	Değerlendirme
T_{30mid} Reverberasyon Süresi, sn	1,2 sn - 1,4 sn [2]	3,69	%5	UYGUN DEĞİL
EDT Erken Sönümlenme Süresi, sn	EDT = 1,1 x T_{30mid} veya EDT = T_{30mid} [3]	1,87	%5	UYGUN DEĞİL
$\Delta SPL(A)$ Ses Basınç Seviyesi Farkı, dBA	$\Delta SPL(A) < 10$ [2]	6,3	-	UYGUN
STI Konuşmanın İletim İndeksi	STI > 0,60 (iyi) [4]	0,56 (orta)	-	UYGUN DEĞİL
D_{50} Konuşmanın Belirginliği	$D_{50} > 0,50$ (tüm frekanslarda) [5]	125 Hz	0,41	UYGUN DEĞİL
		250 Hz	0,46	UYGUN DEĞİL
		500 Hz	0,56	UYGUN
		1000 Hz	0,67	UYGUN
		2000 Hz	0,53	UYGUN
		4000 Hz	0,53	UYGUN

Bu bulgular ışığında yapılan değerlendirmelerde; mimari uygulama projesinde kullanılan malzemelerin, aynı hacim içerisinde farklı işlevlere yönelik akustik koşulların sağlanması açısından uygun olmadığı görülmüştür. Bu durum sonucunda konferans, konser ve opera/tyatro işlevleri için ihtiyaç duyulan akustik koşullar, ayrı ayrı ele alınıp, Sivas Kültür Merkezi Çok Amaçlı Salonunda uygun akustik konfor koşullarının sağlanmasına yönelik öneriler geliştirilmiştir.

planlanmıştır. Salonun toplam hacmi yaklaşık 13.650 m³, yaklaşık taban alanı ise 1065.2 m²'dir.

3.1. Sivas Çok Amaçlı Salonu "Mevcut Durum" Akustik Analizi Ve Değerlendirilmesi (Acoustic Analysis And Evaluation Of Sivas Multipurpose Hall)

Sivas Kültür Merkezi Çok Amaçlı Salonu için tasarım aşamasında;

- salon yan ve arka duvarlarında yansıtıcı-yutucu özellik aranmaksızın gaz beton üzerine akustik ahşap kaplama,
- salon döşemesinde betonarme döşeme üzerine pvc kaplama,
- salon tavanında çelik çatı konstrüksiyonu üzerine alçı panel akustik asma tavan,
- yan ve arka sahne duvarlarında gaz beton üzerine taşıyıcı ve alçı panel kaplama,
- sahne döşemesinde betonarme döşeme üzerine ahşap kaplama,
- yaklaşık 20 m yüksekliğe sahip sofita tavanında betonarme döşeme üzerine sıva ve boya kullanımı öngörülmüştür.
- Sivas Kültür Merkezi Çok Amaçlı Salonunun mevcut durumunu ortaya koymak için yapılan analiz çalışmaları sonucunda elde edilen bulgular; aşağıdaki Çizelge 1'de verilmiştir.

3.2. Sivas Çok Amaçlı Salonu İşlevlerine Yönelik Akustik Tasarım Önerileri (Acoustic Design Proposals Of Function For Sivas Multipurpose Hall)

Önerilen akustik tasarım, Sivas Kültür Merkezi Çok Amaçlı Salonu'nun içerisinde barındırdığı 3 farklı işlev için ortak bir düzenleme olarak geliştirilmiş olup, her bir kullanım senaryosu için değişken akustik koşulları sağlamak adına, salon tasarımı sabit tutulup sahne ağız

ve sofitada uygulanacak hareketli sistemler ve düzenlemelere gidilmiştir (Şekil 1). Farklı işlevlere yönelik olarak, ihtiyaç duyulan akustik koşulların, aynı hacim içerisinde sağlanması amacıyla geliştirilen önerilerin birbirleri ile entegre edilmesiyle tasarlanmış olan, Sivas Kültür Merkezi Çok Amaçlı Salonunda;

- sahne ve sofitada oluşturulan birleşen hacimler sisteminin (coupled volumes system) opera/tiyatro ve konser işlevlerinde,
- sahne çevresinde tasarlanan, sahnenin hareketli (manuel) ses saçıcı yüzey sisteminin (movable orchestra shell) konser, konferans işlevlerinde,
- hareketli orkestra çukuru sisteminin (movable orchestra pit) opera ve müzikal tiyatro işlevlerinde,
- perde sisteminin (acoustical curtains) opera ve tiyatro işlevlerinde ihtiyaç duyulan akustik koşulların sağlanmasında etkili olacağı öngörülmüştür.

Bu bağlamda, Sivas Kültür Merkezi Çok Amaçlı Salonu, hacim içerisinde sağlanması gereken akustik konfor düzeyinin analizleri ve değerlendirmesi; aşağıda özetlenmekte olan akustik parametreler doğrultusunda yapılmıştır.

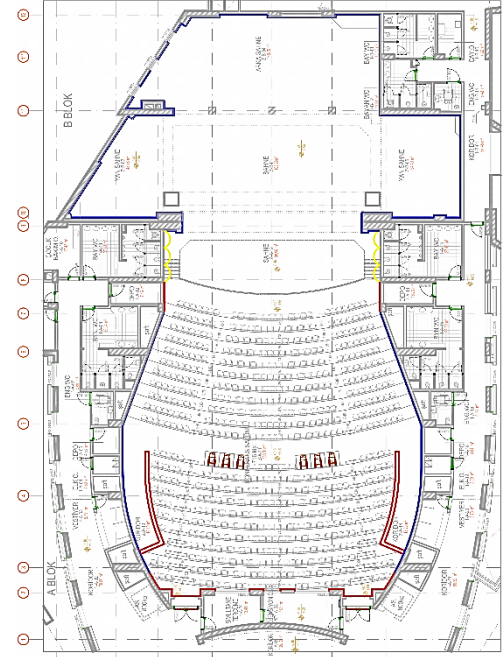
- T_{30mid} : Reverberasyon süresi (sn), (Reverberation Time)
- EDT: Erken sönmülme süresi (sn), (Early Decay Time)
- STI: Konuşmanın iletim indeksi (Konuşmanın anlaşılabilirliği), (Speech Transmission Index)
- D_{50} : Konuşmanın belirginliği, (Definition)
- C_{80} : Sesin Berraklığı veya Netliği, (Clarity)
- $\Delta SPL(A)$: Ses basınç seviyesi farkı (dB), (Sound Pressure Level)
- LF_{80} : Erken yan yansıma oranı, (Early Lateral Energy Fraction)

3.2.1. “Konferans işlevi” analizleri ve değerlendirmeleri (Analysis and evaluations of conference function)

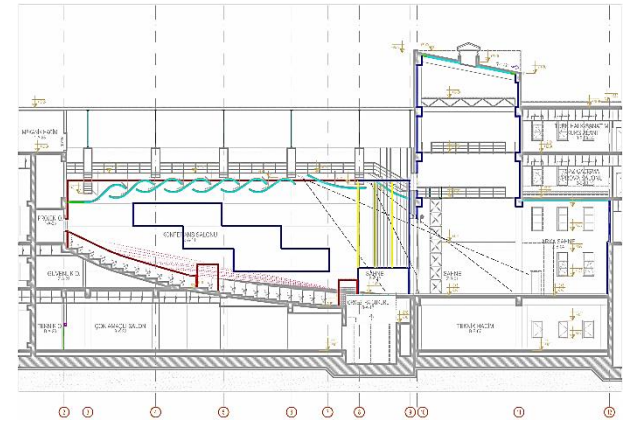
Sivas Kültür Merkezi Çok Amaçlı Salonu’nda yansıtıcı duvarlara sahip yüksek hacim dolayısıyla reverberasyon süresi konuşma amaçlı hacimlerde beklenen sürenin üzerindedir. Konferans işlevinde konuşmanın anlaşılabilirliği önem kazanması gereken parametre olarak karşımıza çıkmaktadır. Reverberasyon süresinin istenilen sınırların üstünde çıkması konuşmanın anlaşılabilirliği parametresini olumsuz yönde etkilemiştir.

Sivas Kültür Merkezi Çok Amaçlı Salonu’nda konferans işlevine yönelik ihtiyaç duyulan akustik koşulların sağlanması amacı ile;

- sofitanın hava hacmi nedeniyle reverberasyon süresinin yükselmemesi için, konuşmacı kürsüsü arkasındaki sahne ağızı; yangın perdesi ile kapatılarak, önünde tekerlekler üzerinde hareket eden ve birbirlerine bitişik olarak dizilmiş ses



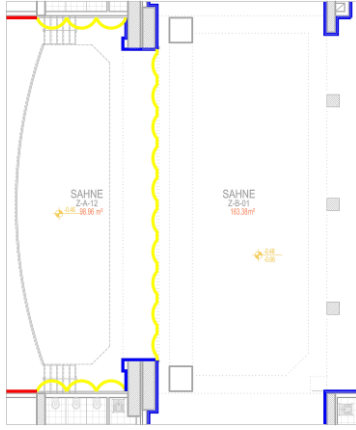
Şekil 1. Salon içerisinde kullanılması önerilen malzemelerin yerleşimi, plan (Recommended materials placement in the hall, plan)



Şekil 2. Salon içerisinde kullanılması önerilen malzemelerin yerleşimi, kesit (Recommended materials placement in the hall, section)

yansıtıcı/saçıcı dış bükey yüzey (Şekil 3, Şekil 4) tasarlanmış olup, aynı yüzeylerin konser işlevinde de kullanımı öngörülerek, salon tasarımı sabit tutulmuştur (Şekil 1, Şekil 2).

- ses yansıtıcı/saçıcı dışbükey hareketli paneller, konuşmacılara ait direkt sesi destekleyen ses yansımalarını sağlayacak boyut ve biçimde tasarlanmıştır (Şekil 3, Şekil 4).



■ Ses Yutucu Yüzeyler ■ Ses Yansıtıcı Yüzeyler
■ Ses Saçıcı Yüzeyler

Şekil 3. Konferans işlevi için sahnede önerilen akustik tasarım, plan (Recommended acoustic design on stage for conference function, plan)

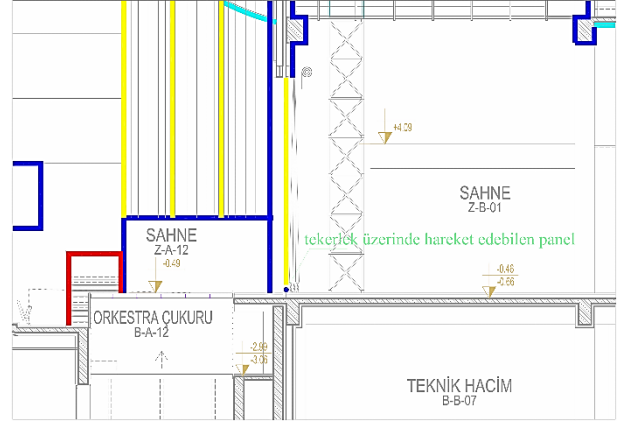
Sivas Kültür Merkezi Çok Amaçlı Salonu'nda konferans işlevine yönelik uygun olan akustik koşulların sağlanabilmesi amacıyla hacmin duvar, döşeme ve asma tavan malzemelerini kapsayan iyileştirmelerle (Şekil 1 ve Şekil 2) birlikte Şekil 3 ve Şekil 4'te verilen akustik tasarım önerisi geliştirilmiştir.

Çizelge 2. Çok Amaçlı Salon-konferans işlevi için geliştirilen önerinin hacim akustiği açısından sonuçlarının değerlendirilmesi (Multipurpose Hall-Evaluation of analysis results in terms of room acoustic for conference function)

Hacim Akustiği Parametreleri	Optimum Değerler	Konferans Öneri Analiz Sonuçları	Hissedilen Fark (JND)	Değerlendirme
T_{30mid} Reverberasyon Süresi, sn	$0,88 \leq T_{30mid} \leq 1,00$ (500 Hz - 1000 Hz) [2]	0,89	%5	UYGUN
EDT Erken Sönümlenme Süresi, sn	$EDT < T_{30mid}$ (500 Hz - 1000 Hz) [3]	0,78	%5	UYGUN
$\Delta SPL(A)$ Ses Basınç Seviyesi Farkı, dBA	$\Delta SPL(A) < 10$ dBA [2]	7,4	-	UYGUN
STI Konuşmanın İletim İndeksi	$0,75 < \text{Çok iyi} < 1,00$ $0,60 < \text{İyi} < 0,75$ $0,45 < \text{Orta} < 0,60$ $0,30 < Z_{savf} < 0,45$ $0,00 < K_{ktr} < 0,30$ [4]	0,64 (iyi)	-	UYGUN
D_{50} Konuşmanın Belirginliği	$D_{50} > 0,50$ tüm frekanslarda [5]	125 Hz 0,69 250 Hz 0,59 500 Hz 0,60 1000 Hz 0,58 2000 Hz 0,58 4000 Hz 0,61	%5	UYGUN

3.2.2. Konser işlevi analizleri ve değerlendirmeleri (Analysis and evaluations of concert function)

Bu çalışma kapsamında, Sivas Kültür Merkezi Çok Amaçlı Salonu'nda konser işlevine yönelik olarak ihtiyaç duyulan akustik koşullar;



■ Ses Yutucu Yüzeyler ■ Ses Yansıtıcı Yüzeyler
■ Ses Saçıcı Yüzeyler ■ Ses Yansıtıcı Yüzeyler

Şekil 4 Konferans işlevi için sahnede önerilen akustik tasarım, kesit (Recommended acoustic design on stage for conference function, section)

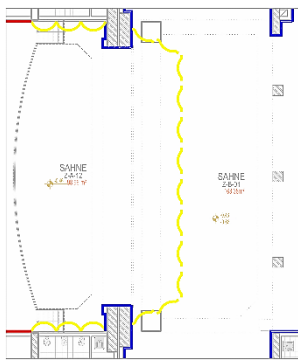
Konferans işlevi için; Şekil 3 ve Şekil 4'te verildiği şekilde, ses yutucu ve saçıcı yüzeylerin tasarlanması ile ulusal/uluslararası mevzuata uygun koşullar sağlanarak, tasarımın doğruluğu kanıtlanmıştır (Çizelge 2).

- Konferans işlevine göre daha yüksek reverberasyon süresine olan ihtiyaç; salon tasarımı sabit tutularak (Şekil 1 ve Şekil 2), sahnede; birleşen hacimler sistemi (coupled volumes system) tasarlanması ile

hava hacmi artırılarak sağlanabilmektedir (Şekil 5, Şekil 6, Çizelge 3).

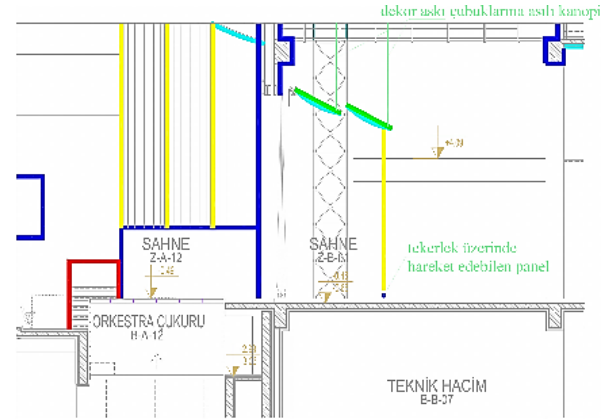
- Birleşen hacimler sistemi (coupled volumes system) ve sahnenin hareketli ses saçıcı yüzey sistemi (movable orchestra shell), entegre olarak tasarlanarak, birleşen hacimler sistemi ile sahne arasında ses enerjisi transferi sağlanabilmektedir (Şekil 5, Şekil 6).

Bunun için konferans işlevinde; yangın perdesi önünde yer alan ve tekerlekler üzerinde hareket ettirilerek birbirine bitişik olarak yerleştirilen dış bükey saçıcı ahşap paneller (Şekil 5, Şekil 6); bu kez sahne ağzından sahne içine doğru çekilerek ve aralıklı olarak yerleştirilmişlerdir (Şekil 5, Şekil 6). Buna ilave olarak manuel olarak sofita çubuklarına çelik halatlarla asılan ahşap kanopiler tasarlanmıştır (Şekil 6).



- Ses Yutucu Yüzeyler
- Ses Yansıtıcı Yüzeyler
- Ses Saçıcı Yüzeyler

Şekil 5. Konser işlevi için sahnede önerilen akustik tasarım (plan) (Recommended acoustic design on stage for concert function, plan)



- Ses Yutucu Yüzeyler
- Ses Saçıcı Yüzeyler
- Ses Yansıtıcı Yüzeyler
- Ses Yansıtıcı Yüzeyler
- Ses Yutucu Yüzeyler

Şekil 6. Konser işlevi için sahnede önerilen akustik tasarım (kesit) (Recommended acoustic design on stage for concert function, section)

Sivas Kültür Merkezi Çok Amaçlı Salonu'nda konser işlevine uygun olan akustik koşulların sağlanabilmesi amacıyla hacmin duvar, döşeme ve asma tavan malzemelerini kapsayan iyileştirmelerle (Şekil 1, Şekil 2) birlikte, Şekil 5 ve Şekil 6'da verilen akustik tasarım önerisi geliştirilmiştir. Konser işlevi için; birleşen hacimler sistemi (coupled volumes system) ve sahnenin hareketli ses saçıcı yüzey sisteminin (movable orchestra shell), entegre olarak tasarlanması (Şekil 5, Şekil 6) ile ulusal/uluslararası mevzuata uygun koşullar sağlanarak, tasarımın doğruluğu kanıtlanmıştır (Çizelge 3).

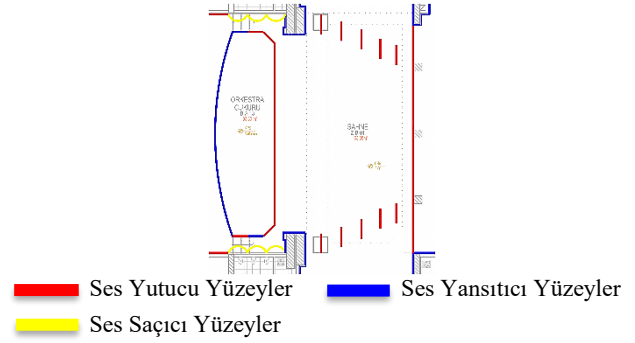
Çizelge 3. Çok Amaçlı Salon-konser işlevi için geliştirilen önerinin hacim akustiği açısından sonuçlarının değerlendirilmesi (Multipurpose Hall-Evaluation of analysis results in terms of room acoustic for concert function)

Hacim Akustiği Parametreleri	Optimum Değerler	Konser Öneri Analiz Sonuçları	Hissedilen Fark (JND)	Değerlendirme
T_{30mid} Reverberasyon Süresi, sn	$1,87 \leq T_{30mid} \leq 2,24$ (500 Hz - 1000 Hz) [2]	1,97	%5	UYGUN
EDT Erken Sönümlenme Süresi, sn	$EDT < T_{30mid}$ (500 Hz - 1000 Hz) (Birleşen hacimler için) [3]	0,89	%5	UYGUN
$\Delta SPL(A)$ Ses Basınç Seviyesi Farkı, dBA	$\Delta SPL(A) < 10$ dBA [2]	7,5	-	UYGUN
C_{80} Sesin Berraklığı veya Netliği	-5 dB; +5 dB (500 Hz - 1000 Hz) [6]	4,1	1 dB	UYGUN
LF_{80} Erken Yan Yansıma Oranı	0,05; 0,35 (125 Hz - 1000 Hz) [6]	0,13	%5	UYGUN

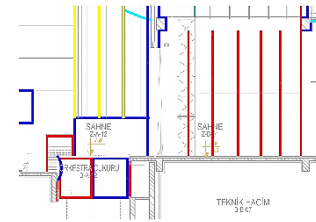
3.2.3. Opera/tiyatro işlevi analizleri ve değerlendirmeleri (Analysis and evaluations of opera/theatre function)

Sivas Kültür Merkezi Çok Amaçlı Salonu'nun opera/tiyatro işlevi için konferans işlevinden daha yüksek; konser işlevinden ise daha düşük bir çınlama süresine ihtiyaç bulunmaktadır. Bu durum için konferans ve konser durumları için oluşturulan kabuk toplanarak sofita alanının dekor, ışık vb. teçhizat değişimlerine olanak sağlayacak şekilde kullanılması sağlanmıştır. Sivas Kültür Merkezi Çok Amaçlı Salonu'nda opera/tiyatro işlevine yönelik ihtiyaç duyulan akustik koşulların sağlanması amacıyla;

- Birleşen hacimler sistemi (coupled volumes system) ve sofita arka duvarına asılan akustik perde sistemi (acoustic curtains) aracılığıyla arka sahne; sofitedan kopartılmış ve sahneye yan perdeler de eklenerek, konsere göre daha düşük, konferansa göre daha yüksek olan, ihtiyaç duyulan reverberasyon süresi sağlanabilmiştir (Şekil 7, Şekil 8, Çizelge 4).
- Birleşen hacimler sistemi (coupled volumes system) ve orkestra çukuru (orchestra pit), entegre olarak tasarlanarak, birleşen hacimler sistemi ile orkestra çukuru arasında ses enerjisi transferi sağlanmıştır (Şekil 7, Şekil 8).



Şekil 7. Opera/tiyatro işlevi için sahnede önerilen akustik tasarımın yerleşimi (plan) (Recommended acoustic design on stage for opera/theatre function, plan)



Şekil 8. Opera/tiyatro işlevi için sahnede önerilen akustik tasarımın yerleşimi (kesit) (Recommended acoustic design on stage for opera/theatre function, section)

Çizelge 4. Çok Amaçlı Salon-opera/tiyatro işlevi için geliştirilen önerinin hacim akustiği açısından sonuçlarının değerlendirilmesi (Multipurpose Hall-Evaluation of analysis results in terms of room acoustic for opera/theatre function)

Hacim Akustiği Parametreleri	Optimum Değerler	Opera/ tiyatro Öneri Analiz Sonuçları	Hissedilen Fark (JND)	Değerlendirme	
T_{30mid} Reverberasyon Süresi, sn	$1,37 \leq T_{30mid} \leq 1,64$ (500 Hz - 1000 Hz) [2]	1,50	%5	UYGUN	
EDT Erken Sönümlenme Süresi, sn	$EDT < T_{30mid}$ (500 Hz - 1000 Hz) (Birleşen hacimler için) [3]	0,79	%5	UYGUN	
$\Delta SPL(A)$ Ses Basınç Seviyesi Farkı, dBA	$\Delta SPL(A) < 10$ dBA [2]	7,1	-	UYGUN	
C_{80} Sesin Berraklığı veya Netliği	$C_{80} > +4$ dB (500 Hz - 1000 Hz) [2]	5,8	1 dB	UYGUN	
LF_{80} Erken Yan Yansıma Oranı	0,05; 0,35 (125 Hz - 1000 Hz) [6]	0,13	%5	UYGUN	
STI Konuşmanın İletim İndeksi	0,75 < Çok iyi < 1,00	0,63 (iyi)	-	UYGUN	
	0,60 < İyi < 0,75				
	0,45 < Orta < 0,60				
	0,30 < Zayıf < 0,45				
	0,00 < Kötü < 0,30 [4]				
D_{50} Konuşmanın Belirginliği	$D_{50} > 0,50$ tüm frekanslarda [5]	125 Hz	0,55	%5	UYGUN
		250 Hz	0,57		
		500 Hz	0,62		
		1000 Hz	0,63		
		2000 Hz	0,63		
	4000 Hz	0,66			

4. SONUÇ (RESULTS)

Sivas Kültür Merkezi Çok Amaçlı Salonu mimari uygulama projesi kapsamında mevcut durumun, yapılan simülasyon çalışması sonucunda ihtiyaç duyulan akustik koşulları sağlayamadığı tespit edilmiştir. Uygun olan akustik koşulların sağlanabilmesi amacıyla salonda; duvar, döşeme ve asma tavan malzemelerini kapsayan iyileştirmeler yapılarak salon tasarımı sabit tutulmuş (Şekil 1, Şekil 2), konferans, konser ve opera/tiyatro işlevlerine yönelik uygun akustik tasarım parametreleri, sahnede; birleşen hacimler sistemi (coupled volumes system) - akustik perde sistemi (acoustic curtains) tasarımı aracılığı ile sağlanma yoluna gidilmiş ve aşağıdaki sahne kullanım kılavuzu verilmiştir (Çizelge 5).

Genel olarak, salon arka duvarı, geç gelen yansımalara engel olmak üzere ses yutucu yüzeylerden oluşturulmuştur. Salon yan duvarlarında ise salon içerisinde homojen ses alanını sağlamak amacı ile ses

ulusal/uluslararası mevzuat ile karşılaştırıldığında; elde edilen “uygun” kriterler ile önerilen tasarımın doğruluğu kanıtlanmıştır (Çizelge 2, Çizelge 3, Çizelge 4).

Bilgisayar benzetim programları aracılığı ile hacim içerisinde çeşitli noktalarda oluşacak akustik konfor koşulları tasarım aşamasında belirlenmekte, gerekli değişiklikler yapılarak, olumsuz koşullar düzeltilebilmekte; böylece zaman ve maliyet zararlarının önüne geçilebilmektedir. Bu bağlamda; çalışma proje aşamasında olduğu için simülasyon yapılarak değerlendirme yoluna gidilmiştir. Binanın yapımının tamamlanmasından sonra ölçüm çalışmalarının yapılması planlanmaktadır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Odeon A/S, “Room Acoustics Modelling Software, V 10.02 Combined”, Denmark, (2009).
2. Demirel, F., “Mimari Akustik Yayınlanmamış Ders

Çizelge 5. Konferans, konser, opera ve tiyatro işlevi için sahne kullanım kılavuzu (Scenery manual for conference, concert, opera and theatre function)

İşlevler	Birleşen Hacimler Sistemi (Coupled Volumes System)	Sahnenin Hareketli Ses Saçıcı Yüzey Sistemi (Movable Orchestra Shell)	Hareketli Orkestra Çukuru (Movable Orchestra Pit)	Akustik Perde Sistemi (Acoustical Curtains)
Konferans İşlevi	KAPALI (Sofita + Yan/Arka Sahneler)	SAHNE AĞZINDA (Yangın Perdesi Önünde)	KAPALI (Orkestra yok)	YOK
Konser İşlevi	AÇIK (Sofita + Yan/Arka Sahneler)	SAHNEDE (Orkestranın çevresinde)	KAPALI (Orkestra ve koro sahnede)	YOK
Opera/ Müzikal Tiyatro İşlevi	AÇIK (Sofita+Yan Sahneler Açık, Arka Sahne Kapalı)	İPTAL (Arka sahnede depolanmakta)	AÇIK (Orkestra; çukur içerisinde)	SAHNEDE PERDE SİSTEMİ VAR
Drama Tiyatro İşlevi	AÇIK (Sofita+Yan Sahneler Açık, Arka Sahne Kapalı)	İPTAL (Arka sahnede depolanmakta)	KAPALI (Orkestra yok)	SAHNEDE PERDE SİSTEMİ VAR

yutucu ve yansıtıcı yüzeyler, birlikte kullanılmıştır (Şekil 1, Şekil 2). Salonun sahne kısmı ve sahne çevresi yan duvarlarında, sesin ilk yansımalarını kuvvetlendirmek amacı ile ses saçıcı yüzeyler tasarlanmıştır. Bu bağlamda geliştirilen akustik tasarıma (Şekil 3, Şekil 4, Şekil 5, Şekil 6, Şekil 7, Şekil 8) ilişkin ODEON Simülasyon Programı analizleri ve değerlendirilmeleri her işleve yönelik olarak ayrı ayrı yapılmıştır. Yapılan bu analiz ve değerlendirmeler ışığında; Sivas Kültür Merkezi Çok Amaçlı Salonu’nda gerçekleştirilecek olan farklı işlevler (konferans, konser ve opera/tiyatro) için geliştirilen tasarıma ilişkin elde edilen parametreler,

Notları”, *Gazi Üniversitesi Mimarlık Fakültesi*, Ankara (2016).

3. Mehta, M., Johnson, J., Rocafort, J., “Architectural Acoustics Principles and Design”, Prentice Hall, Inc., Upper Saddle River, USA, (1999).
4. EN 60268-16: 2012-01, “Sound System Equipment – Part 16: Objective Rating Of Speech IntelligibilityBy Speech Transmission Index”.
5. Thiele, R., “Die Richtungsverteilung und Zeitfolge der Schallrückwürfe inRäumen – Directional distribution and time sequence of sound reflections in rooms”, *Acustica*, 1: 31-32, (1956).

6. EN ISO 3382-1: 2009; “Acoustics - Measurement of Room Acoustic Parameters-Part 1: Performance Spaces”.
7. İLİSULU, G., (Tez yürütücüsü: Prof. Dr. Füsun Demirel), “Tiyatro Salonlarının Akustik Açısından Değerlendirilmesi Ve Bir Örnek Çalışma: İstanbul Büyükşehir Belediyesi Beyoğlu Sahnesi” **Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, (2010).
8. DOĞAN M., (Tez yürütücüsü: Prof. Dr. Füsun Demirel), “Televizyon Stüdyolarında Mimari Akustik Tasarım Kriterleri ve Bir Örnek Çalışma: Eğitim Teknolojileri Genel Müdürlüğü Binası Televizyon Stüdyosu” **Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara (2012).
9. Türkmen, R., (Tez yürütücüsü: Prof. Dr. Füsun Demirel), “Oditoryumlarda Akustik Performansın İyileştirilmesine Yönelik Tasarım Parametrelerinin Geliştirilmesi ve Bir Örneklem” **Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara (2013).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>

Grade A gemi sacının örtülü elektrod ark kaynak yöntemi ile sualtı ve atmosferik şartlarda birleştirilebilirliğinin araştırılması

an investigation on joinability of Grade A ship steel through shielded metal arc welding method in underwater and atmospheric conditions

Yazar(lar) (Author(s)): Kadir İMDAT¹, Yakup KAYA², Nizamettin KAHRAMAN³

ORCID¹: 0000-0002-6829-9438

ORCID²: 0000-0002-9951-2844

ORCID³: 0000-0002-7152-3795

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): İmdat K., Kaya Y., ve Kahraman N., “Grade A gemi sacının örtülü elektrod ark kaynak yöntemi ile sualtı ve atmosferik şartlarda birleştirilebilirliğinin araştırılması”, *Politeknik Dergisi*, 21(3): 543-552, (2018).

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

DOI: 10.2339/politeknik.428975

Grade A Gemi Sacının Örtülü Elektrod Ark Kaynak Yöntemi ile Sualtı ve Atmosferik Şartlarda Birleştirilebilirliğinin Araştırılması

Araştırma Makalesi / Research Article

Kadir İMDAT, Yakup KAYA*, Nizamettin KAHRAMAN

Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, Karabük Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 10.02.2017 ; Kabul/Accepted : 30.03.2017)

ÖZ

Bu çalışmada, Grade A gemi sacı, örtülü elektrodla ark kaynak yöntemi ile, parafin kaplanmış E 6013 standardına sahip rutil örtü tipli elektrodla, atmosferik şartlarda ve su altında farklı derinliklerde birleştirilmiştir. Kaynaklı birleştirmelerin mekanik özelliklerini belirlemek için sertlik deneyi ve çekme testleri yapılmıştır. Ayrıca kaynak bölgesinde meydana gelen yapısal değişim ve dönüşümleri gözlemek için kaynaklı numuneler üzerinde mikroyapı çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Yapılan sertlik testleri sonucunda, en yüksek sertlik değerleri kaynak metalinden ölçülürken onu sırasıyla ısıtım tesiri altında kalan bölge (ITAB) ve ana malzeme takip etmektedir. Yapılan çekme testleri sonucunda, tüm numunelerde kopma kaynak metalinde gerçekleşmiş ve bütün bağlantı dayanımları, ana malzemeden düşük bulunmuştur. Mikroyapı incelemelerinde ilk pasoların ince taneli izotrop, dış kapakları oluşturan son pasoların ise ince sütunsal taneli olduğu gözlenmiştir. Ayrıca su altında birleştirilen numunelerde hızlı soğumadan kaynaklı martenzitik dönüşüm olduğu mikroyapı incelemelerinde gözlenmiştir. Deney sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde, sualtı ark kaynak yöntemiyle birleştirilen numunelerin atmosferik şartlarda birleştirilen numuneye göre uzama değerlerinde yaklaşık % 30, çekmede ise yaklaşık % 12 daha düşük dayanım sergiledikleri gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sualtı ark kaynak yöntemi, gemi sacı, sertlik ve çekme testi.

An Investigation on Joinability of Grade A Ship Steel Through Shielded Metal Arc Welding Method in Underwater and Atmospheric Conditions

ABSTRACT

In this study, Grade A ship steel was joined at both the atmospheric conditions and underwater at various depths through shielded metal arc welding method using paraffin coated shielded rutile type electrode conforming to E 6013 standard. In order to determine the mechanical properties of welded joints hardness and tensile tests were carried out. In addition, microstructural examinations were performed on the welded specimens in order to observe structural the changes and transformations occurring in the welding zone. The hardness test results showed that the highest hardness values are seen for the weld metal and these are followed by heat affected zone (HAZ) and base material. After the tensile tests, it was seen that all the specimens fractured at the weld metal and that strength of the joints lower than that of base material. It was observed from the microstructural examinations that first passes are fine grained isotropic while the last passes are fine grained columnar. In addition, martensitic transformation due to rapid cooling was seen in the specimens joined at underwater. When the experimental results are generally evaluated, it is seen that the specimens joined through underwater arc welding method exhibited 30 % lower elongation and 12 % lower tensile strength than those joined at the atmospheric conditions.

Keywords: Underwater arc welding, ship steel, hardness and tensile test

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Gemi imalatında genelde kullanılan çelik saclar, dinamik yükler altında rahatça çalışabilecek ve kaynak kabiliyeti yüksek, % 0,15 ila % 0,23 karbon içeren ve mangan alaşımı açısından zengin olan “yumuşak çelik (düşük karbonlu)” malzemedir [1]. Bu tür malzemede kaynak kabiliyetine olumsuz yönde etki ettiğinden fosfor ve kükürt minimum seviyede tutulur (% 0,05’den az) [2]. Gemi imalatında bir çeliğin kullanılması için ilgili

kurumca denetlenmesi, test edilmesi ve soğuk damga ile mühürlenmiş olması gerekmektedir [1,3]. 1959 yılından sonra dünyada önde gelen gemi klas kuruluşları tarafından gemi imalatı için kullanılan saclar standartlaştırılmıştır [4]. Karbon çelikleri, normal mukavemetli (akma sınırı 235 N/mm²) 5 farklı kalitede çeliklerdir [2]. Gemi imalatında kullanılan bu çelikler Grade A, B, C, D ve E çelikleri olarak sınıflandırılmış olup, Lloyd’s Register denetimi doğrultusunda kullanılmaktadır [3]. Grade A çeliği yumuşak çeliktir ve gemi imalatında yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Grade B çeliği ise yumuşak çelik

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

sınıfına girmektedir ve Grade A çeliğinden daha iyi kalitededir. Grade C, D ve E kalite saclar ise darbe dayanımı daha iyi olan yumuşak çeliklerdir [4,5].

Örtülü elektrodla ark kaynağı, (Shielded metal arc welding), metallerin birleştirilmesinde avantajları nedeniyle sıkça kullanılan ve kullanımı kolay, ergitmeli bir kaynak yöntemidir [6]. Çok yönlü ve basit bir yöntem olan örtülü elektrodla ark kaynağı, gerek üretim, gerekse tamirat aşamalarında, ülkemizde ark kaynak yöntemleri arasında en çok kullanılan kaynak yöntemlerinden birisidir [6-8]. Örtülü elektrod kullanılarak uygulanan elektrik ark kaynağında ark oluşumu, iş parçasıyla ergiyen elektrod arasında oluşmaktadır [9-11]. Böylece ergiyen elektrod kaynak metali haline geçmektedir [12]. Su altında ark, havada olduğu gibi elektrodla parça arasında temasla tutuşur, ancak onu bu halde tutmak çok daha güçtür [10,13]. Ergime halindeki elektrodun ucunda, havada oluşandan daha derin bir krater meydana gelir ki, böyle kısmen ergimiş bir elektrodun yeniden tutuşturulması hayli güç olmaktadır [13]. Su altında arkın esas özelliği, etrafında bir gaz, duman ve buharlardan oluşan bir cebin meydana gelmesi olup bu cepten sürekli olarak yüzeye çıkıp, burada patlayan küçük veya iri kabarcıklar yükselir. Buharla birlikte küçük beyaz dumanlar da kahverengi veya kurşuni bulutlar hasil ederler [14]. Bazı kabarcıklar, çatlarken, suyu tedrici olarak bulandıran katı zerrecikler çıkarırlar. Buharlar, arkıtan itibaren dikey olarak doğruca su yüzeyine yükselirler [14,15].

Su altında kaynak yapımı için en iyi kaynak özelliğine sahip elektrod olarak E 6013 yumuşak çelik elektrodu imal edilmiştir [14,16]. Karbon eşdeğeri (C_e)'nin 0.40'dan düşük olduğu çelik esas (ana) malzemesi üzerinde en iyi yaş kaynak E 6013 elektrodu ile yapılmaktadır [14]. Sualtı kaynaklarının çoğu 4 ve 5 mm elektrodlarla yapılır. Bahriye, bütün pozisyon kaynakları için E 6013 elektrodlarını önermektedir [15]. 5 mm elektrod, sacın bu çap için fazla ince olması dışında bütün işlerde tavsiye edilmektedir [17]. Bununla birlikte son deneyler E 6027 ve 7024 demir tozlu elektrodların da aynı tekniklerle kullanılabilirliği halinde iyi sonuç verdiklerini göstermiştir. Örtü, suyun zararına karşı parafin kaplamayla korunmalıdır [14,15]. Yaş ortamda yapılan elektrik ark kaynağının kullanım alanları ise; sızdırma çatlakları, su altındaki gemi gövdelerinde meydana gelen aralıklar, liman ile köprü ayağı ve platform tesislerinde, çelik levha kazıklarının tamiri gibi alanlarda uygulama yapılmaktadır [15,18].

Sualtı ark kaynak yönteminde, atmosferik şartlarda uygulanan kaynaklı birleştirmelere göre malzemenin mekanik özelliklerinde oldukça büyük değişim olmaktadır [19]. Ibarra vd. [20] sualtı kaynağının yüzey kaynağına göre düşük mekanik özellikler gösterdiğini, yani kaynak

banyosundaki önemli alaşım elementlerinin oksijen, hidrojen ve karbon ile reaksiyona girmesinden dolayı oluştuğunu çalışmalarındaki numunelerin üretim derinliklerini göz önüne alarak birbirine kıyasla açıklamışlardır. Christensen [21] manganez ve karbon içeriğinin varyasyonları kaynak metalini sertleştirirken, oksijen içeriğinin varyasyonlarının ise kaynak metalinin tokluğunu etkilediğini belirtmişlerdir. Pessoa vd. [22] Yük değişikliği gözenekliliğinin kaynak boyunca azalmasını etkisini açıkça gösterdiğini belirtmiş, derinliği dikkate alarak 50 metrede yapılan kaynaklar tarafından tahammül edilen yüklerin 100 metrede yapılan kaynaklara göre daha yüksek sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir.

Özellikle son zamanlarda yapılan sualtı ark kaynağı çalışmalarında yüksek basınçlı kap ve simüle edilmiş ortamlar kullanılmaktadır. Bu çalışmada gerçek ortam kullanılmak suretiyle, su altında katlamalı olarak farklı derinliklerde birleştirilen numunelerin atmosferik şartlarda birleştirilen numuneyle karşılaştırılması gerçekleştirilmiştir. Kaynaklı numunelerin kaynak bölgeleri gözle muayene, sertlik, çekme deneyi ve makro/mikroyapı deneyleriyle incelenmiştir.

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

Birleştirme işlemlerimde, kimyasal bileşimi Çizelge 1'de verilen düşük karbonlu Grade A gemi sacı malzemesi kullanılmıştır. Öncelikle malzemeler şerit testere ile 250x100x10 mm ebatlarında kesilmiş ve frezede 45° kaynak ağızı açılmıştır.

Kaynak ağızı açılan malzemeler Şekil 1'de gösterildiği gibi iki malzeme arasında 2 mm boşluk kalacak şekilde 5 mm kalınlığında bir parça ile birbirlerine puntalanmışlardır. Ayrıca kaynak esnasında sarkmaları önlemek ve kaynak kökünün kolay bir biçimde oluşturulabilmesi için seramik bir altlık kullanılmıştır.



Şekil 1. Kaynak öncesi parçaların sabitlenmesi (Fixing the pieces before welding).

Çizelge 1. Grade A gemi sacının kimyasal bileşimi (ağırlıkça %) (Chemical compositions of Grade A ship steel) (wt. %).

C	Mn	P	S	Si	Al	Cu	Cr	Ni	Mo	Fe
0,149	0,7	0,015	0,012	0,166	0,028	0,049	0,022	0,052	0,002	Kalan

Atmosferik şartlarda ve su altında kaynak işlemleri için kullanılan E 6013 rutil elektrod parafin maddesi ile kaplanarak yalıtkan hale getirilmiştir. Kaynak işleminde kullanılan elektrodun mekanik özellikleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. E 6013 rutil örtülü elektrodun mekanik özellikleri (Mechanical properties of E 6013 rutile covered electrode).

Akma Dayanımı (N/mm ²)	Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Uzama (%)	Çentik Darbe Dayanımı 0 °C'de (J)
500	560	28	55-60

Kaynak işlemi uygulaması endüstriyel dalgıç tarafından, İstanbul Pendik'te bulunan tershaneler bölgesindeki Sedef Gemi İnşaatı A.Ş. firmasının bünyesinde gerçekleştirilmiştir. Uygulama, seçilen üç farklı derinlik parametresinin gerçekleştirilmesi için (1,5 m, 3 m ve 6 m) derinlikler ölçülerek, imalat sonunda gemiyi suyla buluşturmak için kullanılan bir rampanın (duba) su zeminine doğru uzanan ayaklarına parçaların uç kısımlarından puntalandıktan sonra yapılmıştır. Kaynak işlemi esnasında dalgıç kaynakçı, tel fırça, raspa ve çekiç gibi temizlik materyalleriyle her pasodan sonra curuf kalıntılarını temizleyerek yeni pasoyu uygulamıştır. Su altında ve açık alanda çok pasolu olarak yapılan birleştirme işleminde atmosferik şartlarda birleştirilen numune de aynı gün, aynı tershane bünyesinde kaynakla birleştirilerek tamamlanmıştır. Çizelge 3'te kaynak esnasında kullanılan kaynak parametreleri verilmiştir.

Atmosferik şartlarda birleştirilen numune açık havada kendi halinde soğumaya bırakılmıştır. Kaynak uygulamasında, kök paso kaynak işleminde kaynak ağız açısı darlığı ve derin nüfuziyet eldesi baz alınarak \varnothing 2,5 mm elektrod tercih edilmiştir. Parafin kaplı elektrodla malzemenin ilk etapta tek pasoda kök birleştirilmesi gerçekleştirilmiş, ardından \varnothing 3,25 mm parafin kaplanmış elektrodla üç paso dolgu işlemi gerçekleştirilmiştir. Son olarak \varnothing 4 mm parafin kaplı elektrodla iki paso dolgu

işlemi ve son kapak paso atılarak kaynak işlemi tamamlanmıştır.

Kaynak işlemi gerçekleşen numunelerin başlangıç ve bitiş kısımlarından 20 mm'lik kısımları ıskarta olarak ayrılmıştır. Karakterizasyon işlemleri için kaynak yönü takip edilerek her parçadan 3'er adet çekme ve 1'er adet de metalografi (sertlik ve mikroyapı) işlemleri için numune kesilmiştir. Sertlik testi için ayrılan kaynaklı numuneler, klasik metalografik numune hazırlama işlemine (zımparalama ve parlatma) tabi tutulmuşlardır. Sertlik ölçümleri, Shimadzu HMV cihazla HV türünden yapılmıştır. Sertlik ölçüme işlemlerinde 2000 g yük (HV2) uygulanmış ve sonuçlar için her bölgeden gerçekleştirilen 3 ölçümün sonucunun ortalama değeri hesaplanarak ifade edilmiştir. Çekme deney numuneleri TS EN ISO 4136 (2012) nolu "Metalik malzemelerin kaynakları üzerinde tahribatlı deneyler – Enine çekme deneyi" standardı dikkate alınarak hazırlanmıştır. Kaynaklı parçalardan standarda uyarak kaynak bölgesi merkezde olacak şekilde, inceltilmiş kısmın boyu 60 mm ve çapı da \varnothing 5 mm olacak şekilde hazırlanmıştır. Kaynaklı numuneler AG-50 kN SHIMADZU Autograph çekme cihazında teste tabi tutulmuştur. Test esnasında çekme hızı 0.5 mm/dk olarak seçilmiştir. Kaynaklı numunelere uygulanan çekme testi, her bir parametreden 3 adet yapılmış ve ortalamaları değerlendirilmiştir.

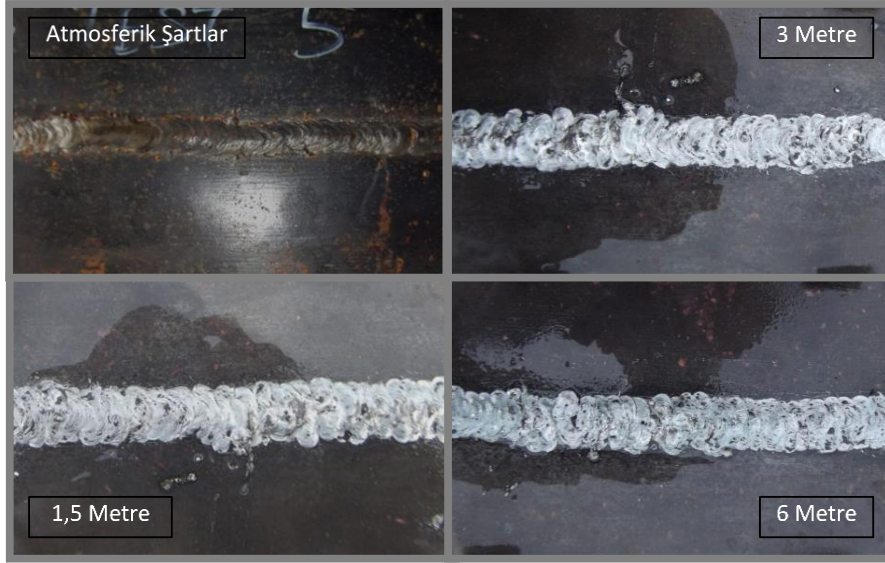
3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

3.1. Görsel muayene (Visual inspection)

Farklı derinliklerde su altında ve atmosferik şartlarda birleştirilen kaynaklı numuneler öncelikle TS EN ISO 17637'e göre göz ile muayene testine tabi tutulmuşlardır. Şekil 2'de kaynaklı numunelerin makro görüntüleri verilmiştir. Gözle yapılan muayene sonucunda, belirgin yüzey hatalarına (eksik veya fazla kaynak kepi, kökte çökme vb.) rastlanılmamıştır. Kısmen yanma olukları olduğu, ancak oluşan hatalarına kabul sınırları çerçevesinde olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 3. Kaynak parametreleri (Welding parameters).

Derinlik	Net	1,5 m	3 m	6 m	Atmosferik
Paso Sayısı	-	6	6	7	5
Elektrod	2,5 mm	180 A	190 A	200 A	135 A
	3,25 mm	215 A	220 A	230 A	155 A
	4 mm	240 A	245 A	255 A	170 A
Şasi Kablo Boyu	-	60m	60m	100m	50m
Pense Kablo Koyu	-	100m	100m	100m	60m
Ortam Isısı	Meteoroloji Verileri	7°C	7°C	7°C	12°C



Şekil 2. Sualtı (farklı derinliklerde) ve atmosferik şartlarda birleştirilen numuneler (Joined samples in underwater (at different depths) and atmospheric conditions).

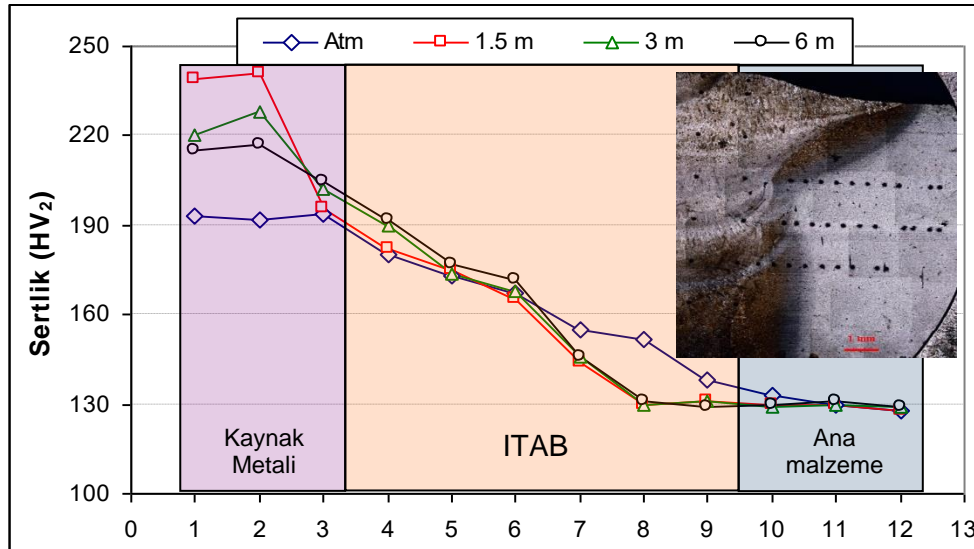
3.2. Sertlik Testi (Hardness Test)

Sertlik çalışmaları için hazırlanan numunelere 2000 g yük uygulanarak Vickers sertlik deneyi yapılmış ve elde edilen 3 sonucun ortalama değerlerine göre Şekil 3’de verilen grafik çizilmiştir. Ayrıca grafik üzerinde su altında 6 m derinlikte birleştirilen numunenin makro görüntüsü ve bu numune üzerinden alınan sertlik ölçüm izleri verilmiştir. Sertlik ölçüm işlemi kaynak metalinden ana malzemeye doğru çift yönlü olarak gerçekleştirilmiş ancak grafik simetrik bir yapı sergilediğinden burada tek taraf olarak verilmiştir.

Şekil 3’te verilen grafikte, atmosferik şartlarda birleştirilen numunedan elde edilen kaynak bölgesi (kaynak metal ve ITAB) genişliği ile su altında birleştirilen numunelerden elde edilen kaynak bölgesi genişliğinin farklı olduğu unutulmamalıdır. Bu durumda atmosferik

şartlarda birleştirilen numunede ölçüm uzunluğu yaklaşık 5-6 mm iken, bu uzunluk su altında birleştirilen numunelerde yaklaşık 3-4 mm olarak ölçülmüştür. Literatürde [6], su altında kaynaktan ITAB’ın genişliğinin, açık havada yapılan kaynaktakinin % 25 ila 50’ si kadar olacağı belirtilmiştir.

Şekil 3 genel olarak incelendiğinde kaynaklı numunelerin sertlik değerlerinde atmosferik şartlarda birleştirilen numune için kaynak metal, ITAB ve ITAB içerisindeki geçiş bölgelerinde (iri taneli-ince taneli, ince taneli-kısmen dönüşüme uğramış) sertlik değerleri su altında birleştirilenlere göre daha düşük değerlerde seyretmiştir. Atmosferik şartlarda birleştirilen numune için kaynak metalinde ortalama sertlik değeri 193.8 HV olarak ölçülmüştür. ITAB’da yapılan ölçümlerde en yüksek sertlik değeri 180 HV iken, en düşük sertlik değeri ise 135 HV



Şekil 3. Kaynaklı numunelerin sertlik sonuçları (Horizontal hardness results of welded samples)

olarak ölçülmüştür. Kaynak metalinin merkezinde derinlik arttıkça sertlikte az miktarda bir düşüşün olduğu tespit edilmiştir. 1.5 metre derinlikte

kaynatılan numunede ortalama sertlik değeri 224.2 HV, 3 metre derinlikte kaynatılan numunede ortalama sertlik değeri 213.66 HV ve 6 metre derinlikte kaynatılan numunede ortalama sertlik değeri 207.33 HV olarak ölçülmüştür. Sertlik değerleri kaynak metalinde olduğu gibi ITAB'da da yaklaşık farklılıkta değerler sergilemiştir. Su altında dalma derinliği arttıkça kaynak esnasındaki yanan karbon miktarı artar ve buna bağlı olarak karbon oranının düşmesinin sertlik değerlerindeki azalmada etkin rol oynadığı tespit edilmiştir. Ölçümler esnasında tespit edilen ITAB genişliği için, atmosferik şartlardakine kıyasla daha dar bir mesafenin söz konusu olduğu gözlemlenmiştir. Atmosferik şartlarda birleştirilen numunenin sertlik ölçümü esnasında tespit edilen ITAB genişliği yaklaşık 4.8 mm iken, su altında farklı derinliklerde birleştirilen numuneler için bu değer yaklaşık 1.8 mm olarak tespit edilmiştir.

Metal malzemelerin kaynakla birleştirilmesiyle kaynak bölgesinde meydana gelen metalurjik değişimler, kaynak sonrası soğuma hızı ve kaynak sürecinde uygulanan ısıyla yakından bağlantılıdır. Bu bilgi dikkate alındığında, çelik malzemelerin kaynağında östenit fazından oda sıcaklığına soğuma hızı, ITAB'da ve kaynak metalinde sonuç mikroyapıyı etkilediğinden oldukça önemlidir. Kaynak işlemi yapılan çelik malzemelerde 800 °C oldukça önemli bir sıcaklıktır. 800 °C, kaynak yapılan birçok çelik malzemenin A₃ sıcaklığıdır ve östenit fazından dönüşüm bu sıcaklıkta başlamaktadır. Çeliğin 800 °C'den 500 °C'ye soğuma süresi saniye olarak ölçülüp $\Delta t_{8/5}$ ile ifade edilir. Genellikle kaynak metali soğuma süresi olan $\Delta t_{8/5}$, 5 sn'den az olursa mikro yapı martenzit ve/veya beynit olur. $\Delta t_{8/5}$, 100 sn'den fazla olursa poligonal ferrit ve perlit mikroyapıyı oluşturur. $\Delta t_{8/5}$, soğuma süresi iki değer arasında olursa kimyasal bileşime bağlı olarak yüksek miktarda asiküler ferrit hacim oranı elde edilir [12].

Kaynaklı numunelerden ölçülen sertlik değerleri genel olarak değerlendirildiğinde en yüksek sertliğin tüm numunelerde kaynak metalinden ölçüldüğü, onu sırasıyla ITAB ve ana malzemenin takip ettiği tespit edilmiştir. Literatürde genelde en yüksek sertliğin kaynak metali veya iri taneli bölge olduğu, dolayısıyla en yüksek martenzit oluşumunun da yine bu bölgede olduğu belirtilmektedir. Bu gelişmelerin doğal sonucu olarak aynı bölgede sertlikte yüksektir [13].

Kaynak metalinden ölçülen sertlik değerleri incelendiğinde en yüksek sertliğin 6 m su altında yapılmış kaynakta olduğu ve derinlik azaldıkça sertlik değerinin de azaldığı belirlenmiştir. Atmosferik ve su altında birleştirilmiş kaynaklı numunelerin kaynak metali pasoları farklı bir açıdan değerlendirildiğinde, pasoların soğuma hızlarının farklı olması sıvı kaynak metali miktarını değiştirmekte, dolayısıyla sıvı kaynak metali miktarının değişmesi de sertlikte farklılığa sebep olmaktadır. Litera-

türde [12] sıvı kaynak metal miktarı arttıkça, kaynak bölgesinin soğuma hızının azaldığı, bu sebeple de sertlikte bir düşmenin olduğu rapor edilmiştir.

3.3. Çekme testi (Tensile Test)

Deneyel çalışmalarda kullanılan Grade A gemi sacı için yapılan çekme deneyleri sonuçlarına göre literatürde de belirtildiği gibi Grade A gemi sacı ortalama yaklaşık olarak üretici firmanın sunduğu değere yakın olan 445,16 N/mm² gerilim değeri sunmuştur. Ayrıca atmosferik şartlarda ve farklı derinliklerde birleştirilen kaynaklı numunelerin çekme deneyi sonuçları Çizelge 4'te ve çekme grafikleri ise Şekil 4'te verilmiştir.

Çizelge 4. Çekme deneyi sonuçları (Tensile test results)

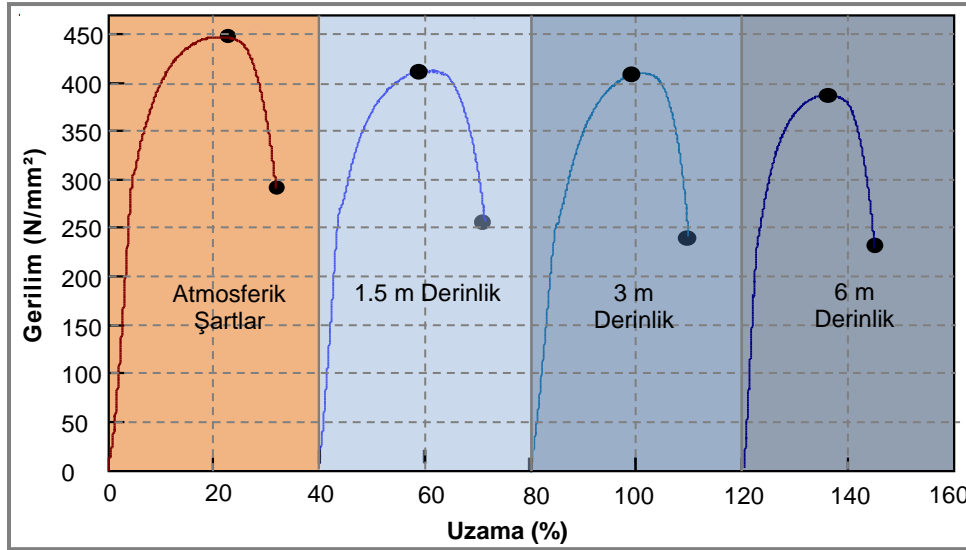
	Çekme Sonuçları (N/mm ²)	Ortalama Sonuçlar (N/mm ²)	Uzama Miktarı (%)
Ana malzeme	440,16	445,16	26
	446,38		
	448,94		
Atmosferik şartlar	447,21	446,12	23
	445,36		
	445,79		
1.5 m Derinlik	414,53	410,23	18
	409,12		
	413,12		
3 m Derinlik	407,41	405,53	18
	404,68		
	406,56		
6 m Derinlik	399,28	396,74	17
	394,36		
	396,91		

Şekil 4'te verilen gerilme-% uzama diyagramları incelendiğinde en yüksek çekme dayanımının atmosferik şartlarda yapılan birleştirmede olduğu, su altında yapılan tüm birleştirmelerde dayanımın atmosferik şartlara göre daha düşük olduğu gözlemlenmektedir. Ayrıca su altında gerçekleştirilen kaynaklı numunelerde derinlik arttıkça çok az da olsa dayanımda bir düşmenin olduğu açıkça görülmektedir. Grafik uzama açısından değerlendirildiğinde de dayanım sonuçlarına benzer sonuçların olduğu görülmektedir. Bir başka ifade ile atmosferik şartlarda en yüksek uzama değerleri elde edilirken, sualtı kaynaklarında derinliğin artmasına bağlı olarak uzamanın bir miktar azaldığı tespit edilmiştir.

Grafikteki değerler sayısal ifade ile değerlendirilecek olursa atmosferik şartlarda yapılan birleştirme için hazırlanan numunelerin sonuçlarının ortalaması 446,12 N/mm² bulunmuştur. Çekme sonuçları itibarıyla atmosferik şartlarda birleştirilen numune, orijinal malzemeye benzer değerler sunmuştur. Buna nazaran su altında yapılan farklı derinliklere sahip numunelerden alınan sonuçlarda ise; 1.5 m derinlik için 410,23 N/mm², 3 m

derinlik için 405,53 N/mm² ve 6 m derinlik için 396,74 N/mm² çekme değerleri elde edilmiştir.

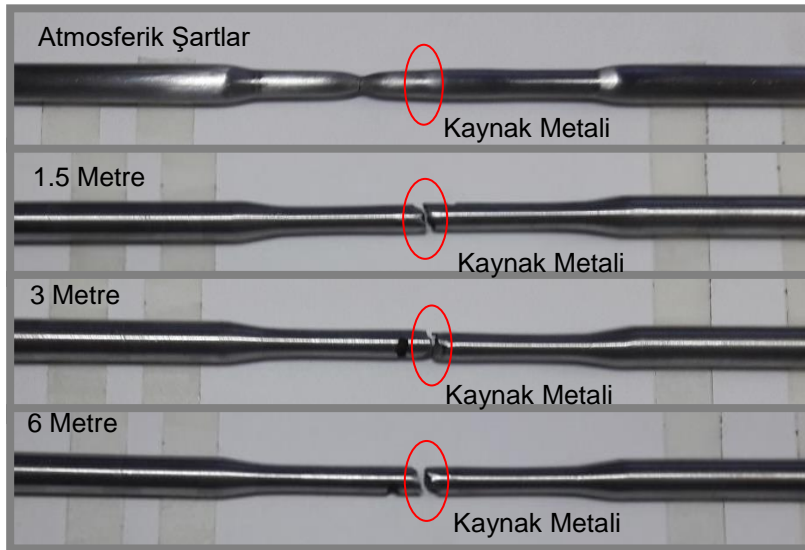
metali ve ITAB'ın sertliğinin artmasına neden olduğundan sualtı kaynaklarının % uzama değerlerinde bir azalma belirlenmiştir. Literatürde [23] demir karbon alaşımlarının, yani çeliklerin kimyasal bileşimine karbon



Şekil 4. Kaynaklı numunelerin çekme test sonuçları grafiği (Tensile test results chart of welded samples)

Su altında birleştirilen numunelerde kaynak metalinin katılaşması esnasında hızlı soğumadan kaynaklı olarak

ve diğer alaşım elementlerinin ilave edilmesi, perlit ve beynit bölgelerine ait burun bölgeleri ile diğer



Şekil 5. Çekme deneyi sonucu numunelerin kopma bölgeleri (Rupture zones of the result of the tensile test specimen).

curuf yapıcı elementlerin kaynak metalinde kalıntı oluşturduğu, kaynaklı numunelerden çekme numunesi hazırlama aşamasında görülmüştü. Bu nedenle su altında birleştirilen numunelerin çekme deneyi sonucunda kopmanın kaynak metalinden gerçekleşmesi kaynak metalindeki curuf kalıntılarının kaynaklanmaktadır. Şekil 5'de atmosferik şartlarda ve sualtında birleştirilen numunenin kopma noktaları verilmiştir.

Kaynak esnasında elde edilen yüksek sıcaklık ve suyla temastan kaynaklanan ani soğumanın etkisi, kaynak

kısımlarının sağa doğru kaymasına neden olduğu belirtilmiştir. Hızlı soğumanın da etkisiyle ana malzemeye göre % uzama sonuçlarında yaklaşık % 30 bir düşüş gözlenmiştir. Literatürde [6] su altında birleştirilen malzemelerin, atmosferik şartlarda birleştirilen malzemelere göre düşük verimli dayanım özellikleri sergiledikleri açıkça belirtilmiştir.

Hiperbarik ortamda gerçekleştirdikleri ıslak kaynak uygulaması sonrası yaptıkları deneylerin sonucunda Ibarra vd. [20], sualtı kaynağının açık alanda yapılan kaynaklara göre düşük mekanik özellikler gösterdiğini,

yani kaynak banyosundaki önemli alaşım elementlerinin oksijen, hidrojen ve karbon ile reaksiyona girmesinden dolayı oluştuğunu numuneleri birbirine kıyas ederek açıklamışlardır.

3.4. Makroyapı/Mikroyapı İncelemeleri

(Macrostructure/Microstructure Investigations)

Makroyapı/mikroyapı çalışmaları atmosferik şartlarda ve su altında farklı derinliklerde birleştirilmiş kaynaklı malzemelerin kaynak bölgesinde (kaynak metali ve ITAB) meydana gelen farklılıkları birbirleriyle kıyaslayarak inceleyebilmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Ayrıca deneysel çalışmada kullanılan Grade A gemi sacı yapısı, kaynaklı malzemelerin yapısı ile karşılaştırmalı olarak değerlendirilmek için mikroyapı çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Şekil 6'da bu çalışmada kullanılan Grade A gemi sacı malzemesinin orijinal mikroyapı görüntüsü verilmiştir.



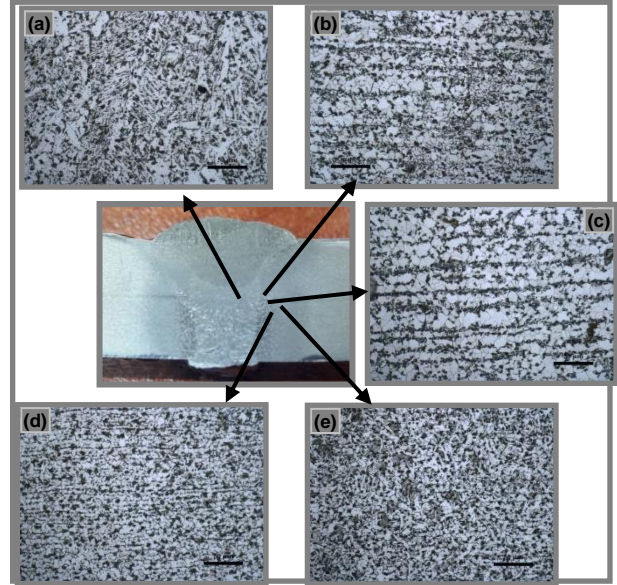
Şekil 6. Grade A gemi sacı mikroyapı görüntüsü (Microstructure image of Grade A ship steel)

Şekil 6 incelendiğinde, yapının genel itibarıyla eş aksel ferrit ve perlitin oluştuğu, burada yapının büyük bir kısmının ferrit olduğu ve çok az miktarda perlitin varlığı (koyu renkli) göze çarpmaktadır. Ayrıca yapıda, hadde yönünde uzama gösteren oksit ve sülfür kalıntılarında oluştuğu düşünülen bantlaşmalar görülmektedir. Literatürde [2], Grade A malzemenin mikroyapısının ferrit ve perlit tanelerinden oluşan bir yapıya sahip olduğu bildirilmiştir.

Kaynak bölgesi; ısının tesiri altında kalan bölge (ITAB) ile kaynak metalinden meydana gelmektedir. Kaynağın sıvı fazdan oda sıcaklığına soğumasıyla elde edilen mikroyapı kaynak metali olarak adlandırılmaktadır. Düşük alaşımlı ve düşük karbonlu çeliklerin kaynak metalinde oluşan yapılar; tane sınırı ferrit, widmanstätten ferrit, asiküler ferrit ve mikro fazlardır (az miktarda martenzit, kalıntı östenit). Widmanstätten ferrit bazen martenzit, östenit ve karbür fazları ile dengelenmiş ferrit olarak ifade edilmektedir. Termodinamik ve kinetik karakteristikleri farklı olmasına rağmen beynit de kaynak metalinde bazen oluşabilir [8,12].

Şekil 7'de atmosferik şartlarda birleştirilen numunenin kaynak bölgesine ait (kaynak metali ve ITAB) optik mikroyapı fotoğrafları verilmiştir. Şekil 7'de verilen mikroyapı görsellerinde; a) kaynak metalini, b) kaynak metali ile iri taneli yapı arası geçişi, c) iri taneli yapıyı, d)

iri taneli yapı ile ince taneli yapı arası geçişi, e) ince taneli yapının görselini ifade etmektedir.



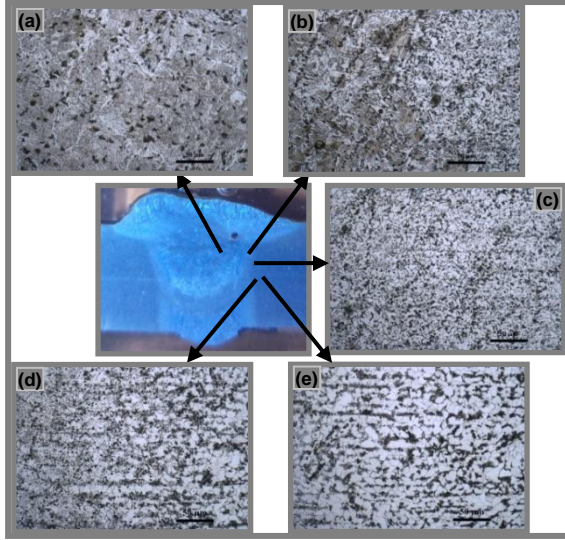
Şekil 7. Atmosferik şartlarda birleştirilen numunenin mikroyapı görüntüsü (Microstructure image of the sample joined at atmospheric conditions)

Şekil 7'de merkezde makro resmi verilen görüntü incelendiğinde, kaynak metalinin her iki malzemeyi de merkezleyecek biçimde oluştuğu, kök ve kep pasoların, ara pasolara göre daha hızlı soğuduğundan farklı bir görünüm sergiledikleri görülmektedir. Ayrıca ara pasolarda yüksek sıcaklıklarda gerçekleşen ısı etkileşimi nedeniyle kaynak metalindeki yönelmenin kaybolduğu, tanelerin küçüldüğü ifade edilebilir.

Kaynak bölgesinde; kaynak esnasında çeliğin kaynak metalinde katılaşması sırasında östenit sıcaklığının altına düşürüldüğünde kolon tipi östenit ile tane sınırlarında ilk olarak tane sınırı ferritlerin (allotriomorfik ferrit) oluştuğu bilinmektedir. Çünkü tane sınırı ferriti, A3 sıcaklığının hemen altında oluşan bir fazdır. Ferrit, östenit tane sınırlarında widmanstätten kenar levhaları veya ferrit tane levhalarının çekirdeklendiği ve büyüdüğü kabul edilmektedir. Fotoğraflar incelendiğinde kaynak metali merkezine yönelmiş, klasik kaynak metalindeki dentritik yapının hakim olduğu belirgin bir şekilde görülmektedir.

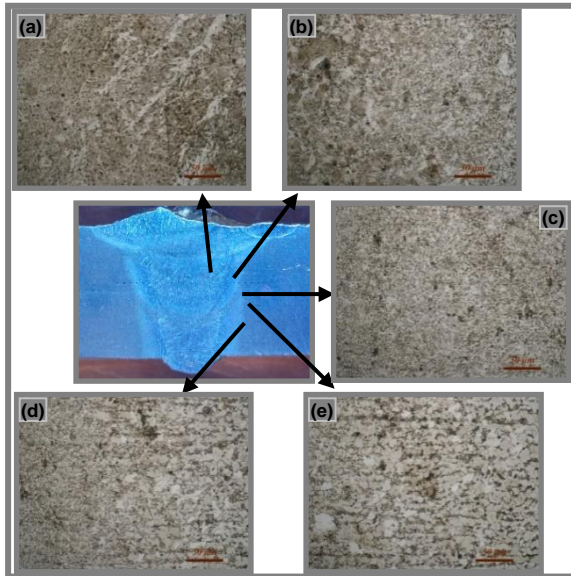
Kaynak uygulaması çok pasolu olarak gerçekleştirildiği için sonraki kaynak pasosunun öncekine ısı girdisi uyguladığı bir gerçektir. Shitong vd. [24] kaynak metalinde sütun şekilli çekirdek alanı ve çok pasolu kaynak uygulamasındaki gibi eş aksel çekirdek alanı (daha sonraki kaynak kordonu ile ısı işlem deneyimli) oluştuğunu belirtmişlerdir.

Şekil 8-10 arasında su altında farklı derinliklerde birleştirilen kaynaklı numunelerin makro ve mikroyapıları verilmiştir.



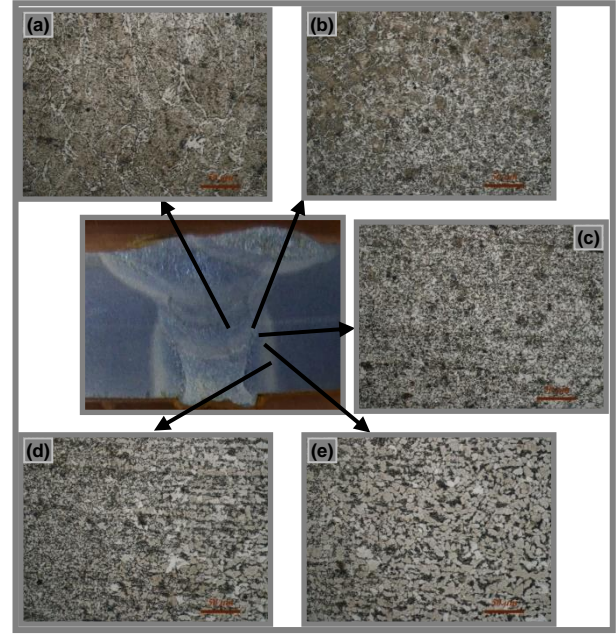
Şekil 8. 1,5 metre derinlikte birleştirilen numunenin mikroyapı görüntüsü (Microstructure image of sample joined at 1,5 meters depth).

Şekil 8’de ortada bulunan makroyapı resmi incelendiğinde, altı kaynak pasosuyla yapılan birleştirme işlemi esnasında, arkın birleştirilen her iki malzemeye de aynı oranda etki ettiği görülmektedir. Buradan kaynak esnasında değişken olan elektrod-iş parçası arasındaki mesafe ve elektrod açısı gibi parametrelerin doğru seçildiğinin göstergesi olarak değerlendirilebilir. Kök pasonun, atmosferik şartlarda birleştirilen numuneye kıyasla, kapak pasodan farklı görünümüne sahip olduğu ancak, parçanın ortasında bulunan dolgu pasolarının ani soğumadan kaynaklı olarak, bir üst pasonun ısısından yeterince etkilenemediği ve kapak pasoyu oluşturan pasolara benzer görsel sergilediği anlaşılmaktadır. Ayrıca kaynak metalinde bölgesel curuf kalıntılarının olduğu da göze çarpmaktadır.



Şekil 9. 3 metre derinlikte birleştirilen numunenin mikroyapı görüntüsü (Microstructure image of sample joined at 3 meters depth).

Şekil 9’da verilen makroyapı görseli incelendiğinde kaynak metalinin altı pasodan oluştuğu ve kaynak esnasında meydana gelen ergimenin her iki malzemeye de aynı oranda kapsadığı görülmektedir. Sıvı ergiyik metalin suyla temasındaki ani soğumadan kaynaklanan, kaynak metalini oluşturan kep, kök ve dolgu pasolarının uygulanmasında üst pasonun alt pasoya ısı geçişinin düşük miktarlarda gerçekleştiği, kaynak metalini oluşturan pasoların (kep, kök ve dolgu pasoları) benzer görsellik sergilemelerinden anlaşılmaktadır.



Şekil 10. 6 metre derinlikte birleştirilen numunenin mikroyapı görüntüsü (Microstructure image of sample joined at 6 meters depth).

Şekil 10’da merkezde verilen makroyapı görselinde kaynak metalinin yedi pasodan oluştuğu görülmektedir. Burada diğer iki derinlikte birleştirilen numunelerden farkı, son kapak pasonun yetersiz oluşu nedeniyle küçük kesitli bir tamamlayıcı pasonun ilave edilmesidir. Bu birleştirmede kaynak metalini, kep, kök ve dolgu pasolarının uygulanışı esnasında suyla temas halinde olduğu için, hızlı soğumanın etkisiyle atmosferik şartlara göre alt pasoya bir üst pasonun oldukça düşük ısı etkide bulunduğu, katılma formundan anlaşılmaktadır.

Kaynak bölgesinde; çeliğin kaynak metalinin katılması sürecinde östenit sıcaklığının altına düşürüldüğünde, C atomlarının tane sınırında karbür kalıntılarının oluşmasına neden olduğu bilinmektedir. Literatürde [23] demir karbon alaşımlarının, yani çeliklerin kimyasal bileşimine karbon ve diğer alaşım elementlerinin ilave edilmesi, hızlı soğuma esnasında perlit ve beyrit bölgelerine ait burun bölgeleri ile diğer kısımlarının sağa doğru kaymasına neden olduğu belirtilmektedir. Daha çok bu nedenle, sualtı farklı derinliklerde yapılan çalışmada kaynak işlemi suyla temas halinde gerçekleştiği için tane sınırlarında yoğunlukla karbür kalıntıları içermektedir. Çünkü kaynak metalini oluşturan sıvı ergiyik, suyla temas halinde bulunduğu ani soğumaya maruz kalmış ve bu nedenle yapısal olarak

karbon atomları katılaşmada yer bulamamaya tane sınırlarında kalıntı haline dönüşmüştür.

Su altında gerçekleştirilen birleştirmelerde derinlik farkı arttıkça makro ve mikro boyutta gözeneklilik ve curuf kalıntılarında artma olduğu anlaşılmaktadır. Porozite ise mekaniksel özelliklerin düşmesine neden olan başka bir faktördür. Islak kaynak olarak tanımlanan basınçlı kap içerisinde gerçekleştirilen Grade A gemi sacıyla yapılmış bir çalışmada Liu vd. [25] kaynak metalindeki porozitenin çelikler için; yüksek soğuma hızına bağlı olarak martenzit oluşumunda artışa etki ettiğini belirtmişlerdir.

Hiperbarik (yüksek basınçlı) bir ortamda ıslak kaynak uygulaması ile derinliğin farklı değerlerinde oluşan porozite ve gözeneklilik artışını hesaplamayı amaçlayan bir çalışmada Pessoa vd. [22] yüksek soğutma hızı, düşük genel süneklilik gibi düşük tokluk ve yüksek gözeneklilik olan martenzitin oluşumunu desteklediğini ifade etmişlerdir. Islak kaynaklar, düşük süneklilikte çatlak oluşması gibi numuneler tarafından desteklenen maksimum yüke sahip olduğu gerçeği kabul edilebilir ki, kaynak bölgesinin başından sonuna kadar porozite oluşumunda artış olduğunu gözlemlemiştir.

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Grade A gemi sacının rutil örtü tipli E 6013 standardına sahip elektrod ve örtülü elektrodla ark kaynak yöntemi kullanılarak atmosferik şartlarda ve su altında farklı derinliklerde birleştirildiği bu çalışmada;

- Kaynaklı numunelere gözle yapılan muayene sonucunda, belirgin yüzey hatalarına (eksik veya fazla kaynak kepi, kökte çökme vb.) rastlanılmamıştır. Kısmen yanma olukları oluştuğu, ancak oluşan hatalarına kabul sınırları çerçevesinde olduğu tespit edilmiştir.
- Çekme testlerinden elde edilen sonuçlara göre atmosferik şartlarda birleştirilen numunenin su altında birleştirilenlere oranla daha yüksek mukavemet ve uzamaya sahip olduğu görülmüştür. Su altında birleştirilen numunelerin derinlik arttıkça her iki değerinde de bir azalma gösterdikleri tespit edilmiştir.
- Makroyapı incelemelerinde atmosferik şartlarda birleştirilen numunelerde kepi ve kök pasonun hızlı soğuması nedeniyle oluşan tanelerin iri ve sütunsal olduğu, ancak ara pasoların ısıdan etkilenecek sütunsal yönlenmeyi kaybettiği görülmüştür. Sualtı farklı derinliklerde birleştirilen numunelerin makroyapı görsellerinde ise kepi, kök ve dolgu pasolarının yapısal olarak büyük kısımlarının birbirine benzer formda olduğu, dolgu pasolarının ise kısmen ısı etkileşiminde buldukları gözlemlenmiştir.
- Mikroyapı incelemelerinde sualtı farklı derinliklerde birleştirilen numunelerde kalıntı, porozite ve boşluk gibi istenmeyen faktörlerin derinlik farkı arttıkça kısmen artış gösterdiği tespit edilmiştir. Ayrıca sualtı

farklı derinliklerde birleştirilen numunelerin, kaynak işlemi esnasında hızlı soğumadan kaynaklı perlit burnunun sağa kayması, bu nedenle oluşan yapının düşük mekanik özellikleri sergilemesini ve mikro incelemelerde görülen karbür kalıntılarının nedenini açıklamaktadır.

- Tahribatlı muayene testlerinden alınan sonuçlara göre sualtı ark kaynak yöntemiyle birleştirilen numunelerin atmosferik şartlarda birleştirilen numuneye göre çekme dayanımında yaklaşık % 12, uzamada ise yaklaşık % 30 düşük değer sunduğu tespit edilmiştir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENT)

Bu çalışmayı KBÜ-BAP-14/2-YL-031 numaralı proje ile destekleyen, KBÜ Rektörlüğüne ve BAP komisyonuna teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Kaya Y., "Patlamalı kaynak yöntemi ile üretilen Grade A gemi sacı-paslanmaz çelik kompozitlerin mikroyapı, mekanik ve korozyon özelliklerinin incelenmesi", *Doktora Tezi*, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, (2014).
- [2] Hayat F., "Masif ve özlü kaynak telleri ile birleştirilen çift-fazlı çeliklerin mekanik ve mikroyapı özellikleri", *Doktora Tezi*, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, (2009).
- [3] Özalp T., "Gemi elemanları", *Matbaa Teknisyenleri Basımevi*, İstanbul, (1964).
- [4] Ay T., Öz Saraç U., Aslanlar S., "Gemi saclarına uygulanan kaynaklı bağlantıların mekanik özelliklerinin incelenmesi", *Sakarya Kaynak Teknolojisi IV. Ulusal Kongresi*, Kocaeli, 19-29, (2003).
- [5] İmdat K., "Grade A gemi sacının örtülü elektrod ark kaynak yöntemi ile su altı ve atmosferik şartlarda birleştirilmesi ve kaynaklı birleştirmelerin mekanik/mikroyapı özelliklerinin karşılaştırılması", *Yüksek Lisans Tezi*, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, (2017).
- [6] Kahraman N., Gülenç B., "Modern kaynak teknolojisi", *Epa-Mat Basım Yayın Ltd. Şti.*, Ankara, (2016).
- [7] Anık S., Tülbentçi K., Kulaç E., "Örtülü elektrod ile elektrik ark kaynağı", *Gedik Holding Yayını*, İstanbul, (1991).
- [8] Eryürek B. İ., "Kaynak teknolojisi" *FSF Matbaacılık*, Kocaeli, (2008).
- [9] Ünlü B. S., Sargın F., Çivi C., "Elektrik ark kaynağı ile farklı akımlarda birleştirilmiş TS-Fe 37 çeliğinin kaynak bölgesinin mikroyapı ve mekanik özelliklerinin incelenmesi" *III. Ulusal Kaynak Sempozyumu Bildiri Kitabı*, Manisa, 1082-1091 (2014).
- [10] Gourd L. M., "Fundamentals of welding technology" Çeviri: Dikicioğlu A., Bodur O., Eryürek B., "Kaynak teknolojisinin esasları" *Birsan Yayınevi*, İstanbul, (1996).
- [11] Gültekin N., "Kaynak tekniği" *Engin Ofset*, İstanbul, (1991).
- [12] Yüklükler A. İ., "Kaynak metali", *MÜTEF Matbaası*, İstanbul, (1994).

- [13] Özden N., “Kaynağın ısı işlemleri” *Nurettin Uycan Cilt ve Basım Sanayii A.S.*, İstanbul, (1985).
- [14] Oğuz B., “Ark kaynağı”, *Oerlikon Yayını*, İstanbul, (1989).
- [15] Underwater Cutting & Welding Manual, Published By Direction Of Commander, *Naval Sea Systems Command*, Chapter 3/1-25, Chapter 4/1-20 (2002).
- [16] Anık S., Tülbentçi K., “Elektrik ark kaynağı”, *Gedik Holding Yayını*, İstanbul, (1986).
- [17] Oğuz B., Karbonlu ve alaşımlı çeliklerin kaynağı, , *Oerlikon Yayını*, (1985).
- [18] Kalyoncu R., “Su Altı Kaynak-Kesme yöntemleri ve parametrelerinin incelenmesi”, *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, (1997).
- [19] Kasapoğlu H., “Su altı kaynak tekniğinin incelenmesi”, *Yüksek Lisans Tezi*, Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak, (1988).
- [20] Ibarra S., Grups C. E., Liu S., State-of-the-art and practice of underwater wet welding of steel, *International Workshop on Under- water Welding of Marine Structures*, New Orleans, Louisiana, 49-67, (1994).
- [21] Christensen N., “The Metallurgy of MMA Hyperbaric Welding”, *SINTEF Report No. STF34 F83032*, Trondheim (1983).
- [22] Pessoa E. C. P., Bracarense A. Q., Zica E. M., Liu S., Guerrero F. P., “Porosity variation along multipass underwater wet welds and its influence on mechanical properties” *Journal of Materials Processing Technology*, 179: 239-243, (2006).
- [23] Callister W. D., Rethwish D. G., “Materials Science and Engineering”, Çeviri: Genel K., Malzeme bilimi ve mühendisliği, *Nobel Akademik Yayıncılık*, Ankara, (2015).
- [24] Shitong W., Shanping L., “Effects of multiple normalizing processes on the microstructure and mechanical properties of low carbon steel weld metal with and without Nb”, *Materials and Design*, 35: 43-54, (2012).
- [25] Liu S., Pope, A. M., Daemen R., “Welding consumables and weldability”, *International Workshop on Underwater Welding of Marine Structures*, Louisiana, USA, 321-350, (1994).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>

Ahşapta ekolojik boya kullanımı ve yüzey pürüzlülüğü

Usage of ecological dye in wood and surface roughness

Yazar(lar) (Author(s)): Abdi ATILGAN¹, Hatice ULUSOY², Hüseyin TAN³, Hüseyin PEKER⁴

ORCID¹: 0000-0002-5893-2113

ORCID²: 0000-0003-0960-3388

ORCID³: 0000-0002-6869-3148

ORCID⁴: 0000-0002-7771-6993

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Atılgan, A., Ulusoy, H. Tan, H., ve Peker, H., "Ahşapta ekolojik boya kullanımı ve yüzey pürüzlülüğü", *Politeknik Dergisi*, 21(3): 553-558, (2018).

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

DOI: 10.2339/politeknik.417748

Ahşapta Ekolojik Boya Kullanımı ve Yüzey Pürüzlülüğü

Araştırma Makalesi / Research Article

Abdi ATILGAN¹, Hatice ULUSOY^{2*}, Hüseyin TAN³, Hüseyin PEKER⁴

¹Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon MYO, Mobilya ve Dekorasyon Bölümü, 03200, Afyon

²Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Köyceğiz MYO, Ormanlık Bölümü, 48800, Muğla

³Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Rize MYO, Mobilya ve Dekorasyon Bölümü, 53000, Rize

⁴Artvin Çoruh Üniversitesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, 08000, Artvin

(Geliş/Received : 23.02.2017; Kabul/Accepted : 15.08.2017)

ÖZ

Günümüzde kullanılan sentetik/selülozik boya yerine insan/çevreyle dost aynı zamanda ülkemiz ana kaynaklarından olan atık çaydan doğal boya üretimi gerçekleştirilmiş olup; ahşapta oluşan yüzey pürüzlülük değişimleri belirlenmiştir. Üretilen boyanın tutunma özelliğinin güçlü olması düşüncesiyle ASTM D 1413-76 standartlarına bağlı kalınmış; su bazlı vernik uygulaması yapılmak suretiyle de yüzey pürüzlülük değeri belirlenmiştir. Çalışmada sarıçam ve kayın türleri tercih edilmiştir. Elde edilen verilere göre; kontrol örneğinde en yüksek pürüzlülük değeri sarıçam odununda (4,72 µm), en düşük kayında (3,83 µm) belirlenirken; ekolojik çay boyası uygulamasında en yüksek sarıçam odununda (4,66 µm), en düşük kayında (4,52 µm), su bazlı vernik kullanımında en yüksek kayında (1,33 µm), en düşük sarıçamda (1,05 µm) gerçekleşmiştir. Pürüzlülük üzerinde odun anatomik yapısı ve su bazlı vernik uygulaması arasında anlamlı ilişki belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Doğal boya, insan/çevre sağlığı, pürüzlülük, ahşap koruma.

Usage of Ecological Dye in Wood and Surface Roughness

ABSTRACT

In the study, natural dye production from waste tea which, our country is one of the main sources and human / environmentally friendly was performed. In addition, surface roughness changes of wood are determined. Impregnation was carried out according to ASTM-D 1413-76 in consideration of the strong holding property of the produced paint and surface roughness value was determined by applying water-based varnish. The tree species were Scotch pine (*Pinus sylvestris* L.) and Oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky). According to the experimental results, surface roughness was found the highest value at Scotch pine (4.72 µm and 4.66 µm) and the lowest value at Oriental beech wood (3.83 µm and 4.52 µm) in the control sample and application of ecological tea paint, while the highest at Oriental beech wood (3.83 µm) and the lowest value was Scotch pine wood in water-based varnish. In addition, it was determined that there is a significant relationship between the anatomical structure of the wood and the application of water-based varnish on roughness.

Keywords: Natural dye, human/environmental health, roughness, wood protection

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Ahşap, beton, demir, alüminyum gibi malzemelerden nispeten hafifliği, işlenme kolaylığı, imalatta sürekliliği ve uygun teknolojik yapıya sahip olması sayesinde yanında mobilya, panel, selüloz üretimi vb. bir çok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır [1].

Ahşap kökenli üretimlerde yüzeyin tekstür yapısı; tutkallama işlemini, üst yüzey işlemlerini, üründe kaliteyi ve her aşamada işlemleri etkileyebilmektedir. Pürüzlülüğün miktarı gerek iç yapıda ve gerekse çeşitli ürün modellerinde değişiklik gösterebilmektedir. Yüzeyde pürüzlülük imalat işlemini, üründe model yapısını etkilemekte buda ahşabın yapısal özelliğinden (anatomik) kaynaklanan bir yapıdır [2-3]. Ahşapta malzeme yüzeyinin düzgün olması ise, ahşabın türü,

tekstürü, kesme yönü, besleme hızı, kesiş derinliği, kesici sayısı yanında zımpara numarası etkilidir [4-5]. Ahşapta strüktür yanında doğallık mobilyada önem taşımakta; ahşap cinsi seçmede ise teknolojik özelliklerin yanısıra renk ve dokuda önemlidir [6-7]. Dünya'da üretimi yapılan kalite özelliği yüksek çay üretimi Türkiye de gerçekleşmekte, ekonomikliği itibarıyla de bu ürün stratejik konumlama oluşturmuştur. Ülkemizde çay atığı miktarı her sene Karadeniz bölgesinde tahmini 40.000 bin ton kadardır [8-9]. Toplumlar da insan/çevre sağlığı öncelikli olmakta, sentetik/ kimyasal malzemelerin yerine yeni malzeme/standartlar tercih sebebi olmaktadır [10- 11,-12]. Günümüzde gıda/tekstil endüstrisinde insan/ çevreyle dost, toksik zararları bulunmayan, anti/ oksidan-kanserojen-bakteriyel ve antialerjik bitkiler vasıtasıyla üretilen ekolojik boyalara ilgi artmış böylece “yeşil dalga” süreci başlangıç almıştır [13]. Söğütü vd. çeşitli odun türlerinde yüzey pürüzlülüğünün vernik

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

katmanlarının yapışma mukavemeti üzerindeki etkilerini araştırmış; yapışma mukavemeti ve yüzey pürüzlülüğü arasındaki etkileşimlerde su bazlı verniğin yapışma mukavemeti (% 69) en güçlü korelasyona sahipken, akrilik vernikte benzer bir sonucu (% 67), poliüretan vernikte en zayıf sonucu (% 33) olduğunu bildirmişlerdir [14]. Söğütlü, zımparalanmış ağaç malzeme yüzey pürüzlülüğüne kesiş yönü ve zımpara çeşidinin etkilerini araştırmış; yüzey pürüzlülüğü en yüksek meşede, en düşük armut odununda olduğunu ve teğet yönün radyal yöne göre 80 numara zımpara 120 numara zımparaya göre daha pürüzlü yüzeyler verdiğini belirlemiştir [15]. Söğütlü, yapmış olduğu çalışmada yüzey pürüzlülüğünün kayın ve kiraz odununda yapışma direncine etkisini araştırmış; yüzey pürüzlülük değerinin düşmesiyle yapışma direncinin arttığını bildirmiştir [16].

Bu çalışmada, ülkemiz ekolojik kaynaklarından biri olan çay atıklarından doğal, zararsız, insan/çevreyle dost üst yüzey işlem maddesi (boya) elde etmek; mobilya, inşaat endüstrisi, tarihi ahşap eserler vb. bir çok alanda kullanılabilme yeteneğinin belirlenmesi amaçlarına yönelik olarak yüzey pürüzlülük (Ra) deneyi gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 1. Vernikte Teknik Özellikler (Water Solvent (Borne) Varnish)

Çözen Madde	Isı Derecesi	Asidik Bazık	Yoğunluğu	Viskozitesi (DİN Cup4mm)	Katı Maddesi (%)	Uygulama Miktarı (g/m ²)
Saf su	23 °C	8.5	1.020	18	34	67

2.2.Yöntem

2.2.1.Ekstrakt Elde Etme (Çay) (Extract Preparation)
Deneyel çalışmada TS ISO 9768 esaslarına uyulmuştur. Örnek 200 ml sıcak damıtılarak elde edilen sıcak su içine aktarılmış ve ara ara 1 saate yakın karıştırılarak soğutucu sistemle kaynama noktasının alt değerinde sıcaklıkta ısıtılarak soğutucu bir sistemle hazır hale getirilmiş, gözenekli tüp içinde vakumla süzölmüş daha sonra tüp içinde örnek bulunmayacak biçimde aralıklarla damıtılarak suyla yıkanmış ve işlemlere devam edilmiştir. Çözülmemiş kısımların tamamı gözenekli tüpe yerleştirilmiştir. Son aşamada saf suda yıkanan kalıntı vakumlu sistemle suyu alınmış ve 103±2 °C' sıcaklık ve 16 saat tutularak kurutulmuş daha sonra desikatörde soğutulduktan sonra 0.001 g hassas terazi ile tartım yapılmıştır [22-23-24].

2.2.2. Test Numune Hazırlığı (Test Sample Preparation)

TS 2471 esaslarına göre % 12 rutubete sahip örnekler toleranslı kesilerek 20±2 °C sıcaklık % 50±5 bağıl nem şartlarında denge rutubetine erişene kadar tutulmuştur. Deney örnekleri net ölçü olarak 10×10×0,8 cm getirilmiş, öncelikle 80 ve akabinde 100 no'lu zımpara işlemi yapılmıştır. Zımparalama işleminden sonra tüm örnekler tozdan arındırılmıştır [25-26].

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

2.1. Ağaç Malzeme (Wood Material)

Ülkemiz ağaçları endüstrisinde yaygın olarak kullanılması nedeniyle sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) ve Doğu kayını (*Fagus Orientalis* Lipsky) odunları deney materyali olarak seçilmiştir. Ağaç malzemeler, kereste işletmelerinden tamamen tesadüfi yöntemle temin edilmiş ve seçiminde kerestenin kusursuz olmasına, liflerinin düzgün, ardaksız, reaksiyon odunu bulunmayan, mantar ve böcek zararlarına uğramamış olmasına özen gösterilmiştir. Odunların türlerine ait olup olmadığı makroskopik tanı metodu ile belirlenmiştir [17].

2.2. Çay Örneği (Sample of Tea)

Atık çayın alımı Fındıklı'dan sağlanmış (çay işleme fabrikası) olup; tüm numune alma işlemi ISO 1573/TS 1562 esaslarına göre belirlenmiş, numunelerin hiçbir işlem görmemiş ve tahribata (küflü, mantarlı vb.) maruz kalmamasına özen gösterilmiştir [18].

2.3. Su Bazlı Vernik (Water based Varnish)

Deneyel çalışmada su bazlı vernik kullanılmış ASTM D 3023'e uyulmuş ve vernik özellikleri Çizelge 1 'de belirtilmiştir [19-20-21].

2.2.3. Doğal Boya Uygulaması (Natural Paint Application)

Genellikle tüm boyalar klasik fırça veya türe bağlı olarak havalı tabancalarla uygulanmasına rağmen deneyel çalışmada üretilen boyanın odunda tutunma miktarını ölçme bakımından empenye (vakumlu) yapılmış; ilgili standartta bağıl kalınlığıdır. Emprenyede 60 dk vakum ve 60 dk difüzyon uygulamak suretiyle tutunan % madde miktarı aşağıdaki formülle hesaplanmıştır [27].

$$R (\%) = \frac{Moes - Moeö}{Moeö} * 100 (\% \text{Retensiyon})$$

Moes= Emprenye sonrası numunenin tam kuru ağırlığı (g)

Moeö= Emprenye öncesi numunenin tam kuru ağırlığı (g)

2.2.4. Vernik Uygulama (Varnish Application)

Verniğin uygulamasında ASTM D 3023 esasları ve üretici firmanın önerileri dikkate alınmıştır. Vernik katmanlarında kurumunun istenen düzeyde olması amacıyla 20±2°C sıcaklık ve % 65±3 bağıl nem şartlarında örnekler 3 hafta bekletilmiştir. Deney öncesinde tüm numuneler 23±2°C sıcaklık ve % 50±5 bağıl nem şartlarında iklimlendirilmiştir. Uygulamalarda vernik miktarları hassas terazi (0.001 duyarlık) ile tartılmıştır. Örneklerin zımparalanmasında sırası ile 220 ve 320 numaralı zımparalar kullanılmıştır [28-29-30].

2.2.5. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü (Surface Roughness Measurement)

Yüzey pürüzlülüğünün belirlenmesinde, cihaz tarama iğnesi 5 µm çapında ucu elmas yapıya sahip materyal yüzeyinde aşağı-yukarı hareketlerle yüzeyin girintilerle çıkıntıları ölçüp profil oluşturmak suretiyle ölçüm işleminin yapılmasıdır. Araştırmada, ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) parametresine göre işlemler yapılmıştır. Pürüzlülüğünün saptanmasında ISO 4287

Çizelge 2. % Tutunma Oranı (Retention Rate)

Tutunma Miktarı (%)			
Ahşap Türü	Ortalama	Standart Sapma	HG
Sarıçam Odunu	5.61	3.33	B
Kayın Odunu	6.75	5.73	A

LSD: ±4.251, HG: Homojenlik Grubu

standardına bağlı kalınmıştır. Ölçmelerde işlemlerin birbirini takip eden profil değişimleri ölçülebilen dokunmalı (iğneli) TIME-TR200 yüzey pürüzlülüğü cihazı kullanılmıştır. Cihaz 2,5 mm ölçme adımı, 4 ölçme

$\alpha=0,05$ hata oranı ile Duncan yapılarak homojenlik grupları oluşturulmuştur.

3. BULGULAR ve TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

3.1. %Tutunma Oranı (Retention Rate)

Tutunma oranı (%) Duncan testi analiz verileri Çizelge 2’de belirtilmiştir.

% tutunma miktarı en yüksek kayında (% 6.75), en

düşük sarıçamda (% 5.61) gerçekleşmiştir. Söğütlü vd. kızılçam odununda sodyumborat çözeltilinde % retensiyon değerini (% 8.87) bulurken; sodyumborat ile yapılan empenye işleminin kızılçam odununun toplam

Çizelge 3. Yüzey Pürüzlülük Ölçümü ve Duncan Testi Sonuçları (µm) (Surface Roughness Measurement and Duncan Test Results)

Odon Türü	Emprenye Uygulaması	Ortalama (R ^a) µm	Standart Sapma	HG
SARIÇAM	KONTROL	4,72	2,37	B
	Çay Boyalı	4,66	2,54	C
	Su Bazlı Vernik	1,05	1,66	H
	Çay Boyalı –Su Bazlı Vernik	2,10	3,91	D
	Çay-Mordan	5,47	1,24	A
	Çay-Mordan-Vernik	1,40	1,13	F
KAYIN	KONTROL	3,83	7,99	C
	Çay Boyalı	4,52	1,45	B
	Su Bazlı Vernik	1,33	1,98	G
	Çay Boyalı –Su Bazlı Vernik	1,88	1,87	E
	Çay-Mordan	4,47	8,16	B
	Çay-Mordan-Vernik	1,42	1,83	F

sayısına (cut-off) ayarlanmış ve bu ayar işlem süresince korunmuştur [31].

2.2.6. Mordan (Alüminyum sülfat) (Aluminum Sulphate)

Bitkilerden üretilen boya rengini kalıcı kılmak aynı zamanda kullanılan yüzeyde tutuculuğu arttırmak için yüksek verimli bir arıtma kimyasalı olan Alüminyum sülfat tercih edilmiştir [32].

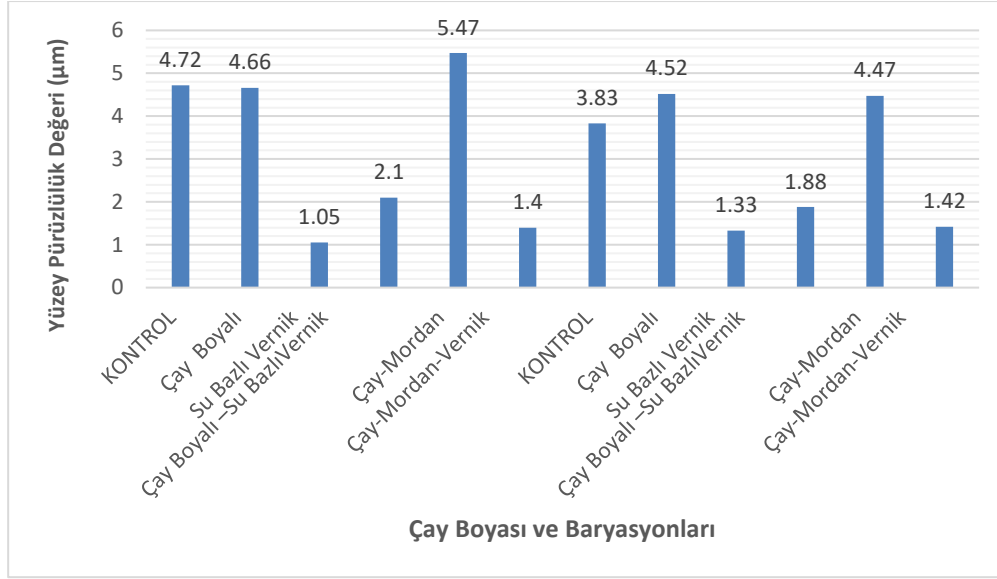
2.2.7. Verilerin Değerlendirilmesi (Evaluation of Data)

İstatistiksel analizde çoklu faktör varyans analizi tercih edilmek suretiyle ağaç türü, doğal boya, su bazlı vernik yapısının yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkisi belirlenmiş;

renk değişimini ve yüzey pürüzlülük miktarını artırdığını bildirmiştir [33]. Tan vd. barit maddesi empenyesinde sarıçam odununda tutunma miktarını %1’de 0.45, % 3’te 0.14, %5 ‘te 0.39,%50 ‘de 0.69 olduğunu bildirmiştir [34]. Çay ekstraktında % retensiyon değeri her iki odun türünde de farklı olması ekstrakt özelliği, odunun anatomik yapısından kaynaklandığı söylenebilir.

3.3. Yüzey Pürüzlülük Ölçümü (Surface Roughness Measurement)

Yüzey pürüzlülük ölçümü ve Duncan analizleri Çizelge 3’te verilirken, Şekil 1’de karşılaştırma çizimi yapılmıştır.



Şekil 1. YüzeY PürüzlüLük Değeri (µm) (Surface Roughness Measurement)

Çizelge 3 ve Şekil 1 incelendiğinde; sarıçam odununda en yüksek yüzeY pürüzlüLük değeri çay boyası +mordan (AlüminyumSülfat) 'da (5.47 µm), en düşük ve en iyi sonucu su bazlı verniğın tek başına kullanımında (1.05 µm) verirken ; kayın odununda en yüksek yüzeY pürüzlüLük değeri çay ekstrakt boyasında (4.52 µm), en düşük ve en iyi sonuç su bazlı verniğın tek başına kullanımında (1.33 µm) tespit edilmiştir. Diğler literatürle karşılaştırıldığında emprenye işlemleri yüzeY pürüzlüLüğü üzerinde olumsuz etki gösterdiği söylenebilir. Söğütü vd. kızılçam odununu sodyum borat ile emprenye işleme tabi tuarak pürüzlüLük (Ra) değerini emprenye öncesi (2.85 µ), emprenye sonrası (5.186 µm) olduğunu bildirmişlerdir [33]. Keskin vd. sapsız meşede ortalama yüzeY pürüzlüLük değerini (9.02 µm), sarıçamda (8.06 µm) ve köknarda (8.05 µm) olduğunu belirlemişlerdir [35]. Richter, yüzeY pürüzlüLüğünün mobilyaların ekonomikliğini korumak, estetiklik ve güzelliğinin korunmasında büyük önem taşımakta olduğunu bildirmiştir [36]. Öztürk, ısı işlemlerinde süre artışının pürüzlüLük üzerinde olumlu yönde etkilendiğini bildirmiştir [37]. Özgenç vd. kayın odununu 500 saat süre ile hızlandırılmış yaşlandırma deneyine tabi tutmuş kontrol örneklerinde yüzeY pürüzlüLük değerinde önemli miktarda yükselme olduğunu belirlemiştir [38]. Kılıç ve Hafizoğlu, dış ortam koşullarına bırakılan odun numune yüzeYlerinin selüloz yapısı itibarıyla yüksek olduğunu , çözünmeye uygun lignin yapısının bozulmaya uygun olmasıyla yüzeY pürüzlüLük değerini arttırdığını saptamışlardır [39]. Çakıcıer vd. selülozik ve sentetik vernikle kaplanan ısı işlemleri tüm ağaç malzemelerde yüzeY pürüzlüLüğünün arttığını, ısı işlemleri tüm ağaç malzemelerde parlaklığın azaldığını belirlemişlerdir [40].

4. SONUÇLAR ve ÖNERİLER (CONCLUSIONS and RECOMMENDATIONS)

% retensiyon miktarı en fazla kayında (% 6,75), en az sarıçamda (% 5,61) gerçekleşmiştir. Sarıçam odununda en yüksek yüzeY pürüzlüLük çay boyası +mordan (Alüminyum sülfat) 'da (5,47 µm), en düşük ve en iyi sonucu su bazlı verniğın tek başına kullanımında (1,05 µm) verirken; kayın odununda en yüksek yüzeY pürüzlüLük değeri çay ekstrakt boyasında (4,52 µm), en düşük ve en iyi sonuç su bazlı verniğın tek başına kullanımında (1,33 µm) tespit edilmiştir. Çeşitli vakum/difüzyon süreleri denenmek suretiyle yüzeY pürüzlüLük değeri azaltılabilir böylelikle mobilya/inşaat endüstrisinde kullanılabilir düzeyi artırılabilir. Çay atıklarından elde edilen ekstrakt (ekolojik boya) yüzeY pürüzlüLüğünde olumlu sonuç vermiş, su bazlı sisteme sahip olması, kimyasal olmaması aynı zamanda üretimin insan/çevreyle barışık olması tercih sebebi olabilecektir. Emprenye ile tutunma miktarının artması hedeflenmiş olup; ekolojik boya her iki odun türünde de retense olabilme özelliğini göstermiştir. Böylelikle tüm iç/dış mekân mobilyalarında kullanılabilir yapıda olduğu ve aynı zamanda da tarihi ahşap eserlerde de tercih edilebileceğini söyleyebiliriz. Fırça veya rulo sistemleriyle uygulanabilir. Özellikle dış mekânlarda dış hava etkilerine dayanıklı verniklerin kullanılmasıyla uzun süre koruyuculuk sağlayacaktır. Üretilen doğal boya sentetik veya selülozik tabanlı bağlantılı olmadığı için ideal kullanılabilir. Özellikle tüm üst yüzeY işlemlerinin dayanım özelliklerinin belirlenmesinde yapılabilecek testlerin bu üründe de çeşitli testlerin (teknolojik, yanma, çürüklük vb.) yapılmasında fayda sağlayacaktır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Baysal E., "Combustion Properties Of Calabrian Pine Impregnated With Aqueous Solutions Of Commercial Fertilizers", *African Journal of Biotechnology*, 10 (82): 19255-19260, 2011.
- [2] Funck, J.W., Forrer, J.B., Buttler, D.A., Brunner, C.C., Maristany, A.G., Measuring Surface Roughness on Wood: A Comparison of Laser Scatter and Stylus Tracing Approaches, *The International Society for Optical Engineering (SPIE)*, 1821 (1992) 173-1840.
- [3] Aydın, İ., Çolakođlu, G., Odun Yüzeylerinde Pürüzlülük Ve Pürüzlülük Ölçüm Yöntemleri, Kafkas Üniversitesi, *Artvin Orman Fakültesi Dergisi*, 1(2), 92-102, 2003.
- [4] Richter, K., Feist, W. C., Knaebe, M.T., The Effect Of Surface Roughness On The Performance Of Finishes, *Forest Products Journal*, 45(7): 91-97, 1995.
- [5] Stumbo, D. A., Surface-Texture Measurements For Quality and Production, Control", *Forest Products Journal*, 10.12, 122-124, U.S.A, 1960.
- [6] Berkel, A, Ağaç Malzeme Teknolojisi, 1.Cilt, İstanbul Üniversitesi, *Orman Fakültesi Yayınları*, İstanbul, 1970.
- [7] Söğütü, C., Sönmez, A., "The Effect of UV Lights on Color Changes on Some Local Wood Processed with Differential Preservatives", *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 21(1): 151-159, 2006.
- [8] Usta, H., Çay Sektörü Profil Araştırması, *İstanbul Ticaret Odası İstatistik Şubesi*, 41 S., 2010.
- [9] URL1-[Http://www.mncevre.com/çay-atiklarinin-degerlendirilmesi-2](http://www.mncevre.com/çay-atiklarinin-degerlendirilmesi-2)
- [10] Kamel M.M., El-Shishtawy R.M., Yussef B.M., Mashaly H., et al., Ultrasonic Assisted Dyeing: Iıı. Dyeing Of Wool With Lac As A Natural Dye Dyes And Pigments, *Elsevier*, 65(2): 103-110, 2005.
- [11] Calogero G., Marco G.D., et al., Red Sicilian Orange And Purple Eggplant Fruits As Natural Sensitizers For Dye-Sensitized Solar Cells, *Solar Energy Materials & Solar Cells* 92: 1341- 1346, 2008.
- [12] Tsatsaroni A., Lerman S., Xu G., et al., (In Press - Submitted To Eric) A Sociological Description Of Changes İn The Intellectual Field Of Mathematics Education Research: *Implications For The Identities Of Academics*, 1998.
- [13] Kizil S., Research On Frequency Of Appropriate Planting Of Some Woad (Isatis Tinctoria L., Isatis Constricta Davis) Species And Establishment Of Dyeing Properties Thereof. Phd Dissertation, *Ankara University, Institute Of Science, Department Of Agronomy*, Ankara, 108 ,2000.
- [14] Soğütü, C., Nzokou, P., Koc, İ., Tutgun, R., Nihat Dongel, N., The effects of surface roughness on varnish adhesion strength of wood materials *J. Coat. Technol. Res.*, 13(5): 863-870, 2016.
- [15] Söğütü, C. Bazı Faktörlerin Zımparalanmış Ağaç Malzeme Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi, *Politeknik Dergisi*, 8(4): 345-350, 2005.
- [16] Söğütü, C. Determination of the Effect of Surface Roughness on the Bonding Strength of Wooden Materials, *BioResources*, 12(1): 1417-1429, 2017.
- [17] Örs, Y., Keskin, H., "Ağaç Malzeme Bilgisi", Ders Kitabı, Gazi Üniversitesi Yayın No : 2000/352, *Atlas Yayıncılık*, İstanbul, 2001.
- [18] ISO 1573/TS 1562, Çayda Rutubet Miktarının Tayini, *TSE*, Ankara, 1990.
- [19] ASTM D 3023, Standard Practice For Determination Of Resistance Of Factory-Applied Coatings On Wood Products To Stains And Reagents, *Astm Standards*, 1998.
- [20] Keskin, H., Atar, M., Korkut, S., Korkut, D.S., "Impact of Impregnation with Imersol-Aqua on Surface Adhesion Strength of Synthetic, Acrylic, Polyurethane and Water-based Varnishes", *Pigment & Resin Technology (PRT)*, 40/3; 154-160, 2011.
- [21] Keskin, H., Tekin, A., "Abrasion Resistances of Cellulosic, Synthetic, Polyurethane, Waterborne and Acidhardening Varnishes Used on the Woods", *Construction and Building Materials (JCBM)*, 25(2): 638-643, 2011.
- [22] TS ISO 9768 ,Çay-Su Ekstraktı Tayini, *TSE*, Ankara, 1997.
- [23] ISO 1839/TS 1568-2948, Çay-Numune Alma, *TSE* Ankara, 1980.
- [24] ISO 1572 /TS 1561, Çayda Kuru Madde Miktarının Tayini, *TSE*, Ankara, 1990.
- [25] TSE 2471, Odunda Fiziksel ve Mekaniksel Deneyler İçin Rutubet Miktarı Tayini, *TSE*, Ankara, 1976.
- [26] Sönmez, A., Budakçı, M., Yakın, M., Ağaç Malzemede Su Çözücü Vernik Uygulamalarının Sertlik, Parlaklık Ve Yüzeye Yapışma Direncine Etkileri ,Gazi Üniversitesi, *Politeknik Dergisi*, 7 (3) , 229-235, 2004
- [27] ASTM D 1413 76, Standart Methods Of Testing Wood Preservatives By Laboratory Soilblock Cultures, *Annual Book Of ASTM Standarts*, USA, 1976.
- [28] ASTM D 3023,) Standard Practice For Determination Of Resistance Of Factory Applied Coatings On Wood Products Of Stain And Reagents, *Annual Book Of ASTM Standarts*, 1998.
- [29] ASTM D-3924, Standart Specification For Standard Environment For Conditioning and Testing Paint Varnish, Lacquer And Related Materials, *Annual Book Of ASTM Standarts*, 1996
- [30] Atılğan A., Bitki Boyaları İle Boyanan Ahşap Malzemenin Hızlandırılmış Yaşlandırma Ortamında Renk Değişim Değerlerinin Belirlenmesi. Yüksek Tezi, DPÜ, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kütahya, 2009.
- [31] ISO 4287, "Geometrical Product Specifications Surface Texture Profile Method Terms, Definitions and Surface Texture Parameters, *International Standart Organization*, 1997.
- [32] URL-1. [Http://www.gorgoda.com/kimyasal-tutucular/tuzlar.html](http://www.gorgoda.com/kimyasal-tutucular/tuzlar.html)
- [33] Söğütü, C. Döngel, N., Emprenye İşleminin Ağaç Malzeme Yüzey Pürüzlülüğü ve Renk Değişimine Etkisi, Gazi üniversitesi, *Politeknik Dergisi*, 12 (3), 179-184, 2009.
- [34] Tan, H., Peker, H., Barit (Baso4) Maddesinin Ahşapta Emprenye Edilebilme Özelliği ve Basınç Direnci Üzerine Etkisi, Gazi Üniversitesi, *Politeknik Dergisi*, 18(1): 15-19, 2015.
- [35] Keskin, H., Kesik, H. İ., Temel, F., Öztürk, Y., Vacsol-Aqua ile Emprenye Edilmiş Bazı Ağaç Malzemelerin Yüzey Pürüzlülüğü ve Yapışma Direnci Özellikleri Kastamonu Uni., *Orman Fakültesi Dergisi*, 16 (1): 181-189, 2016.

- [36] Richter. K., Feist. W.C., Knaebe. M.T..The Effect of surface roughness on the performance of finishes, *Forest Products Journal*, 45(7): 91-97,1995.
- [37] Özdemir,F., Orta Yoğunluklu Lif Levhanın (MDF) Yüzey Pürüzlülüğü Üzerine Isıl İşlemin Etkisi , *KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19(2): 2016.
- [38] Özgenç,Ö., Yıldız, ÜC, Yıldız , Yıldız,S. Odun Yüzeylerinin Bazı Yeni Nesil Emprenye Maddeleri ve Üst Yüzey İşlemleri ile Açık Hava Etkilerine Karşı Korunması ,*Artvin Orman Fakültesi Dergisi*, 14(2), 203-215, Ekim 2013
- [39] Kılıç A, Hafizoğlu H., Açık hava koşullarının ağaç malzemenin kimyasal yapısında meydana getirdiği değişimler ve alınacak önlemler. *Süleyman Demirel Üniversitesi Orm Fak Derg* A(2): 175-183,2007.
- [40] Çakıcıer, N., Korkut, S., Güler, F. D., Effects Of Heating Treatment On Some Of The Physical Properties Of Varnish Layers Applied On Various Wood Species, *African Journal of Biotechnology*, 10(9): 1578-1585,2011



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>

The algorithm development and implementation for 3D printers based on adaptive PID controller

3 boyutlu yazıcılar için uyarlamalı PID kontrol tabanlı algoritma geliştirilmesi ve gerçekleştirilmesi

Yazar(lar) (Author(s)): Aytaç ALTAN¹, Rıfat HACIOĞLU²

ORCID¹: 0000-0001-7923-4528

ORCID²: 0000-0002-2480-0729

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Altan A. ve Hacıoğlu R., “The algorithm development and implementation for 3D printers based on adaptive PID controller ”, *Politeknik Dergisi*, 21(3): 559-564, (2018).

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

DOI: 10.2339/politeknik.391790

The Algorithm Development and Implementation for 3D Printers based on Adaptive PID Controller

Araştırma Makalesi / Research Article

Aytaç ALTAN, Rifat HACIOĞLU*

Bülent Ecevit University, Engineering Faculty, Electrical Electronics Engineering Department, Zonguldak, Türkiye

(Geliş/Received : 19.04.2017 ; Kabul/Accepted : 07.07.2017)

ABSTRACT

The 3D printers widely used in the world are produced in different mechanical and electronic designs. The 3D printers which have various mechanical structures such as cartesian, delta and core (xy, xz) already are used open source code software such as Sprinter, Marlin, Cura 3D and Teacup. The control of the 3D printers is usually done by the classical Proportional-Integral-Derivative (PID) control algorithm. In this study, we have developed for the designed 3D printer a new software by using adaptive PID control algorithm instead of classical PID. Five step motors of the designed 3D printer are controlled by the adaptive PID. In addition, there are both heating and cooling processes in the extruder system and these processes are controlled by the adaptive PID. The mechanical design uses a belt and pulley drive system which is suitable for accelerated movements. In the system software, 3D Printing Software Pipeline (input model, orientation and positioning, support structures, slicing, path planning, machine instructions) is applied. The control algorithms for extruder and step motors are prepared as separate function files in software implemented in C. It has been observed that the designed software is particularly successful in eliminating errors on the surface of the products.

Anahtar Kelimeler: Adaptive PID, 3D printer, step motor, algorithm.

3 Boyutlu Yazıcılar için Uyarlamalı PID Kontrol Tabanlı Algoritma Geliştirilmesi ve Gerçeklenmesi

ÖZ

Dünyada yaygın olarak kullanılan 3B yazıcılar farklı mekanik ve elektronik tasarımlarda üretilmektedirler. Kartezyen, delta ve core (xy, xz) gibi çeşitli mekanik yapıları sahip olan 3B yazıcılarda hâlihazırda Sprinter, Marlin, Cura 3D ve Teacup gibi açık kaynak kodlu farklı yazılımlar kullanılmaktadır. 3B yazıcıların denetimi genellikle klasik PID denetim algoritması ile yapılmaktadır. Bu çalışmada, klasik PID yerine uyarlamalı PID kontrol algoritması kullanılarak yeni bir yazılım ile 3B yazıcı tasarlanmakta ve geliştirilmektedir. Tasarlanan 3B yazıcıda beş adet adım motoru kullanılmakta, her bir motorun denetimi uyarlamalı PID ile yapılmaktadır. Ayrıca, ekstruder sisteminde hem ısıtma hem de soğutma yapıları bulunmakta olup bu süreçler uyarlamalı PID ile kontrol edilmektedir. Mekanik tasarımında ivmeli hareketler için elverişli olan kayış ve kasnak sürücü sistemi kullanılmaktadır. Sistemin yazılımında, 3B yazıcı yazılım aşamaları (giriş modeli, yönlendirme ve konumlandırma, destek yapıları, dilimleme, yol planlama, makine komutları) uygulanmaktadır. C ortamında gerçekleştirilen yazılımda ekstruder ve step motorlar için kontrol algoritmaları ayrı fonksiyon dosyaları şeklinde hazırlanmaktadır. Tasarlanan yazılımın özellikle ürünlerin yüzeyindeki hataların giderilmesinde başarılı olduğu gözlemlenmektedir.

Keywords: Uyarlamalı PID, 3 boyutlu yazıcı, adım motor, algoritma

1. INTRODUCTION

The 3D printer is called a device that produces models that are designed on a computer or scanned in 3D using different materials without the need for any pattern. 3D solid objects are produced by 3D printers with the aid of 3D file prepared in digital environment. The models that have been designed in the digital environment come into being as tangible objects in a short time thanks to 3D printers. The different methods such as Fused Deposition Modelling (FDM), Laminated Object Manufacturing (LOM), Polyjet Photopolymer, Selective Laser Sintering (SLS), Stereolithography (SLA) and Syringe Extrusion are used to perform the 3D printing process [1]. The most widely known and used of these methods is FDM. In the

FDM method, extruded thermoplastic or wax from a heated extrusion head is used to track the solid areas of the physical models. The thermoplastic such as Polylactic Acid (PLA) and Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) materials that can take shape with heat are used in this method [2]. In this study, FDM type 3D printer has been used.

The technological development of additive manufacturing and 3D printing provides a significant contribution to the rapid prototyping of commercial products and designed products [3-5]. The minimum error production of prototypes of commercially produced or designed products is very important. The 3D printing process needs to be controlled so that these prototypes can be produced with minimal error. The extruder position control of the 3D printers is usually done by the classical PID control algorithm [6-8]. Even though the

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : hacirif@beun.edu.tr

control algorithms such as PID are used in 3D printers, it is possible some errors especially on the surface of the produced objects [9, 10]. These errors are seen more common, especially during the production of objects with complex geometries. In order to correct these errors, additional error correction processes have to be applied and this situation leads to an increase in production cost.

The 3D printers widely used in the world are produced in different mechanical and electronic designs. The 3D printers which have various mechanical structures such as cartesian, delta and core (xy , xz) already are used open source code software such as Sprinter, Marlin, Cura 3D and Teacup [11-13]. In these 3D printers, the control of the motors and the heating and cooling processes in the extruder system are controlled by classical control methods.

In this study, we have developed for the designed 3D printer a new software by using adaptive PID control algorithm instead of classical PID. Five step motors are used in the designed 3D printer. The heating-cooling processes in the extruder system and each motor of the designed 3D printer are controlled with the adaptive PID instead of classical PID. The control algorithms for extruder and step motors are prepared as separate function files in software implemented in C. It has been observed that the designed software is particularly successful in eliminating errors on the surface of the products.

This article is organized as follows: mechanical design of 3D printer in Section II. The adaptive PID of 3D printer is expressed in Section III. Experimental studies and discussions are presented in Section IV, and conclusions are finally given Section V.

2. MECHANICAL DESIGN OF 3D PRINTER

The 3D printers are manufactured in different designs such as cartesian, delta and core xy . Cartesian-designed 3D printers usually consist of a thermoplastic sprayer attached to the xyz cartesian platform. In the cartesian 3D printer, the x and y axis movements are provided by the eccentric trigger strap. The movement in the z axis is controlled by two step motors using a screw-on mile. A typical cartesian 3D printer [14] is shown in Figure 1.

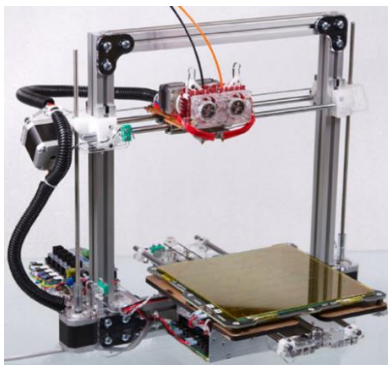


Figure 1. A typical cartesian 3D printer (a Deezmaker Bukobot Duo)

The main difference that distinguishes delta printers from other printers is that they are driven from three points by a three step motor to ensure vertical z axis movement. This difference is due to the triangular shapes of the delta printers. A deltabot 3D printer [14] is shown in Figure 2.

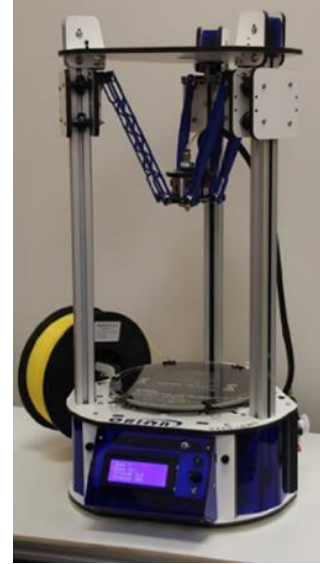


Figure 2. A deltabot 3D printer (the seeMeCNC Orion)

In core xy designed 3D printers, x and y axis movement is provided by strap pulleys. In this design, the head where the smelting process is performed is connected to the xy coordinate system. The movement of the heating table is in the z axis direction. The heating plate is controlled by step motors via screw shaft. The configuration of core xy designed 3D printer [13] is shown in Figure 3.

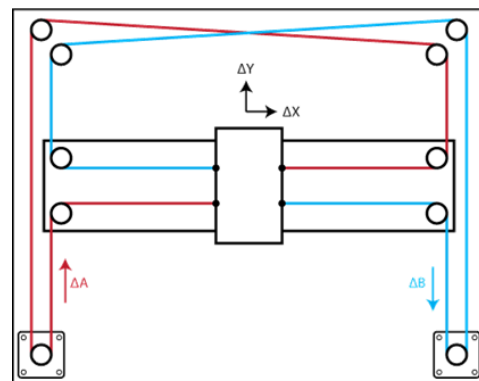


Figure 3. Core xy configuration [15]

In this section of our study, the mechanical design and prototype of the 3D printer are realized. The 3D printer, which is designed as a cartesian type, is used five step motors. The dimensions of the designed and produced prototype are $320 \times 390 \times 350$ mm. Also, in designed 3D printer is used a heated table with dimensions of $210 \times 210 \times 210$ mm, a nozzle with a size of 0.4 mm and xy belt mechanism for driving. The 3D printer, which is

designed and prototyped, is presented in Figure 4 and Figure 5.



Figure 4. Front view of the designed 3D printer

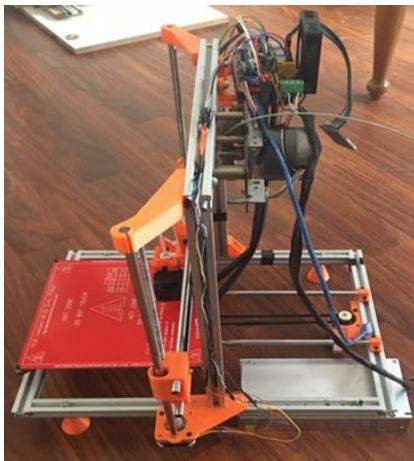


Figure 5. Side view of the designed 3D printer

The system is designed to take place in the open housing. With the prototype 3D printer the goal is to minimize errors on the surface of the produced objects. The surface deformation, which is a major problem especially in the production of objects with complex geometries, is greatly reduced by the 3D printer being designed. In this study, a body built from sigma profiles is designed because it can be easily mounted on the prototype produced and easy attachment can be made. Axes are mounted on the body formed by the sigma profiles and fasteners. The extruder, which is the part where the filament is pushed into the nozzle tip, is located on the y axis. To facilitate the movement of the extruder, toothed belts and ball-bearings are used. Also, a fan is used to cool the nozzle against overheating. The front view of the extruder in the designed 3D printer is shown in Figure 6. In the designed 3D printer, the fixing of the heating table is carried out as in the Prusa model construction and the fixing mechanism is presented in Figure 7. The heating plate moves in the z direction. As shown in Figure 7, the heating plate is fixed to the bearings by means of bolts in

accordance with the design specifications of the plate fastener. The heat value of the heating plate is controlled by the electronic processor card. In addition, the designed system also has a card holder for the mounting of electronic cards.

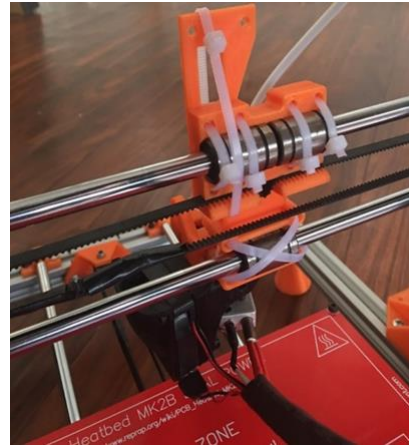


Figure 6. Front view of the extruder in the designed 3D printer



Figure 7. The view of heating table and heater table fixing

3. ADAPTIVE PID ALGORITHM FOR 3D PRINTER

It is very important to control the speeds of the x, y and extruder axes as well as the speed of the printer so that an object can be produced in good shape with the 3D printer. The MakerBot-endorsed open-source firmware for the Replicator I, Cupcake, and Thing-O-Matic printers includes default acceleration and speed change settings. The Marlin firmware, which is used on a variety of printer designs, also specifies defaults. Acceleration specified by Sailfish is 1000 mm/sec^2 , while Marlin uses a much higher 3000 mm/sec^2 . Sailfish's speed change default is 15 mm/sec and Marlin's is about the same at 20 mm/sec . Generally, these parameters are tuned by manufacturers or users to minimize print time and avoid skipped steps while maintaining smooth extrusion and finished part surface quality. Because the motors are run open-loop, any steps skipped are undetectable and

therefore unrecoverable, resulting in the entire print shifting in the x or y direction from that layer onwards [16].

Many industrial process are controlled using PID controllers. PID controller is used to solve a wide range of problems such as process control, motor drives, magnetic and optical memory, automotive, flight control and instrumentation. The controller consist of many different forms, as standard single-loop controllers, as a software component in programmable logic controllers and distributed control systems, as a built in controller in robots and CD players [17]. The popularity of PID controllers can be attributed partly to their robust performance in a wide range of operating conditions and partly to their functional simplicity which allows engineers to operate them in a simple and straightforward manner. To implement such a controller, three parameters must be determined for the given process: proportional gain, integral gain, and derivative gain [18]. The PID controller provides a proportional term, an integration term and a derivative term. The continuous form of a PID controller, with input $e(\cdot)$ and output $u(\cdot)$ is generally given as

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{d}{dt} e(t) \quad (1)$$

where K_p is the proportional gain, K_i is the integral gain, and K_d is the derivative gain.

The adaptive and learning control technique is one of promising control methods to overcome the difficulties in such an unknown or uncertain operating condition [19]. Nowadays 3D printers are usually controlled by the classical PID or open loop control method. The adaptive PID learning controller proposed in this study consists of PID feedback input component and feedforward learning input component control inputs. Unlike other studies, the 5 step motors used in the 3D printer designed in this study are controlled by the adaptive PID algorithm in software. In addition, the nozzle and heater plate temperatures are controlled by the same algorithm.

The learning rule for adaptive PID applied to the designed 3D printer

$$K(t) = pr[K(t-T)] + \Lambda_1 xy(t) \quad (2)$$

$$v_l(t) = pr[v_l(t-T)] + \Lambda_2 y(t) \quad (3)$$

where $pr[\cdot]$ is a projection into a bounded set, Λ_1 and Λ_2 are the learning gains of positive diagonal matrix and positive constant.

The control objective of designed 3D printer is to find the suitable control variables so that the system tracks desired load angular position and velocity with accepted errors while keeping the states and control variables bounded too. There are many internal and external uncertainties that may affect the performance of the controlled system. These uncertainties are the stiffness of

the flexible shaft, the inertia of the rotor [20]. The adaptive control is used to tune the parameters of the PID controller online. This is achieved by scheduling the gains of the PID control based on system performance indices as shown in Figure 8. In Figure 8, u_d and u_q denote the controller's output signal, ω_r and θ_r are the reference angular speed and angular displacement, respectively. The control closed loop outputs are the actual angular displacement and speed (θ, ω). In this study, two motors used for z axis control, two motors used for x and y axes control and one motor used for driving the filament are controlled by adaptive PID algorithm. In the system software, 3D Printing Software Pipeline is applied as shown Figure 9. The control algorithms for extruder and step motors are prepared as separate function files in software implemented in C.

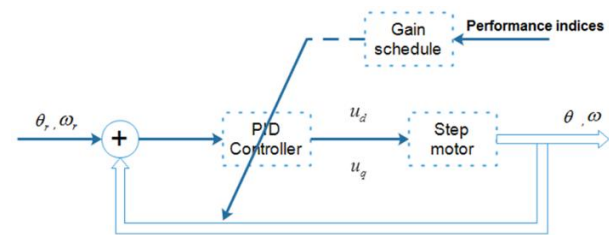


Figure 8. Block diagram of adaptive PID controller

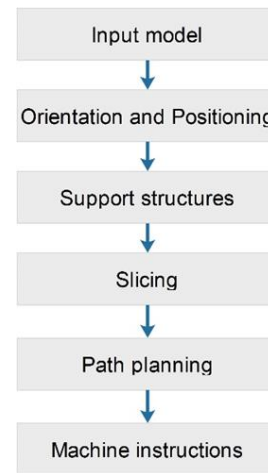


Figure 9. 3D printing software pipeline

4. EXPERIMENTAL STUDIES AND DISCUSSION

The coordinate information obtained from the G code of the object drawn in the CAD environment is prepared to be applied to the adaptive PID controller for driving the motors as binary values. Also, in the designed 3D printer, the table temperature is one of the factors affecting the print quality and the adhesion to the table. In this study, the temperature of the 3D printer table is set at 70 °C. Its control is also provided by the adaptive PID controller. The objects printed with classical PID and adaptive PID at 100 mm/sec are presented in Figure 10 and Figure 11, respectively.

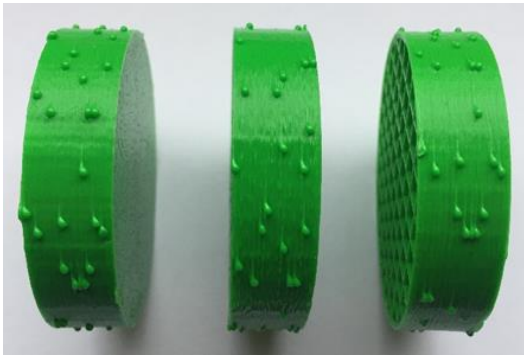


Figure 10. The objects printed with PID control at 100 mm/sec



Figure 11. The objects printed with adaptive PID control at 100 mm/sec

The designed 3D printer is operated at 100 mm/sec and the surface areas of the objects printed with classical PID and adaptive PID are compared. It has been observed that the surface area of objects printed with the adaptive PID control have a marked improvement compared to the surface area of the objects printed with the classical PID control. The printing of the objects was completed in 14 minutes with a nozzle of 0.4mm and a filling of 60%. Note that classical PID object has been prepared as same time as adaptive PID. The PID coefficients for the designed 3D printer were given in Table 1.

The Pearson Correlation method is used to determine the amount of surface deformation of objects printed with conventional PID and Adaptive PID. The R provides a measure of level of the linear relationship between the desired and the measured values. The R value is an indication of the relationship between the outputs and targets. If $R = 1$, this indicates that there is an exact linear relationship between outputs and targets. If R is close to zero, then there is no linear relationship between outputs and targets. The R is obtained by [21]:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (4)$$

where \bar{x} and \bar{y} are the averaged desired values and the measured values, respectively.

It is obtained that the surface deformation of objects printed with the adaptive PID is 1.501% while the surface deformation of the objects printed with the classical PID is 28.013%. The circular selection of the geometry of the object to be printed in this study is rapid change in the surface coordinates relative to the linear geometric shape.

Table 1. PID coefficients of designed 3D printer

	K_p	K_i	K_d
Case 1	4	5	0.14
Case 2	10	0.293	1
Case 3	3	0.521	0.821

5. CONCLUSION

The designed for cartesian construction the 3D printer was controlled with classical PID and adaptive PID. The position of the 5 step motors used in the 3D printer, the temperature of heating table and nozzle were controlled by the both classical PID and adaptive PID. The circular geometric shapes were printed with both controller methods and surface defects of shapes were investigated. It was obtained that the surface deformation of objects printed with the adaptive PID was 1.5% while the surface deformation of the objects printed with the classical PID was 28%. In the system software, 3D Printing Software Pipeline (input model, orientation and positioning, support structures, slicing, path planning, machine instructions) was applied. The control algorithms for extruder and step motors were prepared as separate function files in software implemented in C. It has been observed that the designed software is particularly successful in eliminating errors on the surface of the products.

ACKNOWLEDGEMENT

This study was supported by Bülent Ecevit University (BAP Project No: 2014-75737790-01). The authors would like to thank Bülent Ecevit University for their support.

REFERENCES

- [1] Prince J.D., "3D printing: an industrial revolution", *Journal of Electronic Resources in Medical Libraries*, 11(1): 39-45, (2014).
- [2] Hunt G., Mitzalis F., Alhinai T., Hooper P.A. and Kovac M., "3D printing with flying robots", *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, Hong Kong, China, 4493-4499, (2014).
- [3] Petrovic V., Gonzalez J.V.H., Ferrando O.J., Gordillo J.D., Puchades J.R.B. and Grinan L.P., "Additive layered manufacturing: sectors of industrial application shown through case studies", *International Journal Production Research*, 49(4): 1061-1079, (2011).
- [4] Lipson H. and Kurman M., "Fabricated: the new world of 3D printing", *John Wiley & Sons, Inc.*, Canada, (2013).
- [5] Gibson I., David R. and Brent S., "Additive manufacturing technologies: 3D printing, rapid

- prototyping, and direct digital manufacturing”, Second Ed., *Springer*, New York, (2014).
- [6] Barnett E. and Gosselin C., “Large-scale 3D printing with a cable-suspended robot”, *Additive Manufacturing*, 7: 27-44, (2015).
- [7] Choi J.W., Kim H.C. and Wicker R., “Multi-material stereolithography”, *Journal of Materials Processing Technology*, 211(3): 318-328, (2011).
- [8] Wei Y., Chen Y., Yang Y. and Li Y., “Novel design and 3-D printing of nonassembly controllable pneumatic robots”, *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 21(2): 649-659, (2016).
- [9] Güler B. and Çetinkaya K., “Industrial sizes double nozzle and cartesian type 3D printer design and prototyping”, *International Symposium on 3D Printing Technologies*, İstanbul, Turkey, 128-137, (2016).
- [10] Akçay T., Semiz S. and Aykut, Ş., “Design and product testing of 3 dimensional printers”, *International Symposium on 3D Printing Technologies*, İstanbul, Turkey, 294-305, (2016).
- [11] Anzalone G.C., Wijnen B. and Pearce J.M., “Multi-material additive and subtractive prosumer digital fabrication with a free and open-source convertible delta RepRap 3-D printer”, *Rapid Prototyping Journal*, 21(5): 506-519, (2015).
- [12] Sun J., Zhou W., Huang D., Fuh J.Y.H. and Hong G.S., “An overview of 3D printing technologies for food fabrication”, *Food and Bioprocess Technology*, 8(8): 1605-1615, (2015).
- [13] Blandon S., Amaya J.C. and Rojas A.J., “Development of a 3D printer and a supervision system towards the improvement of physical properties and surface finish of the printed parts”, *IEEE 2nd Colombian Conference on Automatic Control (CCAC)*, Manizales, Colombia, 1-7, (2015).
- [14] Horvath J., “Mastering 3D printing”, *Apress*, (2014).
- [15] Moyer I.E., “Core XY”, <http://corexy.com/theory.html>, (2012).
- [16] Weiss B.M.K., “Closed-loop control of a 3D printer gantry”, *Master of Science Thesis*, University of Washington, (2014).
- [17] Åström K.J. and Hägglund T., “The future of PID control”, *Control Engineering Practice*, 9(11): 1163-1175, (2001).
- [18] Dorf R.C., “Modern Control Systems”, *Addison Wesley*, (1992).
- [19] Baek S-M., and Kuc T-Y., “An adaptive PID learning control of DC motors”, *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, Orlando, USA, 2877-2882, (1997).
- [20] Elsodany N.M., Rezek S.F. and Maharem N.A., “Adaptive PID control of a stepper motor driving a flexible rotor”, *Alexandria Engineering Journal*, 50(2): 127-136, (2011).
- [21] Tan, P.N., Kumar, V. and Steinbach, M., “Introduction to Data Mining”, *Pearson Addison Wesley*, (2005).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>

Ezerek parlatma yapılan AA7075-T6 alüminyum alaşımında meydana gelen kalıntı gerilmelerin incelenmesi

Examining the residual stress on the burnished AA7075-T6 aluminum alloy

Yazar(lar) (Author(s)): Elif MALYER

ORCID: 0000-0001-9041-3842

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Malyer E., “Ezerek parlatma yapılan AA7075-T6 alüminyum alaşımında meydana gelen kalıntı gerilmelerin incelenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 21(3): 565-573, (2018).

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

DOI: 10.2339/politeknik.389592

Ezerek Parlatma Yapılan AA7075-T6 Alüminyum Alaşımında Meydana Gelen Kalıntı Gerilmelerin İncelenmesi

Araştırma Makalesi / Research Article

Elif MALYER*

Turgutlu Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Türkiye
(Geliş/Received : 21.04.2017 ; Kabul/Accepted : 29.05.2017)

ÖZ

Bu çalışmada, AA7075-T6 alüminyum alaşımında ezerek parlatma işlemi sonrasında meydana gelen kalıntı gerilmeler incelenmiş ve sonuçlar sayısal analiz programı ile elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. CNC frezede basit bir takım ve farklı işlem parametreleri kullanılarak ezerek parlatma işlemine tabi tutulan numunelerin kalıntı gerilme değerleri X-ışını kırınımı yöntemi ile belirlenmiştir. Ezerek parlatma işlemi yapılan tüm yüzeylerde basma kalıntı gerilmelerinin meydana geldiği tespit edilmiştir. Numuneler üzerinde oluşan kalıntı gerilmelerin ilerleme miktarı, ezme derinliği, yanal adım ve paso sayısı gibi işlem parametrelerinden ve ezerek parlatma işlemi gerçekleştirilmeden önce yüzeye uygulanan frezeleme işleminin yönünden ve işlem sırasında kullanılan yağlayıcıdan etkilendiği gözlemlenmiştir. İşlem sayısal analiz programı ile 2B olarak modellenmiş ve ilerleme miktarı ile ezme derinliğinin değişimi ile numunede meydana gelen kalıntı gerilme miktarları tespit edilmiştir. Parçanın üretiminden gelen artık gerilmeler programa dahil edilmemiş ve parça tavlı olarak kabul edilmiştir. Bu nedenle sayısal analiz yöntemi ile elde edilen değerlerin ölçümler sonucu elde edilen değerlere sayısal olarak benzemediği fakat işlem parametrelerinin etkilerinin ölçüm sonuçları ile benzerlik gösterdiği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kalıntı gerilme, X-ışını yayını, ezerek parlatma, sayısal analiz.

Examining the Residual Stress on the Burnished AA7075-T6 Aluminum Alloy

ABSTRACT

In this study, the residual stresses occurring after the burnishing procedure of AA7075-T6 aluminum alloy, and the results were compared to the values obtained from numerical analysis software. The residual stress values of the samples, which were exposed to burnishing procedure in CNC milling machine by using simple equipment and different operational parameters, were determined via X-ray diffraction method. After the burnishing, compressive residual stresses were observed in all the surfaces. The residual stress on the samples was found to be related with operational parameters such as travelling distance, burnishing depth, stepover, and pass number, as well as the cutting direction applied on surface before burnishing and the lubricant used during the procedure. The heat treatment was modeled in 2D by using numerical analysis software, and the residual stress values were determined in relation with the changes in travelling distance and burnishing depth. The residual stresses originating from the production of part were not entered into the software, and the part was considered tempered. For this reason, it was determined that the values obtained from numerical analysis method and those obtained from measurements were not similar to each other but the operation parameters' effects were similar to measurement results.

Keywords: Residual stress, X-ray diffraction, burnishing, numerical analysis

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

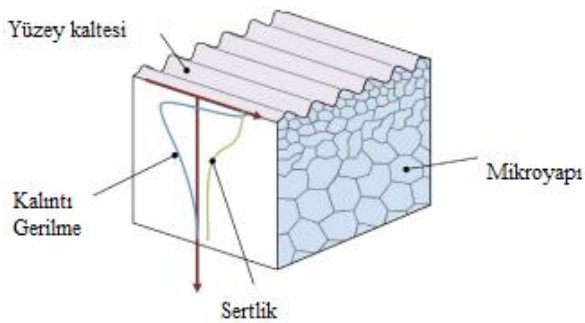
Malzemenin bölgesel olarak homojen olmayan elastik ve plastik deformasyona maruz kalması ile bünnye içerisinde oluşan gerilmelere kalıntı gerilme denir [1]. Kalıntı gerilme denilmesinin nedeni, malzemenin bünyesinde bir önceki işlem sırasında meydana gelen ve işlem sonrasında üzerindeki tüm yükler kalktığında ortaya çıkan elastik gerilmeleri ifade etmesidir [2]. Kalıntı gerilmelerin şekil değişimine neden olmadığı durumlarda bu gerilmeler elastik gerilmelerdir ve kalıntı gerilmelerin ulaşabildiği maksimum değer malzemenin akma

gerilmesi ile sınırlıdır [2,3]. Tüm üretim yöntemleri, malzemeye uygulanan mekanik, termal ve kimyasal yükler malzeme içerisinde onların yorulma davranışlarını, kırılma dayanımlarını ve hatta korozyon dayanımlarını etkileyen kalıntı gerilim oluşmasına neden olur [1, 4]. Bu yöntemleri, mekanik yöntemler, termal yöntemler, kaplama yöntemleri, talaş kaldırma yöntemleri olarak sıralamak mümkündür. Mekanik yöntemler, malzeme yüzeyine uygulanan mekanik zorlamalar ile yüzeyde deformasyon sertleşmesine neden olan yöntemlerdir. Burada işlem gören malzemenin cinsi, işlem türü, işlemin hızı, işlem süresi malzemede meydana gelen kalıntı gerilmelere etki etmektedir. Bu

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : elif.malyer@cbu.edu.tr

yöntemlerin sebep olduğu kalıntı gerilmeler genellikle basma yönündedir. Ezerek parlatma ve bilya ile dövme yöntemleri mekanik yöntemlere iyi birer örnektir. Termal yöntemler ise mekanik parçaların üretilmesinde ısı ile birlikte uygulanan yöntemleri ifade eder. Parçanın belirli bir sıcaklığa ısıtılıp soğuması sırasında bünyede kalıntı gerilmelerin meydana gelmesi kaçınılmazdır. Dövme, döküm, haddeleme, ekstrüzyon, kaynak, ısıl işlem gibi yöntemler termal yöntemlere örnek olarak gösterilebilir. Kaplama yöntemleri, tüm yüzey kaplama yöntemlerini içerir. Talaş kaldırma yöntemlerine tornalama, frezeleme, broşlama, taşlama, parlatma, honlama gibi talaş kaldırma işleminin gerçekleştiği tüm yöntemler örnek olarak verilebilir. Kesme hızı, takımın malzemeye uyguladığı kuvvet, ilerleme miktarı, kesici takım geometrisi, soğutma sıvısı bünyede oluşacak kalıntı gerilmelere etki eden değişkenlerden bazılarıdır. Bu işlemlerden sonra yüzeyde meydana gelen kalıntı gerilmeler küçüktür ve parçanın üst yüzeyinden yaklaşık 0,02-0,2 mm derinliğe kadar olan bölgede meydana gelirler ve genellikle çekme yönündedirler. Bu nedenle talaş kaldırılmış yüzeye uygulanacak parlatma işlemi ile birçoğu giderilebilir.

Üretilen mekanik parçanın bünyesinde bulunan kalıntı gerilmelerin etkileri olumlu ya da olumsuz olabilir. Kalıntı gerilmeler de diğer gerilmelerde olduğu gibi basma ve çekme yönünde oluşabilirler. Çekme yönünde oluşan kalıntı gerilmeler mekanik parçanın yüzeyinde yorulma çatlaklarının oluşmasına ve büyümesine neden olurken, basma yönünde oluşanlar parçanın yorulma performansını artırırlar [3]. Mekanik yöntemler, özellikle ezerek parlatma yöntemi, mekanik parçadan beklenen yüzey tamlığının elde edilmesinde seçilebilecek iyi bir yöntemdir. Yüzey tamlığı, Şekil 1'de de gösterildiği üzere, malzemenin yüzey kalitesi, sertliği, içyapısı ve bünyesindeki kalıntı gerilmelerin birlikte değerlendirildiği bir ifadedir ve literatürde ezerek parlatma yönteminin bu dört değişkeni de olumlu yönde etkilediği belirtilmektedir [5].



Şekil 1. Yüzey tamlığı parametrelerinin şematik gösterimi [5] (Illustration of surface integrity parameters)

Literatürde kalıntı gerilmelerin ölçülmesi ve ön görülmesi ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmaların büyük bir çoğunluğu kaynaklı birleştirmelerde meydana gelen kalıntı gerilmeler ile ilgilidir [6-9]. Diğer bir önemli kısım ise kaplama

yöntemlerinin malzeme üzerinde meydana getirdiği kalıntı gerilmeler üzerinedir [10-13]. Ayrıca ezerek parlatma yöntemi ile ilgili çalışmaların büyük bir kısmı torna tezgâhında silindirik yüzeyler üzerinde özel takımlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın amacı ezerek parlatma işleminin kalıpların düzlem yüzeylerinde son işlem olarak kullanılabilirliğini araştırırken bu işlem ile kalıp yüzeylerinde meydana gelen basma kalıntı gerilmelerini incelemektir.

Bu çalışmada, ezerek parlatma yönteminin sayısal analiz programı ile modellenebilmesi amaçlanmıştır. Ezerek parlatma uygulanmış numunelerdeki kalıntı gerilme değerleri belirlenmiş ve sayısal analiz programı ile elde edilen kalıntı gerilme değerleri ile karşılaştırılmıştır. Deneysel numunelerde meydana gelen kalıntı gerilmelerin belirlenmesi için X-ışını kırınımı yöntemi kullanılmıştır.

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

Deneysel malzemesi olarak AA7075-T6 alüminyum alaşımı kullanılmıştır. Spektral analiz ve çekme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Çizelge 1 ve 2'de sırasıyla malzemenin kimyasal içeriği ve mekanik özellikleri verilmektedir.

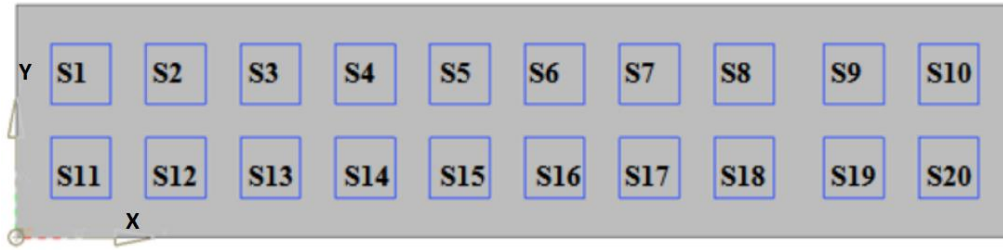
Çizelge 1. AA7075-T6 alüminyum alaşımının kimyasal bileşimi (% ağırlık) (Chemical composition of AA7075-T6 aluminium alloy in w%)

Cu	Fe	Si	Zn	Mn	Mg	Al
1.7	0.2	0.4	6.2	0.02	2.6	Kalan

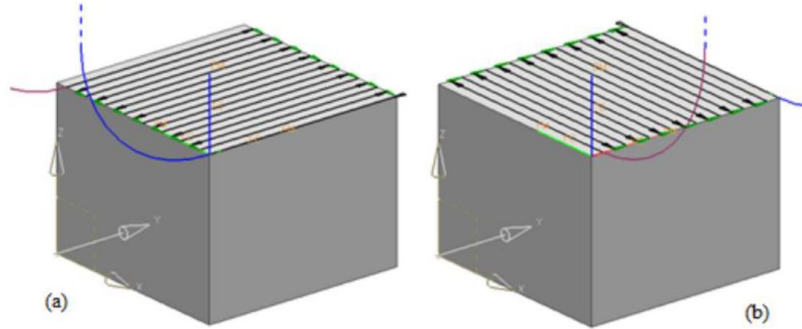
Çizelge 2. AA7075-T6 alüminyum alaşımının mekanik özellikleri (Mechanical properties of AA7075-T6 aluminium alloy)

Çekme Dayanımı (MPa)	570
Akma Dayanımı (MPa)	401
Young's Modülü (GPa)	68,646
Uzama (%)	9
Poisson oranı	0,3
Mikrosertlik (Hv)	168

Parçalar önce Fanuc kontrol ünitesine sahip CNC freze tezgâhında işlenmiş ve bu parçalar üzerinde 12 x 12 mm² lik alanlara her bir alan için farklı parametreler kullanılmak kaydıyla parlatma işlemi için takım yolları üretilmiştir. Oluşturulan alanlar ve yerleşim planı Şekil 2'de gösterilmektedir. Bu işlem için UGNX8.5 CAD/CAM yazılımı kullanılmıştır. Düzlem yüzey üzerine parlatma işlemleri ±0,003 mm tolerans ile zig zag takım yolu şekli seçilerek gerçekleştirilmiştir. Bu takım yolları Şekil 3'te görüldüğü üzere x-ekseni ile paralel, dik



Şekil 2. Ezerek parlatma işlemleri için yerleşim şeması (Layout plan of burnished areas)



Şekil 3. Ezerek parlatma işlemi takım yolu doğrultuları, (X-eksenine, (a) paralel, (b) dik). (Process directions, a) perpendicular to x-axis, b) parallel to x-axis).

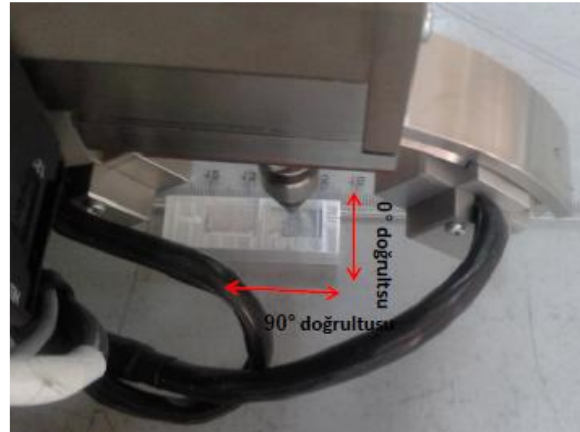
ve her iki yönde de olacak şekilde uygulanmıştır. Parlatma işleminin sanayi şartlarında kolaylıkla gerçekleştirilebilmesi ve takımın kolay elde edilebilmesi için basit bir takım tasarlanarak imal edilmiştir. Bunun için 16 mm çapında rulman bilyesi olarak kullanılan krom-karbon çelik bilye, 12 mm çapında işlenmiş ve bilyenin merkezlenebilmesi için yuva açılmış silindirik parçaya sert lehim ile birleştirilmiştir. Böylece hareketli değil sabit deformasyon elemanı kullanılmıştır. Çizelge 3, bu çalışmada kullanılan işlem parametrelerini göstermektedir.

Çizelge 3. Ezme işlemi parametreleri (Burnishing parameters)

Parametreler	Değerler
Devir sayısı, [S], (dev.dak ⁻¹)	1200
Ezici çapı, [D], (mm)	16
İlerleme miktarı, [f], (mm.dak ⁻¹)	400, 800, 1000
Ezme derinliği, [d _c], (mm)	0.025, 0.050, 0.100
Yanal adım, [a], (mm)	0.01, 0.05, 0.1
Ezme doğrultusu, [d], (°)	0°, 90°
Paso sayısı, [p]	1, 2, 4
Ezme şartları, [c]	Soğutma sıvısı, kesme yağı

Bu çalışmadaki numunelerin kalıntı gerilme değerleri, X-ışını kırınımı yöntemi ile belirlenmiştir. Ölçümler taşınabilir StresstechXStress 3000 G2R XRD Gerilim Analiz cihazı ile 2 mm çapında kolimatör kullanılarak EN150305 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Ezerek parlatılmış numunelerden yapılan ölçümler ve

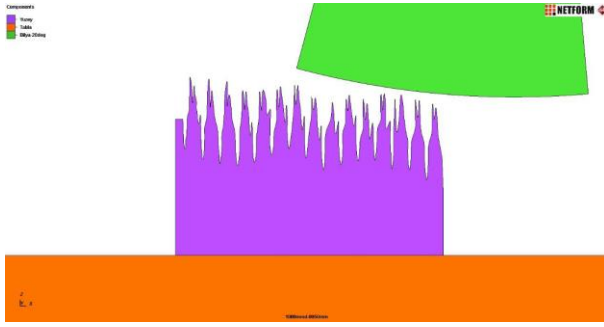
belirtilen doğrultular Şekil 4'te gösterilmiştir. Şekildeki 0° doğrultusu, parlatma işlemlerinde esas alınan X-eksenini, 90° doğrultusu ise Y-eksenini belirtmektedir. Ölçümler sırasında alüminyum malzemesinin yüzey merkezli kübik kafes yapısında, gerilmemiş durumda, CrK α ışıması altında, 139.3°'de kırınım piki oluşturan {311} atomik düzlemleri arasındaki mesafe ölçülmüştür. Bu mesafeden yararlanarak elastik genleme belirlenmiş ve numunenin yönelimsiz lineer elastik davrandığı varsayılarak gerilme değeri hesaplanmıştır. Ölçümler ezerek parlatma yönlerine paralel ve dik yönlerde alınmıştır.



Şekil 4. Kalıntı gerilme ölçüm doğrultuları (Residual stress measurement directions)

Analiz için Simufact programı kullanılmış ve işlem süresini kısaltmak amacıyla 2B modelleme yapılmıştır. Modellemeye ait şematik gösterim Şekil 5'te verilmiştir.

Bu çalışmada frezelenerek, ezerek parlatma işlemine hazırlanan yüzeyin, yüzey pürüzlülüğü ölçülmüş ve bu değerler 2B modelin yüzeyinin tanımlanmasında kullanılmış ve oluşturulan 2B model, analiz programına tanıtılmıştır. Daha sonra ezerek parlatma takımının kesit geometrisi oluşturulmuş ve her iki geometriye sonlu eleman ağı örülmüştür. Çözüm için Çözüm için MSC Software firması tarafından geliştirilen Marc çözücüsü içerisinde yer alan “iterative sparse” yöntemi kullanılmıştır. İşlemden malzemenin elastik davranışı, malzemenin Young’s modülü ve Poisson oranı kullanılarak Hooke yasasına göre hesaplanmış daha sonra simülasyon programına tanımlı, sıcaklık ve deformasyon hızına (strain rate) bağlı akma gerilmeleri (flow curve) kullanılarak Von Mises teorisine göre hesaplamalara devam edilmiştir. İşlemler için kullanılan diğer parametreler Çizelge 4 ‘te verilmiştir. Çözümler sırasında yüksek miktarda meydana gelen deformasyon sebebiyle oluşturulan sonlu elemanların aşırı deformasyona uğraması nedeniyle yakınsama sorunları ile karşılaşmış ve sonlu eleman ağının tekrar örülmesi (remesh) sıklığı azaltılarak bu problem çözülmüştür.



Şekil 5. Ezerek parlatma işleminin 2B modellenmesi (2D modelling of burnishing process)

Çizelge 4. Sayısal Analiz çalışmalarında kullanılan işlem parametreleri. (Process parameters used for numeric analysis)

Minimum sıcaklık	293,15 °K
Maksimum sıcaklık	573,15 °K
Minimum plastik gerinme miktarı	0,01
Maksimum plastik gerinme miktarı	2,0
Minimum gerinme oranı	0,001 1/s
Maksimum gerinme oranı	100,0 1/s
Yakınsama toleransı	0,1
Yer değiştirme toleransı	0,05

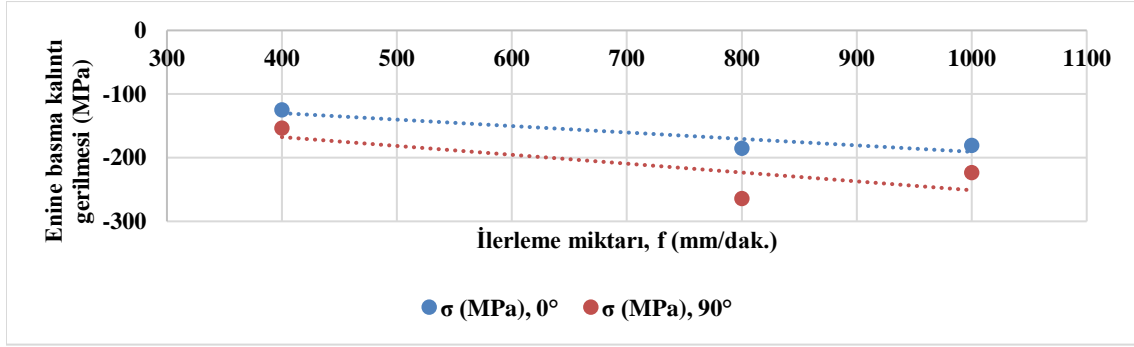
3. BULGULAR VE ARAŞTIRMA (RESULTS and DISCUSSION)

Çizelge 3 incelendiğinde ezerek parlatma işlemine esas alınan temel işlem parametrelerinin ilerleme miktarı, ezme derinliği, yanal adım ve paso sayısı olduğu görülmektedir. Kalıntı gerilme sonuçları da bu parametreler esas alınarak değerlendirilmiştir. Şekil 6, 7 ve 8’de bu parametrelerin malzeme bünyesinde oluşan enine basma kalıntı gerilmelerine etkisi görülmektedir. Grafikler incelendiğinde ezerek parlatma işleminden sonra beklendiği üzere malzeme bünyesinde meydana gelen kalıntı gerilmeler basma gerilmesi şeklinde olduğu görülmektedir.

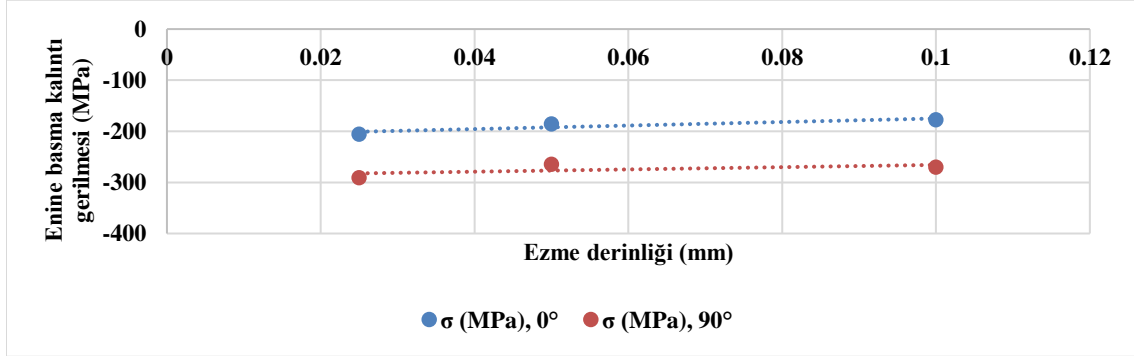
Şekil 6’da ezerek parlatma işlemine kullanılan ilerleme miktarının malzeme bünyesinde meydana gelen enine kalıntı gerilmelere etkileri verilmektedir. En düşük kalıntı gerilme miktarı, en küçük ilerleme değerinde elde edilmiştir. Literatürdekine benzer olarak ilerleme miktarı arttıkça malzemede meydana gelen kalıntı gerilmelerin artma eğiliminde olduğu söylenebilir [14, 15]. Okada ve ark. yaptıkları çalışmada ilerleme miktarı azaldıkça ezme izlerinin daha belirgin ve geniş olarak meydana geldiğini, ezme takımı ile malzeme yüzeyi arasındaki kayma mesafesinin, azalan ilerleme miktarı ile birlikte arttığını ve ezmenin gerçekleştiği noktanın çevresindeki malzeme akışının azalan ilerleme miktarı ile arttığını tespit etmişlerdir [15]. Buna göre ilerleme miktarı azaldıkça kuvvetin uygulandığı alan artmakta ve kuvvetin sabit kaldığı şartlarda alanın artması, meydana gelen gerilme miktarını azaltmaktadır. Bu da ortaya çıkan durumu açıklamaktadır.

Ezme derinliğinin enine kalıntı gerilmeler üzerine etkileri incelendiğinde ezme derinliği arttıkça kalıntı gerilmelerin azaldığı görülmektedir. Ezme derinliği arttıkça bölgesel plastik deformasyona uğrayan malzeme miktarı arttığı için basma kalıntı gerilmelerin değeri artmaktadır. Şekil 7’de ezme derinliğinin kalıntı gerilmelere etkisini gösteren grafik verilmiştir.

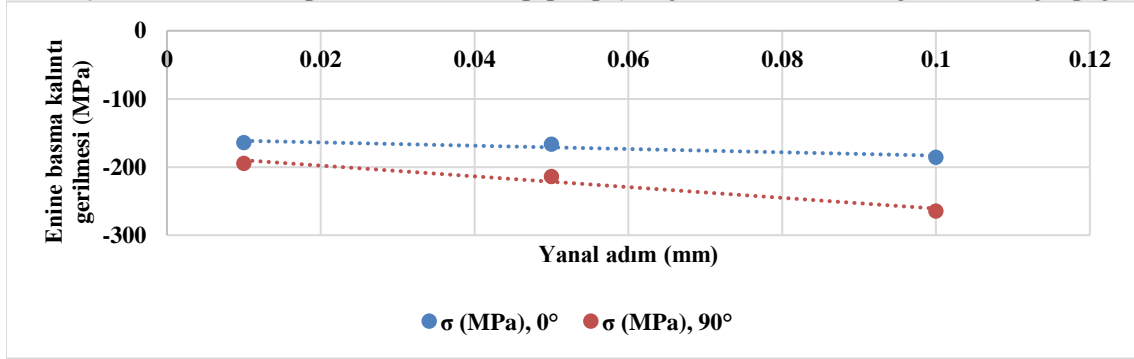
Şekil 8’de yanal adım değerinin enine basma kalıntı gerilmesi miktarına etkilerini ifade eden grafik verilmiştir. Grafik incelendiğinde, yanal adım arttıkça kalıntı gerilme miktarının da arttığı görülmektedir. Yanal adım bir doğrultuda arka arkaya gelen iki takım yolu arasındaki mesafeyi ifade etmektedir ve Şekil 9’da şematize edilmiştir. Takım ikinci takım yolunu izlerken birinci takım yolunun bir kısmı ile örtüşür. Yanal adım arttıkça örtüşme miktarı azalacaktır. Diğer bir deyişle yanal adımın küçük olduğu durumlarda, büyük olduğu şarta kıyasla daha az malzeme plastik deformasyona uğrayacaktır ve tersi de doğrudur. Basma kalıntı gerilmeleri malzeme bünyesinde meydana gelen plastik deformasyon arttıkça artmaktadır. Bu nedenle artan yanal adım değerlerinde basma kalıntı gerilmelerin artması olağandır. Şekil 10’da paso sayısının kalıntı gerilme miktarına etkisi verilmektedir. Grafik incelendiğinde paso sayısı arttıkça basma kalıntı gerilmelerin arttığı gözlemlenmiştir. Burada ezme derinliğinin her paso sayısı için sabit tutulduğuna dikkat edilmelidir. Örneğin ezme derinliği 0,1mm ise tek p asoda işlem yapılırken



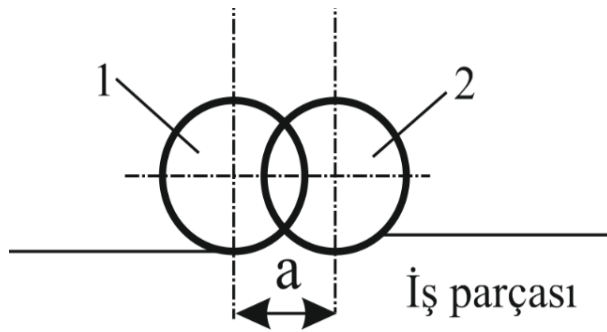
Şekil 6. Basma kalıntı gerilmesi-ilerleme miktarı grafiği (Compressive residual stress-feed rate graph)



Şekil 7. Basma kalıntı gerilmesi-ezme derinliği grafiği (Compressive residual stress-penetration depth graph)



Şekil 8. Basma kalıntı gerilmesi-yanal adım grafiği (Compressive residual stress-stepover graph)

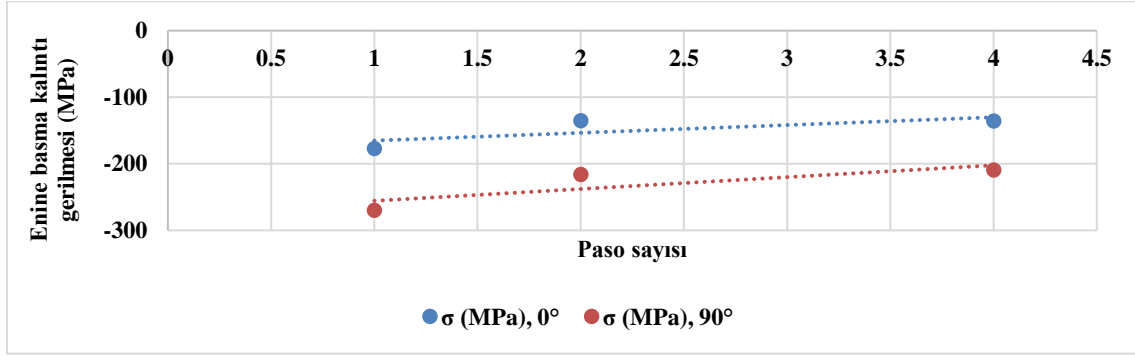


Şekil 9. Yanal adımın şematik gösterimi (Illustration of stepover)

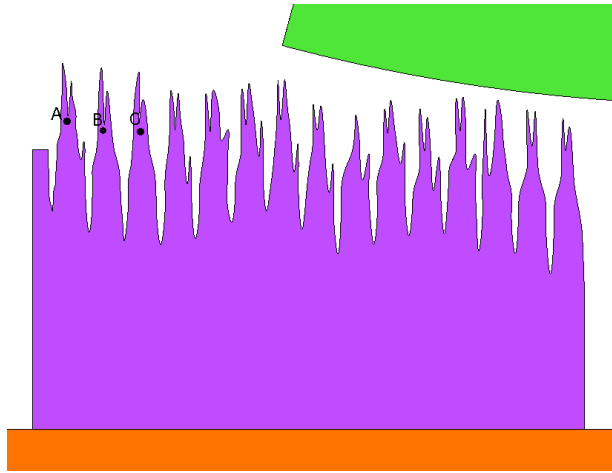
0,1mm'lik kalınlığın tamamı deformasyona uğrarken, 2 pasoda işlem yapılırken her seferde 0,05mm'lik kalınlık

deformasyona uğramakta, işlem sonunda deformasyona uğrayan kalınlık 0,1 mm olmaktadır. Dolayısıyla paso sayısı arttıkça her seferinde deformasyona uğrayan kalınlık azalırken işlem sayısı artmaktadır. Bu da basma kalıntı gerilmelerinde artış olarak karşımıza çıkmaktadır.

Ayrıca kesme yağı yerine soğutma sıvısının kullanıldığı şartlarda meydana gelen basma kalıntı gerilmelerin yaklaşık 0,7 kat azaldığı görülmüştür. Artışlı şekillendirme işlemlerinde de gözlemlendiği üzere plastik deformasyon için gerekli işlem sıcaklığının takım iş parçası arasındaki sürtünme ile elde edildiği durumlarda kullanılan yağlayıcı önem arz etmektedir. Sadece yağlama ya da sadece soğutma özelliği bulunan yağlayıcılar gerekli ve yeterli işlem sıcaklığının elde edilmesinde problem yaratmaktadır. Bu çalışmada soğutma sıvısı kullanımının işlem için gerekli ısının



Şekil 10. Basma kalıntı gerilmesi-paso sayısı grafiği (Compressive residual stress-number of toolpasses graph)



Şekil 11. Kalıntı gerilme tahmini için esas alınan noktaların şematik gösterimi (Illustration of points used for prediction of compressive residual stresses)

oluşmasına ve meydana gelen basma kalıntı gerilme miktarının azalmasına neden olduğu tespit edilmiştir. En küçük enine basma kalıntı gerilmesi değeri yaklaşık 125,1 MPa değerinde ve ilerleme miktarının en küçük seçildiği şartlarda elde edildiği tespit edilmiştir. Diğer yandan frezeleme yönünde gerçekleştirilen ezme işlemlerinde elde edilen kalıntı gerilme miktarının daha küçük, ters yönde gerçekleştirilen ezme işlemlerinde daha büyük olduğu belirlenmiştir. Her iki yönde gerçekleştirilen işlemlerde ise kalıntı gerilmenin daha da arttığı tespit edilmiştir. Bunun nedeni frezeleme işlemi sonucunda oluşan yüzey pürüzlülüklerinin kesme yönünde yönlendirilmiş olması olarak açıklanabilir.

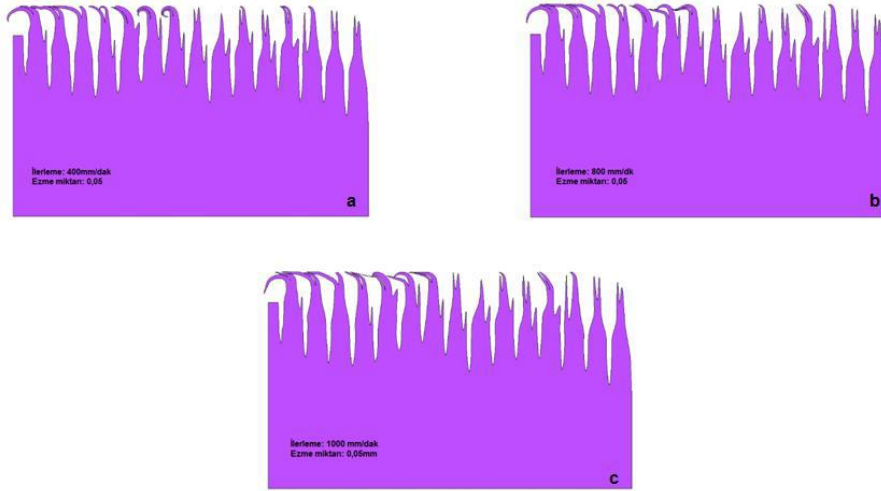
Kalıntı gerilme ölçümleri ezme işleminin en çok görüldüğü noktalar esas alınarak yapılmıştır. Belirlenen noktaların şematik gösterimi Şekil 11'de verilmiştir. Çalışmada sayısal analizler 2B gerçekleştirilmiş ve enine kalıntı gerilme değerleri tahmin edilmiştir. Bu nedenle çalışmalar ilerleme hızı ve ezme derinliği esas alınarak yapılmış, yanal adım ve paso sayısı dikkate alınmamıştır. Farklı ilerleme miktarlarına ve ezme derinliklerine ait ezme simülasyonu sonuçları sırasıyla Şekil 12 ve 13'te, sayısal analiz yöntemi ile tahmin edilen kalıntı gerilme-ilerleme miktarı ve kalıntı gerilme-ezme derinliği grafikleri ise sırasıyla Şekil 14 ve Şekil 15'te verilmiştir.

Sayısal analiz yöntemi ile tahmin edilen kalıntı gerilme değerleri, ilerleme miktarına göre değerlendirildiğinde en düşük basma kalıntı gerilmesinin en düşük ilerleme miktarında elde edildiği gözlemlenmiştir. Aynı işlem ezme derinliğine göre gerçekleştirildiğinde en düşük kalıntı gerilme değerinin yine en az ezme derinliğinde elde edildiği tespit edilmiştir. Sayısal analiz işlemlerinde frezeleme sonucunda malzemede önceden bulunan gerilmeler hesaba katılmadığından bu sonuçların, kalıntı gerilme ölçümleri ile kıyaslanabilmesi mümkün değildir. Ancak kendi içinde orantılandığında sayısal analiz ile ölçüm sonuçlarının paralellik gösterdiği görülmektedir.

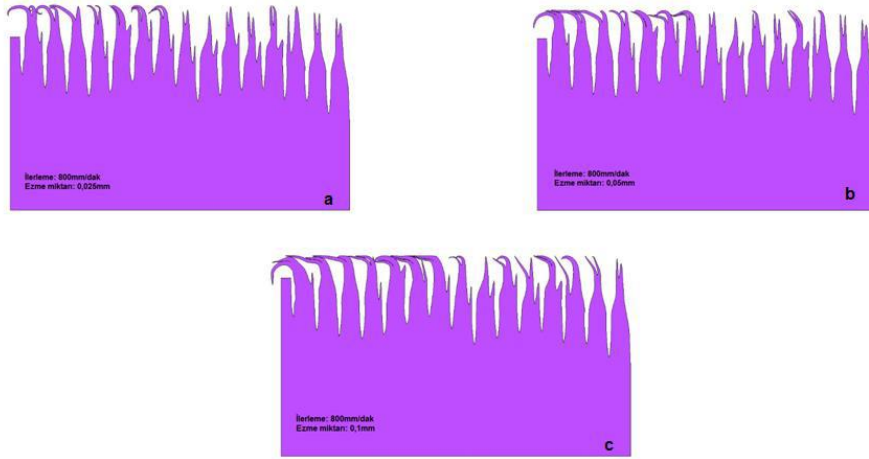
4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Sabit küresel ezme takımı ile yapılan ezerek parlatma işlemine ilerleme miktarı, yan kayma miktarı, ezme derinliği, paso sayısı ve soğutma elemanı gibi işlem değişkenlerinin oluşan kalıntı gerilme miktarlarına etkileri incelenmiş, aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

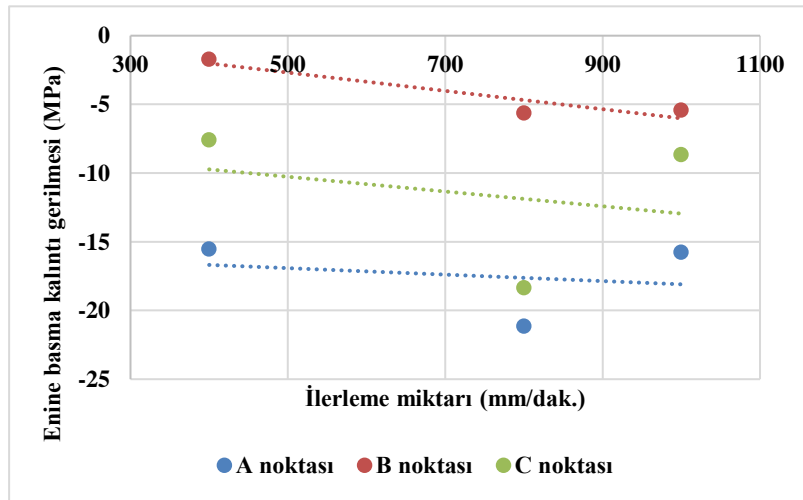
1. Çalışmada kalıntı gerilme miktarının ölçümü için X-ışını kırınımı yöntemi kullanılmıştır ve ezerek parlatma işleminden sonra beklendiği üzere malzeme bünyesinde meydana gelen kalıntı gerilmeler basma gerilmesi şeklinde meydana geldiği tespit edilmiştir.
2. İlerleme miktarı azaldıkça malzeme bünyesinde meydana gelen enine basma kalıntı gerilmelerinin azaldığı görülmüştür. En küçük kalıntı gerilme değerinin 400mm.dak⁻¹ ilerleme miktarı kullanılarak ezerek parlatılan yüzeylerde elde edildiği belirlenmiştir.
3. Yanal adım arttıkça kalıntı gerilme miktarının arttığı tespit edilmiştir.
4. Ezme derinliği azaldıkça kalıntı gerilmelerin azaldığı görülmüştür.
5. Paso sayısı arttıkça her seferde ezilen malzeme miktarı azaldığı için meydana gelen kalıntı gerilme değerleri de azalmıştır.
6. Ayrıca kesme yağı yerine soğutma sıvısının kullanıldığı şartlarda meydana gelen kalıntı gerilmelerin yaklaşık 0,7 kat azaldığı görülmüştür.



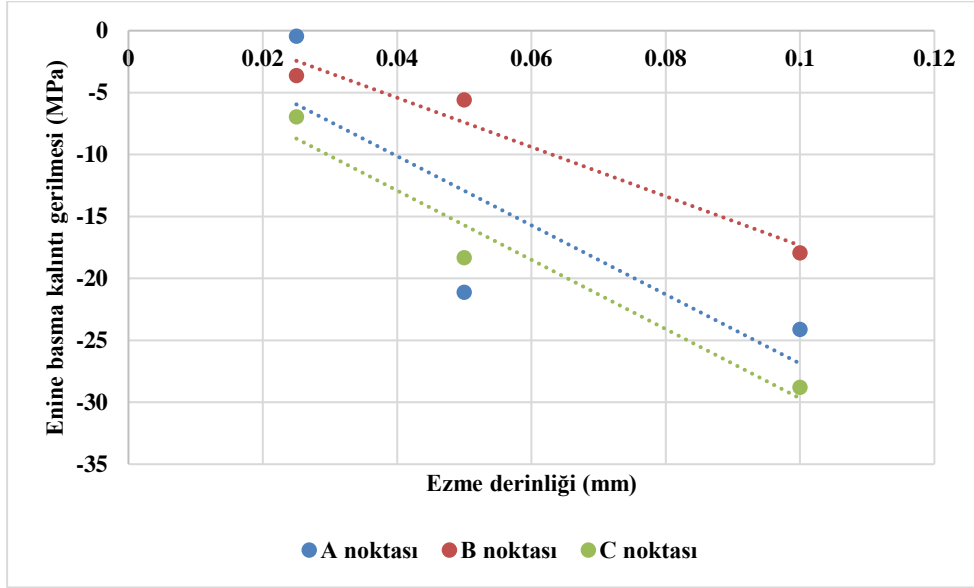
Şekil 12. Ezerek parlatma işlemi sonrasında elde edileceği elde edilen yüzeyler (dc: 0,05 mm, a) f: 400mm.dak-1, b)f: 800mm.dak-1, c) f: 800mm.dak-1) (Calculated surfaces obtained after burnishing process, dc: 0,05mm a) f: 400 mm.min-1, b)f: 800 mm.min-1, c)f: 1000 mm.min-1)



Şekil 13. Ezerek parlatma işlemi sonrasında elde edileceği ön görülen yüzeyler (f:800mm.dak-1 a) dc: 0,025 mm, b)dc: 0,05 mm, c) dc: 0,1 mm) (Calculated surfaces after burnishing process, f 800 mm.min-1, a) dc:0,025mm, b)dc:0,05mm, c) dc: 0,1mm)



Şekil 14. Tahmin edilen enine basma kalıntı gerilmesi-ilerleme miktarı grafiği (Predicted compressive residual stress-feedrate graph)



Şekil 15. Tahmin edilen enine basma kalıntı gerilmesi-ezme derinliği grafiği (Predicted compressive residual stress-penetration depth graph)

- Diğer yandan frezeleme yönünde gerçekleştirilen ezme işlemlerinde elde edilen kalıntı gerilme miktarının daha küçük, ters yönde gerçekleştirilen ezme işlemlerinde daha büyük olduğu belirlenmiştir. Her iki yönde gerçekleştirilen işlemlerde ise kalıntı gerilmenin daha da arttığı tespit edilmiştir.
- Sayısal analizler, 2B gerçekleştirilmiş ve enine kalıntı gerilme değerleri sayısal analiz yöntemi ile elde edilmiştir. Bu nedenle işlemler ilerleme hızı ve ezme derinliği esas alınarak yapılmış, yanal adım ve paso sayısı dikkate alınmamıştır. Sayısal analiz yöntemi ile elde edilen kalıntı gerilme değerlerinin, azalan ilerleme miktarı ve ezme derinliği ile azaldığı gözlemlenmiştir.
- Parçanın üretiminden gelen artık gerilmeler programa dahil edilmemiş ve parça tavlı olarak kabul edilmiştir. Bu nedenle sayısal analiz yöntemi ile elde edilen değerlerin ölçümler sonucu elde edilen değerlere sayısal olarak benzemediği fakat işlem parametrelerinin etkilerinin ölçüm sonuçları ile benzerlik gösterdiği belirlenmiştir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

2013-128 numaralı projeye vermiş oldukları destekten dolayı Celal Bayar Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Hauk V., "Structural and residual stress analysis by nondestructive methods: Evaluation-Application-Assessment", *Elsevier*, (1997).
- Çevik B., Özer A. ve Özçatalbaş Y., "Köşe Kaynaklarında Oluşturulan Gerilmelerin Fotoelastisite Yöntemiyle Analizi", *The Sixth International Advanced Technologies Symposium*, Elazığ, Türkiye, 409-414, (2011).
- Subaşı M., Kafkas F. ve Karataş Ç., "AISI 4140 çeliğinde sertlik ve kalıntı gerilme ilişkisi", *2. Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi*, Balıkesir, Türkiye, 211-220, (2010).
- Totten G. E., "Handbook of residual stress and deformation of steel", *ASM International*, (2002).
- Chomienne V., Valiorgue F., Rech J. and Verdu C., "Influence of ball burnishing on residual stress profile of a 15-5PH stainless steel", *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 13, 90-96, (2016).
- Park J. U., An G. And Woo W. "The effect of initial stress induced during the steel manufacturing process on the welding residual stress in multi-pass butt welding", *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, (2017) in press.
- Kouadri-Henni A., Seang C., Malard B. And Klošek V., "Residual stresses induced by laser welding process in the case of a dual-phase steel DP600: Simulation and experimental approaches", *Materials & Design*, 123, 89-102, (2017).
- Dawson H., Serrano M., Cater S., Wady P., Pirling T. and Jimenez-Melero E. "Residual Stress Distribution in Friction Stir Welded ODS Steel Measured by Neutron Diffraction", *Journal of Materials Processing Technology*, 246, 305-312, (2017).
- Lin J., Ma N., Lei Y. And Murakawa H., "Measurement of residual stress in arc welded lap joints by cosa X-ray diffraction method", *Journal of Materials Processing Technology*, 243, 387-394. (2017).
- Demirler U. ve Taptık Y., "FBB TiN kaplamalarda taban malzemenin kalıntı gerilme üzerine etkisi", *İTÜ Dergisi/d*, 4:1, 95-102, (2010).
- Bouaouina B., Besnard A., Abaidia S. E. And Haid F., "Residual stress, mechanical and microstructure properties of multilayer Mo₂N/CrN coating produced by RF Magnetron discharge", *Applied Surface Science*, 395, 117-121, (2017).
- Xiao Y., Shi W., Han Z., Luo J. and Xu L., "Residual stress and its effect on failure in a DLC coating on a

- steel substrate with rough surfaces”, *Diamond and Related Materials*,66, 23-35. (2016).
- [13] Maledi N. B.,Oladijo O. P., Botef I.,Ntsoane T. P., Madiseng A. And Moloisane L., “Influence of cold spray parameters on the microstructures and residual stress of Zn coatings sprayed on mildsteel”, *Surface and Coatings Technology*, (2017) in press.
- [14] Revankar G. D., Shetty R., Rao S. S. And Gaitonde V. N., “Wear resistance enhancement of titanium alloy (Ti-6Al-4V) by ball burnishing process” *Journal of Materials Research and Technology*,6(1), 13-32, (2017).
- [15] Okada M.,Shinya M., Matsubara H., Kozuka H., Tachiya H., Asakawa N. and Otsu M., “Development and characterization of diamond tip burnishing with a rotary tool” *Journal of Materials Processing Technology*, 244, 106-115, (2017).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>

Estimation of screen density according to different screening methods with artificial neural network method in flexo printing system

Flekso baskı sisteminde farklı tramlama yöntemlerine göre tram yoğunluğunun yapay sinir ağı yöntemi ile tahmini

Yazar(lar) (Author(s)): Mustafa Batuhan KURT¹, Yelda KARATEPE MUMCU², Lütfi ÖZDEMİR³

ORCID¹: 0000-0002-8276-0024

ORCID²: 0000-0001-9948-9413

ORCID³: 0000-0002-0827-8037

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz(To cite to this article): Kurt M. B., Karatepe Mumcu Y. ve Özdemir L., "Estimation of screen density according to different screening methods with artificial neural network method in flexo printing system", *Politeknik Dergisi*, 21(3): 575-580, (2018).

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

DOI: 10.2339/politeknik.386932

Estimation of Screen Density According to Different Screening Methods With Artificial Neural Network Method in Flexo Printing System

Araştırma Makalesi / Research Article

Mustafa Batuhan KURT^{1*}, Yelda KARATEPE MUMCU², Lütfi ÖZDEMİR³

¹Uygulamalı Bilimler Yüksekokulu, Basım Teknolojileri Bölümü, Marmara Üniversitesi, Türkiye

²Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, Marmara Üniversitesi, Türkiye

³Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Görsel - İşitsel Teknikler ve Medya Yapımcılığı Bölümü, Marmara Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 25.04.2017 ; Kabul/Accepted : 04.08.2017)

ABSTRACT

Choice of dot shape is the most important factors that affect the printing quality in the flexographic printing system. The aim of the operations performed by the machine operator during the printing process (densitometric measurements, ink settings, etc.) is to achieve the same quality from the first printing to last printing. This study attempts to estimate screen density values obtained from the same polymer structure (DFR), 175 Lpi screening and 10 different screen structures using the Artificial Neural Networks method (ANN). Data necessary for calculations were obtained from real values as a result of experimental studies. The correlation coefficient of the data obtained from the model created with ANN for screen density values was found to be 98,902% and this value was found to be consistent with scientific values. According to the results, the neural network model used in flexographic printing systems of different screening methods predictable effect on the printing result.

Keywords: Packaging, flexo printing, screening methods, flexo plate, artificial neural networks.

Flekso Baskı Sisteminde Farklı Tramlama Yöntemlerine Göre Tram Yoğunluğunun Yapay Sinir Ağı Yöntemi ile Tahmini

ÖZ

Tram türü, flekso baskı sisteminde baskı kalitesini etkileyen en önemli faktördür. Makine operatörü tarafından baskı işlemi sırasında yapılan işlemlerin (yoğunluk ölçümü, mürekkep ayarları, vb.) amacı, ilk baskıdan son baskıya kadar aynı kaliteyi sağlamaktır. Bu çalışmada, aynı polimer yapısına sahip (DFR) 175 Lpi tram sıklığında, 10 farklı tramlama yapısından elde edilen tram yoğunluğu değerleri Yapay Sinir Ağları Yöntemi (ANN) kullanılarak tahmin edilmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda hesaplamalar için gerekli olan değerler; tram noktalarının densitometrik ölçümlerinden elde edilmiştir. Tram yoğunluğu değerleri için YSA ile oluşturulan modelden elde edilen verilerin korelasyon katsayısı %98,902 olarak bulunmuştur ve bu değer bilimsel değerlerle uyumlu bulunmuştur. Çıkan sonuçlara göre, YSA modelinde flekso baskı sisteminde kullanılan farklı tramlama yöntemlerinin baskı sonucuna etkisi önceden tahmin edilebilir.

Anahtar Kelimeler: Ambalaj, flekso baskı, tramlama yöntemi, flekso kalıbı, yapay sinir ağları

1. INTRODUCTION

Flexo printing system is a branch of the relief printing system. It is a printing system which relies on transferring inked images on high areas on the surface of the printing plate to the printing material with the help of pressure [1]. Plates used in flexo printing systems are polymer-based. Printing areas of plates used in the flexo printing method are positioned higher and non-printing areas are positioned lower. Flexo printing system is mostly used for packaging and label printing.

Ink consumption is one of the factors affected by the screen structure. It is possible to reduce the ink

consumption by printing the same image with lower ink density, which means using less ink for the same operation. Using less ink has ecological benefits as well.

Among the most significant elements that affect the quality of printing in Flexo printing systems are selection of plate and screen [2]. Before starting the print, the plate is prepared, a test printing called "fingerprinting" is done to characterize the features of the printing for once only. Necessary adjustments in plate preparation are done in accordance with the results of this process and the plates are prepared, which means interpreting each printing variable and preparing optimal plates. To know how printing variables affect the printing process will prevent unnecessary fingerprinting and enable the preparation of plates with the correct features at a time. Plates which

* Corresponding Author

e-posta : batuhan@marmara.edu.tr

preferred for packing printing industry using Flexographic printing, by employing different screening methods in ESKO CDI Spark 4835. These screening methods are Circular, Concentric, Elliptical, HD 29px, Helio, Monet, Round FOGRA, Rugby, Samba, and Square, which are commonly used as screening methods. The values obtained from the experimental results, screening density applied to the model was estimated by using artificial neural networks[3].

This study attempts to estimate screen density values obtained from the DFR plate, 150Lpi and 175 Lpi screening and different screen structures using the Artificial Neural Networks method (ANN). The values necessary for calculations were obtained by printing on Duncote 3 Brand 75g/m² coated paper with Harper QD Proofing system test printing machine in the Paper Engineering Department of Western Michigan University and measurements were performed with X-rite Exact NGH spectrophotometer. The correlation coefficient of the data obtained from the model created with ANN for screen density values was found to be 98,902% and this value was found to be consistent with scientific values. It was found that the ANN model created in the study produced accurate results.

2. MATERIAL and METHOD

2.1. Materials

2.1.1. Test Page

Different Screenings to be printed were identified. Plate image to be used in the printing was formed. 1%, 2%, 3%, 4%, 5%, 10%, 20%, 30% (to see sub-tone values) 40%, 50%, 60% (to see mid-tone values) 70%, 80%, 90%, (to see top-tone values) bottom printing control strip was formed using Adobe In Design program. In order to obtain complete printing values. Bottom printing control strip were added in the side. The test scale was exposed on 1,14mm-thick Dupont CyrelFast digital plates (DFR) and the plates were prepared.

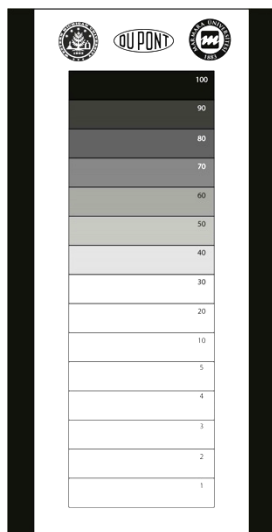


Figure 1. Printed test printing image

Duncote 3 brand 75g/m² coated paper was used as substrate. In the Flexo printing technique, various printing plates and ink formulations can be used depending on printed material and production technique. Water-based, solvent-based, UV-cured and electron beam-cured inks are available. In this study, a water-based ink was used, as it is ecological and its printing base is paper [4]. The main components of Flexo inks are colorant, binder and solvent. Diverse adducts can also be used for operation of printing and printability.

Screening methods were selected as Circular, Concentric, Elliptical, HD 29px, Helio, Monet, Round FOGRA, Rugby, Samba, and Square, which are commonly used screening types (Figure 2).

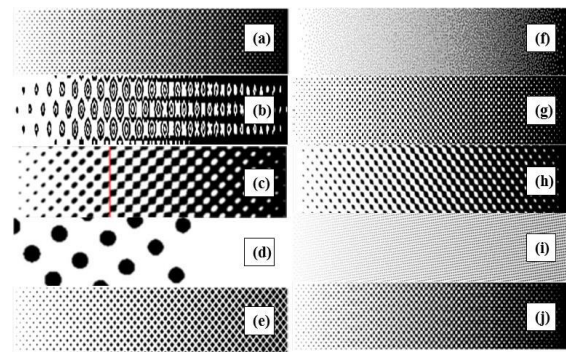


Figure 2. Screening types (a) Circular, (b) Concentric, (c) Elliptical, (d) HD 29px, (e) Helio, (f) Monet, (g) Round FOGRA, (h) Rugby, (i) Samba, (j) Square [5].

Figure 2 shows the shapes of the screen structures used in the study. In prints where details are important, screen structures with superior highlight and mid-tones are preferred. In prints where details are not significant, screen structures with better shadow are preferred. Toning is one of the important factors determining the quality of the print image.

2.1.2 Plate

Digital and analog plates are prepared by different methods. One type of plate used was manufactured by DuPont. Firstly, DupontDFR is the high durometer [6] plate for the DuPont FAST thermal platemaking process, designed to meet the needs of high quality flexo with finest halftones, linework and solids [7-8].

Plate is selected, which preferred in labels, flexible packaging carrier bags, beverage cartons and pre-print liner printings and were exposed providing 175Lpi dot tonal value. The reasons behind selection of the digital plates are that it is formed rapidly in preparation, it obtains a sharper dot and it has less dot swellings (Figure 3).

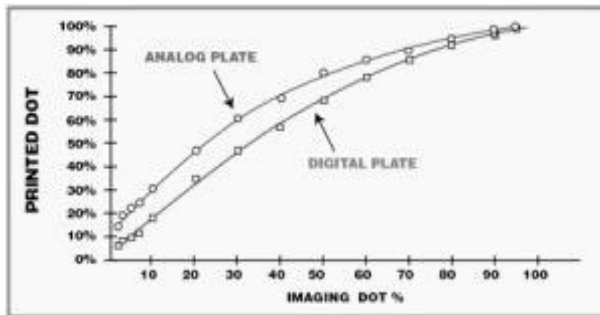


Figure 3. Graphic of dot swelling difference between digital plate and analog plate (http://caltapeandlabel.net/?page_id=2444 2016).

2.1.3.1 Preparing Plate

All plates were exposed in a controlled atmosphere (1,3% O₂, 98,7% N₂). The controlled atmosphere used to create the flat top dot during the main exposure of a plate also produces an exact 1:1 reproduction of image elements for improved solid ink density. The minimum dot was exposed as 1% for HD plates. For other plates, the minimum dot exposed was 2%. DFR plates were pulled down after a total of 9 cycles.

2.1.4 Test Printing Machine

Prints were made on the QD™ Proofing System test printing device. When a Flexo printing press is used, at least 100-150 m printing is required for settlement of the printing. However, a print can be achieved using this printing device in a laboratory environment with the same results.

2.1.4.1 Anilox Selection

Harper brand anilox, which is 1200 cells/inch 4,8 μm, has been used in the printing of the prepared plates.

2.1.5 Mounting Tape

SA 2315MS was used as a mounting tape. Mounting tape's thickness is 0,35mm. Rogers Coporation R/bak® Cushion Mounting Tapes are advanced, open-cell urethanes that provide the most consistent, resilient cushioning for flexographic printing. SA 2315 tape should be used for combination jobs including screen, line and solid work.

2.1.6 Measurements

The tests conducted to determine printability were: Tone Value Increase (dot gain), tone reproduction, optical/reflective density, and dot shape. The Tone Value Increase and tone reproduction curves of the printed materials were determined with Microsoft Excel. The density patches on each test print were measured in increments, from one to a hundred. The X-rite Exact NGH Spectrophotometer was used to measure the densities of a solid black area and the all other patches on test print. The ImageXpert system was used to determine the roundness of the 1% and 90% dots on each sheet. The dot roundness was defined by the ratio of the circumference of a circle with the same average radius to the perimeter length of the dot. A digital image was

captured of the one percent and ninety percent dots using a SonyXC-003 video camera and the roundness was calculated by the ImageXpert system.

2.1.7 Ink

Fluid Sciences, Inc. brand black water-based FSI-40124 Accu Extra PC Black flexo ink was used as the ink. The ink was diluted with 15% water. The viscosity was measured with Brookfield DV-III brand rheometer and adjusted such that it will be 18s/DIN4/25°C (70 Centipoise), required value of water-based flexo ink. The pH value of the ink was measured with Denver Instrument AP5 brand pHmeter as 9,23.

The desired level is between 9-9,3 for flexographic press. However, the average range for water-based inks is between 8-9,5 therefore, the pH was within the tolerance level.

2.1.8 Printing

In these tests performed on the Harper QD Proofing test device, printing was done with water-based black flexo ink in optimum physical printing works on Duncote brand coated paper having 75 g/m² basis weight with a total of 20 plate of DuPont DFR 045 type in a thickness of 1,14 mm screened at 175Lpi resolution prepared with 10 different screening methods.

Ink type and viscosity, anilox roll, printing pressure and printing speed were all of the same. Print image was taken as 4 repeats on the sheet. Measurements were taken from the image formed on the third print from the plate. Printing measurements were made with X-rite Exact NGH brand spectrophotometer and ImageXpert.

2.1.9 Dot gain

Dot gain is known to increase the size of the half-tone dots over the period between the pre-press and printing processes. A low dot gain demonstrates high print quality[9].

In this study, two different plates were used belonging to the DuPont Company. Thicknesses of both plates were 1.14 mm. Hardness of DFR (Dupont Fast Robust) plates was 79 ShA. Printing of plates was made in appropriate conditions in accordance with TAPPI T402 SP-13 standards and measurements there of were made in the same environment throughout a day[10].

The X-rite Exact NGH Spectrophotometer was used to measure the densities of solid black area and the all other patches on test print.

3. MODELLING WITH ANN

Artificial Neural Network (ANN) is an information-processing archetype or exemplar that is inspired by the biological nervous system, i.e., the human brain [11].

Artificial neural network is a flexible mathematical structure which is capable of identifying complex nonlinear relationships between input and output data sets [12]. Neurally inspired models, also known as parallel distributed processing (PDP) or connectionist systems, de-emphasize the explicit use of symbols in

problem solving [13]. Processing in these systems is distributed across collections or layers of neurons. Problem solving is parallel in the sense that all the neurons within the collection or layer process their inputs simultaneously and independently [14].

The origin of the ANN is the artificial intelligence. It consists of massively interconnected processing elements arranged in a layered structure. The input neurons are connected to the output neurons through layers of hidden nodes. Each neuron processes information through an activation function; hidden units with nonlinear activation function result in non-linear mapping [15].

Neurons consist of large number of processing elements are interconnected by weights. Input layer and output layer and at least one hidden layer create a simplified ANN model. The weight at the final iteration is assigned to the input parameters of the model, and the output is obtained. The difference between the observed and predicted concentrations denotes the accuracy of the model.

Artificial neural network method fast, simple and high learning capacity is an important problem-solving tool used in many scientific fields.

What this study aims using the ANN method is to train the neural network model with two different plates and 10 different screen methods and estimate screen density values obtained at the end of printing. In order to increase the accuracy of the estimation, the training was supported with standard screen density values. Different operations performed by the machine operator (densitometric measurements, ink settings, etc.) machine performance and knowledge and skills of the staff engaged in manufacturing are affective in the process from the beginning to the end of the flexo printing operation [16]. Since it is quite difficult to define such a problem as a mathematical model, the ANN method was used to contribute to the Flexo Printing Technology. The selected ANN structure is shown in Figure 4.

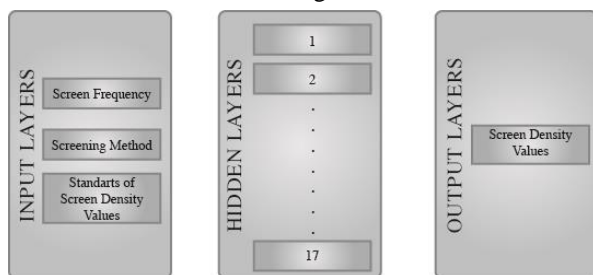


Figure 4. Artificial Neural Network structure

The data used in this study determines the print quality. The data were collected in Western Michigan University Paper Engineering Department in USA 2015. The data consists of 493 data points, and were recorded between 2014 and 2015(TUBITAK PROJECT NO. B.14.2.TBT.0.06.01-219-6040).

Neural Network model were performed using MATLAB 9.0.0 (R2016a) program. Data selection was made from

495 values. In the ANN model by using Matlab Toolbox programme (Figure 5), the input layer corresponds to the three experimental parameters including the initial screen frequency, screen method and standart of screen density values. A 17 hidden layer ANN with a tangent sigmoid transfer sunction (tansig) at hidden layer, a linear function (purelin) at output layer and Levenberg-Marquardt back-propagation algorithm with 1000 iterations were implemented [17]. 1-17 neurons in the hidden give one output signal as their removal percentage. All inputs and output are normalized within a uniform range of according to Equation 1. After establishing the ANN model, the next step was to divide the values into three parts by randomly: the values were being used to make training and validationing and testing (70% training, 15% validation, 15% test).

$$X_{norm} = \frac{X_i - X_{min}}{X_{mix} - X_{min}} \tag{1}$$

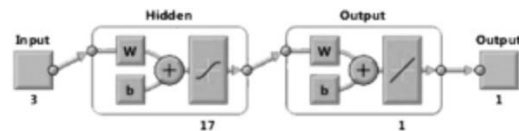


Figure 5. The Designed ANN Model

Performance criteria as RMSE (root mean square of error) is selected and optimized in terms of reflecting the network model of the system. The activation function was assessed by testing performance. (Table 1)

Table 1 Values of The Design ANN Model

The Design ANN Model		
Input Number	3 Neurons	Screen Frequency
		Screening Method
		Standart of half-tone values
Hidden Layer Number	17 Neurons	
Output Layer Number	1 Neuron	Half-tone values
Data Division	Random	
Training Method	Levenberg-Marquardt	
Performance	RMS	
Epochs	67 Iterations	
Regression R	Training	0.99036
	Validation	0.98248
	Test	0.99035
	All	0.98902
Gradient	20.152 at 67 epoch	
Validation checks	6 at 67 epochs	
Mu	0.01 at 67 epoch	
Best Validation Performance	42.1296 at epochs 61	

5. RESULTS AND DISCUSSION

Figure 6 and Table 1 show the model's ability to predict the percentage of screen density values at 175 Lpi plate in flexographics printing. As seen from the results

(Figure 7), ANN can be use for the determination screen density values. From this correlation and statistical test, it is evident that the model was successful in predicting the actual data of percent of screen density. This shows the importance of the artificial neural network to determine the screen density. The estimated of screen density values are obtained using results of ANN application as Figure 5 modelling.

Figures (Figure 7) show estimation of result percentages of training, validation and test regression of the ANN model which is created by using the same polymer structure (DFR), 175 Lpi screen frequency and 10 different screen structures.

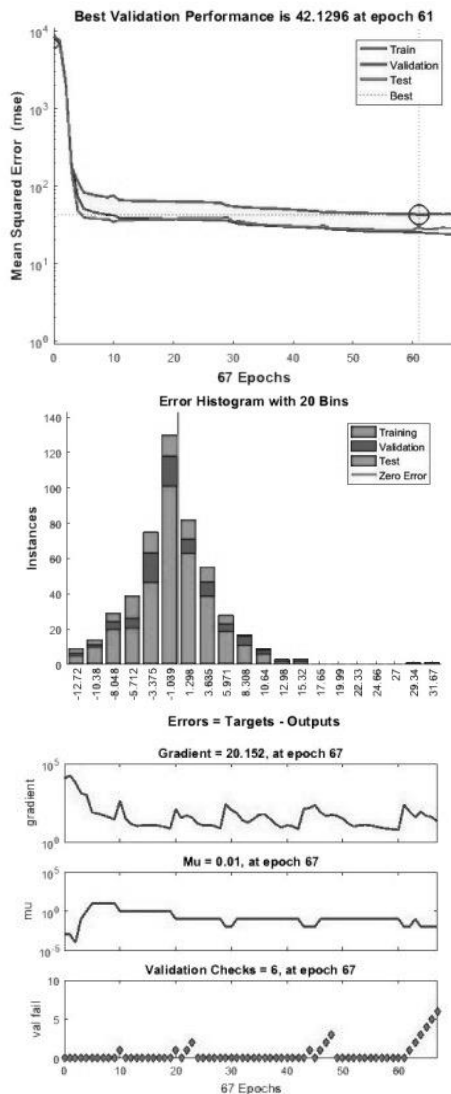


Fig 6. Performance graph obtained using linear activation function.

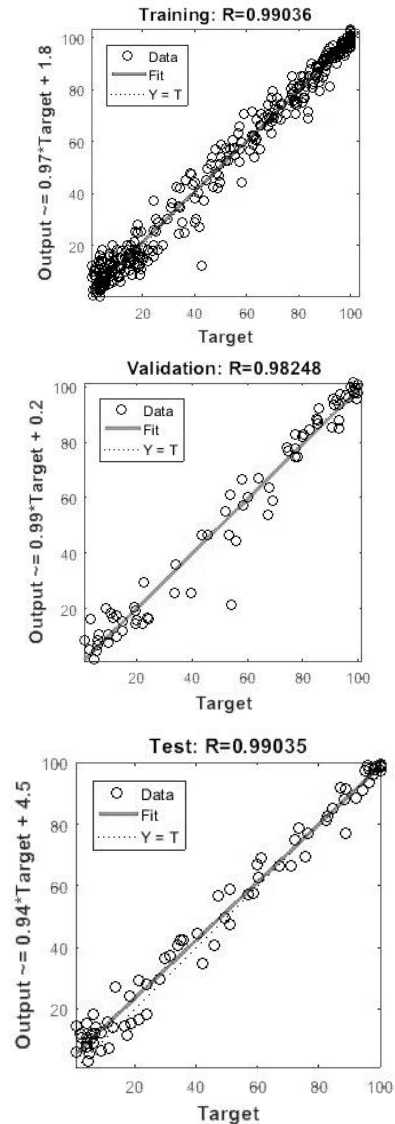


Fig 7. Regression values of ANN model (a) Training, (b) Validation, (c) Testing

6. CONCLUSION

According to satisfying results of ANN model can be use determination screen density values. From this result, it is revealed that the ANN model was successful in predicting the actual data of screen density values.

This ANN implementation in the field of printing was found to be faster compared to classical methods. It is an advantageous method which can be trained with examples and does not require a mathematical model. This study shows that it is also useful in estimation of screen density in particular.

Results from neural network model will allow to improve determination of the screen density values and to understand in a short time the behavior of the predicted analysis.

INDUSTRY PRACTICE

Print shops use conventional screen types when preparing plates without considering any standard rules. They do not use a different screen for each task.

This category is highly under-represented in the literature, also evident by the absence of any such papers in this special issue.

REFERENCES

- [1] Kurt, M.B., "Determination of The Under Press Substances and The Pressing Surface Height of The Plate Used in Flexo Printing System", *PhD Thesis*, Istanbul, TURKEY, (2012).
- [2] Crouch, J.P., "*Flexography Primer*", Graphic Arts Technical Foundation Press, Pittsburgh, PA, (1998).
- [3] Sonmez S., "Development of Printability of Bio-Composite Materials Using Luffa cylindrica Fiber", *BioResources* 12(1): 760–773, (2017).
- [4] Laurent GL., "Prediction of the substrate printing in flexography by using a new established Printing Coefficient", *PhD thesis, Royal Institute of Technology*, Stockholm, Sweden, (2002).
- [5] http://esraprint.ir/wp-content/uploads/2016/06/expert_guide_screening_tech.pdf, (2016).
- [6] <http://www.dupont.com/content/dam/assets/products-and-services/printing-package-printing/PD/NA/PDS-NA0031-EN-Cyrel-DFR-Data-Sheet-i.pdf>, (2016).
- [7] Olsson R., Yang L., Stam, J., and Magnus L., "Effects on ink setting in flexographic printing: coating polarity and dot gain" *Nordic Pulp & Paper Research Journal*, 21(5): 569–574, (2006).
- [8] Ural, E., "The Applied Observation Of The Relationship Between Printing Pressure And The Amount Of Ink Printed And Solid Tone Density In Offset Printing On Coated And Uncoated Papers" *Istanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 9(17): 61–71, (2010)
- [9] Youssef K.T., "The Impact of FM-AM Hybrid Screening and Am Screening on Flexographic Printing Quality", *International Design Journal*, 5(4): 1471–1476, (2015).
- [10] TAPPI T402, "Standard conditioning and testing atmospheres for paper, board, pulp handsheets, and related products", *TAPPI Press*, Atlanta, GA, USA, (2013).
- [11] Farhana K., and Aishwarya P., "Artificial Neural Network: Framework for Fault Tolerance and Future.", *International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques (ICEEOT)*, 648– 651, (2016).
- [12] Ghaedi M., Ansari A., Assefi Nejad P., Ghaedi A., Vafaei A., and Habibi M.H., "Artificial neural network and Bees Algorithm for removal of Eosin B using Cobalt Oxide Nanoparticle-activated carbon: Isotherm and Kinetics study", *Environ. Prog. Sustainable Energy*, 34: 155–168, (2015).
- [13] Ham F.M., and Kostanic I., "Principles of Neurocomputing for Science and Engineering", *McGraw-Hill Higher Education*, (2001).
- [14] Ozel Y., Guney I., and Arca E. "Neural Network Solution to the Cogeneration System by Using Coal", *12th WSEAS International Conference on CIRCUITS*, Heraklion, Greece, 279–283, (2008).
- [15] Lenzi G.G., Evangelista R.F., Duarte E.R., Colpini L.M.S., Fornari A.C., Menechini Neto R., and Jorge L.M.M. & Santos O.A.A., "Photocatalytic degradation of textile reactive dye using artificial neural network modeling approach", *Desalination and Water Treatment*, 57: 14132–14144, (2016).
- [16] Bates I., Zjakic I., and Budimir I., "Assessment of the print quality parameters' impact on the high-quality flexographic print visual experience", *The Imaging Science Journal*, 63(2): 103–110, (2015).
- [17] Cengiz C., and Kose E., "Modelling of color perception of different eye colors using artificial neural networks", *Neural Computing and Applications*, 23(7): 2323–2332, (2013).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>

Assessment of energy performance of buildings constructed in different regions of turkey according to european specification

Farklı bölgelerinde avrupa şartnamelerine göre inşa edilen yapıların enerji performans değerlendirilmesi

Yazar(lar) (Author(s)): Gökhan DURMUŞ¹, Sadık ÖNAL²,

ORCID¹: 0000-0002-8827-7041

ORCID²: 0000-0002-7624-0145

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz(To cite to this article): Durmuş G., ve Önal S. , “Assessment of energy performance of buildings constructed in different regions of turkey according to european specification, *Politeknik Dergisi*, 21(3): 581-586, (2018).

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

DOI: 10.2339/politeknik.450411

Assessment of Energy Performance of Buildings Constructed in Different Regions of Turkey According to European Specification

(II. Uluslararası Sürdürülebilir Yapılar Sempozyumu'nda sunulmuştur / Presented at II. International Sustainable Constructions Symposium)

Araştırma Makalesi / Research Article

Gökhan DURMUŞ*, Sadık ÖNAL²

¹Teknoloji Fakültesi, İnşaat mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi, Türkiye

²Fen bilimleri Enstitüsü, İnşaat mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 18.04.2016 ; Kabul/Accepted : 24.06.2018)

ABSTRACT

In this study, the complex of buildings built in Turkey's eastern and western regions (Kırklareli- Pehlivan köyü, and Gaziantep-Oğuzeli) energy performance levels was investigated according to European specification. To determine these levels were used Building Energy Performance (BEP) program. It is a software that has been in force the protection of the environment and limitation of greenhouse gas emissions regarding primary energy and carbon dioxide (CO₂) emissions of buildings, according to "Energy Performance Regulations at Buildings" of the Ministry of Environment and Urban Plannings since 2010. Building geometry, heating, lighting, ventilation, mechanical and technical values project data is entered into the program. It has been identified what the amount of energy required by the building through the program, daylighting needs for areas where the effectiveness of energy utilization daylight time from light and carbon emissions is. After all, under EU norms, evaluation of energy certification of buildings built in different regions of all energy, fuel costs, climate and regional differences revealed that changes were explained. A result, energy data of Gaziantep reception center which was built in Turkey's southeastern is lower than 8% energy data of Kırklareli reception center which was made in Turkey's region of Thrace. However, when looking at the results obtained carbon emissions, lighting, ventilation and hot water systems has been shown to occur in the near value for the two centers. It has been observed that there are differences in heating and cooling systems.

Keywords: Energy performance of buildings, building energy performance program (bep- tr), quantity of net energy building, energy identity certificate.

1. INTRODUCTION

The unusually rapid growth of the world population will occur inevitably show that the energy expenditure of energy shortages. How to be a more effective use of energy and how to save energy to find answers to the questions scientists have done studies [1]. It is necessary to know essential features such as carbon emission [2, 3], building typology [4, 5], cooling [6, 7], ventilation [8, 9] lighting [10] and heating system [11] in determining the energy performance of buildings. Also the studies in this area; the method of calculating the energy performance of buildings, the levels of intricate and detailed dynamic calculation method of calculating the simple activities of hours studied. When it comes to complex structures, the thermal behavior of the building zones in the zones with the highest values regarding useful internal gains, there could be a problem that the energy performance of buildings on health are examined [12].

Santamouris M., Argiriou A., their studies the characteristics of the building's energy consumption in Southern Europe are analyzed. The energy potential of solar energy for heating and lighting purposes as well as the potential of passive cooling techniques are investigated. The ecological impact of the energy-saving

technologies, as well as the market opportunities of the alternative technologies, are discussed [13].

Ramesha T., Prakasha R., Shuklab K.K.; their studies on the total energy use during the life cycle are desirable to identify phases of most significant energy use and to develop strategies for its reduction. In the present paper, a critical review of the life cycle energy analyses of buildings resulting from 73 cases across 13 countries is presented. Results show that operating (80–90%) and embodied (10–20%) phases of energy use are significant contributors to building's life cycle energy demand. Life cycle energy (primary) requirement of conventional residential buildings falls in the range of 150–400 kWh/m² per year and that of office buildings in the field of 250–550 kWh/m² per year. Building's life cycle energy demand can be reduced by reducing its operating energy significantly through the use of passive and active technologies even if it leads to a slight increase in embodied energy. However, excessive use of passive and active features in a building may be counterproductive. It is observed that low energy buildings perform better than self-sufficient (zero operating energy) buildings in the life cycle context [14].

Eskin N, in the study of electricity use in the commercial buildings, accounts for about one-third of the total energy consumption in Turkey and fully air-conditioned office buildings are crucial commercial electricity end-users

*Sorumlu yazar (Corresponding Author)
e-posta : gdurmus@gazi.edu.tr

since the mid-1990s. In the presented paper, the interactions between different conditions, control strategies and heating/cooling loads in office buildings in the four major climatic zones in Turkey-hot summer and cold winter, mild, hot summer and warm winter, hot and humid summer and warm winter - through building energy simulation program has been evaluated. This verified model was used as a means to examine some energy conservation opportunities on annual cooling, heating and total building load at four major cities which were selected as a representative of the four climatic regions in Turkey. The effect of the parameters like the climatic conditions (location), insulation and thermal mass, a color of external surfaces, shading and window systems including glazing system on annual building energy requirements are examined and the results are presented for each city [15]. Aykal D. etc.; their studies evaluation of renewable energy sources, energy, architecture, building design principles to the use of energy efficiency, as well as the importance of creating sustainable environments are expressed. Therefore, under the leadership of the Metropolitan Municipality of Diyarbakır Dicle University, and a variety of EU Project, in collaboration with non-governmental organizations "Solar House Education and Practice in Diyarbakir Park" was built [16].

Ding G. and Forsythe P. J., their studies in 2010, the Australian residential construction sector contributed about 28% of the value of all construction and was responsible for 8% of the total energy consumption. Residential development will continue to increase to cope with the demand due to population growth. The research findings reveal that the slope for each type of soil has a positive correlation with life cycle energy consumption. As part of the onsite construction process, the results also show that the energy consumption of construction on sloping sites plays a significant factor in the life cycle energy analysis of a building [17].

The European Union (EU) prepared for energy efficiency, the external climate/local conditions, taking into consideration the cost efficiency of indoor climate

requirements, the development of energy performance of buildings, the Energy Performance of Buildings Directive 2002/91/EC in 2002 [18, 19] and it published specifying the obstacles encountered in the direction of improvement of energy efficiency a Green Paper on Energy Efficiency in accordance with the solution of problems in 2005 [20]. In 2006, it prepared indicates the energy efficiency of buildings is vital for the Action Plan for Energy Efficiency [21].

Our country is a country signatory to Kyoto Protocol, make up a significant portion of energy consumption and reduce energy use in buildings, energy performance certification of buildings Energy Performance of Buildings Regulation mandating the Ministry of Environment and Urban Planning (Ministry of Public Works and Settlement) published in 2008. Identification required by this regulation to building energy analysis method to be used in the Building Energy Performance Program (BEP-TR) was completed in 2009. This program is published on 5 December 2008 Energy Performance of Buildings Regulations 1000 m² of new and existing buildings, Energy Performance Certificates to get a great legal mandate. In this context, reception and accommodation centers built by the directives as mentioned earlier and laws were necessary planning [22]. In additional, the Ministry within the framework of the EU harmonization Ankara, Erzurum, Kırklareli, İzmir, Kayseri, Van and Gaziantep will be established in the provinces a total of 7 people capacity 750 to be built in the regions of "For Refugees and Asylum Seekers Reception, Screening and Accommodation System / Centers Facility" was prepared Pairing and Investment Project [23].

EU standards and assisted in Gaziantep and Kırklareli entire 18.000m² buildings were built with an accept field, Reception, Screening and Accommodation Centre A-Block, dormitories, laundry and dining sections of making energy performance reviews are part of a total of 942 m² of construction area evaluated in this study.

At this article, Gaziantep and Kırklareli reception and accommodation centers, have been recognized as an

Table 1. Gaziantep and Kırklareli Reception and Accommodation Centers Basement floors plans and areas

Gaziantep and Kırklareli Reception and Accommodation Centers Independent Sections					
(-2) Basement floor, m ²		(-1) Basement floor, m ²			
1	Power room	50,715	1	Lift 1	5,94
2	Laundry	135,24	2	High security room 1	143,04
3	Food Warehouse	168,245	3	High security room 2	120,33
4	Fire Escape	24,95	4	High security room 3	120,33
5	Lift 1	5,94	5	Stairs	30,555
6	Boiler room	213,65	6	Lift 2	29,61
7	Ware house	153,72	7	Electric room	53,235
8	Stairs	31,03	8	High security room 4	106,47
9	Lift 2	26,62	9	High security room 5	106,47
			10	WC	105,625
			11	Fire Escape	26,195
	Total	942,00 m ²		Total	942,00 m ²

example. These centers housing space names and characteristics of the fields, -2 and -1 for basement floor: Table 1, for the ground, first second and third floors: Table 2, A-block floor plans of Gaziantep and Kırklareli constructions are shown in Figure 1.

2. MATERIAL and METHOD

Gaziantep and Kırklareli Reception and Accommodation Centers floors and walls materials are shown in Table 3.

2.2. Calculation Method For Energy Performance Of Buildings (BEP-TR)

Figure 1. A-block floor plans of Gaziantep and Kırklareli constructions

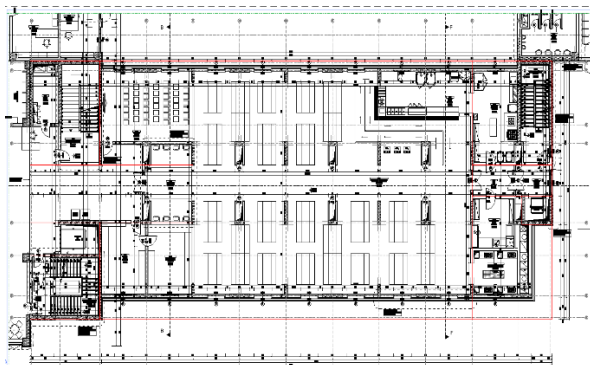
Prepared by the Ministry of Public Works and Settlement (BEP-TR) is a web-based program. This program includes 1000 m² large structures Energy Performance of Buildings Directive. The building enables that annual energy consumption per square meter, CO₂ emissions, the datum of the reference values and comparison with a reference building A-G placed an inter-energy class operations. This program is also using the method of calculation of the energy performance of buildings (BEP-HY), all the parameters that affect energy consumption,

Table 2. Gaziantep and Kırklareli Reception and Accommodation Centers ground, First, Second and Third floor plans and areas

Gaziantep and Kırklareli Reception and Accommodation Centers Independent Sections				
Ground floor, m ²		First, Second and Third, m ²		
1	Lift 1	5,94	1 Lift1	5,94
2	Dish washing area	62,82	2 Single woman room 1	143,04
3	Dining hall	504,00	3 Single woman room 2	120,33
4	Canteen	62,90	4 Single woman room 3	120,33
5	Lift 2	16,065	5 Stairs 1	31,0275
6	Stairs 1	31,0275	6 Lift 2	29,1375
7	Hall1	65,78	7 Hall	94,20
8	Lavatory	67,62	8 Stairs 2	53,235
9	Stairs 2	50,71	9 Single woman room 4	106,47
10	Food Prepared room	33,00	10 Single woman room 5	106,47
11	Fire Escape	24,95	11 Single woman room 6	105,625
12	Hall 2	17,28	Fire Escape	26,195
Total		942,00 m ²	Total	942,00 m ²

Table 3. Gaziantep and Kırklareli reception and accommodation centers a-block floor and wall construction elements

Gaziantep and Kırklareli Reception and Accommodation Centers Floors and Walls Materials			
Wall Materials	Thickness	Floor Materials	Thickness
1 Interior plaster and plastic paint	0,01 cm	1 PVC Floor covering	0,02 cm
2 Agregate concrete brick wall	19 cm	2 Mortar	0,02 cm
3 Plane plaster	0,02 cm	3 Levelling concrete	0,02 cm
4 XPS Adhesive plaster	0,01 cm	4 Reinforced concrete	10 cm
5 XPS Heat Insulation Sheet	0,02 cm	5 Gypsum panel and Metal suspended ceiling	0,03 cm
6 Press Brick adhesive	0,01 cm		
7 Brick elevation claddind	0,03 cm		



the impact of energy efficiency and energy performance

operations. This program is also using the method of calculation of the energy performance of buildings (BEP-HY), all the parameters that affect energy consumption, the impact of energy efficiency and energy performance of buildings is used to determine the class. BEP-TR and BEP-HY programs enable that residences, office buildings, educational buildings, health buildings, hotels,

Table 4. Gaziantep reception center a block data for the identification of energy.

Data / Results	Final Consumption (kWh/year)	Consumption per m ²	Class
Heating Systems	7.160.304,80	1.727,44	C
Hot water Systems	14.789.471,60	3.567,99	C
Cooling Systems	1.147.638,89	276,87	C
Ventilation Systems	18.019,99	4,35	D
Lighting Systems	163.072,91	39,34	B
Greenhouse Gas Emis. (CO ₂)	---	493,91	C
Total	23.278.508,19	5.615,99	C

Table 5. Kırklareli reception center a block data for the identification of energy. (Kırklareli kabul merkezi enerji belirlenmesi için veriler)

Data / Results	Final Consumption (kWh/yıl)	Consumption per m ²	Class
Heating Systems	9.448.804,00	2.279,54	C
Hot water Systems	14.789.471,60	3.567,99	C
Cooling Systems	847.566,37	204,48	A
Ventilation Systems	17.963,43	4,33	D
Lighting Systems	163.153,34	39,36	B
Greenhouse Gas Emis. (CO ₂)		1.198,66	C
Total	25.266.964,74	6.095,71	C



Figure 2. Gaziantep and Kırklareli reception and accommodation centers A-block

of buildings is used to determine the class. BEP-TR and BEP-HY programs enable that residences, office buildings, educational buildings, health buildings, hotels, shopping and commercial centers as well as an assessment of the energy performance of new buildings and existing building typologies [22].

Prepared by the Ministry of Public Works and Settlement (BEP-TR) is a web-based program. This program includes 1000 m² large structures Energy Performance of Buildings Directive. The building enables that annual energy consumption per square meter, CO₂ emissions, the datum of the reference values and comparison with a reference building A-G placed an inter-energy class

shopping and commercial centers as well as an assessment of the energy performance of new buildings and existing building typologies [22].

3. EXPERIMENTAL RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Building Energy Performance Program (BEP-TR) Results

At this article, entering the data of the Project to BEP-TR (Building Energy Performance) Program was explained that the building needs for heating and cooling of buildings in the net amount of energy, not benefit from daylight saving time, daylight lighting energy demand and consumption is not effective for the calculation of areas and carbon emissions of the building. These results have been interpreted in terms of sustainability.

Firstly, for Gaziantep and Kırklareli reception centers, all of the geometric and mechanical data has been entered to BEP-TR program which information belonging to the building (architectural, structural, mechanical, heating, ventilation, and lighting data) as defined in the program. Resulting in heating, cooling, ventilation and lighting systems in addition to greenhouse gas emissions were calculated. All results have been compared in terms of regional for Gaziantep and Kırklareli reception centers. These values have been shown in Table 4.

According to Table 4, Heating Systems: C, Hot Water: C, Cooling: C, Ventilation Systems: D, Lighting: B and

greenhouse gas emissions: C were found. These values can be considered as the average value of building energy class, which is C-Class was found. However, the ventilation system for the evaluation of building energy basis, the D-Class is not an available result.

Kırklareli reception center a block data for the identification of energy three zones values have been shown in Table 5.

According to Table 5, heating systems: C, Hot Water: C, Cooling: A, Ventilation Systems: D, Lighting: B and greenhouse gas emissions: C were found. These values can be considered as the average value of building energy class, which C-Class was found.

However, the ventilation system for the evaluation of building energy basis, the D-Class is not an available result. For Ankara reception center a block three zones energy performance was calculated and this building energy identification class C.

4. CONCLUSION

For Gaziantep and Kırklareli Reception, Screening and Accommodation Centers are listed by building energy performance (BEP) the energy obtained from the analysis and classification of data and study results below.

- When Gaziantep and Kırklareli reception centers investigated energy performances in terms of regional, especially we could see that cooling and ventilation systems were different results.
- Both Gaziantep and Kırklareli reception centers of A-blocks of the energy performance assessment had been identified that is energy for the class "Class C". This result which is C Class, that is understood that the building classification of energy is acceptable for in the evaluation of the EU Energy Performance Certificate standard.
- Determining the identification of energy had been observed that to be important to the region and the location of the building. But for the program of BEP-TR, the location of building data could not be entered into the program exactly as and the project is simulated geometric shapes in the system whereby gets results. These results have been hesitations what can be a positive or negative contribution.
- Also, entered in the system as separate blocks of the center was prevented that the come out of a common energy for the center. Therefore specific areas of the center (Refuge Dormitory, Block Management, Health Unit, etc.) energy analysis was carried out. It is considered to be more convenient to have.
- It was observed that some of the building materials used in the construction of the building were not the same at BEP-TR program, so the similar products were used at BEP-TR. This may have influenced the results evaluated.

Also, this informations could be used for determining the energy certification for the program taking into account the lack of observed in the simulation program.

ACKNOWLEDGEMENT

Thank you for 2nd international sustainable buildings symposium editors and symposium secretaries performed between 28-30 may 2015

REFERENCES

- [1] Doukas H, Nychtis C, Psarras J. "Assessing energy-saving measures in buildings through an intelligent decision support model", *Building and Environment*, 44: 290-298, (2009).
- [2] Bordass B, Cohen R, Standeven M, Leaman A. "Assessing building performance in use 3: energy performance of the Probe buildings", *Building Research & Information*, 29: 114-12, (2001).
- [3] Wang S, Yan C, Xiao F. Quantitative energy performance assessment methods for existing buildings, *Energy and Buildings*, 55: 873-888, (2012).
- [4] Dascalaki EG, Droutsas KG, Balaras CA, Kontoyiannidis S. "Building typologies as a tool for assessing the energy performance of residential buildings – A case study for the Hellenic building stock", *Energy and Buildings*, 43: 3400-3409, (2011).
- [5] Menezes AC, Cripps A, Bouchlaghem D, Buswell R. "Predicted vs. actual energy performance of non-domestic buildings: Using post-occupancy evaluation data to reduce the performance gap", *Applied Energy*, 97: 355-364. (2012).
- [6] Deng S-M, Burnett J. "A study of energy performance of hotel buildings in Hong Kong", *Energy and Buildings*, 31: 7-12, (2000).
- [7] Tsikaloudaki K, Theodosiou T, Laskos K, Bikas D. "Assessing cooling energy performance of windows for residential buildings in the Mediterranean zone", *Energy Conversion and Management*, 64: 335-343, (2012).
- [8] Olesen BW. "The philosophy behind EN15251: Indoor environmental criteria for design and calculation of energy performance of buildings", *Energy and Buildings*, 39: 740-749, (2007).
- [9] Poel B, van Cruchten G, Balaras CA., "Energy performance assessment of existing dwellings", *Energy and Buildings*, 39: 393-403, (2007).
- [10] Ingrao C, Lo Giudice A, Bacenetti J, Tricase C, Dotelli G, Fiala M, et al. "Energy and environmental assessment of industrial hemp for building applications: A review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51: 29-42, (2015)
- [11] Pfafferott J, Herkel S, Wambganß M. "Design, monitoring and evaluation of a low energy office building with passive cooling by night ventilation", *Energy and Buildings*, 36: 455-465, (2004).
- [12] Atmaca M. KE, Yılmaz Z. A., "Building Energy Performance Calculation Method (BEP-TR) and Hotel Performance Evaluation of Buildings". *X National Installation Engineering Congress*, 811-826, (2011).

- [13] Santamouris M, Argiriou A., “Renewable energies and energy conservation technologies for buildings in southern Europe”, *International Journal of Solar Energy*, 15: 69-79, (1994).
- [14] Ramesh T, Prakash R, Shukla K. “Life cycle energy analysis of buildings: An overview”, *Energy and Buildings*, 42: 1592-600, (2010).
- [15] Eskin N. “Annual Energy Needs Analysis of Non-Residential Buildings”. İTÜ, İstanbul, 1-6, (2011).
- [16] Aykal D, Gümüş B, Özbudak Y., “Scope of Application of Renewable and Efficient Energy Use in Buildings Sustainability”, *V Symposium on Renewable Energy Sources*, Diyarbakır, 78-84, (2009).
- [17] Ding G, Forsythe PJ. “Sustainable construction: life cycle energy analysis of construction on sloping sites for residential buildings”, *Construction Management and Economics*, 31: 254-265, (2013).
- [18] European Commission, EC of the European Parliament and of the Council. Directive 2002/91 EC-Official Journal L 001. Brussels, (2002).
- [19] European Commission, European Commission Directorate general for energy and transport. European Energy and Transport Trends to 2030. Brussels, (2003).
- [20] <http://www.sisecamduzcam.com/sites/catalogs/tr/Documents/gunes-kolektor-camlari-dokumanlari/gunes-enerjisi-camlari-brosuru.pdf>
- [21] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32002L0091>. Access date: 04.06.2018.
- [22] Ministry of Environment and Urbanization, “Building Energy Performance Calculation Method Utility User's Guide”. Ankara, 1-64.
- [23] Turkish National Police. Department of Foreigners Borders and Asylum. Project The Information Note and Project Treatment. Ankara, (2010).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>

Effect of melting temperature on wettability of Sn-Ag-Cu alloys on Cu Substrate

Ergime sıcaklığının Cu altlık üzerinde Sn-Ag-Cu alaşımlarının ıslatabilirliğine etkisi

Yazar(lar) (Author(s)): Ahmet Mustafa ERER

ORCID: 0000-0003-4358-4010

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz(To cite to this article): Erer A.M., “Effect of melting temperature on wettability of Sn-Ag-Cu alloys on Cu substrate”, *Politeknik Dergisi*, 21(3): 587-589, (2018).

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

DOI: 10.2339/politeknik.399077

Effect of Melting Temperature on Wettability of Sn-Ag-Cu Alloys on Cu Substrate

Araştırma Makalesi / Research Article

Ahmet Mustafa ERER*

Science Faculty, Physics Department, Karabük University, Turkey

(Geliş/Received : 26.04.2017 ; Kabul/Accepted : 29.05.2017)

ABSTRACT

In this study, effect of melting temperatures of Sn-3Ag (SAC300), Sn-3Ag-0.5Cu (SAC305) and Sn-0.3Ag-0.7Cu (SAC0307) ternary Pb-free solder alloys on wettability were investigated. The sessile drop technique was used in order to evaluate the contact angles of Pb-free solder alloys on Cu substrate at predetermined temperatures (250, 280 and 310 °C). The melting temperatures of alloys were examined by differential scanning calorimeter (DSC) that SAC305 Pb-free alloy has lower than those of SAC300 and SAC0307 alloys. The best wettability was found for SAC305 and this was followed by SAC300 and SAC0307. The lowest value of contact angle for SAC305 was 41.90° at 310 °C on Cu substrate.

Keywords: Contact angle, melting temperature, wettability.

Ergime Sıcaklığının Cu Altık Üzerinde Sn-Ag-Cu Alaşımlarının Islatabilirliğine Etkisi

ÖZ

Bu çalışmada, Sn-3Ag (SAC300), Sn-3Ag-0.5Cu (SAC305) and Sn-0.3Ag-0.7Cu (SAC0307) dörtlü kurşunsuz lehim alaşımlarının ergime sıcaklıklarının ıslatabilirliğine etkisi araştırılmıştır. Önceden belirlenmiş sıcaklıklarda (250, 280 and 310 °C) Cu altık üzerinde kurşunsuz lehim alaşımlarının temas açılarını belirlemek için Sessile damla tekniği kullanılmıştır. Alaşımların ergime sıcaklıkları diferansiyel tarama kalorimetresi ile incelendi. Buna göre SAC305 kurşunsuz lehim alaşımının ergime sıcaklığı, diğer SAC300 ve SAC0307 alaşımlarınınkinden daha düşüktür. SAC305 alaşımının en iyi ıslatabilirliğe sahip olduğu bulunmuştur ve bunu sırasıyla SAC300 ve SAC0307 alaşımları takip etmektedir. En küçük açı değeri, SAC305 için Cu altık üzerinde ve 310°C 'de 41.90° 'dir.

Anahtar Kelimeler: Temas açısı, ergime sıcaklığı, ıslatabilirlik

1. INTRODUCTION

For the last 20 years, the restriction of lead in industrial fields has been strongly supported because of the environmental protection on trial chamber of air, water and soil [1]. This tendency was reinforced in Europe by the RoHS and WEEE directives [2]. That's why, instead of Sn-Pb lead solder alloys utilized by the electronic industry as a solder material, required works are spent in development of alternative alloys. In susceptible studies, since melting temperature was reported at a point close to the eutectic Sn-Pb alloy (198°C) and they have low-cost, SAC300, SAC305 and SAC0307 Pb-free solder alloys were taken into consideration [3].

A Pb-free solder alloy drop spreads to enlarge on the Cu substrate and comes to rest making an angle.

Under equilibrium conditions this angle is called contact angle which is decided by the surface and interfacial tensions. It is usually accepted that the smaller the contact angle, the better the wettability [5]. In order to get perfect wettability of Pb-free solder alloys as substitutes for Sn-Pb solder alloys, Sn-Ag-Cu alloy systems have been studied in the previous work [6-9]. However, effect of melting temperature on contact angle must also be

studied. The aim of this study is to investigate and to compare the wettability of SAC300, SAC305 and SAC0307 alloys which is effected by melting temperature on Cu substrate in Ar atmosphere

The solderability is directly related to the wettability of two surfaces being joined. The efficiency of manufacturing and reliability of electronic devices depend upon the quality of solderability thus wettability [4].

Wettability generally involves the measurement of contact angles as the primary data, which specifies the degree of wetting when a solid and liquid interact. Thus, the measurement of the contact angle gives an estimate on wetting behaviour. To determine the wettability of a solid metal substrate by molten solder alloy, Young's equation is conventionally used:

$$\cos \theta = \gamma_{SV} - \gamma_{SL} / \gamma_{LV}$$

2. MATERIALS AND METHOD

In this work, SAC300, SAC305 and SAC0307 Pb-free solder alloys and oxygen-free Cu were chosen as the soldering materials and the substrate, respectively. The

chemical compositions of the studied Pb-free solder alloys are listed in Table-1.

Casio-Pro EX-F1, 600 FPS Model camera employed to capture views of drops at the 5th, 10th, 15th, 30th, 60th, 90th, 120th and 150th seconds and these

analysis were carried out while specimens in maximum 30 mg weight and at 40-300 °C temperature range (5 min.) [10]

Table 1. Chemical composition of Pb-free solder alloys (wt. %)

Pb-free alloys	Ag	Cu	Sb	Bi	Pb	As	Sn
SAC300	3,05	0,05	0,12	0,1	0,1	0,03	Rest
SAC305	2,98	0,52	0,1	0,1	0,1	0,03	Rest
SAC0307	0,35	0,73	0,05	0,05	0,1	0,01	Rest

At present, in determination of wetting properties of SAC300, SAC305 and SAC0307 ternary lead free solder alloys, 99.85% pure electrolytic copper substrate were used. the wetting tests made by the Sessile drop technique. By means of this technique, SAC300, SAC305 and SAC0307 ternary lead free solder alloys were dropped on copper substrate at various temperatures of 250, 280 and 310°C. Images were transferred into Corel Draw X-5 Software to measure contact angles of each drop from the right and left profiles. Because of these processes repeated for each temperature, mean angle values were calculated and new diagrams were drawn through the Sigma Plot 12.0 Software. To determine melting temperatures of alloys, the DSC

3. RESULTS AND DISCUSSIONS

Fig. 1 shows the relationship between the contact angle and the temperature and the time. For SAC300, SAC305 and SAC0307 Pb-free solder alloys, the contact angle has not decrease suddenly with temperature but changes with time. A sharp decrease in the contact angle was observed for the Pb-free solder alloys at each temperature for approximately the first 30 s. The values of contact angle exhibit the degree of wettability [11].

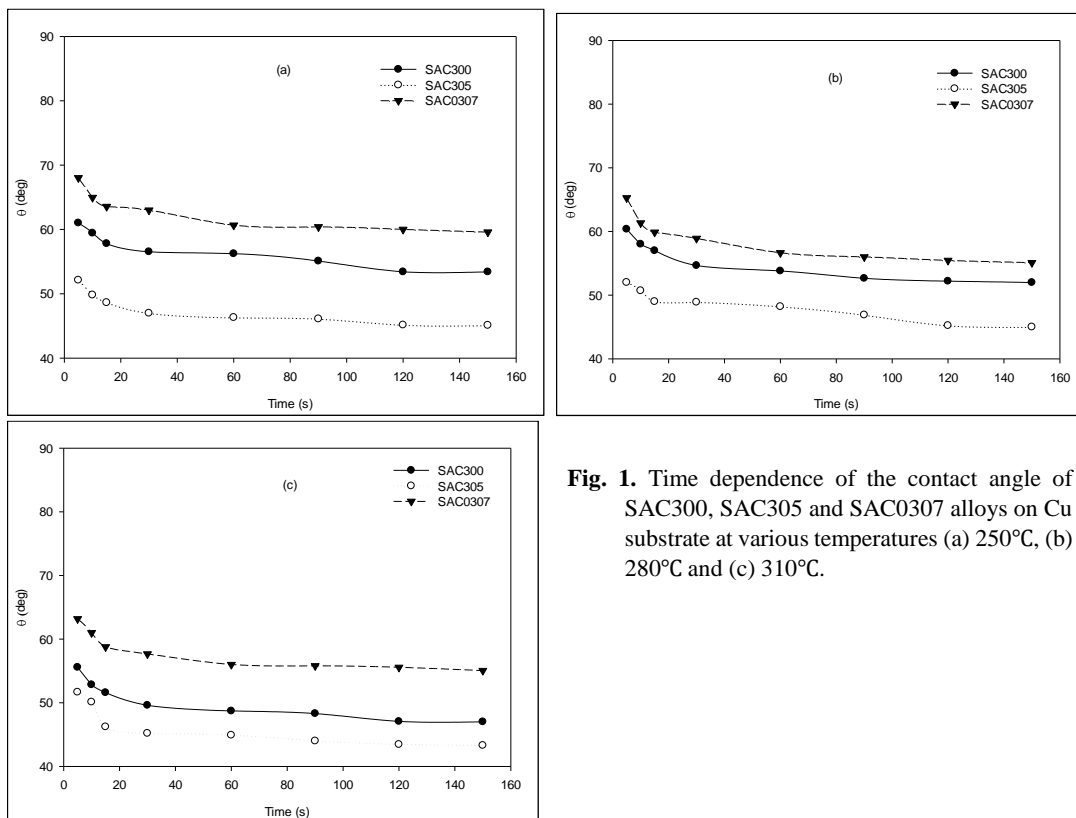


Fig. 1. Time dependence of the contact angle of SAC300, SAC305 and SAC0307 alloys on Cu substrate at various temperatures (a) 250°C, (b) 280°C and (c) 310°C.

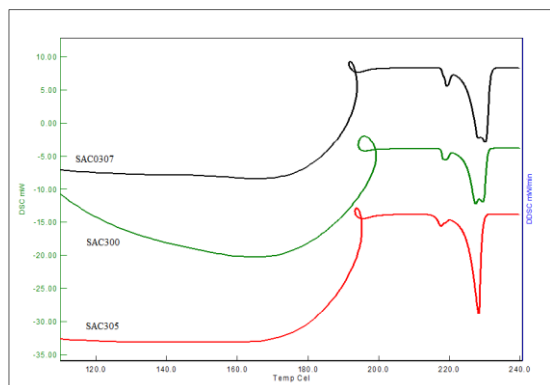


Fig. 2. DSC analysis results of SAC300, SAC305 and SAC0307 alloys.

According to DSC analysis results, the melting temperature of SAC305 is lower than those of SAC300 and SAC0307. That is, It has lowest melting temperature, 217.8 °C [8, 9, 11, 12]. Thus, the wettability of SAC305 Pb-free solder alloy is better than those of SAC300 and SAC0307 Pb-free solder alloys.

4. CONCLUSION

In summary, effect of melting temperature on contact angle of SAC300, SAC305 and SAC0307 Pb-free solder alloys on wettability were investigated by the sessile drop method in Ar atmosphere. The experimental results showed that equilibrium contact angles (θ) proportionally decreased with increasing temperature. The lowest θ and melting temperature was obtained as 41,90° and 217.8 °C respectively for SAC305 Pb-free solder alloy.

REFERENCES

- [1] Çağlarırnak, N., Hepçimen, A. Z., "Effect of Heavy Metal Soil Pollution on Food Chain and Human Health", *Akademik Gıda*, 8(2): 31-35 (2010).
- [2] Das, S.K., Sharif, A., Chan, Y.C., Wong, N.B., Yung, W.K.C., "Influence of small amount of Al and Cu on the microstructure, microhardness and tensile properties of Sn-9Zn binary eutectic solder alloy", *J. Alloys Comp.*, 481(1-2): 167-172 (2009).
- [3] Yang M., Ji H., Wang S., Ko Y.H., Lee C. W., Wu J., Li M. "Effects of Ag content on the interfacial reactions between liquid Sn-Ag-Cu solders and Cu substrates during soldering" *Journal of Alloys and Compounds*, 679:18-25, (2016).
- [4] Duong, N. B., Ariga, T., Hussain, L. B. and Ismail, A. B., "Wettability of lead-free solders on gold-plated copper substrates", *Materials Transactions*, 49(6): 1462-1466 (2008).
- [5] Yoon, S. W., Choi, W. K. and Lee, H. M., "Interfacial reaction between Sn-1Bi-5In-9Zn solder and Cu substrate", *Scripta Materialia*, 40(3): 297-302 (1999).
- [6] Yuan, Y., Lee, T. R., "Contact Angle and Wetting Properties", *Surface Science Techniques*, Springer Series in Surface Sciences, 51: 3-34 (2013).
- [7] Kumar, G., Prabhu, K. N., "Review of non-reactive and reactive wetting of liquids on surfaces", *Advances in Colloid and Interface Science*, 133(2): 61-89 (2007).
- [8] Zhang, X., Yuan, Z., Zhao, H., Zang, L. and Li, J., "Wetting behavior and interfacial characteristic of Sn-Ag-Cu solder alloy on Cu substrate" *Chinese Science Bulletin*, 55(9): 797-801 (2010).
- [9] Zhang, X., Matsuura, H., Tsukihashi, F. and Yuan, Z., "Effect of Addition of Small Amount of Zinc on Microstructural Evolution and Thermal Shock Behavior in Low-Ag SnAgCu Solder Joints during Thermal Cycling", *Material Transactions*, 53(5): 926-931 (2012).
- [10] Omac, F., Ozyurek, D. and Eker, M., "Investigation of the Wetting Properties of Ternary Lead-Free Solder Alloys on Copper Substrate", *Acta Physica Polonica- A*, 131(1):165-167 (2017).
- [11] Eker, A. M., Candan, E., Güven, M. H., Turen, Y., "Measurement and prediction of contact angles of Pb-free SnAg solder alloys on Cu substrate", *Eur. Phys. J. Appl. Phys.*, 54(1), 1-4, (2011).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>

ÇRE-FKÇ yönteminin sabit noktalı işaret işleyicilerle giriş gerilimi dengesizliği olan sistemlerde kullanımı için adaptasyonu

Adaptation of MRF-PLL method to be utilized with fixed point digital signal processors under unbalanced input voltage conditions

Yazar(lar) (Author(s)): Mustafa Cem ÖZKILIÇ¹, Atiye Hülya OBDAN²

ORCID¹: 0000-0001-9369-984X

ORCID²: 0000-0002-6578-0293

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Özkılıç M. C., Obdan A. H, “ÇRE-FKÇ yönteminin sabit noktalı işaret işleyicilerle giriş gerilimi dengesizliği olan sistemlerde kullanımı için adaptasyonu”, *Politeknik Dergisi*, 21(3): 591-596, (2018).

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

DOI: 10.2339/politeknik.389598

ÇRE-FKÇ Yönteminin Sabit Noktalı İşaret İşleyicilerle Giriş Gerilimi Dengesizliği Olan Sistemlerde Kullanımı için Adaptasyonu

Araştırma Makalesi / Research Article

Mustafa Cem ÖZKILIÇ*, Atiye Hülya OBDAN

¹Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, Yıldız Teknik Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 08.05.2017 ; Kabul/Accepted : 01.12.2017)

ÖZ

Elektrik enerjisi elde etmek için nükleer ve fosil türü yakıtların kullanımının doğaya verdiği zararlar göz önüne alınarak, son yıllarda yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı tercih edilmeye başlanmış ve çalışmalar hız kazanmıştır. Şebeke bağlantılı çevirici kullanılan yenilenebilir enerji sistemlerinde temel gerilimin frekans ve genliğinin hızlı bir şekilde takip edilmesi ve bağlantı yapılacak sistemin, şebeke hattında yaşanacak bozukluklara rağmen, şebekeye adaptasyonunun gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu tip adaptasyon için kapalı çevrim algılama yöntemleri kullanılarak değişken frekans ve genlik bilgisi elde edilir. Elde edilen bu bilgi ile sistemin güç faktörü, şebekeye aktarılan aktif veya reaktif güç kontrolü sağlanabilir. En sık kullanılan frekans adaptasyon yöntemi, faz kilitlemeli çevrim (FKÇ) yöntemidir. Bu çalışmada senkron referans eksen (SRE) ile çoklu referans eksen (ÇRE) faz kilitlemeli çevrim (FKÇ) yöntemleri incelenmiş ve SRE-FKÇ ile ÇRE-FKÇ'nin sabit noktalı işaret işleyiciler/mikrokontrolörler ile kullanımına yönelik Matlab- Simulink benzetim karşılaştırmaları yapılmıştır

Anahtar Kelimeler: Faz kilitlemeli çevrim (FKÇ), senkron referans eksen (SRE), çoklu referans eksen (ÇRE), şebeke bağlantılı sistem, üç fazlı dengesiz sistem.

Adaptation of MRF-PLL Method to be Utilized with Fixed Point Digital Signal Processors Under Unbalanced Input Voltage Conditions

ABSTRACT

Considering the pollution created by the fossil and nuclear type fuels during electrical energy production, utilization of renewable energy has been preferred and studies have accelerated in recent years. In grid connected renewable energy systems, the amplitude and the frequency of the fundamental voltage have to be tracked quickly and the system connected to the grid, even under grid disturbances, has to be adapted to the grid quickly. For this kind of adaptation, closed loop detection methods are used in order to gather the frequency and the amplitude information. By having this information, it would be possible to control the power factor, active and reactive power flow of the system. The most frequent used adaptation method is phased locked loop (PLL) method. In this study, Synchronous Reference Frame (SRF) and Multiple Reference Frame (MRF) Phased Locked Loop (PLL) methods have been investigated and applications of SRF-PLL along with MRF-PLL with fixed point digital signal processors/microcontrollers by utilizing Matlab-Simulink simulation comparisons have been done.

Keywords: Phase locked loop (PLL), synchronous reference frame (SRF), multiple reference frame (MRF), grid connected system, three phase unbalanced system

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Elektrik enerjisi elde etmek için nükleer ve fosil türü yakıtların kullanımının doğaya verdiği zararlar göz önüne alınarak, son yıllarda yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı tercih edilmeye başlanmış ve çalışmalar hız kazanmıştır. Yenilenebilir enerji kaynağı denildiğinde ilk akla gelen türler güneş enerjisi ve rüzgar enerjisidir. Bu kaynaklardan elde edilen enerji ya DC gerilim olarak akü gibi depolama elemanlarında saklanır ya da AC gerilime çevrilerek şebekeye aktarılır.

Yenilenebilir enerji sistemlerinde enerjinin şebekeye aktarılması, tek fazlı ya da üç fazlı çeviricilerle sağlanmaktadır [1-3].

Yenilenebilir enerji sistemlerine olan talebin artması nedeniyle şebekeye yapılan bağlantıların şebeke kodları ile uyumlu olması gerekmektedir. Özellikle, yüksek güçlü şebeke bağlantılarında şebekenin kararlı bir şekilde çalışmasının ve oluşan hatanın yayılarak başka hatalara dönüşmesinin engellenmesinin garanti edilmesi gerekmektedir. Bu sebeple temel gerilimin frekans ve genliğinin hızlı bir şekilde takip edilmesi ve bağlantı yapılacak sistemin, şebeke hattında yaşanacak

* Corresponding Author
e-posta : mcozkilic@gmail.com

bozukluklara rağmen, şebekeye adaptasyonunun gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Daha da ileri gidilerek asimetrik gerilim çökme ve dalgalanmalarında, temel bileşenin pozitif ve negatif sıralarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu tip adaptasyon için kapalı çevrim algılama yöntemleri kullanılarak değişken frekans ve genlik bilgisi elde edilir. En sık kullanılan frekans adaptasyon yöntemi, FKÇ (faz kilitlemeli çevrim) yöntemidir [1-2], [4-7].

Şebeke bağlantılı çeviricilerin, üretilmiş olan enerjii şebekeye aktarması sırasında gerilim algılaması için faz kilitlemeli çevrim kullanılmaktadır. FKÇ kullanımı ile temel gerilimin fazı ve genliği eşzamanlı olarak belirlenmekte ve dolayısıyla şebekeye verilebilecek aktif ve reaktif temel gücün kontrolü sağlanmaktadır. Reaktif güç bileşenin kontrolü ile şebeke de oluşan salınımların bastırılması ve harmoniklerin filtrelendirilmesi sağlanabilmektedir. Örneğin, şebeke frekans seviyesinde çalışma ile şebekede ihtiyaç duyulan reaktif güç kompanzasyonu sağlanması mümkün olabilir [2].

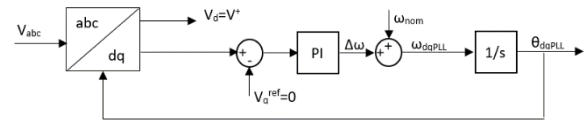
2. FAZ KİLİTLEMELİ ÇEVİRİM (FKÇ) YÖNTEMLERİ (PHASE LOCKED LOOP (PLL) METHODS)

Gerilim kontrollü osilatörlerin kullanıldığı donanım bazlı FKÇ tekniklerinin yanı sıra, yazılım bazlı senkron referans eksen FKÇ (SRE-FKÇ) yöntemleri de sıkça kullanılmaktadır. Şebeke kodları ile uyumlu olacak şekilde, SRE-FKÇ üzerine kurulmuş değişik tipte FKÇ teknikleri geliştirilmiştir. Bu metotlar, basit olarak, temel gerilimin pozitif ve negatif sıralarının çıkartılması için faz algılama sırasında ön filtreleme kullanımı ve genişletilmiş döngü filtresi kullanımına göre sınıflandırılmaktadırlar. İlk gruba giren FKÇ yöntemleri: dekuple senkron referans eksen FKÇ (DSRF-FKÇ), çoklu referans eksen FKÇ (ÇRE-FKÇ), pozitif sekans filtreli FKÇ (PSF-FKÇ), sinüzoidal sinyal entegrasyonlu FKÇ (SSI-FKÇ), geliştirilmiş karmaşık katsayı filtreli FKÇ (ECCF-FKÇ), geciktirilmiş işaret elemeli FKÇ (DSC-FKÇ) ve çift ikinci derece genelleştirilmiş entegrasyon FKÇ (DSOGI-FKÇ) şeklindedir [8-21].

İkinci gruba giren FKÇ yöntemleri ise, adapte edilmiş çentik filtreli FKÇ (ANF-FKÇ), adapte edilmemiş çentik filtreli FKÇ (NNF-FKÇ) ve ikinci derece kompanzasyonlu FKÇ (SOLC-FKÇ)'dir [7-22].

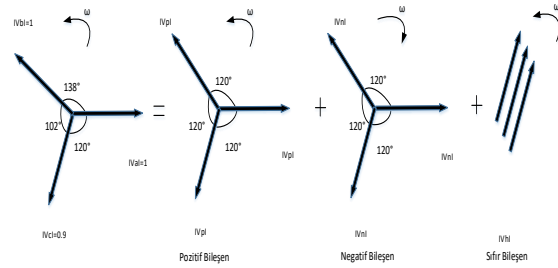
2.1. Senkron Referans Eksenli Faz Kilitlemeli Çevrim (SRE-FKÇ) (Senkron Reference Frame Phase Locked Loop (SRF-PLL))

Basit yapılı Senkron Referans Eksenli Faz Kilitlemeli Çevrim (SRE-FKÇ) için blok diyagramı Şekil 1'de gösterilmektedir. SRE- FKÇ yöntemi, dengeli şebeke yapıları için temel gerilimin frekans ve genliğini düzgün bir şekilde sağlamaktadır ancak dengesiz ve gürültülü bir şebeke yapısı için elde edilecek sonuçlar güvenilir olmamaktadır. Bunun nedeni ise dengesizlik yapan bileşenler ortadan kaldırılmadan faz ve frekans bilgisinin elde edilmeye çalışılmasıdır [8].



Şekil 1. SRE-FKÇ blok diyagramı (SRF-PLL block diagram)

Şekil 2' de üç fazlı dengesiz bir sistemdeki temel gerilim /akım ifadesinin bileşenlerine ayrılması görülmektedir.



Şekil 2. Üç fazlı dengesiz bir sistemdeki temel gerilim /akım ifadesinin bileşenlerine ayrılması (Fundamental components of voltage /current in a three phase unbalanced system)

Fortescue Teoremine göre, N elemanlı dengesiz fazörlerden oluşan bir küme, dengeli N adet simetrik fazör kümelerinin toplamı şeklinde ifade edilebilir. Bu teoreme göre Şekil 2' de görüldüğü gibi V_{abc} , pozitif ($\vec{V}_p = [V_{ap} \ V_{bp} \ V_{cp}]^T$), negatif ($\vec{V}_n = [V_{an} \ V_{bn} \ V_{cn}]^T$) ve sıfır (ya da aynı fazlı) ($\vec{V}_h = [V_{ah} \ V_{bh} \ V_{ch}]^T$) bileşenlere ayrılmaktadır. Pozitif bileşen normal döner eksen yönünde dönen bileşenleri, negatif bileşen zıt yönde dönen bileşenleri ve sıfır bileşenler ise faz bileşenleri arasında dönmeyen fakat yalnızca titreşen bileşenleri oluşturmaktadır. Pozitif bileşenler dışındaki diğer bileşenler fazlardaki dengesizliğin dolayısıyla da asimetrik hataların göstergesidir. Bu dengesizlik bileşenleri kullanılarak jeneratörlerdeki, trafolarındaki, rüzgar enerji sistemlerinin şebeke bağlantılarındaki ve iletim hatlarındaki hatalar algılanmaktadır. [4-7]

$|V_p|$, \vec{V}_p vektörünün genliği olduğundan yola çıkarak \vec{V}_{abc} aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\vec{V}_{abc} = \vec{V}_p + \vec{V}_n + \vec{V}_h \quad (1)$$

θ_{1p} , \vec{V}_p vektörünün anlık faz açısı, θ_{1p} ise faz açısının ilk değeridir. Benzer şekilde $|V_n|$, \vec{V}_n vektörünün genliği, θ_{1n} anlık faz açısıdır. Senkronizasyondaki amaç \vec{V}_p 'nin faz ve frekansını takip etmek ve θ_{1p} değerini bulmaktır. Bunun için \vec{V}_n , \vec{V}_h ve diğer harmoniklerin etkilerinin elenmesi gerekmektedir.

$$\vec{V}_{abc} = \begin{bmatrix} |V_p| \cos(\theta_p) \\ |V_p| \cos(\theta_p - 2\pi/3) \\ |V_p| \cos(\theta_p + 2\pi/3) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} |V_n| \cos(\theta_n) \\ |V_n| \cos(\theta_n + 2\pi/3) \\ |V_n| \cos(\theta_n - 2\pi/3) \end{bmatrix} + \vec{V}_h + f_{abc}(3\omega_1, 5\omega_1, \dots) \quad (2)$$

$$\theta_{1p} = \int \omega_1 dt + \theta_{1p_0} = \theta_1 + \theta_{1p_0} \quad (3)$$

$$\theta_{1n} = \int \omega_1 dt + \theta_{1n_0} = \theta_1 + \theta_{1n_0} \quad (4)$$

\vec{V}_{abc} 'nin bir an için \vec{V}_p ve \vec{V}_n vektörlerinden oluştuğunu varsayarak Clarke dönüşümü ve sonrasında da hem pozitif hem de negatif yönde θ_r açısı ile d/q dönüşümleri uygulanarak, $\theta_{1p_0} = \theta_{1n_0} = 0$ alındığında aşağıdaki ifadeler bulunur.

$$\vec{V}_{dq}^+ = |V_p| \begin{bmatrix} \cos(\theta_1 - \theta_r) \\ \sin(\theta_1 - \theta_r) \end{bmatrix} + |V_n| \begin{bmatrix} \cos(-\theta_1 - \theta_r) \\ \sin(-\theta_1 - \theta_r) \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\vec{V}_{dq}^- = |V_p| \begin{bmatrix} \cos(\theta_1 + \theta_r) \\ \sin(\theta_1 + \theta_r) \end{bmatrix} + |V_n| \begin{bmatrix} \cos(-\theta_1 + \theta_r) \\ \sin(-\theta_1 + \theta_r) \end{bmatrix} \quad (6)$$

$\theta_r \cong \theta_1$ olması durumunda,

$$\vec{V}_{dq}^+ = |V_p| \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} + |V_n| \begin{bmatrix} \cos(-2\theta_1) \\ \sin(-2\theta_1) \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$\vec{V}_{dq}^- = |V_p| \begin{bmatrix} \cos(2\theta_1) \\ \sin(2\theta_1) \end{bmatrix} + |V_n| \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (8)$$

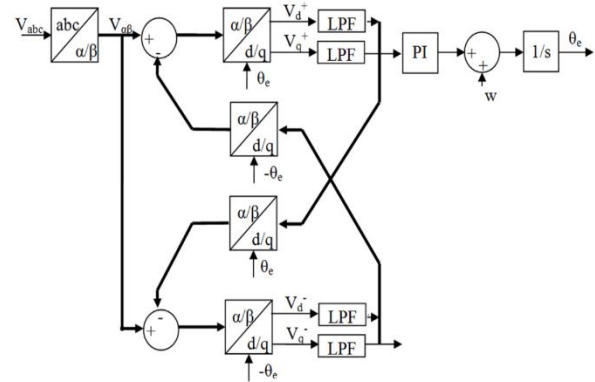
Denklemlerden de görüleceği üzere d/q dönüşümü alınmış negatif bileşen ve pozitif bileşen vektörleri sabit değerli bileşenlere ek olarak, eksenler ve vektörler arasındaki kuplaj dolayısıyla $2\theta_1 = 2\omega_1 t$ frekanslı salınım yapan bileşenleri de içermektedir. Bu kuplajı ortadan kaldırmak için alt geçiren filtre kullanımı mümkün olmakla birlikte sistem dinamiğini arttırmak için kuplajı ortadan kaldıracak bir ara yüz kullanılması gerekmektedir [8-13].

2.2. Çoklu Referans Eksen Faz Kilitlemeli Çevrim (ÇRE-FKÇ) (Multiple Reference Frame Phase Locked Loop (MRF-PLL))

SRE-FKÇ kullanımı ile dengeli şebeke gerilimi durumu söz konusu olduğunda faz kilitlenme başarıyla gerçekleşebilmektedir fakat dengesizlik oluştuğunda faz kilitlemeli çevrim çıkışında oluşan salınım dolayısıyla sistemin çalışmasında bozukluklar oluşabilmektedir [8].

Çoklu Referans Eksen Faz Kilitlemeli Çevrim (ÇRE-FKÇ) uygulamasında, pozitif ya da negatif yönde dönüşe bağlı olarak negatif ve pozitif bileşenlerden bağımsız hale gelebilmek için alt geçiren filtreler ve d/q ters dönüşüm matrisleri kullanılarak α/β eksenlerinde etkiler azaltılarak d/q dönüşümleri yapılmaktadır. Şekil 3'de

çoklu referans eksen FKÇ devre yapısının blok diagramı görülmektedir.



Şekil 3. Çoklu referans eksen FKÇ blok diyagramı (Block diagram of multiple reference frame PLL)

Çoklu referans eksen FKÇ kullanımı ile dengesiz gerilim girişi sebebiyle oluşan faz açısındaki salınımın üstesinden gelinemez fakat düşük maliyetli evirici tasarımlarına kolay adaptasyon mümkün olmamaktadır. Burada kullanılan alt geçiren filtre yapıları sayısal işaret işleyiciler kullanıldığı durumda FIR (sonlu girdili cevap) veya IIR (sonsuz girdili cevap) filtrelerle gerçekleştirilebilir. Bu tip filtrelerin gerçekleştirilmesi için yüksek hızlı ve kayan noktalı işaret işleyicilerin tercih edilmesi yaygın olarak görülmektedir. Kayan noktalı işaret işleyiciler hesaplama yoğunluğu yüksek ve geliştirme süreci görece olarak daha kısa ve az maliyetli uygulamalar için etkin olmaktadır. Sabit noktalı işaret işleyiciler/mikrokontrolörler ise hesaplama sürecinin uzunluğu ve sistem davranışının kontrol altına alınmasındaki zorluklar dolayısıyla geliştirme süreci uzun genel uygulamalar için tercih edilmektedir. Son ürün maliyeti açısından incelendiğinde ise, sabit noktalı işaret işleyicili/mikrokontrolörlü sistemler kayan noktalı sistemlere göre avantaj getirmektedir.

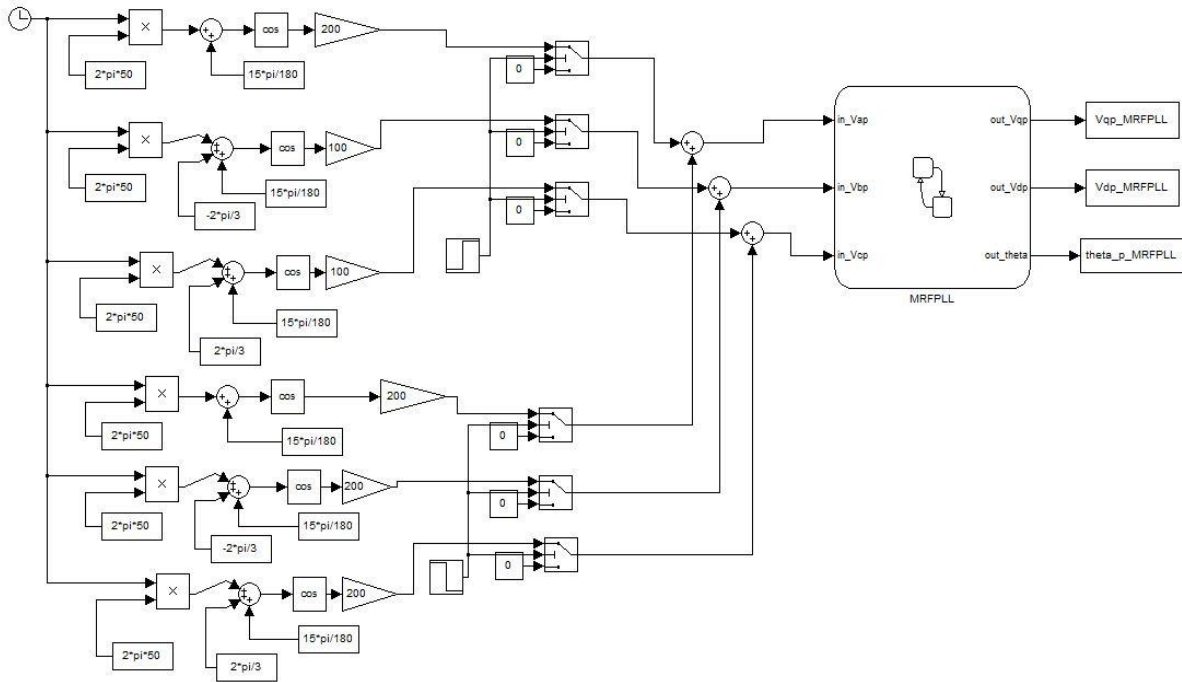
Bu avantaj dikkate alınarak, çoklu referans eksen FKÇ devresinin, sabit noktalı işaret işleyici/mikrokontrolör ile FIR ya da IIR tipi filtre gerektirmeden basit RC filtre yaklaşımı ile gerçekleştirilmesi hedeflenmiş ve bu amaçla benzetimi yapılacak sistemin sabit noktalı hesaplamaya uygun hale getirilmesi için sistemin gerçek sayılar yerine tam sayılar kullanılması için bir algoritma geliştirilip adaptasyonu sağlanmıştır. Bu tip bir algoritmada, kayan noktalı aritmetik kullanımı mümkündür ancak sistem maliyetine yük getirecek sayısal işaret işleyici yerine düşük sistem maliyet avantajı sağlayacak sabit noktalı işaret işleyici/ mikrokontrolör kullanımının önünü açabilecektir. Örneğin, 16 bit veri hattı ve 20MHz saat hızı olan mikrokontrolör tabanlı şebeke bağlantılı çevirici tasarımı mümkün hale gelebilecektir.

2.3. Senkron Referans Eksen Faz Kilitlemeli Çevrim (SRE-FKÇ) (Synchronous Reference Frame Phase Locked Loop (SRF-PLL))

SRE-FKÇ (Şekil-1) ve ÇRE-FKÇ (Şekil-3) blok diyagramları karşılaştırıldığında, ÇRE-FKÇ diğer yonteme göre ek olarak dört adet alt geçiren filtre bloğu, bir adet α/β -d/q ve iki adet d/q- α/β dönüşüm bloğu içermektedir. SRE-FKÇ'nin gerçek sayılar yerine tam sayılar kullanarak adaptasyonu ek bloklar çıkartılarak sağlanmıştır.

3. SRE-FKÇ VE ÇRE-FKÇ YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI (COMPARISON BETWEEN SRF-PLL AND MRF-PLL METHODS)

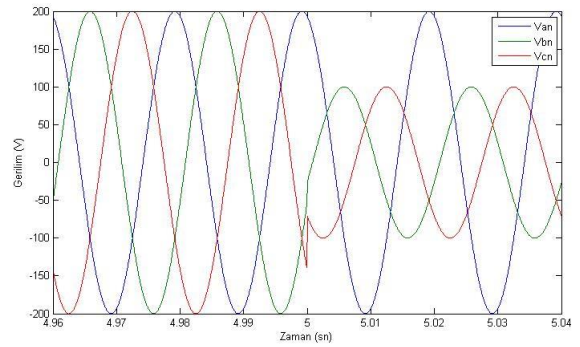
Giriş gerilimindeki dengesizliğin giderilmesi amacıyla, senkron referans eksenli (SRE) ve çoklu referans eksenli (ÇRE) iki farklı faz çevrim kilitleme algoritmasının karşılaştırması yapılarak, en uygun yöntem belirlenmeye çalışılmıştır. Şekil 4' de benzetim devresinin şeması görülmektedir. Sistemin örnekleme frekansı 20kHz olarak seçilmiştir. Bu frekans, IGBT yapılı şebeke bağlı eviriciler için yeterince yüksek olup, sabit noktalı işaret işleyici ile gerçekleştirilecek düşük maliyetli şebeke bağlı evirici için referans alınabilir.



Şekil 4. SRE-FKÇ ve ÇRE-FKÇ yöntemlerinin karşılaştırılması için tasarlanan benzetim devresi (Simulation circuit used for comparison of SRF-PLL and MRF-PLL)

Senkron referans eksen (Şekil 1) ve çoklu referans eksen (Şekil 3) FKÇ karşılaştırması uygulanan giriş geriliminde dengesizlik dikkate alınarak yapılmıştır.

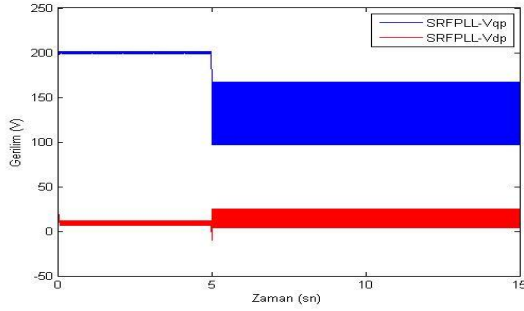
Şekil 5'de giriş geriliminde, 5. saniyede B ve C fazlarında dengesizlik oluştuğu görülmektedir.



Şekil 5. FKÇ devresinin girişine uygulanan faz gerilimleri (Phase voltages applied at the input of the PLL circuit)

Giriş gerilimindeki dengesizliğin giderilmesi amacıyla, senkron referans eksenli (SRE) ve çoklu referans eksenli (ÇRE) iki farklı faz çevrim kilitleme algoritmasının karşılaştırması yapılarak, en uygun yöntem belirlenmeye çalışılmıştır. Şekil 4' de benzetim devresinin şeması görülmektedir. Sistemin örnekleme frekansı 20kHz olarak seçilmiştir. Bu frekans, IGBT yapılı şebeke bağlı eviriciler için yeterince yüksek olup, sabit noktalı işaret

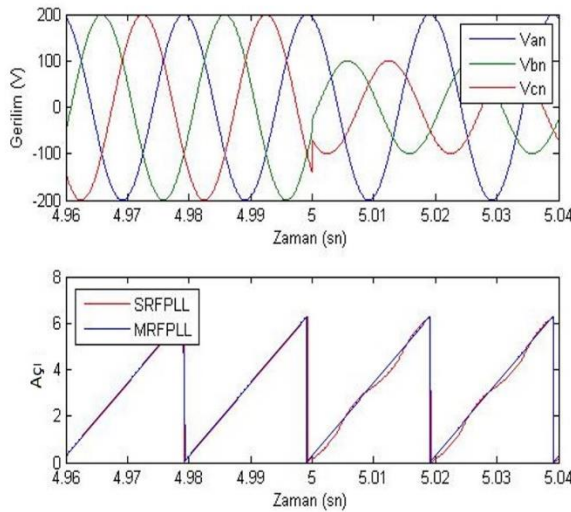
işleyici ile gerçekleştirilecek düşük maliyetli şebeke bağlı evirici için referans alınabilir.



Şekil 6. SRE-FKÇ için pozitif V_{dq} bileşenleri (V_{dq} components of SRF-PLL)

SRE-FKÇ ile, fazlardaki dengesizlik durumunda, V_d ve V_q döner eksen gerilimlerinin negatif bileşenleri dolayısıyla, V_d ve V_q döner eksen gerilimlerinin pozitif bileşenlerinde Şekil 6' da görüldüğü gibi salınım meydana gelmiştir. Bu nedenle faz açısına kilitleme sağlıklı bir şekilde sağlanamamıştır. Faz açısı üstünde salınım varlığı gözlemlenmektedir.

ÇRE-FKÇ devresi, fazlardaki dengesizlik durumunda, alt geçiren filtre ve ayrıklaştırma devresi, hem pozitif bileşeni hem de negatif bileşeni ayırarak çıkışta temel frekansın 2 katı frekanslı bileşenleri bastırmıştır. Pozitif bileşenin, negatif bileşenden bağımsız hale gelmesinden dolayı, Şekil 7' de görüldüğü gibi geçici rejim sonrası salınım oluşmadan faz kilitlemesi gerçekleşmiştir.



Şekil 8. Giriş faz bileşenlerindeki dengesizlik ve buna karşılık gelen SRE-FKÇ ile ÇRE-FKÇ faz açıları (Unbalanced voltage input and corresponding phase angles of SRF-PLL and MRF-PLL)

Şekil 8'de SRE-FKÇ ve ÇRE-FKÇ faz açılarındaki değişim fazlarda dengesizlik olduğu anda gösterilmektedir.

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Çoklu referans eksen FKÇ devresinin, basit sabit noktalı işaret işleyici/mikrokontrolör için uygun yalnızca tam sayılar kullanılarak, RC filtreli yapı temel alınarak

adaptasyonu sağlanmıştır. 20kHz örnekleme frekansı seçilerek, aynı zamanda IGBT yapılı şebekeye bağlı eviriciler için de kullanılabilir, FKÇ benzetimi yapılmış ve bu benzetim sırasında dengesiz şebeke gerilimi giriş olarak uygulandığı durumda bile sistemin kararlı olarak faz kilitlemeyi başarı ile gerçekleştirdiği görülmüştür. Karşılaştırma amacıyla, aynı dengesiz şebeke gerilimi girişi için SRE-FKÇ benzetimi yapılmış ve ÇRE-FKÇ ile elde edilen faz bilgisinin üstünlüğü belirgin olarak ortaya konulmuştur. Benzetimi yapılan sistemin sabit noktalı hesaplamaya uygun hale getirilmesi amacıyla, gerçek sayılar yerine tam sayılar kullanılması için bir algoritma geliştirilip adaptasyonu sağlanmıştır. Bu algoritma ile sistem maliyetine yük getirecek sayısal işaret işleyici yerine düşük fiyat avantajı sağlayacak sabit noktalı işaret işleyici/ mikrokontrolör kullanımının önünü açabilecektir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Kim Y., Kim K., Kwon B., Choi C., "A fast and robust PLL of MCFC PCS under unbalanced grid voltages", *IEEE Power Electronics Specialists Conference*, Rodos, Greece, 4712 – 4716, (2008).
- [2] Lyons J.P., Vlatkovic V., "Power electronics and alternative energy generation" *IEEE Power Electronics Specialists Conference*, Aachen, Germany, 16 – 21, (2004).
- [3] Kaura V., Blasko V., "Operation of a phase locked loop system under distorted utility conditions" *IEEE Transactions on Industry Application*, 33(1): 58 – 63, (1997).
- [4] Chung I., Moon S., "A New Islanding Detection Method using Phase-Locked Loop for Inverter-Interfaced Distributed Generators", *Journal of Electrical Engineering and Technology*, 2(2): 165 – 171, (2007).
- [5] Sim J., Kim K., Son R., Oh J., "Ride-through of PMSG Wind Power System Under the Distorted and Unbalanced Grid Voltage Dips", *Journal of Electrical Engineering and Technology*, 7(6): 898- 904, (2012).
- [6] Lee W., Sung K., Lee T., "Fast Detection Algorithm for Voltage Sags and Swells Based on Delta Square Operation for a Single-Phase Inverter System", *Journal of Electrical Engineering and Technology*, 11(1): 157-176, (2016).
- [7] Hoffmann N., Lohde R., Fischer M., Fuchs F.W., Asiminoaci L., Thogersen P.B., "A review on fundamental grid-voltage detection methods under highly distorted conditions in distributed power-generation networks", *IEEE Energy Conversion Congress and Exposition*, Phoenix, USA, 3045 – 3052, (2011).
- [8] Golestan S., Monfared M., Freijedo FD., "Design-Oriented Study of Advanced Synchronous Reference Frame Phase-Locked Loops", *IEEE Transactions on Power Electronics*, 28(2): 765 – 778, (2013).
- [9] Zhang S., Chen J., Zhou W., "A Method for Electrical Network Voltage Compensation without PLL Based on Coordinate Transformation" *International Conference on Electrical Machines and Systems*, Wuhan, China, 2150 – 2153, (2008).

- [10] Hadjidemetriou L., Kyriakides E., Blaabjerg F., “A New Hybrid PLL for Interconnecting Renewable Energy Systems to the Grid” *IEEE Transactions on Industry Application*, 49(6): 2709 – 2719, (2013).
- [11] Xiong F., Yue W., Ming L., Ke W., Wnjun L., “A Novel PLL for Grid Synchronization of Power Electronic Converters in Unbalanced and Variable-Frequency Environment” *International Symposium on Power Electronics for Distributed Generation Systems*, Hefei, China, 466 – 471, (2010).
- [12] Rodriguez P., Pou J., Bergas J., Candela J.I., Burgos R.P., Boroyevich D., “Decoupled Double Synchronous Reference Frame PLL for Power Converters Control”, *IEEE Transactions on Power Electronics*, 22(2): 584 – 592, (2007).
- [13] Limongi L.R., Bojoi R., Pica C., Profum F., Tenconi A., “Analysis and Comparison of Phase Locked Loop Techniques for Grid Utility Applications”, *Power Conversion Conference*, Nagoya, Japan, 674 – 681, (2007).
- [14] Freijedo F.D., Doval-Gandoy J., Lopez O., Acha E., “A Generic Open Loop Algorithm for Three Phase Grid Voltage/Current Synchronization With Particular Reference to Phase, Frequency, and Amplitude Estimation”, *IEEE Transactions on Power Electronics*, 24(1): 94 – 107, (2009).
- [15] Gonzales O.L., Buja G., “Novel PLL Scheme for Grid Connection of Three-Phase Power converters”, *IEEE International Symposium on Diagnostics for Electric Machines, Power Electronics & Drives*, Bologna, Italy, 372 – 377, (2011).
- [16] Ghoshal A., John V., “Performance evaluation of three phase SRF-PLL and MAF-SRF-PLL”, *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 23: 1781 – 1804, (2015).
- [17] Ramezani M., Golestan S., Shuhui L., Guerrero J.M., “A Simple Approach to Enhance the Performance of Complex-Coefficient Filter-Based PLL in Grid Connected Applications” *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 99: 1-6, (2017).
- [18] Guo X, Wu W, Chen Z. “Multiple-Complex Coefficient-Filter-Based Phased Locked Loop and Synchronization Technique for Three-Phase Grid-Interfaced Converters in Distributed Utility Networks”, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 58(4): 1194 – 1204, (2011).
- [19] Rashed M., Klumpner C., Asher G., “Dynamic Phasor Analysis and Design of Phase Locked Loops for Single Phase Grid Connected Converters”, *Compel*, 34(4): 1122-1143, (2015).
- [20] Rodriguez P., Teodorescu R., Candela I., Timbus A.V., Liserre M., Blaabjerg F., “New Positive-sequence Voltage Detector for Grid Synchronization of Power Converters under Faulty Grid Conditions”, *IEEE Power Electronics Specialists Conference*, Jeju, South Korea, 1 – 7, (2006).
- [21] Chaoui H., Okoye O., Khayamy M., “Grid Synchronization Phase-Locked Loop Strategy for Unbalance and Harmonic Distortion Conditions”, *Journal of Control, Automation and Electrical Systems*, 27(4): 463–471, (2016).
- [22] Khazraj H., da Silva F.F., Bak C.L., Golestan S., “Analysis and Design of notch filter-based PLLs for Grid-Connected Applications”, *Electric Power Systems Research*, 147: 62-69, (2017).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>

S235JR ile S355JR yapı çeliklerinin özlü tel elektrotla MAG kaynak yöntemiyle birleştirilebilirliğinin araştırılması

An investigation of joinability of S235JR and S355JR construction steel by MAG welding method with cored wire electrode

Yazar (Author): Yakup KAYA

ORCID: 0000-0002-9951-2844

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Kaya Y., “S235JR ile S355JR yapı çeliklerinin özlü tel elektrotla mag kaynak yöntemiyle birleştirilebilirliğinin araştırılması”, *Politeknik Dergisi*, 21(3): 597-602, (2018).

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

DOI: 10.2339/politeknik.375183

S235JR ile S355JR Yapı Çeliklerinin Özlü Tel Elektrotla MAG Kaynak Yöntemiyle Birleştirilebilirliğinin Araştırılması

Araştırma Makalesi / Research Article

Yakup KAYA

Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, Karabük Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 09.05.2017 ; Kabul/Accepted : 01.06.2017)

ÖZ

Bu çalışmada, 3 mm kalınlığında S235JR ile S355JR yapı çelikleri, özlü tel kullanılarak MAG kaynak yöntemi ile birleştirilmiştir. Bu çeliklerin kaynak işlemleri kendi aralarında (S235JR-S235JR, S355JR-S355JR) ve birbirleri ile (S235JR-S355JR) olmak üzere, 3 farklı kombinasyonda gerçekleştirilmiştir. Kaynak işlemleri gerçekleştirilen numunelerin mekanik ve mikroyapı özellikleri incelenmiştir. Kaynaklı numunelere uygulanan çekme testleri sonucunda kopma, S235JR-S235JR ve S355JR-S355JR birleştirmelerde ana malzemelerde, S235JR-S355JR numunelerinde ise birleştirmelerin S235JR ana malzeme tarafında gerçekleşmiştir. 180° iki yönlü eğme testlerinde, birleştirilmiş numunelerin tümünde kaynak bölgesinde gözle görülebilir herhangi bir çatlama veya ayrılma gözlenmemiştir. Mikrosertlik testleri sonucunda, bütün kombinasyonlarda en yüksek sertlik değeri kaynak metalinden ölçülürken, onu ITAB ve ana malzeme takip etmiştir. Mikroyapı incelemelerinde ise, numunelerin tümünde ana malzemeden kaynak metaline doğru gidildikçe tane irileşmesi meydana geldiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: MAG kaynağı, S235JR, S355JR, mekanik özellikler, mikroyapı.

An Investigation of Joinability of S235JR and S355JR Construction Steel by MAG Welding Method with Cored Wire Electrode

ABSTRACT

In this study, S235JR and S355JR construction steel plates with 3 mm thickness both were joined using cored wire electrode type filler metal by MAG welding method. Joined materials between themselves (S235JR-S235JR, S355JR-S355JR) and different (S235JR-S355JR) were carried out in three different combinations including. Welding operations of these steels was carried out in 3 different combinations with each other (S235JR-S235JR, S355JR-S355JR) and with each other (S235JR-S355JR). The mechanical and microstructure properties of the welded samples were investigated. As a result of tensile tests, fracture occurred on main materials for S235JR-S235JR and S355JR-S355JR joints and occurred on S235JR side for S235JR-S355JR joints. No crack or separation was observed in all joined samples during 180° bending tests in both directions. As a result of the microhardness tests, it was measured from the highest hardness weld metal in all joining combinations, followed by ITAB and main material. In the microstructure studies, it was determined that the whole of the samples came to the grain growth from the main material to the welding metal.

Keywords: MAG welding, S235JR, S355JR, mechanical properties, microstructure

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Yapı çelikleri 1980 ve 1990'lı yıllarda çelik yapılar kompozit kiriş ve döşemelerinin imalatında etkili bir şekilde kullanımı ile birlikte Batı Avrupa ülkelerinde ve özellikle İngiltere'de daha çok kullanılan bir malzeme haline gelmiştir. Ülkemizde henüz yeterli derecede kullanılmayan yapı çelikleri özellikle 1999 Marmara depremi sonrasında inşaat sektöründe adından sıkça söz edilen bir yapı malzemesi olmuştur [1]. Yapı çelikleri genel olarak; endüstriyel binalar, köprü ve demiryolları, denizde yapılan dalgakıranlar, gemi yapımı, şehirlerarası elektrik kabloları taşıyan direkler, petrol ve offshore gaz

platformlar, çok amaçlı sosyal tesisler, ticari yapılar, binaya yük bindirmeyen çatı katları gibi alanlarda kullanılmaktadır [2].

Günümüz endüstrisinde kullanılan malzeme çeşitlerinin artması farklı özellikler gerektiren yerlerde farklı metal bağlantılarının gerekliliği ve özellikle son yıllarda ekonomik faktörlerin giderek önem kazanması farklı özelliklere sahip malzemelerin birbirleriyle birleştirilmesi zorunluluğunu doğurmaktadır [3]. Böylece farklı metallerin kaynakla birleştirilmesi ile o malzemelerin belirli özelliklerinden birlikte yararlanılmaktadır [4]. Bunun için de kullanılan çok çeşitli kaynak yöntemleri mevcuttur. Bu kaynak yöntemlerinden biri de MIG-MAG kaynak yöntemidir [5].

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

MIG-MAG kaynak yöntemi birçok avantajlarından dolayı, endüstride yaygın olarak kullanılan kaynak yöntemidir [6]. Sanayisi gelişmiş ülkelerde günümüzün en çok kullanılan yarı otomatik kaynak yöntemi olan MAG kaynak yöntemi kullanımı ülkemizde hızlı bir şekilde artmaktadır [7]. Son yıllarda ülkemizde gazaltı kaynak metodunda kullanılmaya başlanan özlü tellerin, yüksek ergime hızları, her pozisyonda kaynak edilebilme gibi bazı avantajları nedeniyle birçok alanda kullanılmaya başlanmıştır [8]. MAG kaynağına uygun özlü teller, daha iyi bir dikiş görünümü, iyi tokluk değerleri ve birleştirme hatalarının oluşma eğiliminin daha düşük olması nedeniyle endüstrinin birçok kolunda kullanılmaktadır. Zor pozisyonlardaki kaynakta sağladığı ekonomik avantajlardan dolayı gemi yapımında ve çelik yapılarda kullanımı gittikçe artmaktadır [9,10].

Bu çalışmada, S235JR ve S355JR yapı çelikleri 3 farklı kombinasyonda özlü tel kullanılarak MAG kaynak yöntemi ile birleştirilmiştir. Birleştirme işlemleri sonrasında kaynaklı numunelerin mikroyapı ve mekanik özellikleri incelenmiştir.

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

Kaynak işlemlerinde kullanılan yapı çelikleri (S235JR ve S355JR) ve rutil özlü ilave metalin kimyasal bileşimi (% ağırlık olarak) Çizelge 1’de verilmiştir.

300x75x3 mm ebatlarında S235JR ve S355JR çelik levhalar, aralarında 1 mm boşluk kalacak şekilde hazırlanarak 100 mm aralıklarla puntalanmış ve Çizelge 2’de verilen kaynak parametreleri kullanılarak birleştirilmiştir. Çalışmalarda tam bir nüfuziyet için standart seramik altlık kullanılmıştır. Ayrıca, çarpılma ve distorsiyonu önlemek için kalıp hazırlanmış ve kaynaklı birleştirme esnasında sabitlenmiştir. Şekil 1’de kaynak işlemine hazırlanmış ve puntalanmış parçalar görülmektedir.

Kaynak işlemleri Expressweld MasterMIG 501W gazaltı kaynak makinesi kullanılarak manuel olarak gerçekleştirilmiş olup kaynak esnasında koruyucu gaz olarak CO₂ gazı kullanılmıştır. Kaynak işleminden sonra numuneler açık havada soğumaya bırakılmıştır.



Şekil 1. Kaynak işlemlerinde kullanılan kalıp (The fixture in the welding process).

Kaynaklı numunelerin mekanik özelliklerini belirlemek için çekme testi, eğme testi ve mikrosertlik ölçümleri gerçekleştirilmiş ve ayrıca mikroyapı çalışmaları yapılmıştır. Çekme numuneleri hem ana malzemelerden hem de kaynaklı numunelerden olmak üzere TS EN ISO 4136:2012 standardına göre 3’er adet hazırlanmış ve Autograph-Shimadzu AG-IS tipi cihaz ile 2 mm/dk ilerleme hızında çekilmiştir. Eğme numuneleri TS EN ISO 5173:2010 standartına göre hazırlanmış ve eğilmiştir. Mikrosertlik ölçümleri TS EN ISO 9015-1:2011 standardına göre, Shimadzu HMV marka cihaz ile HV cinsinden ölçülmüştür. Sertlik ölçümlerinde 500 g yük uygulanmıştır. Mikroyapı incelemeleri için hazırlanan numuneler parlatma işleminden sonra, % 2’lik nital (2 ml HNO₃ ve 98 ml etil alkol) ile dağlanmış. Dağlama işleminden sonra numuneler, NIKON Epiphot 200 model optik mikroskop ile incelenmiştir.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

3.1. Çekme Testi (Tensile test)

Şekil 2’de S235JR ve S355JR yapı çeliklerinin 3 farklı kombinasyonda (S235JR-S235JR, S235JR-S355JR ve S355JR-S355JR) özlü tel elektrod kullanılarak MAG kaynak yöntemiyle birleştirilmiş bağlantılarına ait çekme eğrileri verilmiştir. Şekildeki eğriler her bir bağlantıdan gerçekleştirilen 3 çekme test sonucunun ortalaması alınarak elde edilmiştir. Ayrıca şekil üzerinde ana

Çizelge 1. Ana malzemeler ile ilave metalin kimyasal bileşimi (ağırlıkça %) (Chemical compositions of base materials and filler metal) (wt. %).

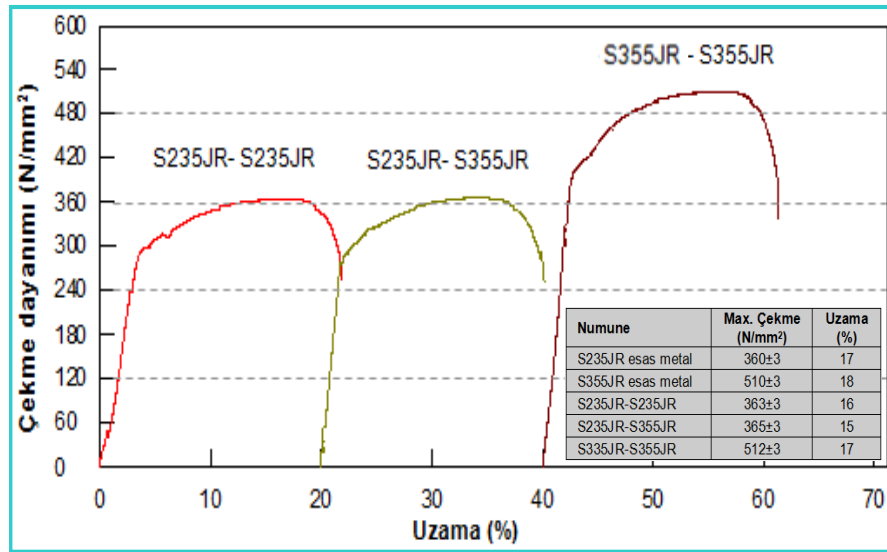
Alaşım Elementi (%)	C	Mn	P	S	N	Cu	Si	Fe
S235JR	0,170	1,40	0,035	0,035	0,012	0,550	-	Kalan
S355JR	0,24	1,60	0,035	0,035	0,012	0,550	-	Kalan
ELCOR R71 (ilave tel)	0,06	1,30	0,015	0,015	-	-	0,50	Kalan

Çizelge 2. Birleştirme işlemlerinde kullanılan kaynak parametreleri (The welding parameters used in the joining process).

Tel ilerleme hızı (cm/dk)	Kaynak gerilimi (V)	Kaynak hızı (mm/dk)	Koruyucu gaz	Gaz basıncı (lt/dk)	İlave metal çapı (mm)	Akım türü
850	21.8	≈430	CO ₂	12	1.2	DC

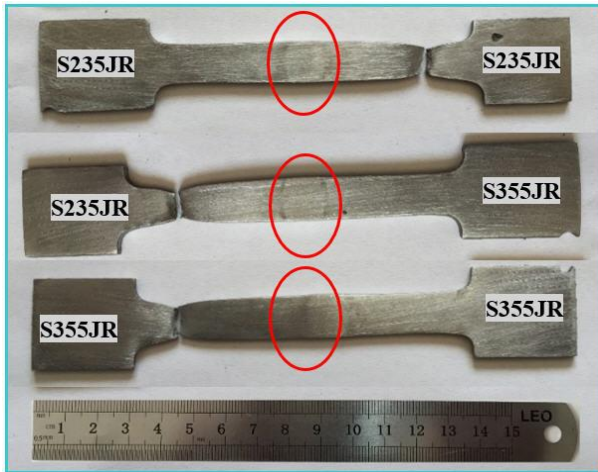
malzemeler ve kaynaklı bağlantılardan elde edilen çekme ve % uzama değerleri sayısal olarak verilmiştir.

çekme dayanımı (512 N/mm²) S355JR-S355JR yapı çeliği bağlantısından elde edilmiştir. S235JR-S235JR ve



Şekil 2. Çekme test sonuçları (Tensile test results).

Çekme testi sonrasında, kaynaklı birleştirmelerden (S235JR-S235JR, S235JR-S355JR, S355JR-S355JR) elde edilen kopma bölgeleri fotoğrafları Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Çekme testi sonrası numunelerin kopma bölgeleri (The rupture zones of samples after tensile test).

Kaynaklı birleştirmelere uygulanan çekme testleri sırasında kombinasyonların tümü, ana malzeme tarafında boyun vermeye başlamış ve ana malzemeden sünek olarak kopma meydana gelmiştir. Birleştirmelerin kaynak bölgesinde (kaynak metali, ITAB) gözle görülebilir herhangi bir hasara rastlanılmamıştır. Şık [2], yapı çeliğinin (St 52-3) MIG/MAG kaynağında gaz karışımlarının çekme dayanımı özelliklerine etkisini incelediği araştırmasında, çekme testi sonrasında kopmaların tümünün esas metalden gerçekleştiğini bildirmiştir.

Şekil 2 incelendiğinde, MAG kaynağı ile birleştirmiş S235JR ve S355JR kombinasyonları arasında en yüksek

S235JR-S355JR birleştirmelerinin çekme dayanımlarının (363 ve 365 N/mm²) birbirlerine çok yakın olduğu tespit edilmiştir. Şekil 3'deki çekme testi sonu kopma görüntülerinden tüm kombinasyonlarda kopmanın S235JR ana malzemesinde meydana geldiği görülmektedir. Kopmaların kaynak bölgesinden (kaynak metali ve ITAB) olmaması ile kaynak bölgesi dayanımlarının ana malzeme çekme dayanımlarından daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır. S235JR-S355JR kombinasyonunda kopmanın S235JR ana malzeme tarafında olması, S355JR çekme dayanımının (512 N/mm²) S235JR çekme dayanımından (363 N/mm²) yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Diğer taraftan, S235JR-S235JR ve S235JR-S355JR çekme dayanımlarının (363 N/mm²) eşit olması yapılan kaynak işlemlerinin başarısını göstermektedir. Bir başka ifade ile kaynaklı bağlantıların, ana malzemelerden ölçülen çekme dayanımlarının üstünde bir performans sergiledikleri görülmüştür. Literatürde [4,11], farklı metallerin kaynaklı birleştirilmelerinde bağlantı çekme dayanımının, birleştirilen farklı metallerin çekme dayanımının en düşük olanından fazla ise birleştirmenin başarılı olarak kabul edileceği bildirilmiştir.

Çekme deneyi sonucunda elde edilen % uzama değerleri incelendiğinde, S235JR-S235JR kombinasyonunun % 16, S235JR-S355JR kombinasyonunun % 15, S355JR-S355JR kombinasyonunun ise % 17 uzama gösterdiği belirlenmiştir. 3 farklı kombinasyonda da % uzama değerlerinin birbirlerine yakın sonuçlar vermesinin sebebi ana malzemelerin tipik uzama değerlerini yansıtmasından kaynaklanmaktadır.

3.2. Eğme testi (Bending test)

MAG kaynak yöntemiyle birleştirilmiş S235JR ve S355JR yapı çeliklerinin 3 farklı kombinasyonuna 180° iki yönlü (kep ve kök) eğme testi uygulanmıştır. Şekil

4'te S235JR-S355JR kombinasyonuna ait iki yönlü gerçekleştirilen eğme testi sonucunda elde edilen makro görüntüler verilmiştir.

Kaynaklı S235JR ve S355JR yapı çeliklerine, kaynak bölgesinin şekil değiştirme özelliğinin belirlenmesi için uygulanan iki yönlü eğme testleri sonucunda, tüm kombinasyonlar 180° eğildiklerinde gözle görülebilir bir kaynak hatasına rastlanmamıştır. Özlü tel kullanılarak yapılan birleştirme işleminde kaynak metalinin eğme testi sonucunda seramik altlık ve uygun parametreler kullanılarak yeterli nüfuziyet, birleştirme kalitesi elde edildiği, kullanılan ilave metalin ana malzeme ile uygun sünekliliğe sahip olduğunu göstermektedir. S235JR ve S355JR çelik kombinasyonları iki yönlü eğme test sonuçlarına göre, kaynak sonrası servis şartlarına göre 180°'ye kadar istenilen açıda bükülerek güvenli bir şekilde kullanılabilir.



Şekil 4. Eğme testi sonucu kaynak görselleri (The welding images after bending test).

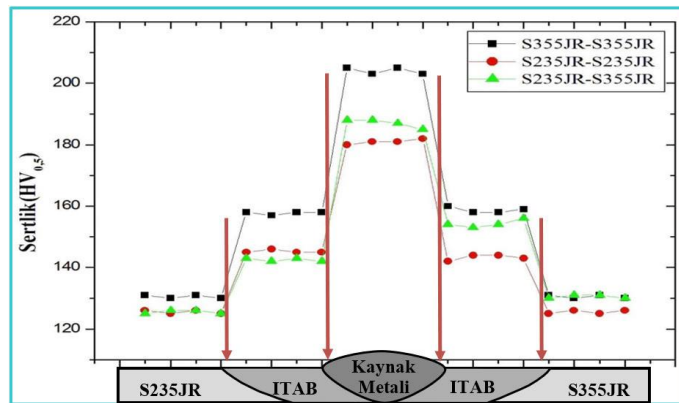
Yılmaz ve Tümer [12], gemi saclarının tozaltı ve özlü tel kullanarak MAG kaynağı ile birleştirilmesi ve mekanik özelliklerini inceledikleri araştırmalarında, eğme testi sonucunda birleştirilen malzemenin kaynak metal ve ITAB'da çatlak, boşluk gibi herhangi bir kaynak hatası rastlanmamış olup, kep eğmesine maruz bırakılan malzeme rastlanılmadığını bildirmişlerdir. Ayrıca, Yılmaz [13] masif ve özlü teller ile birleştirilen Hardox 400 çeliklerinin mekanik ve mikroyapı özelliklerini incelediği araştırmada, eğme testi sonuçlarında yeterli nüfuziyet ve birleştirme kalitesinin elde edildiğini ve kullanılan ilave malzemelerin ana yapıyla uygun sünekliliğe sahip olduğunu bildirmiştir. Sonuçlar bir başka açıdan değerlendirildiğinde, çalışmada kullanılan kaynak ilave metal, koruyucu gaz ve kaynak parametrelerinin uygun seçildiğine, dolayısıyla birleştirmelerin şekillendirilebilme kabiliyetlerinin iyi olduğuna işaret etmektedir.

3.3. Mikrosertlik testi (Hardness Test)

Şekil 5'te MAG kaynak yöntemi ile birleştirilmiş S235JR ve S355JR bağlantı kombinasyonlarına ait mikrosertlik değerleri verilmiştir. En yüksek sertlik değerleri kaynak metalinden ölçülmüş, onu sırasıyla ITAB ve ana malzeme takip etmektedir. Uzun [14] konvansiyonel ve sinerjik kaynak makinaları ile masif ve özlü tel ile kaynak edilmiş St 37 (S235JR) çeliğinin kaynak dikişlerini incelenmiş, sertlik testleri sonucunda sertliğin ana metalden kaynak metaline doğru gidildikçe arttığını ve en yüksek sertliğin kaynak bölgesinde olduğunu tespit etmiştir.

Kaynak metalleri ve ITAB'lardan ölçülen sertlik değerleri incelendiğinde, fazla bir fark olmakla birlikte S355JR çelik tarafının daha sert olduğu görülmektedir. Kaynaklı bağlantılarda, ana malzeme kısımlarındaki sertlik değerleri incelendiğinde ise, S355JR çeliğinin

S235JR çelik malzemeye göre daha yüksek sertliğe sahip olduğu tespit edilmiştir. Kaynak metal ve ITAB'ların sertlik değerlerinin ana malzemeye göre yüksek olması kaynak esnasındaki ısı girdisine bağlı olarak kaynak sonrası farklı soğuma hızlarından kaynaklandığı söylenebilir. Benedetti ve arkadaşları [15], S355JR yapı



Şekil 5. Mikrosertlik testi sonuçları (Microhardness test results).

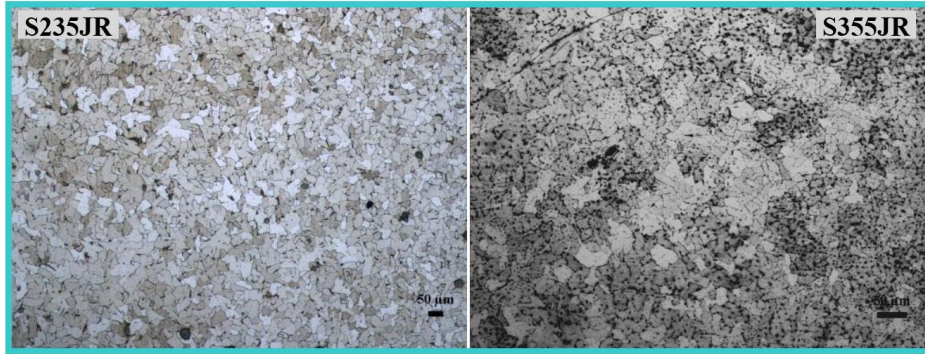
çeliğini MAG kaynak yöntemi ile birleştirmiş, sertlik testlerinde benzer sonuçlar bildirmişlerdir.

3.4. Mikroyapı incelemeleri (Microstructure investigations)

DeneySEL çalışmalarda kullanılan S235JR ve S355JR yapı çeliklerine ait ana malzeme görüntüleri Şekil 6'da verilmiştir.

perlit (koyu renkli taneler) fazlarından oluştuğu görülmektedir. Erden ve arkadaşları [16] alaşımsız ve hardoks çeliklerini tozaltı kaynak yöntemi kullanarak birleştirmiş, mikroyapı çalışmaları sonucunda S235JR çeliklerin ana malzeme mikroyapısının ferrit ve perlit fazlarından oluştuğunu bildirmişlerdir.

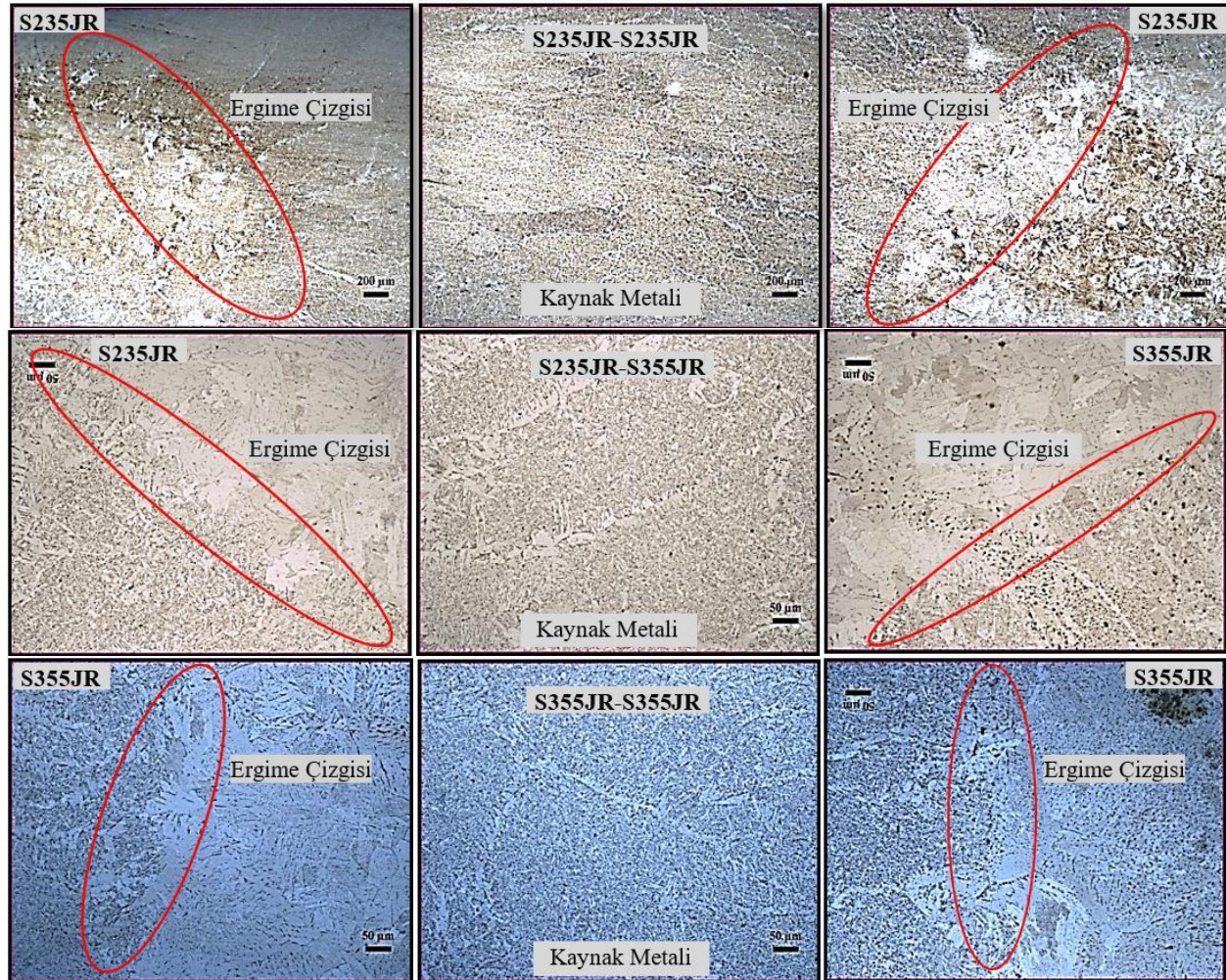
MAG kaynak yöntemi ile birleştirilen S235JR-S235JR,



Şekil 6. S235JR ve S355JR yapı çeliklerine ait mikroyapı görüntüleri (Microstructure images of S235JR and S355JR construction steels).

S235JR ve S355JR ana malzeme mikroyapı görüntüleri (Şekil 6) incelendiğinde ferrit (açık renkli taneler) ve

S235JR-S355JR ve S355JR-S355JR yapı çeliklerinden elde edilen mikroyapı görüntüleri Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. MAG kaynağı ile birleştirilen S235JR ve S355JR numunelerin mikroyapı görüntüleri (Microstructure images of S235JR and S355JR samples joined with MAG welding).

MAG kaynağı ile birleştirilen S235JR-S235JR, S235JR-S355JR, S355JR-S355JR bağlantıların kaynak bölgesi (kaynak metal, geçiş bölgesi ve ITAB) mikroyapı görüntüleri (Şekil 7) görülmektedir. Ergime sınırı olarak ifade edilen kaynak metal ve ITAB arasındaki sınır çizgisi incelenen görüntülerde kolaylıkla gözlemlenmektedir. 3 farklı kombinasyonlu S235JR-S355JR yapı çeliklerinin mikroyapı görüntüleri incelendiğinde; Şekil 6'daki ana malzeme görüntülerine kıyasla, kaynak metaline yaklaşıldıkça tanelerin irileştiği görülmektedir. Kaynak bölgesinde ergime sınırından merkeze doğru dentritik kollar görülmektedir. Kaynak metalinde ise asiküler ferrit oluştuğu gözlenmektedir.

S235JR-S355JR çeliklerinin mikroyapı görüntülerinde görüldüğü üzere S235JR çeliğinin ITAB'ındaki tanelerin S355JR çeliğinin ITAB'ına göre daha küçük olduğu gözlenmektedir. Kaynak metalinden alınan mikroyapı görüntüleri doğrultusunda seramik altlık kullanımına bağlı iri taneli yapılar ve kenar yüzeylerden kaynak metal merkez noktasına doğru yönelen dentritik kollar gözlenmektedir.

Yapılan literatür incelemelerinde, yapı çelikleri kaynak metallere oluşan mikroyapıların, soğuma hızına bağlı olarak değişiklik gösterdiği ve primer ferrit, Widmansten ferrit, asiküler ferrit, perlit, beynit ve martensit fazları olmak üzere değişik fazların beraberce bulunabileceği çeşitli çalışmalarda ifade edilmiştir [4,14,17].

4. SONUÇ (CONCLUSION)

- Çekme testleri sonucunda, kaynaklı bağlantıların tümünde kopma işlemi ana malzemelerde meydana gelmiştir. En yüksek çekme dayanımı ise S355JR-S355JR birleştirmesinden elde edilmiştir.
- 180° çift yönlü eğme testleri sonucunda, kaynaklı numunelerin tümünde gözle görülebilir bir kaynak hatasına rastlanmamıştır.
- Mikrosertlik ölçümleri sonucunda, en yüksek sertlik değerini kaynak metal verirken, onu sırasıyla ITAB ve ana malzemeler takip etmektedir.
- Mikroyapı çalışmaları sonucunda, ana malzemelerden kaynak metaline doğru ilerledikçe tane irileşmesi meydana geldiği ve S235JR-S355JR birleştirmesinde S355JR tarafında S235JR tarafına göre daha fazla tane irileşmesi meydana geldiği gözlemlenmiştir. Ayrıca ergiyip katılmış kaynak metalinin eş eksenli dentritik tanelerden meydana geldiği belirlenmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Şık A., "MIG/MAG kaynak yöntemi ile birleştirilen çelik malzemelerde ilave tel türleri ve koruyucu gaz karışımlarının eğmeli yorulma ömürlerine etkilerinin araştırılması", *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22 (4): 769-777, (2007).
- [2] Şık A., "Yapı çeliğinin (St 52-3) MIG/MAG kaynağında gaz karışımlarının çekme dayanımı özelliklerine etkisi", *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 7 (1): 9-15, (2006).

- [3] Kaya Y., "AISI 304 ve AISI 430 paslanmaz çeliklerin TIG, MIG ve Örtülü Elektrod Ark kaynağıyla birleştirilebilirliğinin araştırılması", *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 25 (3): 549-557, (2010).
- [4] Kaya Y., Kahraman N., Durgutlu A., Gülenç B., "Ferritik paslanmaz çelik ile düşük karbonlu çelik malzemelerin farklı kaynak yöntemleriyle birleştirilebilirliğinin araştırılması", *Uluslararası Demir Çelik Sempozyumu (IIS'12)*, Karabük, 779-788, (2012).
- [5] Yürük A., Bozkurt B., Kahraman N., "S235JR karbon çeliği ile AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin MIG kaynak yöntemi ile kaynak edilebilirliğinin incelenmesi", *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21 (2): 90-97, (2017).
- [6] Ünlü B. S., Yılmaz S. S., Uzkut M., "MIG/MAG kaynağı ile farklı akım şiddetlerinde birleştirilmiş Fe 37 çeliğinin kaynak bölgesinin mekanik özellikleri", *6. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'11)*, Elazığ, 356-359, (2011).
- [7] Ören E., "MAG kaynağında kaynak parametrelerinin iç köşe dikiş geometrisine etkisi", *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, (2002).
- [8] Fındık T., "304 tipi paslanmaz çeliklerin MIG kaynağındaki ısı transferinin sonlu elemanlar yöntemiyle analizi", *Doktora Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (2008).
- [9] Gülsöz A., "Özlü tel elektrodların önemi ve kaynak özellikleri", *Mühendis ve Makine Kaynak Özel Sayısı*, 35-40, (2000).
- [10] Çelik O., "Gazaltı (MAG) kaynağında kullanılan rutil, bazik ve metal özlü tellerin kaynak metal özelliklerine etkisinin araştırılması", *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (2013).
- [11] Çörten N., Şener A., Kaya Y., Kahraman N., "AISI 304 ve AISI 316 östenitik paslanmaz çeliklerin TIG kaynağıyla birleştirilebilirliğinin incelenmesi" *4. Uluslararası Kaynak Teknolojileri Konferansı ve Sergisi (ICWET'16)*, Gaziantep, 1488-1496, (2016).
- [12] Yılmaz R., Tümer M., "Gemi saclarının tozaltı ve özlü tel kullanarak MAG kaynağı ile birleştirilmesi ve mekanik özellikleri", *Türk Bilim Araştırma Vakfı Bilim Dergisi*, 2 (1): 56-66, (2009).
- [13] Yılmaz T., "Masif ve özlü kaynak telleri ile birleştirilen hardox 400 çeliklerinin mekanik ve mikroyapı özellikleri", *Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, (2010).
- [14] Uzun Y., "Konvansiyonel ve sinerjik kaynak makinaları ile masif ve özlü tel ile kaynak edilmiş St 37 çeliğin kaynak dikişlerinin incelenmesi", *Yüksek Lisans Tezi*, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, (2014).
- [15] Benedetti M., Fontanari V., Santus C., "Crack growth resistance of MAG butt-welded joints of S355JR construction steel", *Engineering Fracture Mechanics*, 108: 305-315, (2013).
- [16] Erden M. A., Gündüz S., Çalgülü U., Boz M., "Tozaltı kaynak yöntemi ile birleştirilen alaşimsız ve hardoks çeliklerin mikroyapı ve sertlik özelliklerinin araştırılması", *4. Uluslararası Kaynak Teknolojileri Konferansı ve Sergisi (ICWET'16)*, Gaziantep, 784-792, (2016).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>

Yeraltı maden işçilerini gerçek zamanlı takip etmek için RFID teknolojisine dayalı özgün bir entegrasyon metodolojisi

A unique integration methodology for RFID technology to track underground miners in real-time

Yazar (Author): Mahmut ÇAVUR

ORCID: 0000-0002-1256-2700

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Çavur M., “Yeraltı maden işçilerini gerçek zamanlı takip etmek için RFID teknolojisine dayalı özgün bir entegrasyon metodolojisi”, *Politeknik Dergisi*, 21(3): 603-610, (2018).

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

DOI: 10.2339/politeknik.375183

Yeraltı Maden İşçilerini Gerçek Zamanlı Takip Etmek İçin RFID Teknolojisine Dayalı Özgün Bir Entegrasyon Metodolojisi

Araştırma Makalesi / Research Article

Mahmut ÇAVUR

İşletme Fakültesi, Yönetim Bilişim Sistemleri, Kadir Has Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 14.05.2017 ; Kabul/Accepted : 18.09.2017)

ÖZ

Son yıllarda birçok sektör personellerini, kaynaklarını ve çalışan makinelerini güvenlik, koordinasyon ve performans gibi farklı amaçlarla mekânsal olarak anlık bir şekilde takip etmek istemektedirler. Personel takibinin amacı ve ihtiyaçlar, takibin şeklini belirleyen en temel faktörlerdendir. Bu amaçla geliştirilen sistemler ihtiyaca göre farklı teknolojiler barındırmaktadır. Dış ortamlarda küresel konumlama sistemi GPS (global positioning system) ile gerçek-zamanlı konum, yüksek hassasiyetle belirlenebilmektedir. Fakat kapalı ortamlarda konumlandırmalar için önceki araştırma ve geliştirmeler daha çok kızılötesi, kablosuz LAN ve ultrasonik üzerine yapılmıştır. Bu çalışma ile, Radyo Frekans (RFID) protokolü ve arayüzü, açık kaynak kodlu bir Bilgi Sistemleri (BS) yazılımına entegre edilmiştir. RFID'nin açık kaynak kodlu bir yazılıma entegrasyonu için "Tight Entegrasyon" metodolojisi geliştirildi. Altlık olarak açık kaynak kodlu BS kullanılması da mekânsal gösterim ve analiz imkânı sağladı. Geliştirilen konumlandırma algoritması Java programlama dili ile kodlanmış olup, tamamen özgün ve yenilikçidir. Algoritmada komşuluk, yön ve sinyal alınan en son noktanın sağ ve solunda RFID okuyucu olup olmadığına dair filtreler kullanılarak konumlandırmanın doğruluk hassasiyeti 20 metreye kadar artırıldı. Kullanılan metodoloji yer altı tuz madeninde test edildi ve başarılı bir şekilde çalıştığı ispatlandı. Bu çalışma ile geliştirilen çalışma 5 farklı madende işçi güvenliği ve takibi amacıyla kullanılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Rfid ile kapalı alanlarda konum belirleme, kapalı alanlarda gerçek zamanlı konum belirleme, rfid, rssi, konumlandırma.

A Unique Integration Methodology for RFID Technology to Track Underground Miners in Real-Time

ABSTRACT

In recent years, many companies want to keep track of their employees, sources and working machines due to various reasons, like security, coordination, performance monitoring. The purpose and requirements are the main factors that determine the methodology of tracking. The real-time tracking can be determined with high precision in open areas with the global positioning system (GPS). However, previous research and developments for indoor tracking have mostly focused on infrared, wireless LAN and ultrasonic. In this study, a Radio-Frequency Identification (RFID) protocol and interface are integrated into an open source Information Systems (IS) software. A tight coupling methodology is developed for integration of RFID into an open source software. The use of open source software as a common interface also provides better spatial display and analysis capabilities. The tracking algorithm is completely unique, original and it is encoded in the Java programming language. In the algorithm, the accuracy of locating the proximity, direction of miners and whether the RFID tag is on the right and left of the last point of RFID receiver is determined with 20 m accuracy. The system was tested in an underground salt mine. The developed methodology and system are now being commercialized in Turkey.

Keywords: Localization in closed areas by using RFID, real-time localization closed areas, RFID, RSSI, localization

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kapalı ortamlarda konumlandırma konusunda çok farklı akademik ve ticari çalışmalar yapılmaktadır. Yapılan çalışmalar genelde insan sağlığı ve güvenliği konularına yoğunlaşmıştır. Özellikle yer altı madenleri insan

sağlığının çok fazla tehlike altında olduğu iş kollarından bir tanesidir. Bundan dolayı kapalı ortamlar için ihtiyacı karşılayacak şekilde anlık konum bilgisi verebilecek yöntemlere ve algoritmalara gereksinim duyulmaktadır [1-2]. Bundan dolayı, kapalı ortamlarda konum belirlemek amacıyla radyo frekansından, kızıl ötesi ışıklara ve hatta görüntü analiz işlemlerine kadar birçok farklı yöntem kullanılmaktadır [1].

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

Kızılötesi teknolojisi son zamanlara kadar birçok alanda yaygın bir şekilde kullanılmakta ve dolayısıyla geliştirilmekteydi. Kızılötesi, dalga boyu mikrodalgalardan kısa görünür ışıktan uzun olan elektromanyetik dalgalara denir [3]. Fakat bu teknolojiye bazı kısıtlardan dolayı (line-of-sight, doğrudan görüş gibi) anlık takip için çok da yeterli olmadığı anlaşılmıştır [1].

Kablosuz ağ olarak da tanımlanan WLAN teknolojisi, hastaneler, alışveriş merkezleri ve fuar merkezleri gibi kapalı alanlarda personel takibi amacıyla kullanılmaktadır. Çok yaygın bir şekilde kullanılması ve daha uygun maliyetli olması sebebiyle üzerine çok fazla çalışma ve araştırma yapılan bir teknolojidir. WLAN teknolojisi kullanarak yer tahmininde insan, duvar, ortamdaki metaller gibi farklı durum ve sebeplerden dolayı yetersiz ya da doğruluğu düşük yöntemler uygulanmaktadır [2].

Diğer taraftan RFID teknolojisi kızılötesinin bu çalışmada bahsedilen bazı dezavantajlarını ortadan kaldırması ve WLAN teknolojisinin de avantajlarını barındırması sebebiyle daha geniş araştırmalar ve uygulamalar için uygun bir teknoloji olarak son yıllarda öne çıkmaktadır. RFID teknolojisine dayalı çözümler daha az donanım kullanılması sebebiyle daha uygun maliyetli olmaktadır [4]. RFID, temassız iletişim, yüksek veri hızı ve güvenlik, görünür olmayan okunabilirlik, kompaktlık ve düşük maliyet gibi özelliklere sahiptir [5]. RFID cihazlar konusunda son yıllardaki farkındalık bu teknolojinin mobil kontrol, otomatik ev ağırları, kaynak takibi, güvenlik, personel takibi gibi amaçlarla kullanılmasına yol açmıştır [4]. Özellikle kapalı alanlarda kablolu ve kablosuz ağlar konusunda yapılan çalışmalar ve son yıllardaki gelişmeler sayesinde RFID teknolojisine dayalı konumlandırma konusu da yoğun bir şekilde araştırılmaktadır [6].

Dolayısıyla bu çalışmanın amacı, yukarıda bahsedilen GPS, kızılötesi, Wi-Fi gibi teknolojilerin hem yüksek maliyetli hem de yetersiz kaldığı durumlarda madenler gibi çok zor koşullara sahip ortamlarda çalışanların ve makinelerin gerçek zamanlı konumlarını tespit etmeyi amaçlayan yarı otonom bir bilişim sistemi altyapısı ve algoritmasının oluşturulmasıdır [7]. RFID teknolojisi, Radyo Frekans (RF) sinyalleri sayesinde canlı cansız hareketli cisimlerden stok kontrolüne kadar farklı alanlarda kullanılmaktadır. Vaka çalışmasında maden ortamları kullanılacağı için zor şartlara dayanıklı, fiyatı uygun ve kullanımı kolay RFID donanımlar ve açık kaynak kodlu yazılımlar kullanılmıştır [7-8-9-10].

Ayrıca birçok araştırmacı tarafından, hareket eden nesnelerin ve kişilerin, onlara ait özniteliklerin anlık ve doğru bir şekilde bulunması için kullanılmaktadır [11]. Bu çalışmada, zor koşullara dayanıklı olan RFID ekipmanı ve açık kaynak kodlu yazılımlar, maden ortamları için kullanılmıştır [12].

Bu sistem ve altyapı ile maden çalışanlarının anlık konumları ve çalışanlara ait öznitelikler, harita bilgi sistemi ekranında anlık bir şekilde takip edilebilecektir.

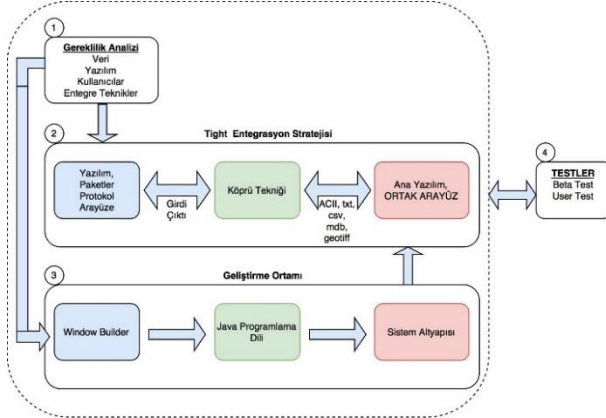
Bu sistem, madenlerde meydana gelen acil, ölümcül olabilecek olay ve kazalarda yer altında kalan maden işçilerinin konum bilgilerini verip gerçek zamanlı takiplerine imkân tanıdığı için acil eylem planlarının uygulanması sağlayacak ve böylece madende meydana gelebilecek ölümlü kaza oranı en aza indirilecektir. Ayrıca bu çalışmayla kazaların engellenmesine ve kazalardan sonra kaza analizlerinin yapıpı karar vericilerin kazaları engellemek amacıyla alması gereken önlemler konusunda onlara destek olacaktır. Yasal olarak 24 Mart 2016 tarihli 29663 sayılı Resmi Gazete'de yayınlanarak yürürlüğe giren Maden İşyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılması Hakkında Yönetmeliğin 2. Maddesi ile yeraltı maden işletmelerinde personelin takip edilmesi 1.1.2017 tarihi itibarı ile hale zorunlu gelmiştir [13]. Bu yönetmelik, araştırmacıları son zamanlarda Türkiye'deki madencilerin konumlarının anlık tespiti için yenilikçi, özgün yöntemler ve algoritmalar geliştirmeye itmiştir. Bu sayede hem maden yöneticileri çalışanlarının ve ekipmanlarının verimini arttıracak hem de kazalarda kimin ne zaman, nerede olduklarını ve yaşayıp yaşamadıklarını tespit edeceklerdir.

Her bir RFID setinin kendi protokolü ve arayüzü olduğundan, RFID setlerinin protokolleri ve özellikleri başka bir yazılıma entegre edilmeli veya kullanılacak olan RFID seti için yeni bir uygulama geliştirilmelidir. Yeni bir yazılım geliştirmek, araştırmacı ve yazılımcılar için başarılı bir uygulama garantisi vermediğinden, bu çalışmada RFID protokolünün ve arayüzünün entegrasyonu tercih edilmiştir. Çünkü araştırmacı ve yazılımcılar teknik sorunlar, bütçe, zaman ve takım yönetimi ile uğraşırken, asıl amaçlarına yönelik konsantrasyonlarını kaybedebilmektedirler. İki veya daha fazla yazılımı entegre etmek için birkaç tane “Yakın Entegrasyon (Close Coupling)” veya “Gevşek Entegrasyon (Loose Coupling)” [14] veya daha modüler olan “Sıkı Entegrasyon (Tight Coupling)” [16] gibi farklı metodoloji bir çok araştırmacı tarafından farklı amaçlarla geliştirilmiştir. Son yıllarda, bu tarz entegrasyon çalışmaları entegre edilen yazılımların, verimliliklerini ve kullanım alanlarını arttırmak için yapılmaktadır [14-16-17].

“Yakın entegrasyon”, entegrasyon stratejilerinin en düşük seviyeli ve en yavaş olanıdır [18]. Entegre edilmiş yazılım içinde veri türünün dönüştürülmesi gerektiğinden, iki entegre yazılım arasında yeni bir arayüze ihtiyaç duyar [16]. Arayüz, verilerin dışa ve içe aktarılması için kullanılır ve sonuç, ana yazılımda görsellenir.

“Sıkı entegrasyon” (Şekil 1) iki veya daha fazla yazılımın grafik arayüz entegrasyonudur [19]. Sıkı entegrasyon her iki entegre yazılımın da ortak bir arayüz aracılığıyla erişilebileceği durumdur. Genellikle her iki yazılım da veri dosyalarını paylaşır, böylece iki sistem farklı veri formatları gerektirirse, kullanıcıyı etkilemeden ve verileri dosya paylaşımını arka planda gerçekleştirerek sonuçları ana arayüzde görseller. Bu entegrasyon yöntemi daha güçlü ve güvenilirdir, çünkü bir yazılım

veya onun çeşitli teknikleri doğrudan başka bir yazılımdan çağrılmakta ve kullanılmaktadır [20].



Şekil 1. Sıkı entegrasyon şeması (Tight coupling graph)

1960'lı yılların başında geliştiriciler, makro dilleri kullanarak “Gömülü entegrasyon (Embedded Coupling)” stratejisi kullanıyorlardı. Embedded entegrasyon en güçlü stratejidir, çünkü bir yazılımın makro dili kullanılarak doğrudan başka bir temel yazılıma yeni bir araç paketi eklenerek geliştirilmesidir [21]. Veri aktarım hızı ve entegrasyon seviyesi daha yüksek olduğu için bu entegrasyon stratejisi en iyisi olarak kabul edilmektedir. Fakat seçilen ana BS yazılımının makro bir dil içermemesi sebebiyle bu strateji tercih edilmemiştir.

Sonuç olarak, bu çalışmanın temel amacı RFID donanımını, protokolünü ve arayüzünü açık kaynaklı bir BS yazılımına entegre etmek için araştırmacılara ve geliştiricilere yönelik bir metodoloji sunmaktır. Buna ek olarak, maden işçilerinin konumunu doğru bir şekilde tahmin etmek için özgün ve yenilikçi bir algoritma geliştirmektir. Bu çalışmada, bir RFID seti, açık kaynaklı bir BS yazılımı, özgün bir algoritma ve entegrasyon metodolojisi, maden işçilerinin gerçek zamanlı konumunu tahmin etmek için tamamlayıcı bir sistem olarak tasarlandı ve uygulandı. Sistemin başarısını kanıtlamak için bir tuz madeni seçildi ve test edildi. Madencilerin, mühendislerin ve yöneticilerin geribildirimi, daha fazla geliştirmek amacıyla değerlendirildi. Bu nedenle, bu çalışmanın temel amacı, yukarıda bahsedilen teknolojilerin kullanıldığı GPS, Kızılötesi, Wi-Fi gibi yüksek maliyetli ve yetersiz olduğu madenler gibi çok zorlu ortamlarda, madencilerin ve makinelerin gerçek zamanlı konumunu yüksek doğrulukla tespit etmeyi amaçlayan yarı otonom bir bilgi sistemi ve metodoloji oluşturmaktır.

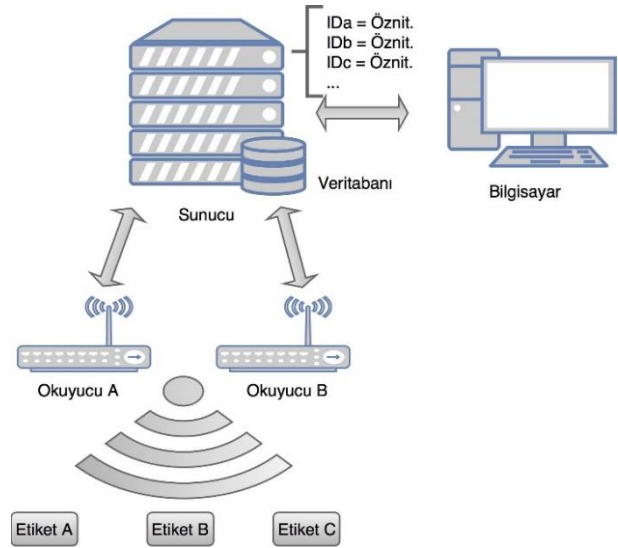
2. METODOLOJİ (METHODOLOGY)

Daha önce de belirtildiği gibi bütün kapalı alanlar, durumlar ve ihtiyaçlar için tek bir anlık takip metodolojisi yoktur. Farklı durumlar, ihtiyaçlar ve durumlar için optimum denilebilecek farklı metodolojiler ve algoritmalar geliştirilebilmektedir. Bu çalışmada da vaka çalışması

amacıyla madenler seçildiği için yer altı madenlerinin ihtiyaç ve durumları değerlendirilip ona göre teknolojiler tespit edilmiş ve uygulanmıştır.

Literatür çalışmalarından da anlaşılacağı gibi madenler için en uygun ve optimum çözümün RFID teknolojisi olduğu görülmektedir. Deneysel çalışmalar da RFID teknolojisinin hareket eden objelerin yerinin hassas bir şekilde tespiti için uygun olduğunu belirtmiştir [22].

RFID etiketleri RFID okuyucular ile iletişim kurmak için radyo frekansı enerjisi kullanır. Bununla birlikte, etiketler enerji ihtiyaçlarına göre farklılık göstermektedirler. Aktif etiket, dâhili bir batarya ile RF iletişim devresine güç verir. Okuyucular böylece çok düşük seviyeli sinyaller gönderir ve etiket daha güçlü sinyaller ile yanıtlayabilirler [4]. RFID okuyucuları iki ara yüze sahiptir. İlki menzil aralığında etiketlerin kimliklerini ve sinyal güçlerini almak için iletişim kuran RF arayüzü. İkincisi iletişim arayüzüdür. Genellikle IEEE 802.11 veya 802.3 sunucularla iletişim kurar [4]. RFID teknolojisine dayalı konumlandırma yöntemleri üzerine on yıldan fazladır çeşitli seviyelerde ve amaçlarda araştırmalar yapılmaktadır. Bu çalışmaların çoğu 100 metreye kadar olan uzun okuma aralığı nedeniyle aktif etiketler üzerine yapılmıştır [7-23-24].

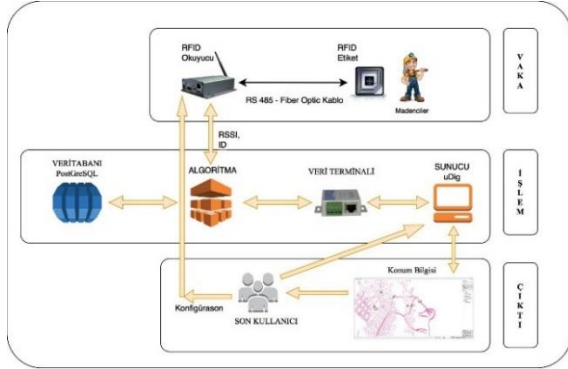


Şekil 2. Klasik RFID sisteminin mimarisini (The architecture of the classic RFID system) [3]

Şekil 2’deki mimari RFID sistemlerinin arkasındaki çalışma prensibini açıkça göstermektedir. Temel olarak, ortamdaki etiketler, RFID okuyucuları tarafından yayınlanan sinyali yanıtlarlar. Okuyucular tarafından toplanan sinyal kablolu bir iletişim ağı ile bir sunucuya gönderilir. Son olarak, geliştirici veya araştırmacılar sinyali çeşitli amaçlarla işleyebilir.

Şekil 3, RFID arayüzü ve BS yazılımını entegre etmek için uygulanan metodolojiyi göstermektedir. Metodoloji

üç katmandan oluşmaktadır: Vaka, İşlem ve Çıktı Katmanları.



Şekil 3. Sistem metodolojisi ve akış yönü (System methodology and flow direction)

Vaka katmanında hareket halinde olan madenciler üzerlerinde taşıdıkları RFID etiketlerinin ortama gönderdiği RSSI değerlerini RFID alıcılara göndermektedirler. RSSI değerlerini toplayan RFID okuyucular RS 485 kablosu ile verileri veri terminaline göndermektedirler. Geliştirilen algoritma her okuyucuya sırasıyla sorgu gönderip sinyal alıp almadığını, almış ise RSSI değerini veri tabanına kaydetmektedir.

İşlem katmanında, bu çalışmanın ilk bölümünde bahsedilen sıkı entegrasyon stratejisi kullanılarak geliştiriciler tarafından yapılmaktadır. Algoritma kısmında konumlandırma algoritması, RFID protokolü ile konuşma, veri tabanı ve veri terminali ile iletişim java programlama dili ile gerçekleştirildi. Veri terminali Cat-6 kablo ile veri tabanı ile karşılıklı veri alışverişini yapıp kendisinde toplanan verileri sunucuya yani uDig CBS yazılımında çizilen maden haritasında madencilerin anlık konumu görselendi.

Çıktı katmanında, BS sisteminin harita ekranında algoritma sonucu konumları belirlenen madenciler anlık bir şekilde görüntülendi.

Şekil 1'deki birinci basamakta, son kullanıcı veya geliştiriciler tarafından RFID donanımının konfigürasyonu gerçekleştirildi. RFID okuyucuları, RFID etiketleri ve madenciler bu katmanın ana bileşenidir.

Bu çalışmada kullanılan RFID cihazların menzili 300 m olup aktif RFID etiketler kullanıldı. Sistem donanımı olarak etiket, okuyucu ve sunucu bulunmaktadır. Okuyucu ortama sinyal yaymaktadır. Etiket ortama yayılan sinyale RSSI değeri ile cevap vermektedir. Sunucu ise verilerin toplandığı ve işlendiği donanımdır. İkinci basamakta, etiketlerinden toplanan sinyal, RS 485 kablosu veya Fiber Optik Kablo aracılığıyla RFID alıcılara aktarıldı.

Çizelge 1. Donanım özellikleri (Hardware features)

	Okuyucu	Etiket	RS-485	Fiber
Frekans	433 Mhz	433 Mhz		
Hassasiyet	1Mbps@-85dBm			
Menzil	300 m	300 m	2200 m	10000 m
Ara yüz	RS485/LAN			
Okuma	Çoklu			

Çalışmada kullanılan donanımların entegre edileceği yazılımların da açık kaynak kodlu ve ücretsiz olmasına dikkat edildi. Ayrıca yer altı madenlerinde, mekânsal analiz ve anlık konumlandırmaya da ihtiyaç duyulması sebebiyle mekânsal bilgi verme altyapısı olan bir yazılım olan uDig CBS tercih edildi. Bu yazılım hem ücretsiz, hem açık kaynak kodlu bir yazılım olup java programlama dili ile geliştirildi [13].

Sahadan toplanan verilerin ve özniteliklerin sürekli veri tabanına kaydedilmesi amacıyla açık kaynak kodlu PostgreSQL tercih edildi. PostgreSQL'in seçilmesinin diğer bir sebebi ise shape formatındaki verileri de içinde barındıran eklentilere müsaade etmesidir. Shape dosyası, coğrafi bilgi sistemi yazılımları için popüler bir coğrafi vektör veri formatıdır.

Şekil 3, sıkı Entegrasyon stratejisini ve onun üç ana bileşeninin yeniden tasarımını göstermektedir. Bu stratejide, sıkı entegrasyon stratejisinin sağ tarafında bir yazılım paketi, protokol veya arayüz bulunur. Sağ tarafta, her iki entegrasyon için ortak arayüz olan açık kaynak kodlu BS yazılımı seçildi. Bu yazılım, görüntüleme, güncelleme, analiz etme ve düzenleme amacıyla kullanıldı. Sol tarafta, RFID protokolü ve arayüzü ana yazılımla bütünleştirilmek üzere kullanıldı. Bu iki yazılım arasında bu iki yazılımı entegre etmek için bir köprü tekniği kullanıldı. Gerekli olan bir kaç java paketi ile birlikte RCaller [25] köprü tekniği ana ve ara yazılım arasında veri taşınması, düzenlenmesi ve görsellenmesi amacıyla kullanıldı.

Madencilerin gerçek zamanlı konumunu ve analiz sonucunu yedinci basamakta BS yazılımının harita ekranında gösteren çıktı kısmıdır. Son kullanıcılar, sekizinci basamakta madencilerin gerçek konumunu anlık bir şekilde harita ekranından takip edebilmektedirler. Bu katmandaki son kullanıcılar RFID donanımı arayüzünü kullanarak okuyucuları, etiketleri ve veri terminalerini yapılandırır.

3. ALGORİTMA (ALGORITHM)

Gerçek zamanlı konumlandırma için üç ya da daha fazla RFID okuyucunun kullanılarak konumlandırması konusunda birçok araştırmacının birden farklı algoritma çalışması bulunmaktadır. Gaussian algoritması, trilateration, oran-orantı algoritmaları farklı hassasiyetlerde bile olsa anlık konumlandırma amacıyla geliştirilmiş ve kullanılmıştır. Fakat kapalı bir ortam olan madenlerde tek okuyucu ile konumlandırma yapmak daha zor ve doğruluk hassasiyeti düşük olacaktır. Sistemin doğru ve hassasiyeti yüksek bir şekilde çalıştırmak amacıyla geliştirilen algoritmanın da yenilikçi ve özgün olması gerekmektedir. Geliştirilen algorithma tüm madenin RFID etiketleri ile RSSI değerlerine göre sinyal haritası oluşturulmuştur. Şekil 2'de de görüldüğü gibi referans noktası olarak seçilen konumdan itibaren bir doğrultuda bir sonraki okuyucuya kadar sinyal haritası oluşturulmuştur. Her noktadan alınan sinyal sıklığı tespit edilmiştir. En sıklıkla tekrar eden sinyal o noktanın sinyal indeksi olarak kabul edilmiştir. Aynı sinyal gücü alındığında o sinyalin hangi noktayı temsil ettiği bilinmekle birlikte oluşabilecek aynı

sinyal-farklı nokta hatası için 2 tane filtre uygulanmıştır. Bu filtrelerden ilki komşuluk sorgusu diğeri ise alınan sinyalin okuyuculara olan uzaklığına göre konumlandırılmasıdır. Yani bir sinyal birden fazla noktada aynı değeri veriyorsa ilk olarak o sinyal noktasından önceki sinyal noktası sorgulanır ve ona göre o sinyalin hangi noktaya ait olduğu tespit edilir. Diğer filtre ise sinyalin hangi yönde ilerlediğini belirlemektedir. Konumlandırma algoritması aşağıdaki gibidir.

$$1) \vec{p}_t = f(\vec{r}_t, \vec{d}_t, \vec{v}_{t-1}, \vec{p}_{t-1})$$

\vec{p}_t t anındaki konum bilgisi

\vec{r}_t t anındaki RSSI bilgisi

\vec{d}_t t anındaki sinyal gönderen okuyucu bilgisi

\vec{v}_{t-1} t-1 anındaki hız bilgisi

\vec{p}_{t-1} t-1 anındaki konum bilgisi

\vec{v}_{t-1} ve \vec{p}_{t-1} bilgisine göre (ve tabii ki de maden haritasına göre) bir sonraki anda nerede olabileceği olasılık yoğunluk fonksiyonu çıkartılır (probability density function)

$$2) X1 = X_c(\vec{v}_{t-1}, \vec{p}_{t-1})$$

Yine aynı şekilde \vec{r}_t ve \vec{d}_t bilgisine göre nerede olabileceği olasılık yoğunluk fonksiyonu çıkartılır (probability density function). Burada yukarıda bahsedilen sinyal haritasından faydalanılır.

$$3) X2 = X_n(\vec{r}_t, \vec{d}_t)$$

Sonuç olarak her iki yoğunluk haritası birleştirilir ve nihai yoğunluk haritasına göre en yüksek ihtimali olan nokta \vec{p}_t olarak belirlenir.

$$4) \vec{p}_t = \text{Pmaks}[X] = \text{Pmaks}[X1 * X2]$$

$$5) \vec{p}_t = \text{Pmaks} \int X_c(\vec{v}_{t-1}, \vec{p}_{t-1}) * X_n(\vec{r}_t, \vec{d}_t)$$

Gerçek zamanlı konumlandırma için geliştirilen algoritma bu çalışmanın kilit noktası olmadığından burada ayrıntılı olarak ele alınmadı ve değerlendirilmedi. Bununla birlikte, madencilerin yer altı madenlerinde anlık konumlandırılması doğru bir şekilde tahmin edildi ve BS yazılımının harita ekranında başarıyla gösterildi. Bu, RFID donanım protokolünün ve arayüzünün açık kaynaklı bir yazılıma başarıyla entegre edildiği anlamına gelir.

RFID arayüzü (Şekil 4), RFID Protokolü (Çizelge 2), RCaller olan köprü tekniği ve birkaç Java paketi ve BS ana yazılımı bu entegrasyon sisteminin temel parçalarıdır. Çizelge 2, RFID protokolünün küçük bir bölümünü göstermektedir. Bu protokol, Eclipse ortamında Java programlama dili tarafından kodlanıp geliştirildi. Algoritma, kod ve entegre edilmiş sistem yazılımına www.sda4udig.com/en/mineTrack adresinden ulaşılabilir.



Şekil 4. RFID arayüzü

Çizelge 2. RFID protokolünden küçük bir kısım (A small part of the RFID protocol)

No	Açıklama	Format	Not
FFF	Enter configure mode	FFF	the instruction can work, after entering the configuration mode
00	Set again the distress time	*00,X#	X: [0, 3600], unit 1S, 1 is default, 0 will disable this function
01	Set ID	*01,X#	X:6bits, range [A-F] and [0-9]
04	Set the serial data contain RD05's ID	*04,X#	X: 0-No,default 1-Yes
...

Bu çalışma, önceki literatür araştırmalarından özgün ve farklıdır. Normalde, hareketli nesnelerin ve kişilerin lokalizasyonu için uygulanan algoritmalar en az üç okuyucunun RSSI değerine göre yapılmaktadır, ancak bu uygulama ve algoritma yalnızca bir okuyucuya göre geliştirildi. Bu nedenle, madencilerin yönü, konumları ve doğruluk hassasiyeti tatmin edici olmalıdır. Bunu yapmak için madendeki madenlerin yönü, geliştirilen algoritma ve metodoloji ile en fazla 20 metre hassasiyetle konumlandırıldı. Komşuluk filtresi, madendeki birkaç noktanın aynı RSSI değerini gönderebileceği ihtimali üzerine uygulanan ve yanlış RSSI noktası ile karıştırılmasını engelleyen bir filtredir. Ayrıca sinyal haritası oluşturulurken de bir sinyal noktası için yüzlerce sinyal toplandı ve o sinyal noktası için bir sinyal aralığı belirlendi. Yani her RSSI noktası kesin bir sinyal gücüne değil bir sinyal aralığına bağlıdır. Bu filtreler madencilerin madendeki konumlarının doğruluğunu arttırdı ve geliştirilen algoritmanın özgünlüğü ispatladı.

Üstelik 1800 metre uzaklıktaki okuyucular tarafından toplanan sinyalleri taşımak, araştırmacılar için zorlu bir konudur. Bu amaçla Cat5, Cat6, Leaky Feeder, RS232, RS485 gibi çeşitli kablolar kullanıldı. Bununla birlikte, Cat5 ve Cat6 kablosu sinyali 100 metreden daha uzun mesafeye taşıyamadı. Ayrıca Leaky Feeder kablosu farklı altyapıya sahip olması ve her 300 metreden bir tekrarlayıcılarla güçlendirilmesi çok büyük bir dezavantaj olarak ortaya çıktı. RS232 kablosu da sinyalleri uzak mesafelere taşımak için bu çalışma için yeterli olmadı. Bu nedenle, RS485 ve Cat5 kablosunun kombinasyonu, 3000 metreden daha fazla sinyal taşıyarak bu projenin başarısına katkı sağladı.

Ayrıca, toplanan RFID sinyalinin sona erdirilmesi gerekmektedir. Daha sonra sonlandırılan veriler madencileri gerçek zamanlı olarak konumlandırmak için işleme tabi tutulmalıdır. Bu amaçla seri-RS485 dönüştürücü kullanıldı ve veriler daha fazla işlem için PostgreSQL'de saklandı. Tüm bu parçalar ve çözümler, metodolojinin benzersizliğini ve problemin sadece teorik olarak değil aynı zamanda pratik olarak Türkiye'deki gerçek madenlerde kullanılmasıyla çözümlenmesini de ispatlamaktadır.

Aslında, yenilikçi ve özgün bir uygulama geliştirmek, zorlayıcıdır ve zaman, maliyet, yönetim gibi birçok dezavantaja sahiptir. Bu çalışmada, açık kaynak kodlu bir CBS yazılımı ve bir RFID arabirimi ve protokolü, baştan sona bağımsız bir uygulama geliştirmek yerine bir entegrasyon yöntemi seçildi ve başarılı bir şekilde uygulandı.

4. VAKA ÇALIŞMASI (CASE STUDY)

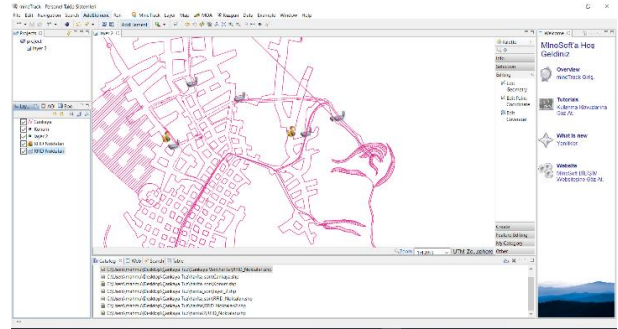
Bu çalışmada, algoritmanın ve metodolojinin başarısını göstermek için bir vaka çalışması yapıldı. RFID üzerinde çok sayıda çalışma ve ekipman olmasına rağmen, deneysel bir ortam yaratmak ve gelişmiş bir sistemi test etmek kolay değildir [26]. Seçilen metodolojinin, donanımların, yazılımların, programlama dillerinin tamamının entegre bir şekilde çalışabildiğini ispatlamak amacıyla Çankırı Tuz madeni testler ve geliştirmeler için tercih edildi. Madenin içindeki sistem donanımı ve yazılımını kurmadan önce, harita Şekil 6'da gösterildiği gibi BS yazılım harita araçlarıyla (pembe renkle) çizildi.



Şekil 5. a) RFID okuyucu, b) RFID etiket, c) Veri terminali (a) RFID reader, b) RFID tag, c) Data terminal

5 adet RFID cihazı 1800 m uzunluğundaki madene Şekil 6'daki gibi yerleştirilmiştir. Bu 5 okuyucu (Şekil 5a), madene kurulan 1800 m RS 485 kablosuyla bağlanmıştır. Bu 5 okuyucu bir veri terminaline bağlandı ve veri terminali (Şekil 5c) Cat 6 kablosu vasıtasıyla bir sunucuya ve dolayısıyla veritabanına bağlandı. Toplanan bilgiler ve RFID etiketlerinden gelen sinyal madendeki madencilerin konumunu tahmin etmek için hazır hale getirildi. İki maden işçiye, Şekil 5b'de gösterilen aktif RFID etiketler verildi. Madenciler belirli konumdaki her bir etiketin RSSI değerlerini toplamak için tüm RFID okuyuculardan en az on kez geçtiler. Her seferinde yüzlerce RSSI değeri toplandı ve her nokta için bir RSSI aralığı belirlendi. Toplanan tüm RSSI değerleri ve tahmini konumları PostreSQL veritabanına eklendi. RSSI değerine göre her konumun indeksini tanımlamak için toplanan sinyallerin modu belirlendi. Ardından, metodoloji ve algoritmanın sonucunu görmek amacıyla vaka çalışması test edildi. Madencilerin giriş ve çıkışları ve madendeki hareketleri anlık bir şekilde sistem odasında izlendi. Şekil 6 madenin BS ortamındaki haritasını ve madencilerin maden içerisindeki anlık bir konumunu göstermektedir. Aynı vaka çalışması 15 tane madenci ile tekrarlanmış ve sadece 1 çalışanın zaman zaman haritada görüntülenmediği gözlemlendi. Bunun en temel sebebi ise madencinin araba ile 30 km/s ile RFID alıcıların yanından geçmesidir. Genel itibarı ile takip sistemi, altyapısı ve geliştirilen algoritma

ile özellikle maden çalışanlarının, yöneticilerinin ve mühendislerin geri dönüşleri göz önüne alındığında tatmin edici doğruluktur.



Şekil 6. Madencilerin Çankırı tuz madeni ocağındaki anlık konum ekran görüntüsü (Snapshot of miners in Çankırı salt mine screen image)

5. DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER (EVALUATION AND RECOMMENDATIONS)

Yenilikçi, özgün bir metodoloji ve algoritma, bir RFID arayüzünü ve protokolünü bir BS yazılımına entegre etmek amacıyla uygulandı. Entegrasyonun amacı, hareket eden maden çalışanlarını gerçek zamanlı olarak takip etmek olduğundan, mekânsal altyapı özelliğine sahip bir yazılım kullanıldı. Algoritmada yer tamini için RSSI değeri kullanıldı. RFID etiketlerinin RSSI mod değeri, madendeki her konumun indeksi olarak seçildi. Bu çalışmada, java programlama dili hem entegrasyon hem de algoritma geliştirmek amacıyla kullanıldı. Özet olarak, yazılımın entegrasyonu, araştırmacılar ve geliştiriciler için aşağıdaki gibi birçok avantaj sağlamıştır:

- Zamandan tasarruf
- Geliştiriciler araç geliştirme yerine amaca odaklanırlar
- Arıza olasılığını azaltır
- Projenin başarısını artırır
- Küçük bir ekip yeterlidir
- Esnekliği artırır
- Daha güçlü yazılımlar geliştirilir

Madenciler, mühendisler ve yöneticiler için 20 metre hassasiyetinde konumlama yeterli ve tatmin edici olarak görüldü. Ayrıca, bu çalışma madende bulunan madencilerin konumunu tahmin etmek için gelişmiş, özgün ve yenilikçi bir algoritma geliştirilmesi amaçlandı ve başarılı bir şekilde uygulandı. Gelecekte, trilateration, gaussian gibi farklı algoritmalar, mevcut çalışmayı karşılaştırmak için uygulanacaktır. Metodolojik olarak konumlandırmanın doğruluğu sistematik bir şekilde ölçülemez bu çalışmanın başka bir eksik noktasıdır. Ayrıca, RSSI değerinin toplanması zaman harcaması farklı algoritma veya metodoloji kullanılarak kolaylaştırılmalıdır.

6. SONUÇ (CONCLUSION)

Kapalı ortamlar için, özellikle de madenler için, RFID teknolojisi en uygun teknolojik çözümlerden bir tanesi olmaktadır. Bunun yanı sıra mekânsal bilgi ve analiz gereksinimlerinden dolayı altlık olarak Coğrafi Bilgi Sistemleri böyle bir sistem için en uygun çözümlerden bir tanesidir. Bu çalışma da açıkça göstermiştir ki açık kaynak kodlu yazılımlar hem sektöre hem de akademik araştırmalara önemli katkılar sağlamaktadır.

Farklı frekans, menzil ve protokole sahip RFID cihazların farklı ve çok fazla olması sebebiyle kullanılacak cihazlar çalışmanın da başarısında anahtar rol almaktadır. Ayrıca sinyal haritası oluşturulurken hangi noktada hangi sıklıkta hangi sinyal gücünün alındığı iyi analiz edilmelidir.

Kullanılan algoritmadan bahsetmek gerekirse tek RFID okuyucu ile yapılabilecek konumlandırmalar da kısıtlamalar olmakla birlikte madencinin hangi yönde ilerlediğini ve hangi okuyucunun yanından sinyal aldığını tespit eden filtreler sistemin doğru çalışmasını sağlamıştır. Bunu yaparken bir önceki sinyal alınan nokta, en son sinyal verilen noktanın hangi okuyucuya mesafe olarak daha yakın olduğu ve en son sinyal alınan noktanın sağında ve solunda hangi RFID okuyucuların olduğu algoritmayı iyileştirmiştir.

Birden fazla cihazla sinyal haritası oluşturulmadan anlık konum belirleme bu çalışmanın devamında yapılması gereken bir çalışma olacaktır. Ayrıca sistemin performansı için daha fazla çalışmaya ve yeni yöntemlere ihtiyaç vardır. Çalışmanın diğer bir kısıtı ise 300 m'lik menzili olan cihazlardır. 300 m menzilin dışında kalan bölgeler için bu sistemle sadece tahmin yapılabilmektedir.

Özetlemek gerekirse, seçilen donanım, yazılım ve geliştirilmiş metodoloji ve algoritma madencilerin konumlarını tatminkar bir şekilde tahmin etmektedir. RFID sinyallerini uzun mesafelere taşımak birkaç kablo ve dönüştürücü kombinasyonunu kullanarak çözülür. Sonunda ve en önemlisi yeni uygulama geliştirmek yerine entegrasyon stratejisi uygulanmıştır. Bu çalışma sayesinde geliştirilen sistem Türkiye'deki birkaç yeraltı madenini başarıyla kullanmaktadır.

KAYNAK KODLAR (SOURCE CODE)

MineTrack kararlı bileşenleri ve kod dökümanlarını <http://sda4udig.com/en/minetrack> adresinden ulaşılabilir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

1209 numaralı projeye vermiş oldukları destekten dolayı Prof. Dr. H.Şebnem Düzgün'e, Çankırı Tuz Madeni yöneticilerine ve Genel Müdürü Abdullah Kocamış'a, Prof. Dr. Nevzat Onur'a, Prof. Dr. Mehmet Eroğlu'na teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Curran, K. and Norrby, S., "RFID-enabled location determination within indoor environments", *International Journal of Ambient Computing and Intelligence*, 1(4): 63-86, (2009).
- [2] Gu, Y., Lo, A. and Niemegeers, I., "A survey of indoor positioning systems for wireless personal networks", *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 11(1): 13-32, (2009).
- [3] Amanna, A., Agrawal, A. and Manteghi, M., "Active rfid for enhanced railway operations", *ASME. In: ASME 2010 Rail Transportation Division Fall Technical Conference*, 31-37, (2010).
- [4] Bouet, M. and Santos, A., "RFID tags: positioning principles and localization techniques", *In: 2008 1st IFIP Wireless Days*, Dubai, 1-5, (2008).
- [5] Yamano, K., Tanaka, K., Hirayama, M., Kondo, E., Kimura, Y. and Matsumoto, M., "Self-localization of mobile robots with rfid system by using support vector machine", *In: Proc. IEEE int. Conf. Intelligent robotics and system. IEEE*, 3756-3761, (2004).
- [6] Cangialosi, A., Monaly Jr., J. and Yang, S., "Leveraging RFID in hospitals: Patient life cycle and mobility perspectives", *IEEE Communications Magazine*, 45(9): 18-23, (2007).
- [7] Ni, L., Liu, Y., Lau, Y. and Patil, A., "LANDMARC: Indoor location sensing using active rfid", *Wireless Networks*, 10(6): 701-710, (2004).
- [8] Chen, T., Chang, C., Lin, J. and Yu, H., "Context-aware writing in ubiquitous learning environments", *In: Fifth IEEE International Conference on Wireless, Mobile, and Ubiquitous Technology in Education*, 67-73, (2008).
- [9] Smith, J., Fishkin, K., Jiang, B., Mamishev, A., Philipose, M., Rea, A., Roy, S. and Sundara-Rajan, K., "RFID-based techniques for human-activity detection" *Communications of the ACM*, 48(9): 39, (2005).
- [10] Ravindranath, L., Padmanabhan, V. and Agrawal, P., "Sixthsense: Rfid-based enterprise intelligence", *In: International Conference on Mobile systems, applications, and services*, 253-266, (2008).
- [11] C. Hekimian-Williams, B. Grant, Xiuwen Liu, Zhenghao Zhang and P. Kumar, "Accurate localization of RFID tags using phase difference", *2010 IEEE International Conference on RFID (IEEE RFID 2010)*, Orlando, FL, 89-96 (2010).
doi: 10.1109/RFID.2010.5467268
- [12] Cavour, M. and Yılmaz, C., "Madenlerde Yazılım ve İş Güvenliği", *Mimar ve Mühendisler Dergisi*, [online] (8), pp.70-71. Available at: <http://doczz.biz.tr/doc/164792/pdf-i%CC%87ndir> [Accessed 27 Mar. 2017], (2016).
- [13] Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı., "*Maden İşyerlerinde İş Sağlığı Ve Güvenliği Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılması Hakkında Yönetmelik*", R29663 (Mart): 3., T.C. Resmi Gazete (2016).
- [14] Goodchild, M., Haining, R. and Wise, S., "Integrating GIS and spatial data analysis: problems and possibilities", *International journal of geographical information systems*, 6(5): 407-423, (1992).
- [15] Anselin, L. and Getis, A., "Spatial statistical analysis and geographic information systems", *The Annals of Regional Science*, 26(1): 19-33, (1992).

- [16] Fotheringham, A., and Rogerson, P., “*Spatial analysis and GIS. London*”, Taylor & Francis, (1994).
- [17] Goodchild, M., “Stepping over the line: technological constraints and the new cartography”, *Cartography and Geographic Information Science*, 15(3): 311-319, (1988).
- [18] Karimi, H. and Houston, B., “Evaluating strategies for integrating environmental models with GIS: Current trends and future needs”, *Computers, Environment and Urban Systems*, 20(6): 413-425, (1996).
- [19] Brandmeyer, J. and Karimi, H., “Coupling methodologies for environmental models”, *Environmental Modelling & Software*, 15(5): 479-488, (2000).
- [20] Bailey, T. and Gatrell, A., “*Interactive spatial data analysis*”, Longman Scientific & Technical, 1st ed. Harlow Essex, England, (1995).
- [21] Sui, D., and Maggio, R., “Integrating GIS with hydrological modeling: practices, problems, and prospects”, *Computers, Environment And Urban Systems*, 23(1): 33-51, (1999). [http://dx.doi.org/10.1016/s0198-9715\(98\)00052-0](http://dx.doi.org/10.1016/s0198-9715(98)00052-0)
- [22] Hahnel, D., Burgard, W., Fox, D., Fishkin, K. and Philipose, M., “Mapping and localization with RFID technology”, *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 1015-1020, (2004).
- [23] Bahl, P. and Padmanabhan, V., “RADAR: An in-building rf-based user location and tracking system”, *INFOCOM*, (2000).
- [24] Öktem, R. and Aydın, E., “An rfid based indoor tracking method for navigating visually impaired people”, *In Turk J Elec Eng & Comp Sci*, 18(2), (2010).
- [25] Satman, M., “RCaller: a software library for calling R from java”, *British Journal of Mathematics & Computer Science*, 4(15): 2188-2196, (2014).
- [26] Welbourne, E., Balazinska, M., Borriello, G. and Brunette, W., "Challenges for Pervasive RFID-Based Infrastructures", *Pervasive Computing and Communications Workshops, PerCom Workshops '07. Fifth Annual IEEE International Conference on, White Plains, NY*, 388-394, (2007).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>

Isıl işlem görmüş (ThermoWood) ve su bazlı vernik uygulanmış bazı ağaç türlerinde hızlandırılmış UV yaşlandırmanın yüzeye yapışma direncine etkisi

Impact of accelerated UV aging on the surface adhesion strength of water-based varnish applied and heat-treated (ThermoWood) some wood species

Yazar(lar)(Author(s)): Ümit AYATA¹, Nevzat ÇAKICIER²

ORCID¹: 0000-0002-6787-7822

ORCID²: 0000-0001-6566-7541

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Ayata Ü., ve Çakıcıer N., “Isıl işlem görmüş (thermowood) ve su bazlı vernik uygulanmış bazı ağaç türlerinde hızlandırılmış uv yaşlandırmanın yüzeye yapışma direncine etkisi”, *Politeknik Dergisi*, 21(3): 611-619, (2018).

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

DOI: 10.2339/politeknik.389600

Isıl İşlem Görmüş (ThermoWood) ve Su Bazlı Vernik Uygulanmış Bazı Ağaç Türlerinde Hızlandırılmış UV Yaşlandırmanın Yüzeye Yapışma Direncine Etkisi

Araştırma Makalesi /Research Article

Ümit AYATA¹, Nevzat ÇAKICIER^{2*}

¹Ormançılık ve Orman Ürünleri Programı, Oltu Meslek Yüksekokulu, Atatürk Üniversitesi, Oltu/Erzurum, Türkiye

²Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye

(Geliş/Received : 12.07.2017 ; Kabul/Accepted : 15.08.2017)

ÖZ

Bu çalışmanın amacı, ısı işlem görmüş (ThermoWood) ve su bazlı vernik uygulanmış bazı ağaç türlerinde hızlandırılmış UV yaşlandırmanın yüzeye yapışma direncine etkisini belirlemektir. Bu amaçla Sarıçam (*Pinus sylvestris* Lipsky), Sapsız meşe (*Quercus petraea* Liebl.) ve Doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky) odunlarına, ThermoWood metoduna göre 190°C'de 2 saat ve 212°C'de 1 ve 2 saat süreler ile ısı işlem uygulanmıştır. Elde edilen malzemelerin yüzeylerine su bazlı tek ve çift bileşenli vernikler tatbik edilmiştir. Daha sonra UV-A 340 nm floresan lambalarının bulunduğu UV yaşlandırma cihazında 144, 288 ve 432 saat süre boyunca (ASTM G 154-06) yaşlandırılmaya maruz bırakılmıştır. Bu periyot sonlarında yüzeye yapışma dirençleri ölçülmüştür. Elde edilen bu sonuçlara göre; kullanılan su bazlı tek ve çift bileşenli verniklerin ısı işlem görmüş ağaç malzeme yüzeylerinde, yaşlandırma sonlarında yüzeye yapışma direnci değerinde azalma gösterdiği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Isıl işlem, su-bazlı vernik, yüzeye yapışma direnci, UV yaşlandırma.

Impact of Accelerated UV Aging on the Surface Adhesion Strength of Water-Based Varnish Applied and Heat-Treated (ThermoWood) Some Wood Species

ABSTRACT

This study was performed to determine the impact of accelerated UV aging on surface adhesion to some wood species treated with heat treated (ThermoWood) and water based varnish. For this purpose, heat treatment was carried out at 190°C for 2 hours and 212°C for 1 and 2 hours according to the ThermoWood method for the Scots pine (*Pinus sylvestris* Lipsky), European oak (*Quercus petraea* Liebl.) and Oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky). Water based single and double component varnishes had been applied to the surfaces of the obtained materials. The UV-A was then aged for 144, 288 and 432 hours (ASTM G 154-06) on a UV aging device with 340 nm fluorescent lamps. After these periods the surface adhesion resistance was measured. According to these results obtained; It had been determined that on the surface of water-based single and double component varnishes applied and heat treated wood showed a decrease in the adhesion value after aging.

Keywords: Heat treatment, water-based varnish, surface adhesion strength, UV aging.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüzde çeşitli ısı işlem metotları (Finland - ThermoWood, Holland - Plato Wood, Germany - Oil Heat Treatment, France - Bois Perdue, Rectification, vb.) bulunmaktadır. Bu çeşitli ısı işlem metotlarından birisi olan ThermoWood metodu ülkemizde Nova Orman Ürünleri San. Tic. A.Ş.'nin Bolu-Gerede'de bulunan ThermoWood Kereste Üretim Fabrikası'nda uygulanmaktadır.

Isıl işlem uygulaması sonrasında ahşap malzemelerin dış ortam koşullarına karşı olan direncini arttırmak için, üst yüzey koruyucu (vernik, boya vb.) kimyasalların kullanılması gerektiği bilinmektedir.

Yapılan çalışmalarda [1, 2] üst yüzey kimyasalları, ısı işlem uygulaması ve dış ortam şartları üzerinde gösterdiği performans araştırılmaya çalışılmıştır.

Bu çalışmanın amacı, ThermoWood metoduna göre 190°C'de 2 saat ve 212°C'de 1 ile 2 saat sürelerde ısı işlem görmüş ve su bazlı tek ve çift bileşenli vernikler ile verniklenmiş sarıçam, doğu kayını ve sapsız meşe odunlarından elde edilen vernikli deney örneklerinin bir hızlandırılmış QUV yaşlandırma cihazında 144, 288 ve 432 saat süreleri boyunca UV ışınlarına maruz bırakılarak, yaşlandırma öncesi ve yaşlandırma sonlarında meydana gelen değişikliklerin hangi periyotlarda başladığını belirlemek, su bazlı tek ve çift bileşenli verniklerin ısı işlem görmüş ahşap malzemeler üzerinde sahip oldukları performansın belirlenmesine ve uyumun yaygınlaştırılmasına katkıda bulunmak için yapılmıştır.

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

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

2.1. Materyal (Material)

2.1.1. Örnek Ağaçların Elde Edilmesi (Obtaining Sample Woods)

Ülkemiz ağaçları endüstrisinde yaygın olarak kullanılması nedeniyle sarıçam (*Pinus sylvestris* Lipsky), doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky) ve sapsız meşe (*Quercus petraea* Liebl.) türleri tercih edilmiştir. Deney örneklerinin hazırlanmasında kullanılan ağaç malzeme TS 1476'da belirtilen esaslara uygun olarak Düzce'deki kereste işletmelerinden tamamen tesadüfi metotla temin edilmiştir. Ağaç malzemenin seçiminde kerestenin sağlam olmasına, liflerinin düzgün, budaksız, ardaksız, normal büyüme göstermiş, reaksiyon odunu bulunmayan, mantar ve böcek zararlarına uğramamış olmasına özen gösterilmiştir [3, 4].

2.1.2. Deney Örneklerinin Hazırlanması (Preparation of Experimental Examples)

Keresteler ortalama $20 \pm 2^\circ\text{C}$ sıcaklık ve $\%65 \pm 5$ bağıl nemli iklimlendirme odasında değişmez ağırlığa ulaşmaya kadar bekletilerek rutubetlerinin $\%12$ 'ye gelmesi sağlanmıştır [5].

2.2. Yöntem (Method)

2.2.1. Isıl İşlem Uygulaması (Heat Treatment Application)

Bu araştırmada kullanılan ahşap örnekler ThermoWood ısıtma işlemi ile çalışan Nova Orman Ürünleri San. Tic. A.Ş.'nin Bolu-Gerede de bulunan ThermoWood Kereste Üretim Fabrikası'nda ısıtma işlemi tabii tutulmuşlardır. Sarıçam, kayın ve meşe örnekler fabrikada bulunan bilgisayar kontrollü test fırınında, 190°C 'de 2 saat (TW_1), 212°C 'de 1 saat (TW_2) ve 212°C 'de 2 saat (TW_3) periyotlarında ThermoWood yönteminde belirtilen esaslara uygun olarak ısıtma işlemi tabii tutulmuştur [6]. Isıtma işlemi görmüş keresteler TS 642 [5] standardına göre ortalama $20 \pm 2^\circ\text{C}$ sıcaklık ve $\%65 \pm 5$ bağıl nemli iklimlendirme odasında değişmez ağırlığa gelinceye kadar bekletildikten sonra deneysel çalışmalara geçilmiştir. Daha sonra test örnekleri endüstriyel uygulamalara uygun olarak kalibre zımpara makinesi yardımıyla önce 100, 120 ve daha sonra 180 nolu zımpara ile zımparalanmıştır.

2.2.2. Su-Bazlı Verniklerin Uygulanması (Application of water-based varnishes)

2.2.2.1. Astar Vernik Uygulaması (Primer Varnish Application)

180 nolu zımpara ile zımparalanmış $500 \times 100 \times 14$ mm temiz ölçüsüne getirilmiştir. Isıtma işlemi görmüş sarıçam, kayın ve meşe keresteleri; DUAL Boya Firması'ndan temin edilen ve firma önerilerine göre uygulamaya hazır hale getirilen AQUACOOOL FX 6150 kodlu biyosit ve lignin koruyucu içeren renksiz astar ile 10 sn'lik daldırma periyoduna göre iki kat olarak uygulanmıştır. Katlar arasında 20°C ortam sıcaklığında 3 saat beklendikten sonra kuruyan vernik filmi 400 nolu su zımparası ile zımparalanmış ve tozlar temizlendikten sonra ikinci kat

uygulaması yapılmıştır. Tam kuruması sağlanan astar katı, 400 numara zımpara ile zımparalanarak tozlar temizlendikten sonra su bazlı tek ve çift bileşenli son kat vernik uygulamalarına geçilmiştir [7].

2.2.2.2. Su-Bazlı Tek Bileşenli Vernik Uygulaması (Water-Based Single Component Varnish Application)

Son kat su bazlı tek bileşenli vernik uygulamasında Dual Boya Firmasının AQUACOOOL FX 7680/00 Dış Mekân renksiz son kat verniği kullanılmıştır. Endüstriyel uygulamalara uygun olarak Çizelge 1'de verilen miktarlarda tatbik edilmiştir. Uygulamada tabanca uç açıklığı 2.0 mm olan üstten hazneli püskürtme tabancası kullanılmıştır. Püskürtme tabancası ile endüstriyel yüzey uygulaması yönelik olarak numune yüzeyine dik ve uzaklığı 20-25 cm olacak şekilde paralel hareket ettirilerek, her katta önce liflere dik sonra liflere paralel olmak üzere çapraz kat yapılmıştır. Uygulamadaki hava basıncı 2 bar olarak seçilmiştir. Vernik uygulamasında birinci kat uygulandıktan sonra 20°C ortam sıcaklığında 3 saat beklenmiş ve kurutulmuş katman 400 nolu su zımparası ile zımparalandıktan sonra ikinci kat uygulanmıştır. Uygulama sırasında Çizelge 3'de verilen verniklere ait katı madde miktarlarının oranlarına göre film katman kalınlıklarının birbirine eşit olmasına özen gösterilmiştir. Üretici firma tarafından takım halinde temin edilen su-bazlı tek bileşenli verniğin bazı teknik özellikleri Çizelge 2'de verilmiştir.

2.2.2.3. Su-Bazlı Çift Bileşenli Vernik Uygulaması (Water-Based Double Component Varnish Application)

Son kat su bazlı çift bileşenli vernik uygulamasında Dual Boya Firmasının AQUACOOOL 0820/00 Dış Mekân renksiz son kat verniği (vernik + AQUACOOOL AX 0115 sertleştirici ($\%25$) + su ($\%10$)) kullanılmıştır. Endüstriyel uygulamalara uygun olarak Çizelge 1'de verilen miktarlarda tatbik edilmiştir. Uygulamada tabanca uç açıklığı 2.0 mm olan üstten hazneli püskürtme tabancası kullanılmıştır. Püskürtme tabancası ile endüstriyel yüzey uygulamasına göre numune yüzeyine dik ve uzaklığı 20-25 cm olacak şekilde paralel hareket ettirilerek, her katta önce liflere dik sonra liflere paralel olmak üzere çapraz kat uygulaması yapılmıştır. Uygulamadaki hava basıncı 2 bar olarak seçilmiştir. Vernik uygulamasında birinci kat uygulandıktan sonra 20°C ortam sıcaklığında 3 saat beklenmiş ve kurutulmuş katman 400 nolu su zımparası ile hafifçe zımparalandıktan sonra ikinci kat uygulanmıştır. İkinci kat uygulamasından sonra 20°C ortam sıcaklığında 3 saat beklenmiş ve kurutulmuş katman 400 nolu su zımparası ile hafifçe zımparalandıktan sonra üçüncü kat uygulanmıştır. Uygulama sırasında Çizelge 3'de verilen verniklere ait katı madde miktarlarının oranlarına göre film katman kalınlıklarının birbirine eşit olmasına özen gösterilmiştir. Üretici firma tarafından takım halinde temin edilen su-bazlı çift bileşenli verniğin bazı teknik özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Vernik uygulamaları (Varnish applications) Tek bileşenli vernik uygulaması

Çift bileşenli vernik uygulaması		
FX 6150 UV Koruyucu Astar Daldırma yöntemi Katı Madde (%19.45)	1. kat	130 g/m ² 25 g/m ²
	2. kat	70 g/m ² 13 g/m ²
FX 7680 Son Kat Vernik Pistole ile yöntemi Katı Madde (%43.26)	1. kat	140 g/m ² 61 g/m ²
	2. kat	140 g/m ² 61 g/m ²
Toplam Katı Madde		160 g/m ²
Çift bileşenli vernik uygulaması		
FX 6150 UV Koruyucu Astar Daldırma yöntemi Katı Madde %19.45	1. kat	130 g/m ² 25 g/m ²
	2. kat	70 g/m ² 13 g/m ²
FX 0820 2K Son Kat Vernik Pistole ile yöntemi karışım Katı Madde %37.78	1. kat	105 g/m ² 40 g/m ²
	2. kat	105 g/m ² 40 g/m ²
	3. kat	105 g/m ² 40 g/m ²
Toplam Katı Madde		158 g/m ²

Çizelge 2. Uygulanan vernikler hakkında bilgiler (Information on applied varnishes)

A	B	C	D	E	F	G	H
FX 6150 UV koruyucu astar	Akrilik reçine, biyosit ve UV koruyucu	1.02	9.2	19±2	Tercihen daldırma yöntemi, rulo, fırça, bez, sünger	DIN 4 kabında 20°C'de 11 saniye	Tek katta 100
FX 7680 dış mekân parlak vernik	Akrilik ve alifatik PU reçine	1.05	9.3	42±2	Pistole, fırça	DIN 6 kabında 20°C'de 45-55 saniye	100-140
FX 0820 dış mekân parlak vernik 2K	Alifatik PU dispersiyon	1.03	8.5	32±2	Pistole, basınçlı pompa	DIN 4 kabında 20°C'de 35-45 saniye (AX 015 sertleştirici katılmış hali ile)	60-100
AX 0115 sertleştirici	Suda çözünen alifatik poli izosiyanat	-	-	66-72	-	-	-
A: Vernik Türleri, B: Bileşeni, C: Yoğunluk, D: pH, E: Katı Madde (%), F: Uygulama Metodu, G: Viskozite, H: Uygulanan Miktar (g/m ²)							

2.2.3. Hızlandırılmış UV Yaşlandırma Uygulaması Öncesi Deney Örneklerinin Hazırlanması (Preparation of Experimental Examples Before Accelerated UV Aging Application)

Isıl işlem görmüş ve su bazlı tek ve çift bileşenli vernikler ile verniklenmiş 500x100x14 mm boyutlarındaki örnekler, yaşlandırma cihazına ait panel tutuculara uygun olarak, 120x80x14 mm boyutlarında kesildikten sonra elde edilen malzemelerin vernik bulunmayan açık kenarları, yaşlandırma uygulamaları sırasında herhangi bir olumsuz etkilere maruz kalmaması için aynı tür vernik ile verniklenerek yaşlandırma işlemlerine hazır hale getirilmiştir [7].

2.2.3.1. Hızlandırılmış UV Yaşlandırma Uygulaması (Accelerated UV Aging Application)

Sarıçam, kayın ve meşe odunlarına ait deney örneklerine, su bazlı tek ve çift bileşenli vernikler uygulandıktan sonra iklimlendirme laboratuvarında %12 rutubet için 20±2°C sıcaklık ve %65±3 bağıl nem şartlarında üç hafta süreyle kurumaya bırakılmıştır. Sonra vernikli malzemeler; ASTM G 154-06 [8] standardına (15 dakika su sprej, 8 saat UV) ait yaşlandırma ortam koşullarının modifiye edilmesiyle hazırlanmış (0.67 ışık şiddeti, 18 dakika su sprej, 2 saat UV ve 50°C ortam sıcaklığı) ve

UV-A 340 florasın lambalarının bulunduğu QUV accelerated weathering tester cihazında; 144, 288 ve 432 saat süre boyunca UV yaşlandırma etkilerine maruz bırakılmıştır [7].

2.2.4. Katı Madde Tayini (Solid Material Test)

Katı madde tayininin amacı; eşit kalınlıkta katman hazırlayabilmek için vernik veya boyanın katman yapma özelliğini tespit etmektir. Bunun için; ASTM D 1644-01 [9] esaslarına uyularak; vernikler, darası önceden alınan Ø 75±5 mm'lik konkav saat camına 2±0,2 g olacak şekilde damlalık ile konulmuş, daha sonra etüvde 60°C'de ağırlıkça sabit hale gelene kadar bekletilmiştir. Bu süre sonunda çözücüler tamamen buharlaştırılarak yeniden tartımları yapılmıştır. Katı madde miktarları aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmıştır.

$$K_m = [(V_u - \text{Ç}_b) / V_u] \times 100 \quad (1.)$$

$$V_u = G - D, \quad (2.)$$

$$\text{Ç}_b = G - E, \quad (3.)$$

Burada;

V_u = Uygulanan vernik (g),

Ç_b = Buharlaştıran çözücü (g),

K_m = Katı madde (%)

G = Yaş ağırlık (g),

D = Dara (g),
E = Kuru ağırlık (g).

2.2.5. Emprenye Retensiyon Oranlarının Belirlenmesi (Determination of Impregnated Retention Ratios)

Firma önerilerine göre uygulamaya hazır hale getirilen AQUACOL FX 6150 kodlu renksiz astar verniğinin uygulanmasında kısa süreli emprenye daldırma metodu kullanılmış olup, deney numuneleri 10 saniye süre ile emprenye maddesi içerisinde 2 defa bırakılmıştır [7].

Emprenye edilen örneklerin absorbe ettikleri çözelti miktarları ve net kuru madde miktarları TS 5723 [10] (Ahşap Koruma-Emprenye Maddesi Nüfuz Derinliğinin Tayini) standardında belirtilen yol takip edilerek aşağıdaki formüllere göre hesaplanmıştır [3, 11, 12].

$$\text{Retensiyon} = \frac{G \times C}{V} \times 10 \text{ kg/m}^3 \quad (4.)$$

Eşitlikte;

G = Örnek tarafından absorbe edilen çözelti miktarı ($m_1 - m_0$) (g)

m_0 = Emprenye öncesi ağırlık (g)

m_1 = Emprenye sonrası yaş ağırlık (g)

C = Çözelti konsantrasyonu

V = Odun örneğinin hacmi (cm^3)'dir.

$$\text{Retensiyon} = \frac{\text{Moes} - \text{Moeö}}{\text{Moeö}} \times 100 \quad (5.)$$

Eşitlikte;

Moes = Emprenye sonrası numunenin tam kuru ağırlığı (g)

Moeö = Emprenye öncesi numunenin tam kuru ağırlığı (g)

C = Çözelti konsantrasyonu (%).

2.2.6. Kuru Film Kalınlıkları (Dry Film Thicknesses)

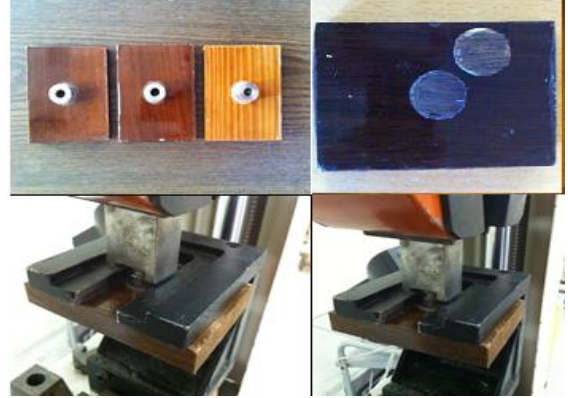
Çalışmada kullanılan verniklerin kuru film katman kalınlıkları Şekil 1'de gösterilen PosiTector 200 cihazında ASTM D 6132 [13] standardında belirtilen esaslara uyularak belirlenmiştir. Çeşitli mikron kalınlıklarına sahip film tabakaları ile kalibresi doğrulanan cihazın probu, vernikli ahşap malzeme üzerine damlatılan jel (DeFelsko marka - Ultrasonic couplant)'in üstüne gelecek şekilde bastırılmaktadır. Cihaz ultrasonik olarak çoklu sinyal gönderdikten hemen sonra tarama yapması ile otomatik olarak mikron kalınlığına ait değer ekranda okunmaktadır [7].



Şekil 1. PosiTector 200 cihazı (PosiTector 200 device).

2.2.7. YüzeYE Yapışma Testi (Surface Adhesion Test)

Vernik katmanlarının yüzeYE yapışma direnci, ASTM D-4541'e [14] göre, ALŞA marka 1 ton (10 KN) Elektromekanik Universal test cihazında yapılmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Universal test cihazı ve yüzeYE yapışma direnci aparatı (Universal tester and surface adhesion resistance).

Çalışmada 404 plastik çelik marka yapıştırıcı kullanılmıştır. Koruyucu katmanla kaplanan ve tam kuruması sağlanan örnek yüzeylerine 20 mm olan çekme silindirleri, kalıp yardımıyla normal oda sıcaklığında yapıştırılmıştır (Şekil 3). Jelleşmeye başlayan yapıştırıcı fazlalıkları 2 saat sonra bir iskarpela yardımı ile temizlenmiş ve 24 saat süreyle kurumaya bırakılmıştır [15, 16, 17].



Şekil 3. Çekme silindirlerinin ahşap bir düzenek yardımıyla vernikli yüzeYE yapıştırılması (Bonding of drawing cylinders to a varnished surface with the help of a wooden mechanism).

Çekme silindiri yapıştırılan yüzeylerdeki katman, malzeme yüzeyine kadar kesici yardımıyla kesilmiştir. İşleme yalnızca yapıştırılan alanın kopartılmasına olanak sağlanmıştır [15, 16].

Universal test cihazında örnekler yüzeYE yapıştırılan silindirlere çekilerek kopartılmış ve kopma anındaki kuvvet kaydedilmiştir. ASTM D 4541 [14] standardına uyularak çekme gerilmesinin, deneyin 90 saniye içerisinde tamamlanmasına özen gösterilmiştir. Yapışma direnci aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmıştır [15, 16].

$$X = 4 F / \pi \cdot d^2 \quad (6.)$$

Burada;

X = Yapışma direnci (MPa),

F = Kopma anındaki kuvvet (Newton)

d = Çekme silindirinin çapı (mm).



Şekil 4. Tutkalin kurumasından sonra çekme silindirinin çevresinde oluşan tutkalin alınması için kullanılan kesici deney aleti (Cutting test tool used to remove glue formed around the drawing roller after drying the glue).

2.2.8. Verilerin Değerlendirilmesi (Evaluation of Data)

İstatistiksel analiz sonuçları, yaşlandırma öncesi ile yaşlandırma sonrasında tahribatların olduğu örneklerin karşılaştırılması sonucu ile belirlenmiştir. İstatistiksel değerlendirmelerde MSTATC istatistik paket programından faydalanılmıştır. Çoklu varyans analizi "ANOVA" testleri, Duncan testi ve LSD (en küçük önemli fark) kritik değerleri belirlenmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

3.1. Kullanılan Verniklerin Özelliklerine Ait Bulgular (Findings of Properties of Used Varnishes)

3.1.1. Katı Madde Oranlarının Belirlenmesi (Determination of Solids Ratios)

Çalışmada kullanılan verniklerin katı madde miktarlarına ilişkin sonuçları Çizelge 3'de verilmiştir. En yüksek katı madde oranı; su bazlı tek bileşenli vernikte, en düşük ise emprenye renksiz dolgu verniği FX 6150'de elde edilmiştir.

Çizelge 3. Kullanılan verniklerin katı madde miktarları (%) (Solids content of varnishes used (%)).

Vernik Çeşidi	Katı Madde Oranı (%)
Emprenye Dolgu Renksiz FX 6150 UV	19.45
Su Bazlı Tek Bileşenli Vernik FX 7680	43.26
Su Bazlı Çift Bileşenli Vernik FX 0820 2K + AX 0115 sertleştirici	37.78

Çizelge 4. ThermoWood metoduna göre ısı işlem görmüş ağaç türlerine ait net kuru madde miktarları ve % tutunma oranları (Dry film thickness dry matter quantities and % holding ratios of heat treated wood species according to ThermoWood method).

Isıl İşlem	Sarıçam		Kayın		Meşe	
	A	B	A	B	A	B
190°C'de 2 saat	9.8089	10.34	6.2698	4.09	6.5139	4.57
212°C'de 1 saat	12.2580	11.86	6.8494	4.94	6.6969	5.20
212°C'de 2 saat	12.9515	14.05	7.5817	5.41	6.8342	5.25

A: Net kuru madde miktarı (kg/m³), B: % tutunma

3.1.2. Emprenye Retensiyon Oranlarının Belirlenmesine İlişkin Bulgular (Findings on Determination of Impregnated Retention Ratios)

ThermoWood metoduna göre ısı işlem görmüş sarıçam, kayın ve meşe odunlarının retensiyon oranları Çizelge 4'de verilmiştir. Isıl işlem görmüş ağaç malzemelere uygulanan 2 defa 10 saniyelik emprenye işleminin sonunda; en yüksek net kuru madde miktarı ve retensiyon oranı; 212°C'de 2 saat ısı işlem görmüş sarıçam örneğinde, en düşük ise 190°C'de 2 saat ısı işlem görmüş kayın örneğinde tespit edilmiştir. Isıl işlem süresi ve sıcaklığın artmasına paralel olarak net kuru madde miktarı ve % retensiyon miktarının arttığı belirlenmiştir.

3.1.3. Kuru Film Kalınlıklarına İlişkin Bulgular (Findings related to dry film thicknesses)

Su bazlı tek ve çift bileşenli verniklerin kuru film kalınlıklarına ilişkin ölçüm sonuçları Çizelge 5'de verilmiştir.

Çizelge 5. Kuru film kalınlıkları (Dry film thicknesses).

Isıl İşlem	Vernik Çeşidi	Katman Kalınlığı (µm)		
		Sarıçam	Kayın	Meşe
190°C'de 2 saat	Tek Bileşenli	139.80	137.00	142.00
	Çift Bileşenli	155.00	152.00	153.80
212°C'de 1 saat	Tek Bileşenli	140.80	136.40	147.00
	Çift Bileşenli	155.40	151.80	156.60
212°C'de 2 saat	Tek Bileşenli	144.00	139.00	148.60
	Çift Bileşenli	154.60	152.40	158.20

Katman kalınlığı en yüksek olarak 212°C'de 2 saat ısı işlem görmüş ve çift bileşenli vernik ile verniklenmiş meşede tespit edilirken, en düşük 212°C'de 1 saat süre ile ısı işlem görmüş ve tek bileşenli vernik ile verniklenmiş kayın odununda belirlenmiştir.

3.1.4. Yüze Yapışma Direncine Ait Bulgular (Resistance to Surface Adhesion Findings)

Yüze yapışma direncine ait Çoklu Varyans analizi (ANOVA) yapılmış ve bu sonuçlar Çizelge 6'de verilmiştir. Varyans analiz sonucuna göre ağaç türü, ısı işlem, vernik çeşidi ve yaşlandırma periyodu faktörleri ve bu faktörlerin karşılıklı etkileşimleri anlamlı çıktığı belirlenmiştir ($\alpha=0.05$) (Çizelge 6).

Çizelge 6. Ağaç türü, ısıtma işlemi, vernik çeşidi ve yaşlandırma periyodunun yüzeye yapışma direncine ait varyans analizi sonuçları (Results of variance analysis of wood type, heat treatment, varnish type and adhesion period of the aging period).

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Ortalama Kare	F Değeri	P, $\alpha=0.05$
Ağaç Türü (A)	2	47.189	23.595	566.6743	0.0000*
Isıl işlem (B)	2	1.131	0.566	13.5837	0.0000*
Etkileşim (AB)	4	1.953	0.488	11.7287	0.0000*
Vernik Çeşidi (C)	1	0.242	0.242	5.8086	0.0166*
Etkileşim (AC)	2	2.266	1.133	27.2156	0.0000*
Etkileşim (BC)	2	1.055	0.528	12.6695	0.0000*
Etkileşim (ABC)	4	3.906	0.977	23.4534	0.0000*
Yaşlandırma Periyodu (D)	3	3.466	1.155	27.7470	0.0000*
Etkileşim (AD)	6	2.626	0.438	10.5113	0.0000*
Etkileşim (BD)	6	2.142	0.357	8.5725	0.0000*
Etkileşim (ABD)	12	8.544	0.712	17.0996	0.0000*
Etkileşim (CD)	3	1.154	0.385	9.2364	0.0000*
Etkileşim (ACD)	6	0.763	0.127	3.0554	0.0000*
Etkileşim (BCD)	6	5.554	0.926	22.2330	0.0065*
Etkileşim (ABCD)	12	6.655	0.555	13.3195	0.0000*
Hata	288	11.992	0.042		
Toplam	359	100.639			

*: Anlamlı ($\alpha = 0.05$ 'e göre)

Çizelge 7. Ağaç türü, ısıtma işlemi, vernik çeşidi ve yaşlandırma periyodu değişkenleri için yüzeye yapışma direncine ait Duncan testi sonuçları (Duncan test results of surface adhesion resistance for wood type, heat treatment, varnish type and aging period variables).

Faktör		X	HG	LSD \pm	Faktör		X	HG	LSD \pm
Ağaç Türü	Sarıçam	1.264	C	0.05207	Vernik Çeşidi	Tek Bileşenli	1.701	A*	0.04252
	Kayın	2.145	A*			Çift Bileşenli	1.649	B	
	Meşe	1.616	B		Yaşlandırma Periyodu	Kontrol	1.583	C	0.06013
Isıl İşlem	190°C'de 2 Saat	1.745	A*	144 Saat		1.828	A*		
	212°C'de 1 Saat	1.670	B	288 Saat		1.692	B		
	212°C'de 2 Saat	1.608	C	432 Saat		1.595	C		

X: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik grubu, *: En yüksek yüzeye yapışma direnci değeri

Çizelge 7'ye göre ağaç türü düzeyinde yüzeye yapışma direnci değeri en yüksek kayında, en düşük sarıçamda tespit edilmiştir. Isıl işlem düzeyinde, yüzeye yapışma

direnci değeri en yüksek 190°C'de 2 saat ısıtma işlemi görmüş örneklerde, en düşük 212°C'de 2 saat ısıtma işlemi görmüş örneklerde elde edilmiştir.

Çizelge 8. Ağaç türü - ısı işlem - vernik çeşidi - yaşlandırma periyodu dörtlü etkileşimine ait yüzeye yapışma direnci değeri için Duncan testi sonuçları (Duncan test results for wood type - heat treatment - varnish type - adhesion value of surface adhesion to aging period quaternary interaction).

Odun türü	Isıl işlem	Vernik çeşidi	Yaşlandırma periyodu					
			Kontrol (0 saat)			144 saat		
			X	S	HG	X	S	HG
Sarıçam	TW ₁	Tek bileşenli	1.222	0.055	[]^_`	1.677	0.137	PQRSTUW
		Çift bileşenli	1.161	0.141	]^_`a	0.873	0.052	bc
	TW ₂	Tek bileşenli	1.178	0.082	]^_`a	1.700	0.092	NOPQRSTUW
		Çift bileşenli	1.094	0.081	^_`ab	1.461	0.094	UVWXYZ[\
	TW ₃	Tek bileşenli	0.960	0.108	abc	1.253	0.222	Z[|^_`
		Çift bileşenli	0.980	0.110	`abc	1.099	0.081	^_`ab
Kayın	TW ₁	Tek bileşenli	2.437	0.319	CDE	2.450	0.330	CDE
		Çift bileşenli	2.208	0.194	EFGH	2.624	0.243	ABC
	TW ₂	Tek bileşenli	1.821	0.148	KLMNOPQ	2.715	0.583	AB
		Çift bileşenli	2.601	0.254	ABC	2.199	0.214	EFGHI
	TW ₃	Tek bileşenli	1.941	0.265	JKLMNO	2.531	0.407	BCD
		Çift bileşenli	1.752	0.178	LMNOPQRS	1.960	0.223	HIJKLM
Meşe	TW ₁	Tek bileşenli	1.674	0.072	PQRSTUW	1.688	0.148	OPQRSTUW
		Çift bileşenli	1.825	0.150	KLMNOPQ	2.052	0.267	GHIJK
	TW ₂	Tek bileşenli	1.148	0.106	]^_`a	1.457	0.127	UVWXYZ[\
		Çift bileşenli	1.722	0.157	MNOPQRST	1.940	0.194	JKLMNO
	TW ₃	Tek bileşenli	1.273	0.240	YZ[|^_`	1.767	0.162	LMNOPQR
		Çift bileşenli	1.504	0.054	STUVWXYZ	1.464	0.063	UVWXYZ[
Odun türü	Isıl işlem	Vernik çeşidi	Yaşlandırma periyodu					
			288 saat			432 saat		
			X	S	HG	X	S	HG
Sarıçam	TW ₁	Tek bileşenli	1.035	0.095	_`ab	1.979	0.216	HIJKL
		Çift bileşenli	1.208	0.213	]^_`a	1.604	0.191	PQRSTUWV
	TW ₂	Tek bileşenli	2.146	0.307	FGHIJ	1.479	0.093	TUVWXYZ
		Çift bileşenli	1.064	0.086	_`ab	0.761	0.095	c
	TW ₃	Tek bileşenli	0.879	0.055	bc	0.953	0.078	abc
		Çift bileşenli	1.448	0.073	VWXYZ[\	1.110	0.122	^_`ab
Kayın	TW ₁	Tek bileşenli	2.852	0.444	A*	2.164	0.167	FGHIJ
		Çift bileşenli	1.950	0.157	IJKLMN	1.509	0.073	STUVWXY
	TW ₂	Tek bileşenli	1.709	0.292	MNOPQRSTU	2.249	0.201	EFG
		Çift bileşenli	1.662	0.171	PQRSTUW	1.690	0.124	OPQRSTUW
	TW ₃	Tek bileşenli	1.692	0.167	OPQRSTUW	1.782	0.130	LMNOPQR
		Çift bileşenli	2.316	0.376	DEF	2.655	0.447	ABC
Meşe	TW ₁	Tek bileşenli	1.371	0.222	WXYZ[\]	0.973	0.157	`abc
		Çift bileşenli	1.739	0.081	LMNOPQRS	1.614	0.136	PQRSTUWV
	TW ₂	Tek bileşenli	1.852	0.208	KLMNOP	1.529	0.100	RSTUVWX
		Çift bileşenli	1.589	0.084	QRSTUWV	1.323	0.387	XYZ[|^_`
	TW ₃	Tek bileşenli	2.124	0.083	FGHIJ	1.559	0.100	RSTUVWX
		Çift bileşenli	1.815	0.114	KLMNOPQ	1.780	0.099	LMNOPQR
LSD ± 0.2551								
X: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik grubu, S: Standart sapma, *: En yüksek yüzeye yapışma direnci değeri, TW ₁ : 190°C'de 2 saat, TW ₂ : 212°C'de 1 saat, TW ₃ : 212°C'de 2 saat								

Vernik çeşidi faktörü düzeyinde yüzeye yapışma direnci değeri en yüksek tek bileşenli vernikte, en düşük çift bileşenli vernikte elde edilmiştir. Yüzeye yapışma direnci değeri en yüksek 144 saatlik UV yaşlandırmaya maruz kalmış örneklerinde, en düşük 432 saatlik UV yaşlandırmaya maruz kalmış örneklerinde ve kontrol örneklerinde tespit edilmiştir.

Çizelge 8'e göre ağaç türü - ısı işlem - vernik çeşidi - yaşlandırma periyodu etkileşimi düzeyinde, yüzeye yapışma direnci değeri en yüksek, 190°C'de 2 saat süre ile ısı işlem görmüş ve tek bileşenli vernik ile

verniklelenmiş kayının 288 saatlik UV yaşlandırma yapılan örneklerde, en düşük 212°C'de 1 saat süre ile ısı işlem görmüş ve çift bileşenli vernik ile verniklelenmiş sarıçamın 432 saatlik UV yaşlandırma yapılan örneklerinde elde edilmiştir.

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Araştırma sonuçlarına göre, ağaç türü düzeyinde yüzeye yapışma direnci değeri en yüksek kayında, en düşük sarıçamda tespit edilmiştir. Buna göre, denemelerde kullanılan verniklerde en iyi yapışma direnci ince

tekstürlü kayın malzeme yüzeylerinde elde edilirken, anatomik yapısındaki ekstraktiflerin de etkisiyle en düşük yapışma direnci değerinin sarıçamda elde edildiği söylenebilir.

Sönmez ve Budakçı [18]; Budakçı ve Sönmez [19] vernikli yüzeylerde en yüksek yüzeye yapışma direncinin kayın kontrol örneklerinde elde edildiği, bunun kayın ağacının dağınık küçük traheli olan yapısının spesifik adezyonu artırıcı etkiden kaynaklanmış olabileceği şekilden açıklanmıştır.

Isıl işlem düzeyinde, yüzeye yapışma direnci değeri en yüksek 190°C'de 2 saatte, en düşük 212°C'de 2 saatte elde edilmiştir. Bu durumda, ısı işlem uygulamasında sıcaklık arttıkça ve süre uzadıkça yüzeye yapışma direnci değerinin azaldığı tespit edilmiştir.

Kaçamer [20] tarafından yapılan çalışmada, iyi bir yapışma direnci değeri için 120°C'lik sıcaklığın 170°C'ye göre daha uygun olduğu, sıcaklık arttıkça yüzey deformasyonu artacağından yapışmanın bundan olumsuz etkilenebileceğini bildirilmiştir.

Vernik çeşidi düzeyinde yüzeye yapışma direnci değeri en yüksek tek bileşenli vernikte, en düşük çift bileşenli vernikte elde edilmiştir. Tek bileşenli vernik katmanı ile ağaç malzeme arakesitinde kurulan moleküler bağların (mekanik bağ, spesifik bağ, kimyasal bağ) iki bileşenli vernik katmanına göre daha güçlü oluşunun bu verniğin yüzeye yapışma değerinin daha yüksek çıkmasında etkili olduğu söylenebilir.

Yakın [21]; Sönmez ve Budakçı [22] tarafından yapılan çalışmalarda, su bazlı vernik katmanlarının mekanik etkilere dayanıksız olduğu, sertlik, parlaklık ve yüzeye yapışma direncinin düşük olduğu bildirilmiştir.

Sönmez ve Budakçı [18] tarafından yapılan araştırmada, sentetik esaslı vernik/boyada yüzeye yapışma direncinin düşük çıkmasının, üretiminde kullanılan yağ bileşikli reçinelerin ve renk pigmentlerinin adezyonu azaltıcı etkisinden kaynaklandığı bildirilmiştir. Aynı çalışmada değişik ağaç malzeme yüzeylerine vernikleme işleminden önce uygulanan tahta koruyucunun (pinotex), sentetik boya ve yat verniklerinin yüzeye yapışma direncini olumsuz yönde etkilediğini, bu durumun, tahta koruyucunun bileşimindeki yağ tarafından ağaç malzeme doygun hale getirildiği için vernik katmanlarının yapışma direncinin azalması olmasından kaynaklanabileceğini ifade etmişlerdir.

Nichols ve Gerlock [23] tarafından yapılan çalışmada, melamin reçine ve akrilik kopolimerin kullanıldığı polimerik kaplama malzemelerine uygulanan UV yaşlandırma işleminde oluşan yüksek sıcaklık etkisiyle çapraz bağların birbirine yaklaştığını bildirmişlerdir.

Yaşlandırma periyodu düzeyinde yüzeye yapışma direnci değeri en yüksek 144 saatlik UV yaşlandırma örneklerinde, en düşük 432 saatlik UV yaşlandırma ve kontrol örneklerinde tespit edilmiştir. 144 saatlik ve 288 saatlik UV yaşlandırma uygulamaları arasında %95 güven aralığı düzeyinde istatistiksel olarak bir farklılık gözlemlenmiş, kontrol (yaşlandırma öncesi) ve 432

saatlik UV yaşlandırma uygulamalarında arasındaki fark %95 güven aralığı düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Yaşlandırma işleminde uygulanan UV etkisiyle periyodun ilk aşamalarında yüzeye yapışma direnci değerinde artış, ilerleyen aşamalarında ise azalma olduğu sonucuna varılmıştır.

Bilgen [24] yaptığı çalışmasında, değişik harici etkenlere maruz bırakıldığında, en yüksek yapışma direnci değerini Hicson Decor kontrol gurubu örneklerinde, en düşük Cam Cila örneklerinde elde ettiğini; sonuçlar üzerinde sıcaklık, nem, güneş ışığının değişik dalga boyları ve UV radyasyonunun etkili olduğunu ve bunların etki düzeylerinin günün farklı saatleri ile mevsimsel değişikliklere göre farklılaşabileceğini, etkilerinin vernik katmanında genleşmeye sebep olacağı, bu yüzden vernik katmanı ile örnek yüzeyi arasındaki adezyonu azaltarak yapışma direncinde azalmaya sebep olabileceğini bildirmiştir.

Bilgen [24] bir başka çalışmasında, 12 ay süre dış hava şartlarında bekletilen örneklerde yağmur sularının yüzeyde kuruyuncaya kadar beklemesi ve güneş ışınlarının örnek yüzeyinden dik açı ile yansması ve halinde, yüzeydeki suyun mercek görevi görerek örnek yüzeyinde ısınmaya yol açtığını, bu yüzeysel ısınmanın sonucu olarak vernik molekülleri ile örnek yüzeyi arasında kurulan bağların zayıfladığını bu yüzden yüzeye yapışma direncinin azaldığını belirtmiştir.

Çakıcıer [25] deneysel çalışmalarda kullanılan örneklerin sıcaklıkları yükseltildiğinde; sıcaklığın oluşacak her çeşit kimyasal işlemi aynı derecede etkilemeyeceğini, aktivasyon enerjisinin polimerlerin termal tahribatının ilk aşaması olduğunu, sıcaklık artırıldığında ise termal tahribatın oksidasyon ve hidroliz reaksiyonları ile aynı paralelde devam ettiğini belirtmiştir. Vernik moleküllerinin aldıkları enerjiyle molekül bağları koptuğunda ise artık dönüşümsüz şekilde değiştirildiğini bildirmiştir.

Çakıcıer [25] ve Feller [26] yaptıkları çalışmalarda, sıcaklığın özellikle ortamda rutubet olması halinde daha etkili olduğunu, sıcaklık etkisiyle oluşan tahribatın termoliz, termolitik ya da pirolitik tahribat olarak tanımlandığını, bu reaksiyon şartlarında oksijenin işlem dışı tutulduğunu, termal tahribattan söz ederken bu tür reaksiyonlardan daha çok termal-oksidatif tahribatın akla geldiğini, diğer taraftan reaksiyonlara etkisinde birbirleriyle bağ kurarak sertleşmeye başlayan polimerlerde sıcaklığın 32°C'de sabit tutulması halinde bile önemli bir bağ kopmasının gözleneceğini belirtmişlerdir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma "Isıl işlem görmüş (ThermoWood) bazı ağaç türlerinde kullanılan su-bazlı vernik katmanlarının hızlandırılmış UV yaşlandırma etkisine karşı direncinin belirlenmesi" başlıklı doktora tezinden üretilmiş ve Düzce Üniversitesi BAP-2012.02.HD.078 numaralı Bilimsel Araştırma Projesiyle desteklenmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Jaémsaé S., Ahola P., Vitaniem P., “Long-term natural weathering of coated ThermoWood”, *Pigment & Resin Technology*, 29(2): 68-74, (2000).
- [2] Miklečić J., Jirouš-Rajković V., Antonović A, and Španić N., “Discolouration of thermally modified wood during simulated indoor sunlight exposure, thermal wood colour & sunlight”, *BioResources*, 6(1): 434-446, (2011).
- [3] Örs Y., Keskin H., “Ağaç malzeme teknolojisi, Ders Kitabı”, Gazi Üniversitesi Yayın No: 2000/352, *Gazi Yayıncılık*, Ankara, (2008).
- [4] TS 1476, “Odunda fiziksel ve mekanik özelliklerin tayini için homojen meşçerelerden numune ağacı ve laboratuvar numunesi alınması”, T.S.E., Ankara, (1984).
- [5] TS 642 ISO 554, Kondisyonlama ve /veya deney için standart atmosferler - özellikler, T.S.E., Ankara, (1997).
- [6] Anonymous, “ThermoWood Handbook”, *Finnish ThermoWood Association*, Helsinki-Finland, (2003).
- [7] Ayata Ü., “Isıl işlem görmüş (ThermoWood) bazı ağaç türlerinde kullanılan su-bazlı vernik katmanlarının hızlandırılmış UV yaşlandırma etkisine karşı direncinin belirlenmesi”, *Doktora Tezi*, Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Düzce, (2014).
- [8] ASTM G 154-06, “Standard practice for operating fluorescent light apparatus for UV exposure of nonmetallic materials”, American Society for Testing and Materials, USA, 2-8, (2006).
- [9] ASTM D 1644-01, “Standard test methods for nonvolatile content of varnishes”, American Society for Testing and Materials”, West Conshohocken, Pennsylvania, USA, (2006).
- [10] TS 5723, “Ahşap koruma-emprenye maddesi nüfuz derinliğinin tayini”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, (1988).
- [11] Atar M., Keskin H., Yavuzcan H.G., “Varnish layer hardness of oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) wood As affected by impregnation and color bleaching”, *Journal of Coatings Technology (JCT)*, 1/3: 219-225, (2004).
- [12] Bozkurt Y., Göker Y., Erdin N., “Emprenye Tekniği”, *İ.Ü. Orman Fakültesi Yayınları*, İstanbul, 3779 (425): 125 ve 429, (1993).
- [13] ASTM D 6132, “Standard test method for nondestructive measurement of dry film thickness of applied organic coatings using an ultrasonic gage”, American Society for Testing and Materials, (2008).
- [14] ASTM D 4541, “Standard Test method for pull-off strength of coatings using portable adhesion testers”, American Society for Testing and Materials, 12-15, (1995).
- [15] Budakçı M., “Pnömatik adezyon deney cihazı tasarımı ve üretimi (Doktora tezinden üretilmiştir)”, *Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Politeknik Dergisi*, 9(1):53-58, (2006).
- [16] Budakçı M., “Pnömatik adezyon deney cihazı tasarımı, üretimi ve ahşap verniklerinde denenmesi”, *Doktora Tezi*, G.Ü., Ankara, (2003).
- [17] Taşcıoğlu C., Budakçı M., “Adhesion properties of woods treated with copper based wood preservative chemicals”, *Wood Research*, 54(3): 23-32, (2009).
- [18] Sönmez A., Budakçı M., “Tahta koruyucunun dış cephe verniklerinin yapışma direncine etkisi”, *G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Ankara, 14(2): 305-314, (2001).
- [19] Budakçı M., and Sönmez A., “Determining adhesion strength of some wood varnishes on different wood surfaces”, *Gazi Müh. ve Mimarlık Fak. Dergisi*, 25(1): 111-118, (2010).
- [20] Kaçamer S., “İmersol aqua ve tanalith-e ile emprenye edilmiş ısıtılmış ağaç malzemelerin yapışma ve yanma dirençlerinin belirlenmesi”, *Yüksek Lisans Tezi*, Karabük Üniversitesi, Karabük, (2010).
- [21] Yakın M., “Su bazlı verniklerde sertlik, parlaklık ve yüzeye yapışma mukavemetinin tespiti”, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi, Ankara, (2001).
- [22] Sönmez A., ve Budakçı M., “Ağaç işlerinde üst yüzey işlemleri II, koruyucu katman ve boya / vernik sistemleri”, *Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi*, Ankara, 85-90, (2004).
- [23] Nichols M.E., Gerlock J.L., “Rates of photooxidation induced crosslinking and chain scission in thermoset polymer coatings II. effect of hals and UV light absorber additives”, *Polymer Degradation and Stability*, 69: 197-207, (2000).
- [24] Bilgen S., “Dış ortam şartlarının verniklenmiş ardıc odununun bazı fiziksel özelliklerine etkisi”, *Yüksek Lisans Tezi*, Karabük Üniversitesi, Karabük, (2010).
- [25] Çakıcıer N., “Ağaç malzeme yüzey işlemi katmanlarında yaşlanma sonucu belirlenen değişiklikler”, *Doktora Tezi*, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, (2007).
- [26] Feller R.L., “Accelerated aging, photochemical and thermal aspects”, *Printed in the United States of America*, (1994).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>

Türkiye elektrik iletim ve dağıtım şebekesinin enerji verimliliğinin değerlendirilmesi ve 2023 projeksiyonları

An assessment of transmission and distribution grid efficiency in turkey with projections to 2023

Yazar (Author): Bilal DÜZGÜN

ORCID: 0000-0001-9806-3373

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Düzgün B., “Türkiye elektrik iletim ve dağıtım şebekesinin enerji verimliliğinin değerlendirilmesi ve 2023 projeksiyonları”, *Politeknik Dergisi*, 21(3): 621-632, (2018).

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

DOI: 10.2339/politeknik.389604

Türkiye Elektrik İletim ve Dağıtım Şebekesinin Enerji Verimliliğinin Değerlendirilmesi ve 2023 Projeksiyonları

Araştırma Makalesi / Research Article

Bilal DÜZGÜN*

Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı (Teknoloji Fakültesi), Gazi Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 25.05.2017 ; Kabul/Accepted : 27.07.2017)

ÖZ

Ülkelerin ekonomik gelişmişlik düzeyi ile elektrik tüketimleri arasında genellikle doğru bir nedensellik ilişkisi olduğu kabul edilir. Fakat elektrik tüketiminin yüksek olmasına rağmen iletim ve dağıtım şebekesinde yüksek kayıp oranlarının bulunması birtakım sorunların varlığını da göstermektedir. Türkiye'nin 2016 yılında 278.3 milyar kWh'a yükselen brüt elektrik tüketiminin 2023 yılı için düşük talep senaryosuna göre 367.9 milyar kWh'e veya yüksek talep senaryosuna göre 407.9 milyar kWh'e ulaşması beklenmektedir. Bununla birlikte, Türkiye'nin iletim ve dağıtım şebekesinin toplam teknik ve teknik olmayan kayıp oranları OECD ortalamasının iki katından fazla olup 2015 yılında toplam tüketimin %14.2'sini oluşturmuştur. Bu çalışmada şebekedeki teknik ve teknik olmayan kayıpların azaltılarak enerji verimliliğinin artırılmasında dağıtık üretimin ve akıllı sayaçların rolü tartışılmış ve dağıtım şirketlerinin teknik etkinliklerinin hesaplanmasına yönelik veri zarflama analizi kullanılarak akıllı sayaç yatırımlarında önceliklendirilecek dağıtım bölgeleri belirlenmiştir. Yapılan analizler 2023 yılına kadar yapılacak yaklaşık 2.2 milyar Dolar yatırım sonucunda kayıp oranlarının %12.38 seviyesine düşürülebileceğini ve kayıp oranlarında Türkiye'nin OECD ortalamasına ancak 2030 sonrasında ulaşmasının mümkün olabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Enerji verimliliği, 2023 projeksiyonu, veri zarflama analizi, elektrik dağıtım şirketleri, dağıtık üretim.

An Assessment of Transmission and Distribution Grid Efficiency in Turkey with Projections to 2023

ABSTRACT

Although energy consumptions of countries can be considered as one of the basic indicators showing their development levels, having high level of electric power transmission and distribution (T&D) losses means serious problems exist both technically and non-technically in their power grids. Turkey's gross electricity consumption reached 278.3 billion kWh in 2016 and electricity demand is projected to increase 367.9 billion kWh in low-demand scenario or 407.9 billion kWh in high-demand scenario by 2023. However, T&D losses in Turkish electricity grid were 14.2% in 2015 which was more than twofold of OECD average. This paper provides an overview of the T&D losses in Turkey, highlights the growing role of the distributed generation and smart meters and prioritize distribution regions where smart meters can be implemented. The paper finds that T&D losses can be decreased from current level to 12.38% in 2023 by investing nearly 2.2 billion Dollars. Though reaching OECD level is very difficult task to achieve and apparently Turkey won't get OECD level before 2030, increasing the penetration of distributed generation and implementation of smart meters to decrease technical and non-technical losses can be the key solutions for increasing energy efficiency in the Turkish power grid.

Keywords: Energy efficiency, projections to 2023, data envelopment analysis, electricity distribution companies, distributed generation

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Ülkelerin elektrik tüketimleri ekonomik büyümelerini belirleyen unsurlardan biri olarak kabul edilir. Bununla birlikte, elektrik iletim ve dağıtım şebekesinde yüksek kayıp oranlarına sahip olunması da şebekelerde teknik ve teknik olmayan birtakım önemli sorunlar olduğunu göstermektedir.

Elektrik şebekesindeki toplam kayıp miktarı şebekeye verilen enerji ile tahakkuk edilen enerji arasındaki farktan hesaplanmaktadır. "Kayıp" olarak ifade edilen

teknik kayıplar enerjinin aktarımı sonucu oluşan doğal bir durumdur ve asgari seviyelerde tutulması istenir. "Kaçak" olarak belirtilen teknik olmayan kayıplar ise sosyal, ekonomik, bölgesel, yönetsel, politik, altyapısal, güç kalitesi, güvenlik vb. birçok farklı parametreye bağlı karmaşık bir problemdir. Kayıp ve kaçak enerji miktarları birbirinden ayrıştırılmadığından genellikle birlikte kullanılırlar.

Elektrik iletim ve dağıtım şebekesindeki kayıpların azaltılmasına yönelik literatürde farklı çalışmalar yer almaktadır. Suriyamongkol (2002) ve Piercy ve Cress (2007) çalışmalarında iletim ve dağıtım şebekesindeki teknik kayıpları bir sınıflandırma içerisinde sunmuştur.

Sorumlu Yazar (Corresponding author)
e-posta : bilalduzgun@gmail.com

[1,2]. IEC (2007) teknik kayıpların azaltılmasına yönelik ekipman temelinde yayımladıkları teknik standartlara uyulmasının önemine dikkat çekmiştir [3]. Neme ve Sedano (2012) şebekedeki teknik kayıpların azaltılmasına yönelik ABD deneyimlerinden elde ettikleri bulgularında coğrafi koşulların verimlilik artırıcı çalışma maliyetlerine doğrudan etki ettiğini, verimli bir işletme açısından uzun dönemli planlama yapılması ve verimlilik çalışmalarının talep tarafı yönetimi ve dağıtık üretim ile birlikte ele alınması gerektiği sonucuna varmıştır [4].

Elektrik şebekesindeki teknik olmayan kayıplara bakıldığında, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelere kaçak elektrik kullanımının farklı nedenlere dayandığı görülmektedir. Örneğin, ABD ve Kanada'da yüksek enerji tüketen hint keneviri üretiminin gizlenmesi adına yetiştiricilerin elektriği kaçak olarak kullanma yoluna gittikleri bildirilmektedir [5]. Hindistan'da ise düşük gelir düzeyine sahip hanelerin elektrik hırsızlığı yapan mafyalara başvurarak mevcut elektrik tarifesine göre daha cüzi olan aylık sabit bir ücret ödeme karşılığında kaçak elektriği kullanmayı tercih ettikleri ortaya çıkmıştır [6]. Jimenez, Serebrisky ve Mercado (2014) çalışmalarında Latin Amerika bölgesinde her yıl toplam üretilen elektriğin %17'sinin kayıp ve kaçağa gittiğini belirtmektedir [7]. Dünya genelinde ise sadece kaçak elektrik kullanımından dolayı yıllık 25 milyar Dolar zarar edildiği tahmin edilmektedir [8].

Teknik olmayan kayıpların azaltılmasına yönelik uygulanan konvansiyonel tedbirlerin yanı sıra literatürde bazı radikal öneriler de yer almaktadır. Örneğin, Depuru, Wand ve Devabhaktuni (2011) tasarladıkları sistem ile elektriği kaçak olarak kullananların elektrikli ev aletlerine harmonik bileşenler üretilerek zarar verilmesini önermektedir. Tasarladıkları sistem şu şekilde çalışmaktadır; öncelikle aboneleri akıllı sayaçla donatılan dağıtım şebekesinin planlı olarak elektriği kesilmektedir, ardından kaçak elektrik kullananların elektrikli ev aletlerini bozmaya yönelik ilgili şebeke bir harmonik generatörüyle beslenilmekte ve böylelikle dağıtım hattında istenmeyen harmonik bileşenler üretilmektedir. Bu bileşenler de elektriği kaçak olarak kullanan tüketicilerin ekipmanlarına zarar verilmesini sağlamaktadır [8].

Türkiye'nin kayıp ve kaçak ile mücadelesi Sanlı (2016) tarafından 1960'lı yıllardan günümüze kadar olan süreçte ele alınmış ve kamu hizmetlerine ilişkin mevzuat ve işleyişin şekillendirilmesinde hangi ekonomik modelin seçilmesi gerektiği sorusuna cevap aramıştır [9]. Adak (t.y.) kaçak kullanma yöntemlerini irdeleyerek kaçak elektrik kullanımının önüne geçilmesine yönelik sayaçların direklerle monte edilmesinden dağıtık üretimin teşvik edilmesine kadar bir dizi öneri getirmiştir [10]. Yaşar, Aslan ve Biçer (2010) çalışmalarında teknik kayıplara odaklanarak bir dağıtım transformatörü bölgesindeki kayıpları yer üstü ve yer altı sistemlerin fizibilitesini yaparak ortaya koymuş, kaçak elektriğin önlenmesi ve görüntü kirliliğinin önüne geçilmesi için yer altı sistemlerinin uygulanmasını önermiştir [11].

Her ne kadar bugüne kadar yapılan çalışmalar kayıp ve kaçağın azaltılmasına yönelik yapılabilecekleri detaylı bir biçimde inceliyor olsa da geleceğe yönelik politika kuruculara yön gösterecek bir projeksiyon çalışması literatürde rastlanamamıştır. Bu kapsamda, çalışmanın ikinci bölümünde teknik ve teknik olmayan kayıpların nedenleri irdelenmiş, üçüncü bölümünde Türkiye'nin genel durumu ortaya koyularak değerlendirmelere yer verilmiş ve dördüncü bölümde Türkiye'nin 2023 yılı hedefleri doğrultusunda elektrik dağıtım ve iletim şebekesindeki kayıp ve kaçak oranlarının azaltılmasına yönelik üç farklı senaryo ile analizler yapılarak sonuçları tartışılmıştır. Beşinci bölümde ise 21 dağıtım şirketinin 2015 yılı verileri kullanılarak Veri Zarflama Analizi ile etkinlik değerleri hesaplanmış ve öncelikle yatırım yapılması gereken dağıtım bölgeleri belirlenmiştir.

2. ELEKTRİK ŞEBEKESİNDEKİ TEKNİK VE TEKNİK OLMAYAN KAYIPLAR (TECNICAL AND NON-TECHNICAL LOSSES IN POWER GRID)

Elektrik iletim ve dağıtım şebekesinin enerji verimliliğini teknik ve teknik olmayan kayıplar belirlemektedir. Sistemin teknik kayıpları, sabit ve değişken olarak iki başlık altında incelenebilir. Transformatörlerin nüvelerinde oluşan histerezis ve fuko kayıpları, havai hattı izolatörlerindeki kaçak akım kayıpları, iletkenlerdeki korona kayıpları ve kablolardaki dielektrik kayıpları sabit teknik kayıplar olup sistemin kalitesine bağlıdır ve yük akışından bağımsız olarak gerilimin karesi ile orantılı olarak artmaktadır. Değişken teknik kayıplar ise yük akımına bağlı olarak ilgili bölümün direnci ile orantılı olan kayıplardır. Ayrıca üretim kaynağına olan uzaklık ve demografik yapı da maliyetleri ve kayıpları artıran diğer bir önemli unsurdur.

Teknik olmayan kayıplar, elektriğin tedarikçi tarafından etkin olarak dağıtılmasına rağmen nihai kullanıcılar tarafından ödenmemesi ile oluşur. Bu kayıplar; kaçak elektrik kullanımı, ölçüm cihazlarında oynama yapılarak endeksin kasten yanlış gösterilmesi, denetim eksikliği sonucu alınmayan endeks ve endeksin yanlış ya da hatalı hesaplanması gibi unsurları içermektedir.

2.1 Teknik Kayıplar (Technical Losses)

Elektrik üretim tesisinden nihai kullanıcıya kadar olan elektrik enerjisinin aktarıldığı süreç içerisinde üretim tesisi ile yükseltici şalt sahası arasındaki mesafenin kısa olmasından dolayı -iletken uzunluğu da az olacağından- enerji kayıpları nispeten düşük olmaktadır. Fakat bu durum, kilometrelerce uzunluğa sahip orta ve alçak gerilim hatlarını barındıran ve indirici şalt sahaları ile nihai kullanıcıları kapsayan dağıtım şebekesi için geçerli değildir.

Kabul edilebilir toplam iletim hattı kaybı 50 kW/km olup genellikle omik kayıplardan kaynaklanmaktadır. Özellikle gerilimdeki dalgalanmalarla birlikte artan korona kayıpları ise 0-20 kW/km aralığındadır. Bu kayıplar yıl boyunca iletim hattında iletilen elektrik enerjisinin %2-3 oranında harcanmasına neden olur [12].

Dağıtım hattı kayıpları ise 0.4 kV için yer üstü hatlarda 26.1-86.4 kW/km ve yer altı hatlarda 42.8-75.7 kW/km mertebelerindedir [12]. Yüksek sıcaklıkta çalışan süper iletkenlerin kullanımı ile iletken kayıplarının minimize edilebileceği yakın gelecekte öngörülmektedir. Henüz günümüzde süper iletkenler en sıcak -135°C'de çalıştırılabilmektedir.

Elektrik iletim ve dağıtım şebekesindeki en önemli ikinci teknik kayıplar transformatörlerde oluşmaktadır. Malzeme bilimindeki gelişmelerle birlikte geçtiğimiz yüzyılda önemli ilerlemeler kaydedilerek transformatör nüvesindeki (50 Hz'de) demir kayıpları 1895 yılındaki 6.00 W/kg değerinden günümüzde (amorf HB1 kullanımı ile) 0.20 W/kg'a kadar düşürülmüştür [13].

Yükseltici ve indirici şalt sahalarındaki güç transformatörlerinin verimi transformatörün yüklenme oranına göre değişmekle birlikte %99 mertebelerine kadar ulaşabilmektedir. Orta ve alçak gerilim transformatörleri farklı türlerde imal edilmekte ve yine yüklenme oranına bağlı olarak verimlilikleri %90-98 oranı arasında değişmektedir. Elektrik iletim ve dağıtım şebekesi işletmecilerinin transformatörlerde belirlenecek asgari performans kriterlerine bağlı olarak satın almalarını yapmaları uzun dönemde önemli oranda enerji tasarrufu vaat etmektedir.

Ayrıca, transformatörlerin düşük veya aşırı yüklenmeleri ve şebekedeki akım ve gerilim harmonikleri enerji kayıplarının artmasına neden olmaktadır. Elektrik iletim ve dağıtım şebekesinde yer alan diğer ekipmanlar kaynaklı enerji kayıpları Çizelge 1'de listelenmektedir.

2.2 Teknik Olmayan Kayıplar (Non-Technical Losses)

Teknik olmayan kayıpların elektriğin tarihi kadar eski bir konu olduğunu yüzyıl önce Edison Aydınlatma Şirketleri Birliği'nin sayacın iç mekanizması ile oynanmaması için önerdiği yöntemlerden anlaşılmaktadır [9].

Başlıca kaçak elektrik kullanımı; dağıtım fiderinden kablo çekilmesi, sayacın tahrif edilmesi veya müdahale

dönüştürme oranını gösteren etiketi tahrif etmeleri ve tarımsal sulama amaçlı pompaların işletilmesinde elektrik hırsızlığı yapacakların -kendi getirdikleri transformatörlerin beslenmesi için- dağıtım hattına çengel atmaları gibi yöntemlerle de elektrik kaçak olarak kullanılabilirlerdir.

Depuru, Wand ve Devabhaktuni (2011) kaçak elektrik kullanımının altında yatan sebepleri şu tespitleriyle sıralamaktadır; komşudan bir şey çalınmasının günah, fakat devletten/özel sektörden çalınmasının mubah karşılanması, işsizlik oranının artması, tüketicilerin ekonomik yönden güçlü bir durumda olmamaları, okuma-yazma oranının düşük olması nedeniyle kanuni yükümlülük ve cezai yaptırımlardan bilgi sahibi olunmaması, mevcut cezai yaptırımların yeterli olmaması, elektrik tarifelerinin yüksek olması, kaçağa karşı mücadelenin diğer bazı politik sebepler nedeniyle azaltılması, sayaç okuyanların yozlaşması vb. [8].

Kaçak elektrik kullanımı sonucunda dağıtım hatlarında aşırı yüklenme ve gerilim yükselmeleri görülebilmekte, puant zamanlarda kesintiler oluşabilmektedir. Gerilim seviyesinin yükselmesi, dağıtım şebekesine bağlı tüm tüketicilerin elektrikli ev aletleri gibi hassas ekipmanlarının zarar görmesine neden olabilmektedir. Normalde dağıtım hattı boyunca gerilim seviyesinin istenilen aralıklarda kalmasının sağlanması ve güç faktörünün düzeltilmesi amacıyla reaktif güç kontrolü gerekebileceği durumlar hasıl olabilir, fakat kaçağın boyutu ve güç akışının ne yönde olacağı bilinemeyeceğinden kompanzasyon seviyesinin tespiti de mümkün olmayacaktır.

Kaçağın tahmin edilmesine yönelik; dağıtım transformatörlerinin sekonder tarafına gözlem sayaçları konularak okunan toplam elektrik tüketimi ile kıyaslanması, hat empedansı yöntemi ile yük empedansındaki değişimden kaçak elektrik kullananların tespiti, Genetik Algoritma Destek Vektör Makineleri yöntemi ile tüketicilerin yük profilleri toplanarak

Çizelge 1. Elektrik Şebeke Elemanlarındaki Enerji Kayıpları [12] (Energy Losses in Miscellaneous Grid Elements)

Elektrik Şebeke Elemanları	Enerji Kaybı [İletilen/Dağıtılan Elektriğin % Oranı Olarak]
Şalt Tesisleri: 132 kV ve Üstü	0.001 – 0.008
Şalt Tesisleri: 33 kV - 66 kV	0.005 – 0.020
Şalt Tesisleri: Alçak Gerilim	0.130 – 0.340
Alçak Gerilim ve Orta Gerilim Sayaçları	0.300 – 0.600
Kesiciler	0.003 – 0.030
Alçak Gerilim Baraları	0.050 – 0.500
Alçak Gerilim Demir Bağlantı Elemanları	0.00009 – 0.0014
Alçak Gerilim Alüminyum Bağlantı Elemanları	0.00004 – 0.0008

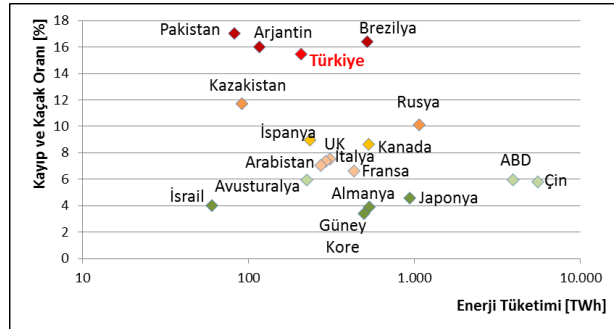
edilerek yazmasının engellenmesi, ölçü devrelerine müdahale edilerek sayacın eksik veya hiç yazmaması gibi yöntemlerle yapılmaktadır. Enerji tüketimi yüksek olan birtakım işletmecilerin akım transformatörlerindeki

tüketicilerin enerji tüketimlerine göre gruplandırılması ve yük eğrisindeki anomaliliklerin tespit edilmesi gibi farklı yöntemler kullanılmaktadır.

3. TÜRKİYE’NİN ELEKTRİK İLETİM VE DAĞITIM ŞEBEKESİNİN ENERJİ VERİMLİLİĞİ (ENERGY EFFICIENCY OF TURKEY’S TRANSMISSION AND DISTRIBUTION GRID)

Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ) tarafından işletilen elektrik iletim sistemi 58.002,8 km enerji iletim hattı uzunluğuna, 708 iletim merkezine, 142.649 MVA trafo gücüne ve komşu ülkelerle toplam 12 adet enterkoneksiyon hattına sahiptir [14]. Elektrik dağıtım sistemi ise 142.351 MVA transformatörü kurulu gücü ve 1.100.000 km aşan dağıtım hattı uzunluğu ile Avrupa’nın en büyük üçüncü şebekesi konumundadır [15,16].

Türkiye’nin 2016 yılında 278.3 milyar kWh’a erişen brüt elektrik tüketiminin 2023 ve 2030 yıllarında sırasıyla düşük durum senaryosuna göre 367.9 ve 468.4 milyar kWh’e ve yüksek durum senaryosuna göre 407.9 ve 592.8 milyar kWh’e ulaşacağı öngörülmektedir [17]. Bununla birlikte, 2015 yılında elektrik şebekesindeki kayıplar toplam üretimin %14.2’si olarak gerçekleşmiştir. Bu oran OECD ortalaması olan %6.4’ten ve Şekil 1’den de görülebileceği üzere seçilmiş ülkelerden önemli oranda yüksektir.



Şekil 1. Seçilmiş Ülkelerin İletim ve Dağıtım Şebekelerindeki Kayıp ve Kaçak Oranları* (Theft and Loss Ratio in T&D Grids in Selected Countries)

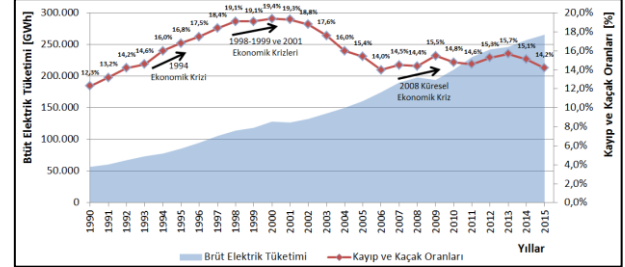
* Dünya Bankası veri tabanındaki mevcut güncel veriler kullanılarak oluşturulmuştur. Veri setleri 2013 ve 2014 yıllarına aittir.

- Okuma kolaylığı açısından “y” eksenini logaritmik olarak düzenlenmiştir.

Yıllara göre arz ve talep dengesine bağlı olarak değişim gösteren ve 2015 yılında %2.1 olarak gerçekleşen iletim şebekesi kayıplarının enerji üretim kaynakları ile enerji yoğun bölgeler arasındaki mesafe ve uluslararası normlar olan %2-3 seviyeleri göz önüne alındığında gelişmiş ülkeler düzeyinde olduğu görülmektedir. Elektrik dağıtım şebekesinin kayıpları ise elektrik tüketiminin %12.1’i olarak gerçekleşmiştir.

Elektrik dağıtım şebekesindeki kayıp ve kaçak oranlarının azaltılmasına yönelik hedefler ilk kez 2006-2010 yıllarını kapsayan 5 yıllık dönem için -o zamanlar Kayseri Elektrik Dağıtım haricindeki kamuya ait olan 20 bölgeyi kapsayacak biçimde- belirlenmiştir. 2010 yılında %10.88 olması öngörülen kayıp ve kaçak oranı %15.68 olarak, 2011-2015 yıllarını kapsayan ikinci uygulama dönemi sonunda ise %10 olması hedeflenen kayıp ve

kaçak oranı %14.20 olarak gerçekleşmiştir. Şekil 2’den de görülebileceği üzere kayıp ve kaçak oranları 1994, 1998-1999 ve 2001 krizlerinde önemli yükselişler göstermiş ve son 25 yıllık dönem içerisinde 2000 yılında %19.4 ile zirve yapmıştır.



Şekil 2. 1990-2015 Yılları Arası Türkiye’nin Brüt Elektrik Tüketimi ve Kayıp ve Kaçak Oranları* (Turkey’s Gross Electricity Consumption and Theft & Loss Ratio for 1990-2015)

*TEİAŞ istatistiklerinden derlenerek hazırlanmıştır.

26 Kasım 2015 tarihli EPDK Kurul Kararı ile "Elektrik Dağıtım Şirketlerinin Hedef Kayıp Oranlarının Belirlenmesine İlişkin Usul ve Esaslar" yayımlanmış, dağıtım bölgelerinin kayıp ve kaçak oranları son üç yıllık dönemlerine ait ağırlıklı ortalamalarına ve Kurul tarafından belirlenen eşik değere bağlı bir formülasyonla düzenlenmiştir.

Dağıtım şebekesindeki kayıp oranları alınan tedbirlere rağmen hedeflenen düzeylere erişememiştir. Özellikle bazı dağıtım bölgelerinde kayıp ve kaçak oranları Çizelge 2’de de gösterilmekte olduğu üzere yüksek düzeylerde seyretmektedir.

2015 yılı için kaçak elektrik kullanımının Türkiye’ye maliyeti brüt elektrik tüketiminden faturalandırılan elektrik tüketim miktarı (EPDK tarafından yayımlanan Elektrik Piyasası 2015 Yılı Piyasa Gelişim Raporunda 193,427 GWh olarak verilmektedir) çıkartılarak bulunabilir. Bununla birlikte, kaçak elektrik tüketim miktarı kayıptan ayrıştırılmadığından toplam kayıp ve kaçak oranı içerisindeki kayıp oranının %5 ila 7 arasında olduğu varsayımı ile -2015 yılı ortalama Piyasa Takas Fiyatı (PTF) 144 TL/MWh dikkate alınarak- kaçak elektrik kullanımı sonucu Türkiye’nin yıllık 3.5 ila 5.1 milyar TL arasında parasal kaybı olduğu tahmin edilmektedir. Buna dağıtım sistemi kullanımına ilişkin bedeller, vergi ve fonlar ilave edildiğinde ise 5.8 ila 8.5 milyar TL arasında bir parasal kaybın olduğu görülmektedir. Kaçak elektrik maliyeti 6446 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu ile 2020 yılı sonuna kadar ulusal tarife uygulaması yapılarak fiyat eşitleme mekanizması uygulanması hükmü altında faturalarını ödeyen tüketiciler üzerinden tahsil edilmektedir.

Dağıtım şebekesinde kaçak oranının asgariye indirilmesi amacıyla şebekenin gerçek zamanlı olarak izlenmesini ve kumanda edilmesini sağlayan ve yük analizi, yük tahmini ve akışı, kısa devre etüdü, gerilim düşümü, güç kaybı hesapları ve bakım yönetimini sağlayarak sistemin etkin biçimde işletilmesi ile şebeke kapasitesinin etkin

kullanımını, bakım sürelerinin ve arızaya müdahalenin kısaltılmasını sağlayarak kayıpların azaltılmasını sağlayan SCADA/DMS (Denetimsel Veri Kontrol ve Toplama/Dağıtım Yönetim Sistemi; Supervisory Control and Data Acquisition) ve abonelik işlemlerini, kaçak işlem takibi, GPRS üzerinden endeks okuma, açma ve kesme gibi mevcut durumda farklı çalışmalar yürütülmektedir.

Çizelge 2. Elektrik Dağıtım Bölgeleri İçin Belirlenen Kayıp ve Kaçak Hedefleri ve Gerçekleşme Durumları (Theft & Loss Targets and Realization Rates for Distribution Companies)

Elektrik Dağıtım Şirketi	2010		2015		2016
	Hedef	Gerçek	Hedef	Gerçek	Hedef
Dicle	36.83	65.25	72.52	72.12	71.62
Vangözü	35.35	57.15	59.68	59.70	60.16
Aras	17.95	25.62	25.63	26.60	31.68
Çoruh	11.70	11.96	10.15	9.28	9.35
Fırat	10.95	12.58	10.09	10.44	9.74
Çamlıbel	8.74	7.01	6.92	7.06	7.93
Toroslar	9.06	7.90	11.71	12.5	13.59
Meram	8.43	9.50	8.28	7.30	7.90
Başkent	8.23	8.22	7.88	7.00	8.00
Akdeniz	7.84	9.94	8.02	7.02	9.66
GDZ	7.80	7.49	7.00	7.36	8.47
Uludağ	6.10	6.39	6.90	6.94	7.55
Trakya	6.24	6.85	7.70	7.39	7.15
Ayedaş	6.57	6.92	6.61	7.00	7.61
Sakarya	6.54	6.81	6.33	6.68	7.42
Osmangazi	6.48	6.92	7.21	7.62	7.77
Boğaziçi	10.57	10.89	9.78	9.44	9.60
KCETAŞ	10.05	7.04	10.01	5.25	7.44
ADM (Menderes)	7.49	8.65	8.09	7.03	7.92
Akedaş (Göksu)	11.76	7.31	10.03	4.98	7.46
Yeşilirmak	10.59	13.54	8.78	7.90	8.50
TÜRKİYE TOPLAM	10.88	15.68	10.00	14.20	

[18]'den derlenerek hazırlanmıştır.

- Verilen rakamlar yüzde cinsinden olup, boyalılarından mavi olanlar EPDK tarafından hedeflerin yıllar içerisinde revize edildiğini, kırmızı olanlar hedeflere ulaşamadığını, yeşil olanlar ise hedeflerin başarıldığını göstermektedir.

Elektrik iletim ve dağıtım şebekesindeki teknik kayıpların azaltılarak enerji verimliliğinin artırılmasına yönelik üretim tesislerinin performans şartları, jeneratör kontrol düzenekleri, kompanzasyon sistemleri ve talep kontrolü gibi hususlar Elektrik Piyasası Dağıtım Yönetmeliği ile ve güç kalitesine etki eden gerilim, frekans, harmonik, fliker şiddeti, reaktif ve aktif güç oranları, devre dışı olma ve N-1 gibi hususlar ise Elektrik Piyasası Şebeke Yönetmeliği ile düzenlenmiştir.

İlaveten, yük eğrisinde puant güç talebinin zamana bağlı olarak kaydırılarak iletim ve dağıtım sistemlerindeki kayıpların azaltılmasına yönelik “çok zamanlı elektrik tarifi” uygulanmaktadır. Bunun dışında, mevcut durumda sadece Yunanistan ve Bulgaristan ile olan senkron paralel çalışmanın gerek kapasitesinin artırılması gerekse diğer bölgelerle olan ithalat ve

ihracatın artırılması yük eğrisindeki puant noktaların kontrol edilmesine imkan sağlayacaktır. Talep tarafı yönetimi uygulamaları ile de talebin azaltılarak veya talebin zamana bağlı kaydırılması sayesinde hem kaynakların etkin bir biçimde kullanılması hem de tasarruf potansiyelinin hayata geçirilmesi sağlanacaktır.

4. İLETİM VE DAĞITIM ŞEBEKESİNDE KAYIP VE KAÇAK ORANLARINA YÖNELİK 2023 PROJEKSİYONLARI (PROJECTIONS TO 2023 FOR TRANSMISSION AND DISTRIBUTION LOSSES)

2023 yılına gelindiğinde elektrik iletim ve dağıtım şebekesindeki kayıp ve kaçak oranlarının seyrini görebilmek adına düşük (mevcut durumun devamı), orta ve yüksek senaryo olmak üzere 3 farklı senaryo geliştirilmiş, gerekli mevzuat çalışmalarının 2018 yılında bitirilerek yatırımların 2019 yılı itibarıyla yapılmaya başlanacağı varsayılmıştır. Geçmiş deneyimler dağıtım şirketlerinin EPDK tarafından belirlenen hedeflerin gerisinde kaldığını gösterdiğinden, mevcut durumunun devamı senaryosu için dağıtım şirketlerine yönelik belirlenen hedefler üzerinden gidilmesinin yanı sıra sonuçlar verebileceği düşünülerek sadece dağıtık üretim kapsamında sağlanabilecek ilerlemeler hesaplamalara dahil edilmiştir. Orta durum ve yüksek durum senaryolarında mevzuat düzenlemeleri ile dağıtık üretimin teşvik edileceği ve geniş çaplı akıllı sayaç yatırımlarının yapılacağı varsayılmıştır.

Teknik kayıpların azaltılmasına yönelik yapılan analizlerde içinde üretimin teşvik edildiği lisanssız elektrik üretimi dikkate alınmıştır. Rüzgâr, jeotermal ve biyokütle enerji kaynakları Türkiye’de genellikle lisanslı elektrik üretimi kapsamında kullanıldığından, dağıtık üretimin yaygınlaştırılmasında kojenerasyon ve çatı uygulamalarını kapsayan güneş santralleri yatırımlarının gelişimleri hesaplamalara dâhil edilmiştir. Mevcut iletim ve dağıtım hatlarının yeniden tasarımının yapılmasının ve transformatörlerde yüklenme analizlerinin ve verimlilik değerlerinin tespitinin yapılarak bir yatırım programına dahil edilmesinin, 2023 yılına kadar olan döneme kadar -iletim ve dağıtım kayıplarının minimize edildiği- dağıtık üretimin sağlayacağı faydanın yanında sınırlı bir etkiye sahip olacağı değerlendirildiğinden hat, transformatör vb. yatırımlar analiz kapsamı dışında bırakılmıştır.

Dağıtık üretimin yaygınlaşmadığı bir ortamda artan enerji talebinin karşılanması için yeni kurulacak üretim santrallerinin tüketimin yoğun olduğu bölgeler yerine enerji kaynağına yakın olan ve muhtemelen de tüketim noktasına uzak bölgelere kurulması tercih edileceği söylenebilir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı’nın 2017-2037 elektrik tüketimi projeksiyonları dikkate alınarak ülkenin artan enerji ihtiyacının temsili uzakta yer alan bir kombine çevrim elektrik üretim santralinden karşılanacağı varsayılmış ve enerjinin tüketim yoğun bölgelerden uzakta üretilmesi durumunda gerekecek enerji ihtiyacı ile dağıtık üretimden sağlanacak elektrik

üretimi arasındaki farktan engellenebilecek teknik kayıp miktarları hesaplanmıştır.

Dağıtık üretim kapsamında güneş enerjisi kurulu gücü tahmini yapılırken Ulusal Yenilenebilir Enerji Eylem Planında belirtilen 2023 yılında 5 GW'lık güneş enerjisine erişilmesi hedefi referans alınmıştır. Bu hedefin 2 GW'lık bölümünün yerinde üretim amacıyla yapılacağı kabul edilmiş ve bu durum yüksek durum senaryosu olarak adlandırılmıştır. Lisanssız güneşten elektrik üretiminde önemli bir maliyet kalemi olan statik proje ile ilgili yasal prosedürlerin esnetilmesi, apartman veya site karar defterlerinin güneş enerjisine dayalı üretim tesisi kurulabileceğine dair karar ile başvuru yapabilesinin önünün açılması ve kur dalgalanmalarından etkilenmeyi azaltacak aylık bazda kWh üzerinden mahsuplaşmanın uygulanması gibi piyasadaki mevcut engellerin ortadan kaldırılacağı düşünülmüş ve bunun sonucunda yapılacak düzenlemelerle birlikte yıllık ortalama 5 bin ila 40 bin bina eşdeğerinin güneş çatı uygulamalarına yatırım yapacağı değerlendirilerek senaryolar tasarlanmıştır. Ayrıca, dağıtık üretimin enerji tüketiminin yüksek olduğu İstanbul, İzmir, Kocaeli, Ankara ve Bursa gibi şehirlerde öncelikle uygulanacağı varsayılarak güneşten elektrik üretiminde kapasite faktörü 0.165 alınmıştır.

Kojenerasyon sistemlerinin ise yüksek verimli kojenerasyon olarak çalışacağı öngörüsü ile

"Kojenerasyon ve Mikrokojenerasyon Tesislerinin Verimliliğinin Hesaplanmasına İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Tebliğ" de belirtilen en az 6,000 saatlik üretim şartı dikkate alınmıştır. Mevcut durumun devamı senaryosunda "yüksek verimli kojenerasyon belgesi" alan işletmelerin yıllık toplam kurulu güçleri dikkate alınmış ve gelecek yıllarda da aynı yönelimin devam edeceği varsayılmıştır.

Artan enerji talebinin karşılamasında dağıtık üretim yerine temsili uzakta kurulacak santralin yıllık çalışma süresi olarak Düzgün (2015) tarafından Türkiye'deki kurulu gücü 100 MW ve üzeri 64 termik santralde yapılan çalışmada hesaplanan 6.588 saat referans alınmıştır [19].

Yatırım maliyeti hesabı yapılırken yerinde üretimde kullanılacak güneş ve kojenerasyon ile temsili uzaktan üretim yapacak termik santral için sırasıyla 1.20 milyon ABD Doları/MW, 0.84 milyon ABD Doları/MW ve 1.00 milyon ABD Doları/MW yatırım ihtiyacı olacağı varsayılmıştır. Elde edilecek tasarrufun parasal değerinin hesaplanmasında ise 2015 yılı ortalama PTF kullanılmıştır. Teknik kayıpların hesaplanmasında yüksek, orta ve düşük durum senaryolarında kullanılan varsayımlar Çizelge 3'te özetlenmektedir.

Çizelge 3. İletim ve Dağıtım Şebekesindeki Teknik Kayıpların Azaltılmasına Yönelik Dağıtık Üretimin Yaygınlaştırılması ile Sağlanacak Tasarrufun Hesaplanmasında Kullanılan Varsayımlar
(Assumptions for Calculation of Monetary and Energy Savings by Extending Distributed Generation to Decrease Technical Losses in the T&D Grid)

	Yıllar	Kurulacak Güneş [MW]	Kurulacak Kojen. [MW]	Öngörülen Toplam Dağıtık Üretim [MWh]	Şebeke Kayıplarında Hesaplanan Azaltım Oranı [%]	Güneş Yatırımı [mil. Dolar]	Kojen. Yatırımı [mil. Dolar]	Uzakta Üretim Yatırımı [mil. Dolar]
YÜKSEK DURUM SENARYOSU	2019	400	200	1,804,560	0.0498%	479.12	167.48	298.06
	2020	400	200	1,804,560	0.0472%	479.12	167.48	297.91
	2021	400	200	1,804,560	0.0448%	479.12	167.48	297.77
	2022	400	200	1,804,560	0.0425%	479.12	167.48	297.62
	2023	400	200	1,804,560	0.0404%	479.12	167.48	297.48
ORTA DURUM SENARYOSU	2019	250	150	1,281,150	0.0353%	299.45	125.61	211.61
	2020	250	150	1,281,150	0.0336%	299.45	125.61	211.53
	2021	250	150	1,281,150	0.0319%	299.45	125.61	211.46
	2022	250	150	1,281,150	0.0304%	299.45	125.61	211.39
	2023	250	150	1,281,150	0.0289%	299.45	125.61	211.31
DÜŞÜK DURUM SENARYOSU	2019	50	100	685,470	0.0189%	59.89	83.74	113.22
	2020	60	100	699,924	0.0184%	71.87	83.74	115.58
	2021	70	100	714,378	0.0179%	83.85	83.74	117.95
	2022	80	100	728,832	0.0174%	95.82	83.74	120.31
	2023	90	100	743,286	0.0169%	107.80	83.74	122.67

Teknik olmayan kayıpların azaltılmasında ise temel uygulama aracı olarak akıllı sayaç yatırımları ele alınmıştır. Akıllı sayaçlar, bilgi ve iletişim teknolojileri ile sensörler gibi elemanlara ihtiyaç duyan ve akım akışının izlenmesini ve kontrolünü sağlayan ekipmanlardır. Akıllı sayaç yatırımları elektrik tüketimini daha görünür hale getirdiğinden ve kontrol imkânı sağladığından enerji tasarrufunun sağlanmasına yardımcı olmakta, kesinti sonrası sistemin daha hızlı toparlanmasına, teknik ve teknik olmayan kayıpların azaltılmasına, faturalandırmalardaki hataların en aza indirilmesine yardımcı olmakta ve işçilik masraflarının aşağı çekilmesine olanak sağlamaktadır.

Bir dağıtım işletmecisi ile yapılan kişisel görüşmede kaçığın engellenmesine yönelik uygulanan konvansiyonel tedbirlerin maliyeti ile akıllı sayaç yatırımının maliyetinin birbirine yaklaşık olacağı değerlendirilmiştir. Kaçığın önlenmesine yönelik yaptıkları bir çalışmada 4 milyon TL'lik yatırım karşılığında pilot bölgedeki kullanılan kaçak elektriğin %60'ının tahakkuka dönüştüğü bilgisi alınmıştır. Buradan hareketle, kaçak elektrik kullanımını bırakarak fatura ödemeye başlayan tüketicilerin enerji tüketimlerini %40 oranında düşürdükleri görülmüştür. Analizlerde daha tutucu bir yaklaşım ele alınarak elektriği kaçak olarak kullananlara akıllı sayaç takıldığında %30 enerji tasarrufu sağlayacakları varsayılmış ve kaçak kullanım durumunda tüketici başına ortalama yıllık 3,000 kWh elektrik tüketeceği kabul edilmiştir. Söz konusu kabulde, Ediger ve ark. (2016) yaptıkları anket çalışmasında katılımcıların %78'inin aylık 50-150 TL elektrik faturası ödedikleri bilgisi dikkate alınmıştır [20]. Diğer taraftan bu değer belirlenmesinde, elektriği kaçak kullananların düşük gelir grubuna sahip olmalarından dolayı buzdolaplarının 1990'lı yıllarda imal edildiği, buzdolabı başına yıllık 1,000 kWh enerji tüketileceği ve buzdolabının da bir evde kullanılan elektrik enerjisinin ortalama üçte birinden sorumlu olacağı kabulleri göz önünde bulundurulmuştur.

Yüksek ve orta durum senaryolarında yatırım planına dâhil edilecek sayaç miktarı hesaplanırken dağıtım bölgelerinde tahmini kaçak abone sayıları hesaplanmış ve sayaç yatırımının Dicle, Vangölü ve Aras gibi kaçak tüketici oranı yüksek dağıtım bölgelerinde yıllara göre artan bir yatırım planı dâhilinde yapılacağı varsayılmıştır. Akıllı sayaç maliyeti ise haberleşme altyapısı ve yazılım dâhil 225 Dolar olarak kabul edilmiştir. Mevcut durumun devamı senaryosu için akıllı sayaçların yaygınlaştırılmasına yönelik yapılacak fayda-maliyet analizinin negatif çıkması veya yatırım programının diğer başka sebepler nedeniyle uygulamaya geçirilemeyeceği varsayılarak 2023 yılına kadar yatırım yapılması öngörülmemiştir. Bu nedenle dağıtım şebekesindeki teknik olmayan kayıpların azaltılmasına yönelik akıllı sayaçların yaygınlaştırılması sayesinde sağlanacak tasarrufun hesaplanmasında kullanılan varsayımlar verilirken herhangi bir yatırım yapılması öngörülmeden düşük durum senaryosuna Çizelge 4'te yer verilmemiştir.

Çizelge 4. İletim ve Dağıtım Şebekesindeki Teknik Olmayan Kayıpların Azaltılmasına Yönelik Akıllı Sayaçların Yaygınlaştırılması Sayesinde Sağlanacak Tasarrufun Hesaplanmasında Kullanılan Varsayımlar (Assumptions for Calculation of Monetary and Energy Savings by Implementing Smart Meters to Decrease Non-Technical Losses in the T&D Grid)

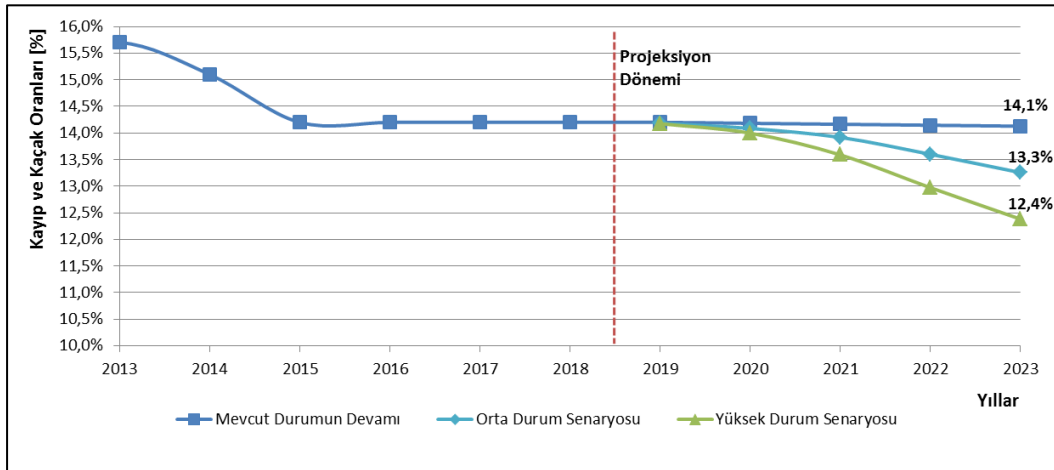
	Yıllar	Kurulması Planlanan Akıllı Sayaç Sayısı	Akıllı Sayaçlar Sayesinde Tahakkuk Edilebilecek Enerji [MWh]	Akıllı Sayaç Maliyeti [milyon Dolar]
YÜKSEK DURUM SENARYOSU	2019	25,000	75,000	5.63
	2020	150,000	450,000	33.75
	2021	425,000	1,275,000	95.63
	2022	700,000	2,100,000	157.50
	2023	700,000	2,100,000	157.50
ORTA DURUM SENARYOSU	2019	15,000	45,000	3.38
	2020	75,000	225,000	16.88
	2021	160,000	480,000	36.00
	2022	350,000	1,050,000	78.75
	2023	400,000	1,200,000	90.00

Teknik ve teknik olmayan kayıpların azaltılmasına yönelik yapılan varsayımlar eşliğinde elde edilen sonuçlar Çizelge 5'te özetlenmektedir. Kayıp ve kaçak oranlarındaki iyileştirmeyi sağlamak amacıyla 2019-2023 dönemi boyunca öngörülen toplam yatırım miktarları düşük, orta ve yüksek durum senaryolarına için sırasıyla 0.249, 1.293 ve 2.194 milyar Dolar olarak hesaplanmıştır. Elde edilecek kümülatif parasal tasarruf miktarları ise sırasıyla 35, 143 ve 251 milyon Dolar'dır. Dağıtık üretim ve akıllı sayaçların birlikte uygulandığı senaryolarda basit geri ödeme süresi yaklaşık 16 yıl olarak hesaplanırken akıllı sayaçların uygulanmadığı düşük durum senaryosunda söz konusu süre 26 yıl olarak hesaplanmıştır. Anılan geri ödeme sürelerinin göreceli olarak yüksek çıkmasında akıllı sayaç uygulaması haricindeki dağıtık üretime yönelik yürütülen faaliyetlerin doğrudan enerji verimliliği yatırımı olmadığı ve yenilenebilir enerji kaynaklarının teşviki kapsamında ele alınması gerektiği göz önünde bulundurulmalıdır.

2023 yılına gelindiğinde dağıtık üretim ve akıllı sayaç yatırımları sonucu iletim ve dağıtım şebekesindeki kayıp ve kaçak oranlarının değişimi Şekil 3'te sunulmaktadır. Kayıp ve kaçak oranlarının düşük, orta ve yüksek durum senaryolarına göre sırasıyla 14.13%, 13.26% ve 12.38% olacağı hesaplanmıştır. Yapılan analizlerde MWh olarak kaçak elektrik miktarının sadece yüksek durum senaryosunda azalacağı, diğer senaryolarda ise şebekede sağlanacak iyileşme sayesinde kaçak elektrik kullanımında oransal bir azalma görülmesine rağmen artan enerji talebinden dolayı MWh olarak bir yükseliş kaydedileceği tahmin edilmektedir.

Çizelge 5. Yüksek, Orta ve Düşük Durum Senaryolarına Göre 2023 Yılı Projeksiyonları (High-Medium and Low Case Scenarios for Theft & Loss Ratios)

Yıllar	Dağıtık Üretimden Elde Edilecek Tasarruf [MWh]	Dağıtık Üretimden Elde Edilecek Parasal Tasarruf [mil. Dolar/ yıl]	Dağıtık Üretimden Elde Edilecek Parasal Tasarruf [mil. Dolar, kümülatif]	Akıllı Sayaçtan Elde Edilecek Tasarruf [MWh]	Akıllı Sayaçtan Edilecek Parasal Tasarruf [mil. Dolar/ yıl]	Akıllı Sayaçtan Edilecek Parasal Tasarruf [mil. Dolar, kümülatif]	Akıllı Sayaçtan Edilecek Parasal Tasarruf [mil. Dolar, kümülatif]	Toplam Tasarruf Miktarı [mil. Dolar, kümülatif]	Toplam Yatırım Miktarı [mil. Dolar]	Tahmin Edilen Kaçak Miktarı [MWh]	Öngörülen Kayıp ve Kaçak Oranları [%]
2019	159.053	6,59	6,59	22.500	0,93	0,93	0,93	7,52	354,17	19.412.060	14,18%
YÜKSEK											
2020	158.092	6,55	13,14	135.000	5,59	6,53	6,53	19,66	382,44	19.905.136	14,00%
DURUM											
2021	157.131	6,51	19,65	382.500	15,85	22,37	22,37	42,02	444,46	19.564.248	13,59%
SENARYOSU											
2022	156.172	6,47	26,12	630.000	26,10	48,47	48,47	74,59	506,48	18.388.069	12,97%
2023	155.214	6,43	32,55	630.000	26,10	74,57	74,57	107,12	506,62	17.158.255	12,38%
ORTA											
2019	112.920	4,68	4,68	13.500	0,56	0,56	0,56	5,24	216,83	19.442.060	14,19%
2020	112.434	4,66	9,34	67.500	2,80	3,36	3,36	12,69	230,40	20.161.594	14,09%
DURUM											
2021	111.949	4,64	13,97	144.000	5,97	9,32	9,32	23,30	249,60	20.627.741	13,92%
SENARYOSU											
2022	111.465	4,62	18,59	315.000	13,05	22,37	22,37	40,96	292,42	20.551.779	13,60%
2023	110.981	4,60	23,19	360.000	14,91	37,29	37,29	60,48	303,75	20.324.360	13,26%
2019	60.417	2,50	2,50	-	-	-	-	2,50	30,41	19.487.060	14,20%
DÜŞÜK											
2020	61.542	2,55	5,05	-	-	-	-	5,05	40,02	20.433.780	14,18%
DURUM											
2021	62.660	2,60	7,65	-	-	-	-	7,65	49,64	21.392.700	14,16%
SENARYOSU											
2022	63.773	2,64	10,29	-	-	-	-	10,29	59,25	22.402.860	14,15%
2023	64.880	2,69	12,98	-	-	-	-	12,98	68,87	23.463.040	14,13%



Şekil 3. Yüksek, Orta ve Düşük Durum Senaryolarına Göre 2023 Yılına Yönelik Elektrik İletim ve Dağıtım Şebekesindeki Kayıp ve Kaçak Oranları Tahminleri (High-Medium and Low Case Scenarios for the Projections of Theft & Loss Ratios to 2023)

Türkiye'nin kayıp ve kaçak oranlarında OECD seviyesini yakalaması yüksek durum senaryosunun takibi ve yerinde üretimin bu çalışmada planlanandan daha da fazla yaygınlaşması durumunda ancak 2030 yılı sonrasında mümkün olabileceği öngörülmektedir. Bununla birlikte, Almanya, Japonya ve Güney Kore'nin sahip olduğu oranlara erişilmesi için mevcut şebeke planlamasında yüksek durum senaryosunun takibinin dahi yeterli olmayacağı ve bir paradigma değişimiyle enerji talebi artışının karşılanmasında üretim santrallerinin sadece tüketim noktası yakınlarında kurulmasına izin verilmesi ve şebeke elemanlarının yenilenmesinde en verimli ekipmanların tercih edilmesinin gerekeceği değerlendirilmektedir.

5. AKILLI SAYAÇ YATIRIMLARINDA VERİ ZARFLAMA ANALİZİ İLE DAĞITIM BÖLGELERİNİN ÖNCELİKLENDİRİLMESİ (PRIORITIZING OF DISTRIBUTION REGIONS FOR SMART METER INVESTMENTS BY DATA ENVELOPMENT ANALYSIS)

Akıllı sayaçların ülke genelinde kaçak elektrik kullanımının önüne geçmek amacıyla yaygınlaştırılmasında gerekli yatırım miktarı Bölüm 4'te anılan varsayımlar eşliğinde orta ve yüksek durum senaryoları için sırasıyla 225 ve 450 milyon Dolar olarak hesaplanmıştır. Mer'i mevzuat gereği dağıtım şirketlerinin yaptıkları yatırımlar EPDK onayı ile işletme gideri olarak yer almakta ve tarifeler yoluyla nihai kullanıcılar üzerinden finanse edilmektedir.

Akıllı sayaçların dağıtım bölgelerinde uygulanması kayıp ve kaçak oranları yüksek olandan düşük olana doğru bir sıralama yapılarak bir plan dâhilinde gerçekleştirilebilir. Fakat burada tahakkuk edilen enerji üzerinden bir plan yapılmış ve dağıtım bölgelerinin coğrafi koşulları, transformatör kapasiteleri ve toplam enerji tüketim değerleri gibi teknik verimliliğe etki eden parametreleri de

göz ardı edilmiş olacaktır. Bu nedenle, dağıtım bölgelerinin teknik verimliliğine etki edecek farklı parametreleri de göz önünde bulunduran Veri Zarflama Analizi (VZA, Data Envelopment Analysis, DEA) ile dağıtım şirketlerinin 2015 yılına ait teknik etkinlikleri kıyaslanmış ve akıllı sayaç yatırımlarında önceliklendirilecek dağıtım şirketleri belirlenmiştir.

VZA'da gerek enerji ile ilgili gerekse enerji dışı değişkenler hesaplamalara katılarak belirli bir çıktının en etkin şekilde üretmesi için en uygun girdi bileşeni aranmakta veya belirli bir girdiyle en fazla çıktı elde edilmeye çalışılmaktadır [21].

Birden fazla girdi ve çıktı olması durumunda etkinlik değeri şu şekilde hesaplanmaktadır;

Etkinlik Değeri = Ağırlıklı Toplam Çıktı / Ağırlıklı Toplam Girdi =

$$\frac{u_1 y_1 + u_2 y_2 + \dots + u_j y_j}{v_1 x_1 + v_2 x_2 + \dots + v_j x_j} = \frac{\sum_{j=1}^J u_j y_j}{\sum_{i=1}^I v_i x_i} \quad (1)$$

Burada J, çıktı sayısını; I, girdi sayısını; u_j , j. çıktının ağırlığını, y_j , j. çıktının miktarını; v_i , m. girdinin ağırlığını ve x_i , m. girdinin miktarını ifade etmektedir.

VZA'da temel olarak ölçeğe göre sabit getiri (constant returns to scale (CRS)) varsayımı ile Charnes-Cooper-Rhodes (CCR), ölçeğe göre değişken getiri varsayımı ile Banker-Charnes-Cooper (BCC) ve girdi fazlasını (+) ve çıktı eksikliğini (-) bir arada değerlendirerek etkisiz karar verme birimine en uzakta kalan noktaya ulaşmayı amaçlayan Toplamsal Yöntemleri kullanılmaktadır [22, 23].

$$E_k = \min \alpha - \varepsilon \sum_{i=1}^m s_i^- - \varepsilon \sum_{r=1}^t s_r^+ \quad (2)$$

ve kısıtlar;

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j + s_i^- - \alpha x_{ik} = 0 \quad (3)$$

$j = 1, \dots, n; \quad i = 1, \dots, m$

$$\sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - s_i^+ - y_{rk} = 0 \quad (4)$$

$r = 1, \dots, p$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \quad (5)$$

$$\lambda_j, s_i^-, s_i^+ \geq 0 \quad (6)$$

α : büzülme katsayısı,

s_i^- : k. karar biriminin i. değerine ait çıktı eksikliği

s_i^+ : k. karar biriminin r. değerine ait girdi fazlası

ε : yeterince küçük pozitif bir sayı

λ : etkin girdi çıktı modeli oluşturmak için verilen yoğunluk değeridir.

Eğer karar birimi etkin ise $E_k=1$, $\alpha=1$, $s_i^- = 0$, $s_i^+ = 0$ ve $\lambda_k=1$; etkin değilse α büzülme katsayısı 1'den küçük olacaktır [21].

Çalışma kapsamında 21 dağıtım şirketine yönelik girdi olarak salt dağıtım bölgesinde tüketilen enerji miktarı, toplam transformatör kapasitesi ve hat uzunluğunun nüfus yoğunluğuna oranı kullanılmıştır. Çıktı olarak ise tahakkuk edilen enerji miktarı ile kesinti süresinin minimize edilmesini amaçlayan bir parametre kullanılmıştır.

Dağıtım bölgelerinin etkinliğinin hesaplanmasında girdi olarak dağıtım hattı uzunluğunun alınması yanıltıcı sonuçlar verebileceğinden coğrafi koşulları da göz önünde bulunduran nüfus yoğunluğu değerleri hesaplanmış ve toplam hat uzunlukları nüfus yoğunluğuna bölünerek girdi parametresi olarak analize dâhil edilmiştir. Dağıtım şirketlerinin verilerini koruma amaçlı tüketilen toplam enerji, tahakkuk edilen enerji, transformatör kapasitesi ve kesinti süreleri gerçek değerlerini temsil edecek biçimde -veri setlerini bozmadan- sanallaştırılarak Çizelge 6'da sunulmaktadır.

Analiz sonucunda en etkin dağıtım şirketleri olarak Trakya, Boğaziçi, Ayedaş, Sakarya, Kayseri ve Göksu Dağıtım Şirketleri belirlenmiştir. Kayıp ve kaçak oranlarının yüksek olduğu Dicle, Vangölü ve Aras Dağıtım Şirketlerinin de etkinlik düzeyleri beklendiği üzere en düşük çıkmıştır.

Coğrafi koşulların dağıtım hattı uzunluğunu belirlemesi ve kayıpların hat uzunluğu ile doğru orantılı olarak artması nedeniyle nüfus yoğunluğu az olan dağıtım bölgelerinin çok olan bölgelere göre etkinlik düzeylerinin daha düşük olması beklenir. Bu durumu destekler nitelikte, Boğaziçi dağıtım bölgesinin kayıp ve kaçak oranı Çoruh dağıtım bölgesine göre daha yüksek olmasından dolayı daha az dağıtım hattı -ve dolayısıyla daha az hat kaybı- ihtiyacı duyduğundan etkinlik değeri de Çoruh dağıtım bölgesine göre daha yüksek çıkmıştır. Bunun sonucu olarak da akıllı sayaç yatırımlarında kayıp ve kaçak oranlarına göre sıralama yapılırken Boğaziçi önceliklendirilmesi gerekirken yapılan analiz sonucunda Çoruh'un önceliklendirilmesinin daha fazla fayda sağlayacağı değerlendirilmektedir.

Önceliklendirme yapılacak dağıtım bölgelerinin belirlenmesi amacıyla analiz sonucu elde edilen etkinlik düzeylerine göre Çizelge 7'deki sınıflandırma yapılmıştır. Buna göre öncelikle birinci bölümde yer alan dağıtım şirketlerinin, sonrasında ikinci ve en sonunda üçüncü bölümde yer alan dağıtım şirketlerinin akıllı sayaç yatırım programına alınması önerilmektedir.

6. SONUÇ (CONCLUSION)

Kaçak kullanımın maliyeti Türkiye'nin yıllık iletim ve dağıtım yatırımlarının yaklaşık 1.7 katına kadar ulaşmış olduğundan bahsedilmektedir [24]. Bu çalışmada yapılan değerlendirmede ise kaçak elektrik kullanımı nedeniyle Türkiye'nin yıllık 3.5 ila 5.1 milyar TL arasında bir parasal kayıp ile karşı karşıya olduğu hesaplanmıştır. Sistem kullanım bedelleri, vergi ve fonlar dâhil edildiğinde 5.8 ila 8.5 milyar TL arasında bir parasal kaybın olduğu tahmin edilmektedir.

Yürütülen çalışmalara rağmen kayıp ve kaçak oranları OECD ortalamasının çok üzerindedir. Teknik kayıpların azaltılmasında dağıtım üretimin teşvik edileceği ve teknik olmayan kayıpların (kaçak) düşürülmesinde akıllı sayaç yatırımları yapılacağı varsayılarak 2023 yılına yönelik düşük, orta ve yüksek durum senaryoları geliştirilmiştir. Yapılan analizlerde orta vadede iletim ve dağıtım şebekesindeki kayıpların her %1 oranında azaltılması için dağıtım üretim ve akıllı sayaçlara 1 milyar Dolar'dan fazla yatırım yapılması gerekeceği ve OECD ortalamasına yüksek durum senaryosunun takibinin yanı sıra yerinde üretimin öngörülenden daha fazla teşvik edilmesi halinde ancak 2030 yılı sonrasında ulaşabileceği öngörülmüştür. Bununla birlikte, gerçekleştirilecek yatırımların tamamının doğrudan enerji verimliliği yatırımı kapsamında olmayacağı, elde edilecek verimlilik kazanımının dağıtım üretimin teşvik edilmesinin sağlayacağı dolaylı bir etki olacağı da göz önünde bulundurulmalıdır.

Çizelge 6. BCC Modeline Göre Hesaplanan Dağıtım Şirketlerinin Etkinlik Düzeyleri (Technical Efficiency Scores of Distribution Companies according to BCC Model)

DAĞITIM ŞİRKETLERİ	GİRDİLER			ÇIKTILAR		2015 TEKNİK KAYIP [%]	ETKİNLİK DÜZEYLERİ [%]
	Temsili Toplam Tüketim [MWh]	Temsili Trafo Kurulu Gücü [MVA]	Hat uzunluğu / Nüfus Yoğunluğu	Temsili Tahakkuk Edilen Enerji [MWh]	Kesinti Süresi Minimizasyonu*		
Akdeniz	0,425	0,354	615,666	0,395	8,292	7,0	98,4
Aras	0,138	0,136	1.678,881	0,102	8,437	25,8	79,5
Aydem	0,407	0,352	797,441	0,385	8,302	5,3	99,6
Ayedaş	0,580	0,366	68,704	0,539	7,722	7,0	100
Başkent	0,749	0,656	959,517	0,696	7,250	7,0	98,5
Boğaziçi	1,265	0,811	11,859	1,146	6,466	9,4	100
Çamlıbel	0,122	0,116	1.361,468	0,113	8,644	7,1	99,2
Çoruh	0,179	0,140	892,335	0,163	7,629	9,3	96,1
Dicle	1,053	0,589	445,103	0,281	9,079	73,3	42,0
Fırat	0,128	0,118	977,145	0,115	5,463	10,4	94,4
Gediz	0,714	0,657	230,162	0,662	8,014	7,4	99,4
Göksu (Akedaş)	0,191	0,150	343,112	0,181	8,682	5,0	100
Kayseri	0,110	0,113	260,246	0,105	8,946	5,4	100
Meram	0,404	0,424	1.676,801	0,375	8,158	7,3	97,2
Osmangazi	0,310	0,268	795,862	0,286	8,841	7,6	97,1
Sakarya	0,455	0,327	172,824	0,425	8,443	6,7	100
Toroslar	0,786	0,601	356,225	0,688	8,050	12,5	93,6
Trakya	0,324	0,207	216,539	0,300	7,755	7,4	100
Uludağ	0,558	0,435	442,794	0,520	5,823	6,9	99,3
Vangözü	0,193	0,131	802,946	0,078	7,670	59,7	74,0
Yeşilirmak	0,266	0,209	1.027,332	0,245	7,358	8,0	97,2

* Çıktılardan biri olarak kesinti süresinin minimize edilmesi amaçlanmış ve kesinti süresi ile ters orantılı olacak biçimde bir fonksiyon tanımlanmıştır. Minimizasyon değeri 10'a yaklaştıkça yıllık kesinti süresi sifira yakınsamaktadır.

Çizelge 7. Akıllı Sayaç Yatırımlarında Dağıtım Şirketlerinin Önceliklendirilmesi (Prioritizing of Distribution Companies for Smart Meter Investments)

	Birinci Yatırım Programında Yer Alacak Dağıtım Şirketleri	İkinci Yatırım Programında Yer Alacak Dağıtım Şirketleri	Üçüncü Yatırım Programında Yer Alacak Dağıtım Şirketleri
Kayıp ve Kaçak Oranlarına Göre	Dicle – Van Gölü – Aras – Toroslar – Fırat – Boğaziçi	Çoruh – Yeşilirmak – Osmangazi – Gediz – Trakya – Meram	Çamlıbel – Akdeniz – Ayedaş – Başkent – Uludağ – Sakarya – Kayseri – Aydem – Göksu
VZA BBC Modeline Göre Hesaplanan Etkinlik Düzeylerine Göre	Dicle – Van Gölü – Aras – Toroslar – Fırat – Çoruh	Osmangazi – Yeşilirmak – Meram – Akdeniz – Başkent Çamlıbel – Uludağ – Gediz – Aydem	Trakya – Boğaziçi – Ayedaş – Sakarya – Kayseri – Göksu

Ülke çapında akıllı sayaç uygulaması planlandığında toplam kayıp oranları yüksek olan dağıtım bölgelerinden başlanması yerine dağıtım bölgelerinin coğrafi koşullarını ve teknik kapasitelerini de göz önünde bulunduran VZA sonuçlarına göre etkinlik değeri en düşük olan bölgelerden başlanması, elde edilecek faydayı maksimize edeceği değerlendirilmektedir.

Şebekedeki teknik kayıplarının azaltılmasında işletme geriliminin yükseltilmesi, hatların boşa bekletilmemesi, iletim hatlarında uygun malzeme kullanılması, kablo ve kondansatör yalıtkanlarının uygun seçilmesi, reaktif güç kompanzasyonu, çift devreli hatların eşit olarak yüklenmesi, transformatörlerin ihtiyaca uygun olarak seçilmesi ve "EU 548/2014 Küçük, Orta ve Büyük Güçlü Transformatörlerin Çevreye Duyarlı Tasarımına İlişkin Tebliğ"de yer verilen transformatörler için asgari verimlilik değerlerinin Türkiye'ye uyarlanması alınabilecek diğer tedbirlerdir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışmada kaçak elektrik kullanımına yönelik yapılan mücadeleleri anlatan ilgili dağıtım işletmecisi uzmanlarına teşekkürü bir borç bilirim. Burada yer alan görüş ve yorumlar yazarın kendisine ait olup ilgili olduğu kurumların düşüncelerini yansıtmamaktadır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Suriyamongkol D., "Non-technical losses in electrical power systems", Ohio University, *M.Sc. Thesis*, (2002).
- [2] Piercy R. and Cress S. L., "Recalculation of distribution system energy losses at Hydro One", *Kinectrics Inc.*, (2007).
- [3] IEC (International Electrotechnical Commission), "Efficient electrical energy transmission and distribution", Geneva, (2007).
- [4] Neme C. and Sedano R., "US experience with efficiency as a transmission and distribution system resource", *The Regulatory Assistance Project (RAP)*, (2012). <http://www.raponline.org/wp-content/uploads/2016/05/rap-neme-efficiencyasatanddresource-2012-feb-14.pdf>
- [5] Katherine T., "Pot growers costing Canada \$500 million in power theft", *Greentech Media*, (2013). <http://www.greentechmedia.com/articles/read/pot-growers-costing-canada-500-million-in-power-theft>
- [6] Mumbai Mirror, "Mumbai's got a finger on the illegal switch". <http://mumbaimirror.indiatimes.com/mumbai/cover-story/articleshow/15994400.cms?>
- [7] Jimenez R., Serebrisky T. and Mercado J., "Sizing electricity losses in transmission and distribution systems in Latin America and the Caribbean", *Inter-American Development Bank*, Washington, (2014).
- [8] Depuru S., Wang L. and Devabhaktuni V., "Electricity theft: overview, issues, prevention and a smart meter based approach to control theft", *Energy Policy* 39: 1007-1015, (2011)
- [9] Sanlı B., "Kayıp-Kaçak: "Farklı kaynaklardan bir inceleme", (2016). <http://www.barissanli.com/calismalar/2016/20160719-bsanli-kk.pdf>
- [10] Adak S., "Durdurun bu vahşeti", *TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası*, (t.y.). http://www.emo.org.tr/ekler/96ffc299200f517_ek.pdf?tipi=46&turu=X&sube=0
- [11] Yaşar C., Aslan Y. ve Biçer, T., "Bir dağıtım transformatörü bölgesindeki kayıpların incelenmesi", *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22: 9-22, (2010).
- [12] Bhatt M. S., "Energy efficiency improvement of electrical transmission distribution networks", *Journal of Scientific & Industrial Research*, 62: 473-490, (2003).
- [13] Sumper A. and Baggini A., "Electrical energy efficiency", *Wiley*, 48, (2012).
- [14] <http://www.teias.gov.tr/Hakkimizda.aspx>
- [15] <http://www.haberler.com/berat-albayrak-elektrik-dagitim-sebekesinde-dunya-8141356-haberi/>
- [16] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, "2017 yılı bütçe sunumu: T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanı Sayın Dr. Berat ALBAYRAK'ın 2017 Yılı Bütçesini TBMM Plan ve Bütçe Komisyonu'na Sunuş Metni", Ankara, 28, (2016).
- [17] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, "Türkiye elektrik enerjisi talep projeksiyonu raporu", Ankara, (2016).
- [18] Türkyılmaz ve ark., "Türkiye enerji görünümü", *TMMOB Makine Mühendisleri Odası Enerji Çalışma Grubu ve ODTÜ MD Enerji Komisyonu*, Ankara, (2017).
- [19] Düzgün B., "Fosil yakıtlı termik santrallerde mevcut durum değerlendirmesi ve enerji verimliliğinin artırılmasına yönelik bir alan araştırması", *Enerji ve Tabii Kaynaklar Uzmanlık Tezi*, T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Ankara, (2015).
- [20] Ediger ve ark., "Türkiye toplumunun enerji tercihleri", *Enerji ve Sürdürülebilir Kalkınma Merkezi*, Kadir Has Üniversitesi, (2017).
- [21] Düzgün B., "Türkiye'nin enerji verimliliğinin değerlendirilmesi: beyaz sertifikalar sisteminin Türkiye'ye uygulanabilirliğinin incelenmesi", *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 32, (2014).
- [22] Dinçer E., "Veri Zarflama Analizinde Malmquist Endeksiyle toplam faktör verimliliği değişiminin incelenmesi ve İMKB üzerine bir uygulama", *Marmara Üniversitesi İ.İ.B.F. Dergisi*, XXV (2), (2008).
- [23] Gedik H., "Demir çelik ve demir alaşımları imalatı sektöründe stokastik veri zarflama analizi ile etkinlik ölçümü", *Doktora Tezi*, Endüstriyel Teknoloji Eğitimi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2010).
- [24] Onat N., "Transmission and distribution losses of Turkey's power system", *4th WSEAS International Conference on Energy Planning, Energy Saving Environmental Education (EPESE'10)*, Sousse, Tunisia, 170-175, (2010).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>

Flexure analysis of laminated composite and sandwich beams using timoshenko beam theory

Timoshenko kiriş teorisi kullanılarak lamine kompozit ve sandviç kirişlerin eğilme analizleri

Yazar(lar)(Author((s)): Armağan KARAMANLI

ORCID: 0000-0003-3990-6515

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz(To cite to this article): Karamanlı A., “Flexure analysis of laminated composite and sandwich beams using timoshenko beam theory ”, *Politeknik Dergisi*, 21(3): 633-643, (2018).

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

DOI: 10.2339/politeknik.386958

Flexure Analysis of Laminated Composite and Sandwich Beams Using Timoshenko Beam Theory

Araştırma Makalesi / Research Article

Armağan KARAMANLI*

Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, İstanbul Gelişim Üniversitesi, Türkiye

(Received : 12.07.2017 ; Accepted : 23.08.2017)

ABSTRACT

The static behaviour of laminated composite and sandwich beams subjected to various sets of boundary conditions is investigated by using the Timoshenko beam theory and the Symmetric Smoothed Particle Hydrodynamics (SSPH) method. In order to solve the problem, a SSPH code which consists of up to sixth order derivative terms in Taylor series expansion is developed. The validation and convergence studies are performed by solving symmetric and anti-symmetric cross-ply composite beam problems with various boundary conditions and aspect ratios. The results in terms of mid-span deflections, axial and shear stresses are compared with those from previous studies to validate the accuracy of the present method. The effects of fiber angle, lay-up and aspect ratio on mid-span displacements and stresses are studied. At the same time, the problems not only for the convergence analysis but also for the extensive analysis are also solved by using the Euler-Bernoulli beam theory for comparison purposes.

Keywords: Meshless method, composite beam, SSPH method, Timoshenko beam theory.

Timoshenko Kiriş Teorisi Kullanılarak Lamine Kompozit ve Sandviç Kirişlerin Eğilme Analizleri

ÖZ

Timoshenko kiriş teorisi ve Simetrik Düzgünleştirilmiş Parçacık Hidrodinamiği (SDPH) yöntemi kullanılarak çeşitli sınır koşullarına sahip lamine kompozit ve sandviç kirişlerin static davranışları incelenmiştir. Problemin çözümü için Taylor serisi açılımında 6.mertebe kadar türev ifadelerini içeren SDPH algoritması geliştirilmiştir. Çeşitli sınır koşullarına ve en boy oranlarına sahip simetrik ve simetrik olmayan çapraz destekli kompozit kiriş problemleri çözümlenerek doğrulama ve yakınsaklık çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Sunulan yöntemin doğruluğunu sağlamak üzere boyutsuz formda elde edilen orta nokta çökmesi, eksenel ve kayma gerilme değerleri daha önceki çalışmalardan elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Fiber açısının, lamine yerleşimlerinin, ve en boy oranlarının orta nokta çökmesi ve gerilmeler üzerindeki etkileri çalışılmıştır. Aynı zamanda, karşılaştırma amacıyla hem yakınsaklık hem de detaylı analiz çalışmaları için çözümlen problemler Euler-Bernoulli kiriş teorisi kullanılarak da çözülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Ağsız yöntem, kompozit kiriş, SSPH yöntemi, Timoshenko kiriş teorisi

1. INTRODUCTION

In recent years, the use of the structures which are made of composite materials have been increasing in many modern engineering applications such as aerospace, marine, automotive, and civil engineering due to attractive properties in strength, stiffness and lightness.

Researchers have been developed various beam theories for analysis of the structural behaviour of the composite beams during the last decade, the review of these theories is given in [1]. The Euler-Bernoulli beam theory (EBT) is widely used to solve the bending behaviour of the thin beams. When the beam is thick or short, the effect of the transverse shear deformation cannot be neglected and refined shear deformation theories are needed. One of the theories which have been developed to eliminate the assumption which is that the cross sections which are normal to the mid-plane before deformation remain plane/straight and normal to the mid-plane after

deformation in the EBT is the first order shear deformation theory called as Timoshenko beam theory (TBT). In the TBT, the normality assumption of the EBT is relaxed and the cross sections do not need to normal to the mid-plane but still remain plane. The TBT requires the shear correction factor (SCF) to compensate the error due to the assumption of the constant transverse shear strain and shear stress through the beam thickness. The SCF depends on the geometric and material parameters of the beam but the loading and boundary conditions are also important to determine the SCF [2-3].

Many higher order beam theories (HBT) including quasi-3D ones have been used to study the bending behaviour of composite beams and only some of them [4-14] are referenced here. In [4], a set of theoretical models which include all the secondary effects such as the transverse shear stress, shear strains and their variation across the cross section is developed. Exact solutions have been developed for symmetric and antisymmetric cross-ply beams with arbitrary boundary conditions subjected to arbitrary loadings based on EBT, TBT and RBT by using

* Corresponding Author
e-mail : armağan_k@yahoo.com

the state space concept in [5]. A general four-degrees-of-freedom beam theory (G4DOFBT) which takes into consideration the effects of both transverse shear and normal deformation is presented in [6]. A third-order composite beam element which possesses a linear bending strain is presented for the analysis of composite beams and plates based on the RBT [7]. In [8], a shear deformation theory which includes two variables considering the effect of the normal strain and satisfies the zero tangential traction boundary conditions on the surfaces of the beam is developed. A multi-layered laminated composite structure model which satisfies the continuity condition of displacements and transverse shear stresses at interfaces, as well as the boundary conditions for a laminated composite with the help of the Heaviside step function is presented in [9]. A refined 2-node, 4 DOF/node beam element is derived based on the RBT theory for axial–flexural–shear coupled deformation in asymmetrically stacked laminated composite beams is developed [10]. In [11], the kinematics of the laminated composite beam is presented by using a sinus function for the transverse shear strain distribution. The numerical assessment of different finite element models (FEM) for the static analysis of laminated composite beams of various cross-sections, considering equivalent single layer theories is presented in [12]. A refined formulation ZigZag theory is presented for the analysis of laminated composite beams (RZT) [13]. A four unknown shear and normal deformation theory is used to flexural analysis of laminated composite and sandwich beams in [14].

Analytical, experimental and numerical methods have been used to explore the static behaviours of composite and sandwich beams. However, in some cases it is impossible to obtain the analytical solution and the cost of experimental studies are being expensive. By the advancement in the computer technology, the solution of these complex problems becomes possible via different numerical approaches such as the finite element methods (FEM), meshless methods, generalized differential quadrature method (GDQM), etc. The finite element method (FEM) is one of the most commonly used numerical methods for engineering problems. However, they have some drawbacks which can be eliminated by using meshless methods, for instance avoiding the re-mesh at every step during the evolution of the analysis.

Meshless methods are the most promising and have attracted considerable attention for the analysis of engineering problems with intrinsic complexity. Meshless methods are widely used in static and dynamic analyses of the isotropic, laminated composite and functionally graded beam problems [15-23]. However, the studies are very limited regarding to the flexure analysis of laminated composite and sandwich beams by employing a meshless method [24-27].

As it is seen from above literature survey, the studies related to flexure analysis of the laminated composite and sandwich beams by employing a meshless method are very limited in the literature. The main scope of this work is to investigate the flexure behaviour of the laminated

composite and sandwich beams based on various beam theories such as Euler Bernoulli Beam Theory (EBT) and Timoshenko Beam Theory (TBT) by using the Symmetric Smoothed Particle Hydrodynamics (SSPH) method. In this paper, the elastostatic analysis of the laminated composite and sandwich beams are presented by considering fibre angles, lay-ups, aspect ratios and sets of boundary conditions.

In section 2, the formulation of the basis function of the SSPH method is given. In section 3, the constitutive equations of the composite and sandwich beams are presented. The formulation of the EBT and TBT based on the studied beam problems are given in Section 4. In Section 5, numerical results are given for the problems with four different boundary conditions which are simply supported (SS), clamped-simply supported (CS), clamped-clamped (CC) and clamped-free (CF).

2. FORMULATION OF SYMMETRIC SMOOTHED PARTICLE HYDRODYNAMICS METHOD

A scalar function for 1D case can be presented by using Taylor Series Expansion (TSE) as follows

$$f(\xi) = f(x) + (\xi - x)f'(x) + \frac{1}{2!}(\xi - x)^2f''(x) + \frac{1}{3!}(\xi - x)^3f'''(x) + \frac{1}{4!}(\xi - x)^4f^{(IV)}(x) + \frac{1}{5!}(\xi - x)^5f^{(V)}(x) + \frac{1}{6!}(\xi - x)^6f^{(VI)}(x) + \dots \quad (1)$$

where $f(\xi)$ is the value of the function at ξ located in near of x . The Eq. (1) can be given by employing the zeroth to sixth order terms and neglecting the higher order terms

$$f(\xi) = \mathbf{P}(\xi, x)\mathbf{Q}(x) \quad (2)$$

where

$$\mathbf{Q}(x) = \left[f(x), \frac{df(x)}{dx}, \frac{1}{2!} \frac{d^2f(x)}{dx^2}, \dots, \frac{1}{6!} \frac{d^6f(x)}{dx^6} \right]^T \quad (3)$$

$$\mathbf{P}(\xi, x) = [1, (\xi - x), (\xi - x)^2, \dots, (\xi - x)^6] \quad (4)$$

The number of terms employed in the TSE can be increased to improve the accuracy depending on the order of the governing equations. However, increasing the number of terms to be employed definitely increases the CPU time and may decrease the effectiveness of the method. Determination of the number of terms mainly depends on the experience of the researcher. To determine the unknown variables given in the $\mathbf{Q}(x)$, both sides of Eq. (2) are multiplied with $W(\xi, x)\mathbf{P}(\xi, x)^T$ and evaluated for every node in the CSD. In the global numbering system, let the particle number of the j^{th} particle in the compact support of $W(\xi, x)$ be $r(j)$. The following equation is obtained

$$\sum_{j=1}^{N(x)} f(\xi^{r(j)}) W(\xi^{r(j)}, x) \mathbf{P}(\xi^{r(j)}, x)^T = \sum_{j=1}^{N(x)} \left[\mathbf{P}(\xi^{r(j)}, x)^T W(\xi^{r(j)}, x) \mathbf{P}(\xi^{r(j)}, x) \right] \mathbf{Q}(x) \quad (5)$$

where $N(x)$ is the number nodes in the compact support domain (CSD) of the $W(\xi, x)$ as shown in Figure 1.

Then, Eq. (5) can be given by

$$C(\xi, x)Q(x) = D(\xi, x)F^{(x)}(\xi, x) \tag{6}$$

Where $C(\xi, x) = P(\xi, x)^T W(\xi, x)P(\xi, x)$ and $D(\xi, x) = P(\xi, x)^T W(\xi, x)$.

The solution of Eq. (6) is given by

$$Q(x) = K(\xi, x)F(\xi) \tag{7}$$

where $K^{(x)}(\xi, x) = C(\xi, x)^{-1}D(\xi, x)$.

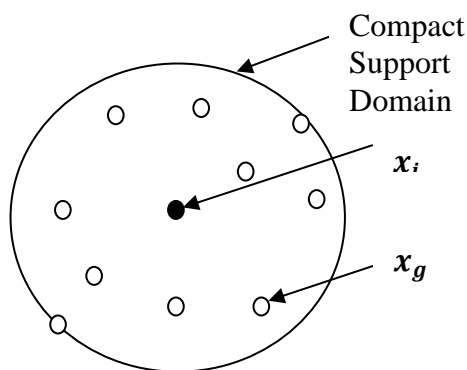


Figure 1. Compact support of the weight function $W(\xi, x)$ for the node located at $x = (x_i, y_i)$.

Eq. (7) can be also written as follows

$$Q_I(x) = \sum_{j=1}^M K_{IJ}F_j, \quad I = 1, 2, \dots, 7 \tag{8}$$

where M is the number of nodes and $F_j = f(\xi^j)$. Seven components of Eq. (8) for 1D case are written as

$$f(x) = Q_1(x) = \sum_{j=1}^M K_{1j}F_j$$

$$\frac{df(x)}{dx} = Q_2(x) = \sum_{j=1}^M K_{2j}F_j$$

$$\frac{d^2f(x)}{dx^2} = 2! Q_3(x) = 2! \sum_{j=1}^M K_{3j}F_j$$

$$\frac{d^3f(x)}{dx^3} = 3! Q_4(x) = 3! \sum_{j=1}^M K_{4j}F_j$$

$$\frac{d^4f(x)}{dx^4} = 4! Q_5(x) = 4! \sum_{j=1}^M K_{5j}F_j$$

$$\frac{d^5f(x)}{dx^5} = 5! Q_6(x) = 5! \sum_{j=1}^M K_{6j}F_j$$

$$\frac{d^6f(x)}{dx^6} = 6! Q_7(x) = 6! \sum_{j=1}^M K_{7j}F_j \tag{9}$$

3. CONSTITUTIVE EQUATIONS

In Figure 2., a laminated composite beam which is made of many plies of orthotropic materials in different orientations with respect to x-axis is presented. The formulation of the constitutive equations following assumptions are done;

1. A lamina is continuum; i.e. , no gaps or empty spaces exist,
2. A lamina behaves as a linear elastic material
3. Each lamina is bounded perfectly to each other.

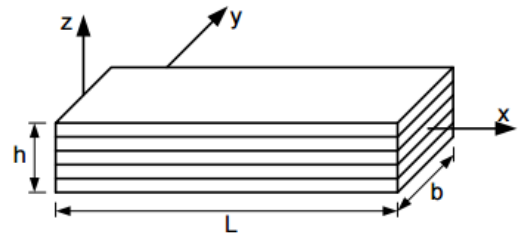


Figure 2. Geometry of a laminated composite beam.

The stress-strain relationship of a k^{th} orthotropic lamina in the material coordinate axes is given by:

$$\begin{Bmatrix} \sigma_{xx} \\ \sigma_{xz} \end{Bmatrix}^k = \begin{bmatrix} Q_{11} & 0 \\ 0 & Q_{55} \end{bmatrix}^k \begin{Bmatrix} \epsilon_{xx} \\ \gamma_{xz} \end{Bmatrix} \tag{10}$$

where $(\sigma_{xx}, \sigma_{xz})$ are the stresses and $(\epsilon_{xx}, \gamma_{xz})$ are the normal strain and shear strain, respectively, with respect to the laminate axes. Q_{ij} 's are the transformed elastic constants or stiffness matrix with respect to laminate axis x . The transformed elastic constant can be given by:

$$Q_{11} = C_{11} \cos^4 \theta + 2(C_{12} + 2C_{66}) \cos^2 \theta \sin^2 \theta + C_{22} \sin^4 \theta$$

$$Q_{55} = C_{44} \sin^2 \theta + C_{55} \cos^2 \theta \tag{11}$$

where

$$C_{11} = \frac{E_1}{1 - \nu_{12}\nu_{21}}; \quad C_{12} = \frac{E_1\nu_{21}}{1 - \nu_{12}\nu_{21}};$$

$$C_{22} = \frac{E_2}{1 - \nu_{12}\nu_{21}}; \quad C_{66} = G_{12}; \quad C_{55} = G_{13}; \quad C_{44} = G_{23};$$

$E_1, E_2, G_{12}, G_{13}, G_{23}, \nu_{12}$ and ν_{21} are the six independent engineering constants. E is the Young's Modulus, G is the Shear Modulus and ν is the Poisson's ratio.

4. THEORETICAL FORMULATION OF BEAM THEORIES

The kinematics of deformation of a beam can be represented by using various beam theories. Among them, the Euler Bernoulli Beam Theory (EBT) and the Timoshenko Beam Theory (TBT) are commonly used. To describe the EBT and TBT the following coordinate system is introduced. The x -coordinate is taken along the axis of the beam and the z -coordinate is taken through the

height (thickness) of the beam. In the general beam theory, all the loads and the displacements (u, w, ϕ) along the coordinates (x, z) are only the functions of the x and z coordinates. The formulations of the beam theories based on the laminated composite beams are given below.

4.1 Euler Bernoulli Beam Theory

According to EBT, the displacement field is given by,

$$U(x, z) = u(x) - z \frac{dw(x)}{dx}$$

$$W(x, z) = w(x) \tag{12}$$

where u and w are two variables to be determined. The only the axial strain which is nonzero is given by,

$$\epsilon_{xx} = \frac{dU}{dx} = \frac{du}{dx} - z \frac{d^2w}{dx^2} \tag{13}$$

The virtual strain energy of the beam can be presented by using the axial stress and the axial strain as follows

$$\delta U = \int_0^L \int_A \sigma_{xx} \delta \epsilon_{xx} dA dx \tag{14}$$

where δ is the variational operator, A is the cross sectional area, L is the length of the beam, σ_{xx} is the axial stress. The stress resultants can be given by,

$$M_x = \int_A z \sigma_{xx} dA \tag{15a}$$

$$N_x = \int_A \sigma_{xx} dA \tag{15b}$$

Using Eq. (13) and Eq. (15), Eq. (14) can be rewritten as,

$$\delta U = \int_0^L \left(N_x \frac{d\delta u}{dx} - M_x \frac{d^2\delta w}{dx^2} \right) dx \tag{16}$$

The virtual potential energy of the load $q(x)$ is given by

$$\delta V = - \int_0^L q \delta w dx \tag{17}$$

If a body is in equilibrium, $\delta W = \delta U + \delta V$, the total virtual work (δW) done equals zero and is given by,

$$\delta W = \int_0^L \left(N_x \frac{d\delta u}{dx} - M_x \frac{d^2\delta w}{dx^2} - q \delta w \right) dx = 0 \tag{18}$$

After performing integration by parts in Eq. (18) and since δu and δw are arbitrary in ($0 < x < L$), one can obtain following equilibrium equations

$$- \frac{d^2 M_x}{dx^2} = q(x) \text{ for } 0 < x < L \tag{19a}$$

$$- \frac{d N_x}{dx} = 0 \text{ for } 0 < x < L \tag{19b}$$

It is useful to introduce the shear force Q_x and rewrite the Eq. (19a) in the following form

$$- \frac{d M_x}{dx} + Q_x = 0, \quad - \frac{d Q_x}{dx} = q(x) \tag{20}$$

Using Eqs. (10), (13) and (15), the followings can be written,

$$M_x = B \frac{du}{dx} - D \frac{d^2w}{dx^2} \tag{21a}$$

$$N_x = A \frac{du}{dx} - B \frac{d^2w}{dx^2} \tag{21b}$$

where

$$(A, B, D) = \int_{-h/2}^{+h/2} Q_{11}(1, z, z^2) dz \tag{22}$$

The EBT governing equations for a laminated composite beam subjected to the distributed load are given by

$$\frac{d^2}{dx^2} \left(D \frac{d^2w}{dx^2} - B \frac{du}{dx} \right) = q(x) \tag{23a}$$

$$- \frac{d}{dx} \left(A \frac{du}{dx} - B \frac{d^2w}{dx^2} \right) = 0 \tag{23b}$$

4.2 Timoshenko Beam Theory

The following displacement field is given for the TBT,

$$U(x, z) = u(x) + z \phi(x)$$

$$W(x, z) = w(x) \tag{24}$$

where u, ϕ and w are three variables to be determined. Using the Eq. (24), the non zero strains can be given

$$\epsilon_{xx} = \frac{dU}{dx} = \frac{du}{dx} + z \frac{d\phi}{dx}$$

$$\gamma_{xz} = \frac{dU}{dz} + \frac{dW}{dx} = \phi + \frac{dw}{dx} \tag{25}$$

The virtual strain energy of the beam including the virtual energy associated with the shearing strain can be written as,

$$\delta U = \int_0^L \int_A (\sigma_{xx} \delta \epsilon_{xx} + \sigma_{xz} \delta \gamma_{xz}) dA dx \tag{26}$$

where σ_{xz} is the transverse shear stress and γ_{xz} is the shear strain. The stress resultants can be given by,

$$M_x = \int_A z \sigma_{xx} dA \tag{27a}$$

$$Q_x = \int_A \sigma_{xz} dA \tag{27b}$$

$$N_x = \int_A \sigma_{xx} dA \tag{27c}$$

Using Eqs. (25) and (27), one can rewrite the Eq.(26) as,

$$\delta U = \int_0^L \left[N_x \frac{d\delta u}{dx} + M_x \frac{d\delta \phi}{dx} + Q_x \left(\delta \phi + \frac{d\delta w}{dx} \right) \right] dx \tag{28}$$

The virtual potential energy of the load $q(x)$ is given by

$$\delta V = - \int_0^L q \delta w dx \tag{29}$$

If a body is in equilibrium, $\delta W = \delta U + \delta V$, the total virtual work (δW) done equals zero and is given by,

$$\delta W = \int_0^L \left[N_x \frac{d\delta u}{dx} + M_x \frac{d\delta \phi}{dx} + Q_x \left(\delta \phi + \frac{d\delta w}{dx} \right) - q \delta w \right] dx = 0 \tag{30}$$

Since the total virtual work done equals zero and the coefficients of $\delta u, \delta \phi$ and δw in $0 < x < L$ are zero, the following governing equations can be given by,

$$- \frac{d M_{xx}}{dx} + Q_x = 0 \tag{31a}$$

$$- \frac{d Q_x}{dx} = q(x) \tag{31b}$$

$$- \frac{d N_x}{dx} = 0 \tag{31c}$$

Using Eqs. (10), (25) and (27) the stress resultants can be written by,

$$M_x = B \frac{du}{dx} + D \frac{d\phi}{dx} \tag{32a}$$

$$Q_x = \kappa_s A_s \left(\phi + \frac{dw}{dx} \right) \tag{32b}$$

$$N_x = A \frac{du}{dx} + B \frac{d\phi}{dx} \tag{32c}$$

where κ_s is the shear correction factor to be used to compensate the error caused by the assumption of a

constant transverse shear stress distribution along the beam thickness and

$$A_s = \int_{-h/2}^{+h/2} Q_{55} dz \tag{33}$$

The governing equations of the TBT are given by

$$-\frac{d}{dx} \left(B \frac{du}{dx} + D \frac{d\phi}{dx} \right) + \kappa_s A_s \left(\phi + \frac{dw}{dx} \right) = 0 \tag{34a}$$

$$-\frac{d}{dx} \left[\kappa_s A_s \left(\phi + \frac{dw}{dx} \right) \right] = q(x) \tag{34b}$$

$$-\frac{d}{dx} \left(A \frac{du}{dx} + B \frac{d\phi}{dx} \right) = 0 \tag{34c}$$

5. NUMERICAL RESULTS

The flexure behaviour of the composite beams is investigated by a number of numerical examples considering the EBT and TBT formulations. The numerical results in terms of displacements and stresses of composite beams are obtained by using the SSPH method and considering various lay-ups, aspect ratios and boundary conditions. The results from previous studies [5,8] in terms of dimensionless mid-span deflections, axial and shear stresses are used for comparison purposes. After the verification of the developed code, the number of nodes to be used in the problem domain for the numerical calculations is

The shear correction factor is set to 5/6. The material properties of the problems studied within this paper are given in Table 2.

The following non-dimensional quantities are used for the representation of the results;

Non-dimensional maximum transverse deflection of the beam:

$$\bar{w} = \frac{100E_m b h^3}{q_0 L^4} w(L/2, z) \tag{35}$$

Non-dimensional axial and shear stresses of the beam:

$$\begin{aligned} \bar{\sigma}_x &= \frac{b h^2}{q_0 L^2} \sigma_x \left(\frac{L}{2}, z \right) \\ \bar{\sigma}_{xz} &= \frac{b h}{q_0 L} \sigma_{xz} (0, z) \end{aligned} \tag{36}$$

5.1 Verification, Comparison and Convergence Studies

The developed SSPH code is verified by solving symmetric and anti-symmetric cross-ply composite beams subjected to uniformly distributed load with different boundary conditions (simply supported and cantilever) and aspect ratios. Three types of uniformly node distributions in the problem domain are employed for numerical calculations, 41, 81 and 161 nodes based

Table 1. Boundary conditions used for the numerical computations.

BC	x=0	x=L	
EBT	S-S	u = 0, w = 0, M _x = 0	u = 0 or N _x = 0, w = 0, M _x = 0
	C-S	u = 0, w = 0, w' = 0	u = 0 or N _x = 0, w = 0, M _x = 0
	C-C	u = 0, w = 0, w' = 0	u = 0, w = 0, w' = 0
	C-F	u = 0, w = 0, w' = 0	N _x = 0, M _x = 0, M' _x = 0
TBT	S-S	u = 0, w = 0, M _x = 0	u = 0 or N _x = 0, w = 0, M _x = 0
	C-S	u = 0, w = 0, φ = 0	u = 0 or N _x = 0, w = 0, M _x = 0
	C-C	u = 0, w = 0, φ = 0	u = 0, w = 0, φ = 0
	C-F	u = 0, w = 0, φ = 0	N _x = 0, M _x = 0, Q _x = 0

Table 2. Material properties of composite and sandwich beams.

Problem	Structure	Material Properties
1	Type A	E ₁ /E ₂ = 25; E ₃ = E ₂ ; G ₁₂ = G ₁₃ = 0.5E ₂ ; G ₂₃ = 0.2E ₂
		ν ₁₂ = ν ₁₃ = ν ₂₃ = 0.25
2	Type B	Face Layer: Type A
		Core Layer:
		E ₁ /E ₂ = 1; E ₃ = E ₂ ; G ₁₂ = G ₁₃ = 1.5E ₂ ; G ₂₃ = 0.4E ₂
		ν ₁₂ = ν ₁₃ = ν ₂₃ = 0.25

determined and extensive analysis are performed. The physical parameters of the beam are L=1m and b=0.1m. Three different two aspect ratios (L/h) 5, 10 and 50 are considered. The distributed load q₀ is set to 10000 N/m.

on the experience of previous studies [22-23]. The following weight function used in [23] is employed for the analysis:

$$W(x, \xi) = \begin{cases} \left(1 - \frac{d}{\rho}\right)^7 35 \left(\frac{d}{\rho}\right)^6 + 245 \left(\frac{d}{\rho}\right)^5 + 720 \left(\frac{d}{\rho}\right)^4 + 1120 \left(\frac{d}{\rho}\right)^3 + 928 \left(\frac{d}{\rho}\right)^2 + 336 \left(\frac{d}{\rho}\right) + 48 & 0 \leq d \leq \rho \\ 0 & d > \rho \end{cases} \quad (37)$$

where $d = |x - \xi|/h$ is the radius of the compact support domain, h is the smoothing length.

The numerical calculations are performed according to the following meshless parameters; the radius of the

Table 3. Verification and convergence studies of the SSPH code, dimensionless mid-span deflections for different number of nodes.

Theory	Reference	Symmetric (0°/90°/0°)			Anti-symmetric (0°/90°)		
		L/h=5	10	50	L/h=5	10	50
a. Simply Supported Beams (S-S)							
EBT	Khdeir and Reddy [5]	0.646	0.646	0.646	3.322	3.322	3.322
TBT		2.146	1.021	0.661	5.036	3.750	3.339
EBT	SSPH - 41 nodes	0.6464	0.6464	0.6464	3.3216	3.3216	3.3216
	SSPH - 81 nodes	0.6464	0.6464	0.6464	3.3216	3.3216	3.3216
	SSPH - 161 nodes	0.6464	0.6464	0.6464	3.3216	3.3216	3.3216
TBT	SSPH - 41 nodes	2.1464	1.0214	0.6614	5.0359	3.7502	3.3387
	SSPH - 81 nodes	2.1464	1.0214	0.6614	5.0359	3.7502	3.3387
	SSPH - 161 nodes	2.1464	1.0214	0.6614	5.0359	3.7502	3.3387
b. Cantilever Beams (C-F)							
EBT	Khdeir and Reddy [5]	2.198	2.198	2.198	11.293	11.293	11.293
TBT		6.698	3.323	2.243	16.436	12.579	11.345
EBT	SSPH - 41 nodes	2.1978	2.1978	2.1978	11.2934	11.2934	11.2934
	SSPH - 81 nodes	2.1978	2.1978	2.1978	11.2934	11.2934	11.2934
	SSPH - 161 nodes	2.1978	2.1978	2.1978	11.2934	11.2934	11.2934
TBT	SSPH - 41 nodes	6.6978	3.3228	2.2428	16.4362	12.5791	11.3448
	SSPH - 81 nodes	6.6978	3.3228	2.2428	16.4362	12.5791	11.3448
	SSPH - 161 nodes	6.6978	3.3228	2.2428	16.4362	12.5791	11.3448

Table 4. Verification and convergence studies of the SSPH code, dimensionless axial $\bar{\sigma}_x \left(\frac{L}{2}, \frac{h}{2}\right)$ and shear $\bar{\sigma}_{xz}(0,0)$ stresses of S-S beams for different number of nodes.

Theory	Reference	Symmetric (0°/90°/0°)			Anti-symmetric (0°/90°)		
		L/h=5	10	50	L/h=5	10	50
a. Axial (Normal) Stress							
EBT	Zenkour [8]	0.7776	0.7776	0.7776	0.2336	0.2336	0.2336
TBT		0.7776	0.7776	0.7776	0.2336	0.2336	0.2336
EBT	SSPH - 41 nodes	0.7776	0.7776	0.7776	0.2336	0.2336	0.2336
	SSPH - 81 nodes	0.7776	0.7776	0.7776	0.2336	0.2336	0.2336
	SSPH - 161 nodes	0.7776	0.7776	0.7776	0.2336	0.2336	0.2336
TBT	SSPH - 41 nodes	0.7776	0.7776	0.7776	0.2336	0.2336	0.2336
	SSPH - 81 nodes	0.7776	0.7776	0.7776	0.2336	0.2336	0.2336
	SSPH - 161 nodes	0.7776	0.7776	0.7776	0.2336	0.2336	0.2336
b. Shear Stress							
TBT	Zenkour [8]	0.2994	0.2994	0.2994	0.8553	0.8553	0.8553
TBT	SSPH - 41 nodes	0.3000	0.3000	0.3000	0.8571	0.8571	0.8571
	SSPH - 81 nodes	0.3000	0.3000	0.3000	0.8571	0.8571	0.8571
	SSPH - 161 nodes	0.3000	0.3000	0.3000	0.8571	0.8571	0.8571

support domain (d) is chosen as 8 and the smoothing length (h) equals to 1.3Δ . Δ can be defined as the minimum distance between two adjacent nodes. The meshless parameters are selected by performing trial and error method.

Based on the various node distributions, aspect ratios, symmetric and anti-symmetric beam structures, nondimensional mid-span deflections, axial and shear stresses are obtained by using different beam theories. The results are given in Table 3-4 along with the results from previous studies. It is clear that the results obtained by using the SSPH method agree completely with those of previous papers [5,8]. The computed results obtained by using the EBT and TBT, the mid-span deflections, axial and transverse shear stresses are almost the same with those obtained from various authors. Due to this agreement, the verification of the developed code is established. For the sake of accuracy, uniformly distributed 161 nodes will be used in the problem domain for the extensive analysis.

5.2 Elastostatic Analysis of Laminated Composite and Sandwich Beams

Four different boundary conditions, SS, CS, CC and CF are considered respectively for the bending analysis of laminated composite and sandwich beams subjected to uniformly distributed load. The mid-span deflections, axial and shear stresses are computed based on the various beam theories, lay-ups, fiber angles and aspect ratios.

5.2.1 Laminated Composite Beams: Type A

By extending the problem which is solved for the convergence and verification analysis, symmetric $[0^\circ/\theta/0^\circ]$ and unsymmetric $[0^\circ/\theta]$ composite beams are considered. In Tables 5 and 6, variations of mid-span displacements, axial and shear stresses respect to the fiber angle are given. As the fiber angle increases, mid-span deflections and axial stress values increase for all type of boundary conditions and aspect ratios. With the increasing of the aspect ratio, the mid-span deflections decrease. It is found that the axial stresses computed based on the EBT and TBT formulation are almost same. As it is expected, the difference between the EBT and TBT in terms of mid-span deflections is negligible for a thin beam.

As it is seen from Figs. 3 and 4, as the fiber angle increases, the dimensionless axial and shear stresses increase for all type of boundary conditions and aspect ratios. The discontinuities are visible for all types of composite beam structures.

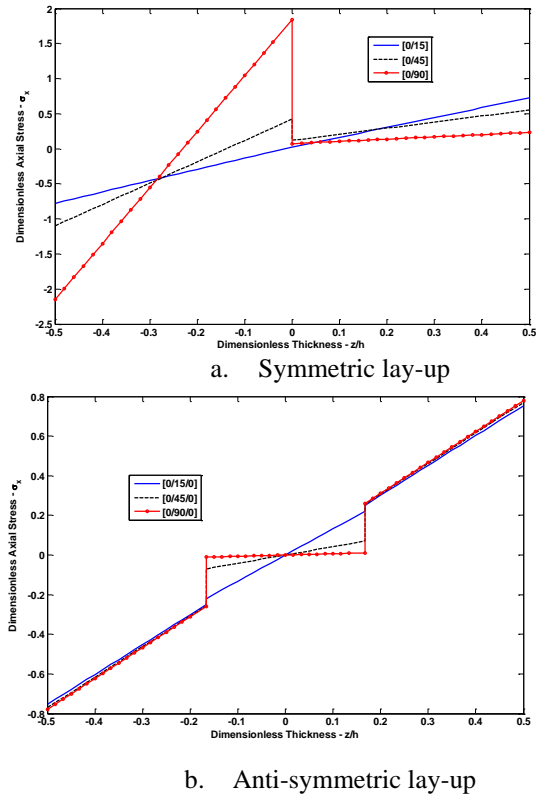


Figure 3. Axial stress distribution through the thickness of symmetric and anti-symmetric beams with S-S boundary condition based on TBT

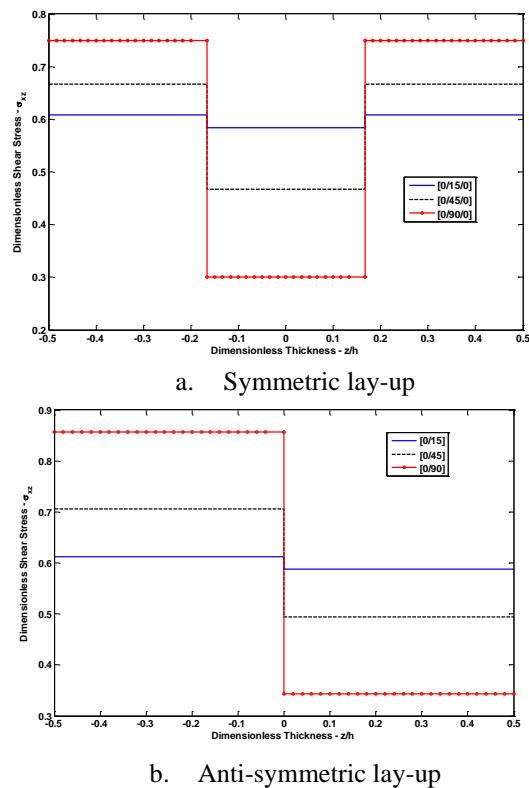


Figure 4. Shear stress distribution through the thickness of symmetric and anti-symmetric beams with S-S boundary condition based on TBT, Type A, $L/h=5$

Table 5. Dimensionless mid-span deflections of $[0^\circ/\theta/0^\circ]$ and $[0^\circ/\theta]$ beams for various boundary conditions under a uniformly distributed load, Type A.

Aspect Ratio (L/h)	Theory	Lay-ups	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	
a. Simply supported beams (S-S)										
5	EBT	$[0^\circ/\theta]$	0.6234	0.6665	0.8303	1.2639	2.2352	3.1802	3.3216	
		$[0^\circ/\theta/0^\circ]$	0.6234	0.6263	0.6332	0.6404	0.6448	0.6463	0.6464	
10		$[0^\circ/\theta]$	0.6234	0.6665	0.8303	1.2639	2.2352	3.1802	3.3216	
		$[0^\circ/\theta/0^\circ]$	0.6234	0.6263	0.6332	0.6404	0.6448	0.6463	0.6464	
50		$[0^\circ/\theta]$	0.6234	0.6665	0.8303	1.2639	2.2352	3.1802	3.3216	
		$[0^\circ/\theta/0^\circ]$	0.6234	0.6263	0.6332	0.6404	0.6448	0.6463	0.6464	
5		TBT	$[0^\circ/\theta]$	1.8234	1.8910	2.1276	2.6757	3.7836	4.8467	5.0359
			$[0^\circ/\theta/0^\circ]$	1.8234	1.8426	1.8964	1.9737	2.0566	2.1216	2.1464
10			$[0^\circ/\theta]$	0.9234	0.9726	1.1547	1.6169	2.6223	3.5968	3.7502
			$[0^\circ/\theta/0^\circ]$	0.9234	0.9304	0.9490	0.9737	0.9978	1.0151	1.0214
50	$[0^\circ/\theta]$		0.6354	0.6787	0.8433	1.2780	2.2507	3.1969	3.3387	
	$[0^\circ/\theta/0^\circ]$		0.6354	0.6385	0.6458	0.6537	0.6590	0.6610	0.6614	
b. Clamped simply supported beams (C-S)										
5	EBT		$[0^\circ/\theta]$	0.2494	0.2666	0.3321	0.5056	0.8941	1.2721	1.3286
			$[0^\circ/\theta/0^\circ]$	0.2494	0.2505	0.2533	0.2562	0.2579	0.2585	0.2587
10			$[0^\circ/\theta]$	0.2494	0.2666	0.3321	0.5056	0.8941	1.2721	1.3286
		$[0^\circ/\theta/0^\circ]$	0.2494	0.2505	0.2533	0.2562	0.2579	0.2585	0.2587	
50		$[0^\circ/\theta]$	0.2494	0.2666	0.3321	0.5056	0.8941	1.2721	1.3286	
		$[0^\circ/\theta/0^\circ]$	0.2494	0.2505	0.2533	0.2562	0.2579	0.2585	0.2587	
5		TBT	$[0^\circ/\theta]$	1.5899	1.6371	1.7929	2.1135	2.6811	3.2070	3.3197
			$[0^\circ/\theta/0^\circ]$	1.5899	1.6087	1.6623	1.7409	1.8269	1.8953	1.9216
10			$[0^\circ/\theta]$	0.5983	0.6229	0.7107	0.9194	1.3500	1.7637	1.8345
			$[0^\circ/\theta/0^\circ]$	0.5983	0.6041	0.6203	0.6432	0.6674	0.6860	0.6931
50	$[0^\circ/\theta]$		0.2636	0.2811	0.3475	0.5223	0.9125	1.2919	1.3490	
	$[0^\circ/\theta/0^\circ]$		0.2636	0.2649	0.2683	0.2720	0.2747	0.2760	0.2764	
c. Cantilever beams (C-F)										
5	EBT		$[0^\circ/\theta]$	2.1197	2.2660	2.8232	4.2973	7.5998	10.8128	11.2934
			$[0^\circ/\theta/0^\circ]$	2.1197	2.1294	2.1529	2.1774	2.1925	2.1974	2.1978
10			$[0^\circ/\theta]$	2.1197	2.2660	2.8232	4.2973	7.5998	10.8128	11.2934
		$[0^\circ/\theta/0^\circ]$	2.1197	2.1294	2.1529	2.1774	2.1925	2.1974	2.1978	
50		$[0^\circ/\theta]$	2.1197	2.2660	2.8232	4.2973	7.5998	10.8128	11.2934	
		$[0^\circ/\theta/0^\circ]$	2.1197	2.1294	2.1529	2.1774	2.1925	2.1974	2.1978	
5		TBT	$[0^\circ/\theta]$	5.7197	5.9398	6.7150	8.5326	12.2449	15.8121	16.4363
			$[0^\circ/\theta/0^\circ]$	5.7197	5.7783	5.9424	6.1774	6.4278	6.6232	6.6978
10			$[0^\circ/\theta]$	3.0197	3.1844	3.7961	5.3561	8.7611	12.0626	12.5791
			$[0^\circ/\theta/0^\circ]$	3.0197	3.0416	3.1002	3.1774	3.2513	3.3038	3.3228
50	$[0^\circ/\theta]$		2.1557	2.3027	2.8621	4.3397	7.6462	10.8628	11.3448	
	$[0^\circ/\theta/0^\circ]$		2.1557	2.1659	2.1908	2.2174	2.2348	2.2416	2.2428	
d. Clamped clamped beams (C-C)										
5	EBT		$[0^\circ/\theta]$	0.1247	0.1333	0.1661	0.2528	0.4470	0.6360	0.6643
			$[0^\circ/\theta/0^\circ]$	0.1247	0.1253	0.1266	0.1281	0.1290	0.1293	0.1293
10			$[0^\circ/\theta]$	0.1247	0.1333	0.1661	0.2528	0.4470	0.6360	0.6643
		$[0^\circ/\theta/0^\circ]$	0.1247	0.1253	0.1266	0.1281	0.1290	0.1293	0.1293	
50		$[0^\circ/\theta]$	0.1247	0.1333	0.1661	0.2528	0.4470	0.6360	0.6643	
		$[0^\circ/\theta/0^\circ]$	0.1247	0.1253	0.1266	0.1281	0.1290	0.6360	0.1293	
5		TBT	$[0^\circ/\theta]$	1.3247	1.3579	1.4634	1.6645	1.9954	2.3025	2.3786
			$[0^\circ/\theta/0^\circ]$	1.3247	1.3416	1.3898	1.4614	1.5407	1.6046	1.6293
10			$[0^\circ/\theta]$	0.4247	0.4394	0.4904	0.6057	0.8341	1.0527	1.0929
			$[0^\circ/\theta/0^\circ]$	0.4247	0.4293	0.4424	0.4614	0.4819	0.4981	0.5043
50	$[0^\circ/\theta]$		0.1367	0.1455	0.1790	0.2669	0.4625	0.6527	0.6815	
	$[0^\circ/\theta/0^\circ]$		0.1367	0.1374	0.1393	0.1414	0.1431	0.1440	0.1443	

5.2.2 Laminated Composite Sandwich Beams: Type B

Cross-ply sandwich beams (Type B) under uniformly distributed load with the top and bottom face thickness (h_1) and core thickness (h_2) are studied, Fig. 5. The dimensionless mid-span deflections and stresses are computed by using different beam theories for various thickness and aspect ratios.

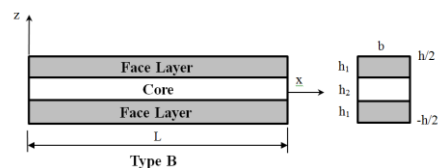


Figure 5. Geometry of the laminated composite sandwich beam (Type B)

Table 6. Dimensionless axial $\bar{\sigma}_x \left(\frac{L}{2}, \frac{h}{2}\right)$ and shear $\bar{\sigma}_{xz}(0,0)$ stresses of $[0^\circ/\theta/0^\circ]$ and $[0^\circ/\theta]$ S-S beams under a uniformly distributed load, Type A.

Aspect Ratio (L/h)	Theory	Lay-ups	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
a. Axial stress									
5	EBT	$[0^\circ/\theta]$	0.7500	0.7261	0.6597	0.5538	0.3921	0.2538	0.2336
		$[0^\circ/\theta/0^\circ]$	0.7500	0.7534	0.7617	0.7704	0.7758	0.7775	0.7776
10	EBT	$[0^\circ/\theta]$	0.7500	0.7261	0.6597	0.5538	0.3921	0.2538	0.2336
		$[0^\circ/\theta/0^\circ]$	0.7500	0.7534	0.7617	0.7704	0.7758	0.7775	0.7776
50	EBT	$[0^\circ/\theta]$	0.7500	0.7261	0.6597	0.5538	0.3921	0.2538	0.2336
		$[0^\circ/\theta/0^\circ]$	0.7500	0.7534	0.7617	0.7704	0.7758	0.7775	0.7776
5	TBT	$[0^\circ/\theta]$	0.7500	0.7261	0.6597	0.5538	0.3921	0.2538	0.2336
		$[0^\circ/\theta/0^\circ]$	0.7500	0.7534	0.7617	0.7704	0.7758	0.7775	0.7776
10	TBT	$[0^\circ/\theta]$	0.7500	0.7261	0.6597	0.5538	0.3921	0.2538	0.2336
		$[0^\circ/\theta/0^\circ]$	0.7500	0.7534	0.7617	0.7704	0.7758	0.7775	0.7776
50	TBT	$[0^\circ/\theta]$	0.7500	0.7261	0.6597	0.5538	0.3921	0.2538	0.2336
		$[0^\circ/\theta/0^\circ]$	0.7500	0.7534	0.7617	0.7704	0.7758	0.7775	0.7776
b. Shear stress									
5	TBT	$[0^\circ/\theta]$	0.6000	0.6123	0.6486	0.7059	0.7742	0.8332	0.8571
		$[0^\circ/\theta/0^\circ]$	0.6000	0.5837	0.5368	0.4667	0.3882	0.3247	0.3000
10	TBT	$[0^\circ/\theta]$	0.6000	0.6123	0.6486	0.7059	0.7742	0.8332	0.8571
		$[0^\circ/\theta/0^\circ]$	0.6000	0.5837	0.5368	0.4667	0.3882	0.3247	0.3000
50	TBT	$[0^\circ/\theta]$	0.6000	0.6123	0.6486	0.7059	0.7742	0.8332	0.8571
		$[0^\circ/\theta/0^\circ]$	0.6000	0.5837	0.5368	0.4667	0.3882	0.3247	0.3000

Table 7. Dimensionless mid-span deflections of $[0^\circ/90^\circ/0^\circ]$ beams for various boundary conditions under a uniformly distributed load, Type B.

Theory	$h_2/h_1 = 3$			$h_2/h_1 = 8$		
	L/h=5	10	50	L/h=5	10	50
a. Simply supported beams (S-S)						
EBT	0.7860	0.7860	0.7860	1.2229	1.2229	1.2229
TBT	2.1496	1.1269	0.7996	2.6515	1.5801	1.2372
b. Clamped simply supported beams (C-S)						
EBT	0.3144	0.3144	0.3144	0.4892	0.4892	0.4892
TBT	1.8438	0.7116	0.3306	2.1140	0.9077	0.5061
c. Cantilever beams (C-F)						
EBT	2.6723	2.6723	2.6723	4.1580	4.1580	4.1580
TBT	6.7634	3.6951	2.7133	8.4437	5.2294	4.2008
d. Clamped clamped beams (C-C)						
EBT	0.1572	0.1572	0.1572	0.2446	0.2446	0.2446
TBT	1.5208	0.4981	0.1708	1.6732	0.6017	0.2589

Table 8. Dimensionless axial $\bar{\sigma}_x \left(\frac{L}{2}, \frac{h}{2}\right)$ and shear $\bar{\sigma}_{xz}(0,0)$ stresses of $[0^\circ/90^\circ/0^\circ]$ S-S beams under a uniformly distributed load, Type B.

Theory	$h_2/h_1 = 3$			$h_2/h_1 = 8$		
	L/h=5	10	50	L/h=5	10	50
a. Axial stress						
EBT	0.9455	0.9455	0.9455	1.4712	1.4712	1.4712
TBT	0.9455	0.9455	0.9455	1.4712	1.4712	1.4712
b. Shear stress						
TBT	0.5455	0.5455	0.5455	0.5714	0.5714	0.5714

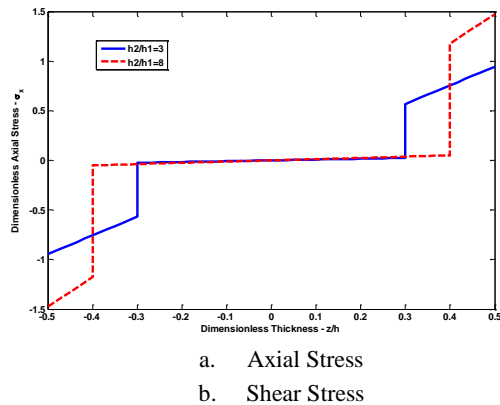


Figure 6. Axial and shear stress distribution through the thickness of symmetric sandwich beams with S-S boundary condition based on TBT, Type B, $L/h=5$.

It is clear that from Tables 7 and 8, the dimensionless mid-span deflections and the stresses increase as the thickness ratio changes from 3 to 8. As the aspect ratio increase, the difference between the EBT and TBT in terms of mid-span deflections decreases. The maximum axial and shear stresses are obtained for the thickness value at 8 as it is seen from Figure 6.

6. CONCLUSION

The flexure behaviour of the laminated composite and sandwich beams are presented by using the EBT and TBT formulation employing the SSPH basis functions with strong formulation of the problem. The EBT and TBT formulations are developed regarding to different types of composite beam structures to evaluate the mid-span deflections, axial and shear stresses. The verification of the developed code is established by solving symmetric and anti-symmetric cross-ply composite beams subjected to uniformly distributed load with different boundary conditions (simply supported and cantilever) and aspect ratios. The numerical calculations are performed by using 161 nodes uniformly distributed in the problem domain and by employing 7 terms in the TSEs. The numerical results based on the TBT formulation are compared with those obtained by other authors and the computed results based on the EBT formulation to show the validity of the SSPH method.

Composite and sandwich beams with various configurations are considered. The following results can be drawn from the computed results based on the TBT:

- For the fiber angle value 0° , all coupling effects from material vanish. Thus, the axial displacement u cannot be obtained.
- Bending behavior can be controlled to meet the desired goals by choosing suitable fiber angle.
- The importance of the shear effect increases as the fiber angle increases for the anti-symmetric laminated composite beams (Type A) for all type of boundary conditions and aspect ratios.
- The mid-span deflections, axial and shear stresses of the symmetric and anti-symmetric laminated composite

beams (Type A) are affected by the fiber angles for all type of boundary conditions and aspect ratios.

- The difference in terms of mid-span deflections, axial and shear stresses between the symmetric and anti-symmetric laminated composite beams (Type A) increase as the fiber angle increases.
- C-F laminated composite sandwich beam (Type B) is much more sensitive to the thickness ratio change than the other sandwich beam models.
- For S-S laminated composite sandwich beam (Type B), the difference in terms of axial stress values between the studied thickness ratios is more obvious than shear stress values.

It is found that the SSPH method provides satisfactory and expected results at least for the problems studied here. Based on the results obtained within the scope of the study, it is recommended that the SSPH method can be applied for solving linear laminated composite and sandwich beam problems by employing different shear deformation theories and strong form formulation.

REFERENCES

- [1] Nguyen T.K., Nguyen N.D., Vo T.P., Thai H.T., "Trigonometric-series solution for analysis of laminated composite beams", *Compos Struct.*, 160:142-151, (2017).
- [2] Timoshenko S.P., Goodier J.C., "Theory of Elasticity", *McGraw-Hill Co. Inc.*, New York, 1970.
- [3] Wang C.M., Reddy J.N., Lee, K.H., "Shear Deformable Beams and Plates Relations with Classical Solutions", *Elsevier Science Ltd.*, Oxford 2000.
- [4] Kant T., Manjunath B.S., "Refined theories for composite and sandwich beams with C0 finite elements", *Comput Struct*, 33(3):755-764, (1989).
- [5] Khdeir A.A., Reddy J.N., "An exact solution for the bending of thin and thick cross-ply laminated beams", *Compos Struct* 37(2):195-203, (1997).
- [6] Soldatos K.P., Watson P., "A general theory for the accurate stress analysis of homogeneous and laminated composite beams", *Int J Solids Struct.* 34(22): 2857-2885, (1997).
- [7] Shi G., Lam K.Y., Tay T.E., "On efficient finite element modeling of composite beams and plates using higher-order theories and an accurate composite beam element", *Compos Struct.* 41(2):159-165, (1998).
- [8] Zenkour A. M., "Transverse shear and normal deformation theory for bending analysis of laminated and sandwich elastic beams", *Mechanics of Composite Materials & Structures*, 6(3): 267-283 (1999).
- [9] Karama M., Afaq K.S., Mistou S., "Mechanical behaviour of laminated composite beam by the new multi-layered laminated composite structures model with transverse shear stress continuity", *Int J Solids Struct.*, 40(6):1525-1546, (2003).

- [10] Murthy M.V.V.S., Mahapatra D.R., Badarinarayana K., Gopalakrishnan S., "A refined higher order finite element for asymmetric composite beams", *Compos Struct*, 67(1):27–35, (2005).
- [11] Vidal P., Polit O., "A family of sinus finite elements for the analysis of rectangular laminated beams", *Compos Struct*, 84(1):56–72, (2008).
- [12] Aguiar R.M., Moleiro F., Soares C.M.M., "Assessment of mixed and displacement-based models for static analysis of composite beams of different cross-sections", *Compos Struct*, 94 (2):601–616, (2012).
- [13] Nallim L.G., Oller S., Onate E., Flores F.G., "A hierarchical finite element for composite laminated beams using a refined zigzag theory", *Compos Struct*, 163:168–184, (2017).
- [14] Vo T.P., Thai H.T., Nguyen T.K., Lanc D., Karamanli A., "Flexural analysis of laminated composite and sandwich beams using a four-unknown shear and normal deformation theory", *Compos Struct*, 176:388-397, (2017).
- [15] Donning B.M., Liu W.K., "Meshless methods for shear-deformable beams and plates", *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 152:47-71, (1998).
- [16] Gu Y.T., Liu G.R., "A local point interpolation method for static and dynamic analysis of thin beams", *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 190(42):5515-5528, (2001).
- [17] Ferreira A.J.M., Roque C.M.C., Martins P.A.L.S., "Radial basis functions and higher-order shear deformation theories in the analysis of laminated composite beams and plates" *Compos Struct*, 66:287-293, (2004).
- [18] Ferreira A.J.M., Fasshauer G.E., "Computation of natural frequencies of shear deformable beams and plates by an RBF-pseudospectral method", *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 196:134-146, (2006).
- [19] Moosavi M.R., Delfanian F., Khelil A., "The orthogonal meshless finite volume method for solving Euler–Bernoulli beam and thin plate problems", *Finite Elements in Analysis and Design*, 49:923-932, (2011).
- [20] Wu C.P., Yang S.W., Wang Y.M., Hu H.T., "A meshless collocation method for the plane problems of functionally graded material beams and plates using the DRK interpolation", *Mechanics Research Communications*, 38:471-476, (2011).
- [21] Roque C.M.C., Fidalgo D.S., Ferreira A.J.M., Reddy J.N., "A study of a microstructure-dependent composite laminated Timoshenko beam using a modified couple stress theory and a meshless method", *Compos Struct*, 96:532-537, (2013).
- [22] Karamanli A., "Elastostatic analysis of two-directional functionally graded beams using various beam theories and Symmetric Smoothed Particle Hydrodynamics method", *Compos Struct*, 160:653-669, (2017).
- [23] Karamanli A., "Bending behaviour of two directional functionally graded sandwich beams by using a quasi-3d shear deformation theory", *Compos Struct*, 160:653-669, (2017).
- [24] Ferreira A.J.M., Roque C.M.C., Martins P.A.L.S., "Radial basis functions and higher order shear deformation theories in the analysis of laminated composite beams and plates", *Compos Struct*, 66:287-293, (2004).
- [25] Ferreira A.J.M., "Thick composite beam analysis using a global meshless approximation based on radial basis functions", *Mech Adv Mater Struct*, 10:271–84, (2003).
- [26] Roque C.M.C., Fidalgo D.S., Ferreira A.J.M., Reddy J.N., "A study of a microstructure dependent composite laminated Timoshenko beam using a modified couple stress theory and a meshless method", *Compos Struct*, 96:532-537, (2013).
- [27] Liew K.M., Lim H.K., Tan M.J., He X.Q., "Analysis of laminated composite beams and plates with piezoelectric patches using the element-free Galerkin method", *Computational Mechanics*, 29:486-497, (2002).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>

Mg₂Si partikül takviyeli magnezyum alaşımlarının tornalanmasında yüzey pürüzlülüğünün optimizasyonu

Optimization of surface roughness in turning Mg₂Si particle reinforced magnesium alloys

Yazarlar (Authors): Mahir AKGÜN¹, Halil DEMİR², İbrahim ÇİFTÇİ³

ORCID¹: 0000-0002-4522-066X

ORCID²: 0000-0002-9802-083X

ORCID³: 0000-0001-7875-6324

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Akgün M., Demir H. ve Çiftçi İ., “Mg₂Si partikül takviyeli magnezyum alaşımlarının tornalanmasında yüzey pürüzlülüğünün optimizasyonu”, *Politeknik Dergisi*, 21(3): 645-650, (2018).

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

DOI: 10.2339/politeknik.385481

Mg₂Si Partikül Takviyeli Magnezyum Alaşımlarının Tornalanmasında Yüzey Pürüzlülüğünün Optimizasyonu

Araştırma Makalesi / Research Article

Mahir AKGÜN^{*}, Halil DEMİR², İbrahim ÇİFTÇİ³

¹Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Makine Bölümü, Aksaray Üniversitesi, Türkiye

²Teknoloji Fakültesi, İmalat Müh. Bölümü, Karabük Üniversitesi, Türkiye

³Mühendislik Fakültesi, Makine Müh. Bölümü, Çankırı Karatekin Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 29.05.2017 ; Kabul/Accepted : 12.12.2017)

ÖZ

Bu çalışmada, Mg₂Si takviyeli Mg alaşımı malzeme, geleneksel döküm yöntemiyle ergiyik halde Mg matrisine %10 oranında ilave edilen Al-12Si ana alaşımı içindeki Si ile Mg reaksiyona girerek Mg₂Si takviyesini oluşturarak metal kalıba dökülerek üretilmiştir. Silindirik şekilde üretilen malzemeler üzerinde tornalama yöntemiyle işleme deneyleri yapılmıştır. Kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri araştırılarak optimum işleme şartlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla dört farklı kesme hızı (250, 350, 450 ve 550 m/dak), iki farklı ilerleme değeri (0,1 ve 0,2 mm/dev) ve iki farklı kesici takım uç yarıçapı (0,4 mm ve 0,8 mm) kullanılarak Taguchi'nin L8 dikey dizini ile deney tasarımı yapılmıştır. İşleme deneyleri kuru kesme şartlarında CNC torna tezgâhında gerçekleştirilmiştir. Kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisini belirlemek amacıyla varyans analizi (ANOVA) yapılmıştır. Elde edilen analiz sonuçlarına göre yüzey pürüzlülüğü üzerinde % 57,6 katkı oranı ile en etkin parametrenin ilerleme hızı olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Mg alaşımı, yüzey pürüzlülüğü, Taguchi metodu, Anova.

Optimization of Surface Roughness in Turning Mg₂Si Particle Reinforced Magnesium

ABSTRACT

In this study, Mg₂Si reinforced Mg alloy material was produced by adding 10 % Al12Si alloy ingot to Mg matrix by conventional casting method and then the melt was poured into a metal mould in cylindrical form. Machining tests were carried out on these cast alloys through single point turning method. Optimum machining conditions was aimed to be determined by investigating the effects of cutting parameters on surface roughness. For this purpose, the machining tests were performed without coolant on a CNC turning centre at four different cutting speeds (250, 350, 450 and 550 m/min), two different feed rates (0.1 and 0.2 mm/rev) and two different tool tip radii (0.4 mm ve 0.8 mm). The experimental design was conducted according to Taguchi's L8 orthogonal array. Machining experiments were carried out on CNC lathe under dry cutting conditions. ANOVA was used to determine the effect of cutting parameters on the surface roughness. According to the obtained analysis results, it was seen that the most influential parameters on surface roughness was feed rate by 57.6 %.

Keywords: Mg alloy, surface roughness, Taguchi method, Anova.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Yenilikçi hafif malzemeler ile ağırlık tasarrufunun kritik olduğu otomotiv, savunma ve havacılık sektörlerinde kullanılan malzemelerin yapısal özelliklerinden taviz vermeden büyük oranda ağırlıkları azaltılabilir. Magnezyumun kullanımında en önemli etken yoğunluğudur. Magnezyum diğer metaller ile karşılaştırıldığında yoğunluğu oldukça düşük olduğu için çoğu yapısal uygulamalarda tercih edilir. Buna ek olarak mükemmel dökülebilirlik, kaynak yapılabilme ve yüksek ısıl iletkenlik özellikleri ise diğer avantajlarıdır.

Soğuk şekillendirme ve zayıf korozyon dirince ise dezavantajlarıdır [1-2].

Zayıf korozyon direnci magnezyumun kullanımında en önemli problemdir. Magnezyum, alüminyum gibi yüzeyinde oksit film tabakası oluşturur. Bu oksit filmin tabakasının alüminyumda olduğu gibi korozyon direncini artırması beklenir. Ancak, alüminyumda meydana gelen geçirmez bariyer tipi oksit filminden farklı olarak magnezyumda oluşan oksit tabaka gözeneklidir. Gözenekli oksit tabaka koruyucu değildir ve oksitlenmeyi daha da hızlandırmaktadır [3-4]

Magnezyum ve alaşımları tüm yapısal malzemelerden daha yüksek işlenebilirliğe sahiptir. Kuru olarak işlenebilir ancak düşük yüzey pürüzlülük değerlerini elde etmek için yüksek kesme hızları gerektiğinden yüzeyde

**Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : mahirakgun@aksaray.edu.tr*

yanma meydana gelebilir. Yanmanın önüne geçebilmek için soğutma sıvısı kullanmak gereklidir. Su bazlı soğutucuların reaksiyon oluşturma ihtimali nedeniyle mineral yağlar soğutucular olarak kullanılmalıdır [5].

Literatürdeki yapılan çalışmalara bakıldığında, Mg₂Si alaşımının mekanik özelliklerinin geliştirilmesi ve Mg₂Si alaşımının işlenebilirliğinin belirlenmesi amacıyla çalışmalar yapılmıştır. İrizalp ve arkadaşları, özellikle otomotiv sanayinde geniş yer bulan A360 alaşımına % 0,2 – 0,8 oranlarındaki Mg ilavesi ile mikro yapıdaki ve sertlikteki değişimin etkilerini araştırmışlardır. Sonuçlar incelendiğinde Mg ilavesine bağlı olarak sertlikte artış meydana gelmiştir. Mikroyapı görüntülerinde Mg₂Si fazının oluştuğunu gözlemlemişlerdir [6]. Akyüz, AZ serisi Mg alaşımının içerisindeki alüminyumun işlenebilirliğe etkisini araştırmıştır. Sonuç olarak üzerinde çalışılan bütün alaşımlarda, kesme hızının artması ile kesme kuvvetleri artmıştır. Bunu kesici takım ucunda oluşan yığıntı talaşa atfetmiştir [7]. Kim ve Lee hava basınçlı soğutucu vasıtasıyla AZ31B Mg alaşımının kuru kesme şartlarında yüzey pürüzlülüğü açısından değerlendirilmesi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Kesici takımda uç sayısının ve ilerlemenin artmasıyla yüzey pürüzlülük değeri artmıştır. Ancak yüzey pürüzlülük değeri, kesme hızı belirli bir seviyenin altındayken hemen hemen değişmemiş ve hava soğutma akışıyla azalmıştır [8]. Çiftçi yapmış olduğu çalışmada farklı boyutlarda ve ağırlıkça % 8, 16 ve 32 oranlarında SiC parçacıkları içeren 2014-Al esaslı metal matrisli kompozit (MMK) malzemeler üretmiş ve işlenebilirlik deneyleri yapmıştır. Sonuç olarak artan parçacık oranı ve boyutu ile kullanılan bütün kesici takımlarda aşınma artmıştır. Bütün kesici takımlarda etkin olan aşınma biçimi yan yüzey aşınması olmuştur. Bitirme işlemleri için aşınmaya dirençli CBN ve PCD kesici takımlar tavsiye edilmiştir. Buna ek olarak daha kaliteli bir yüzey gerektiğinde taşlama gibi alternatif işleme metodlarına ihtiyaç olduğu da belirtilmiştir [9].

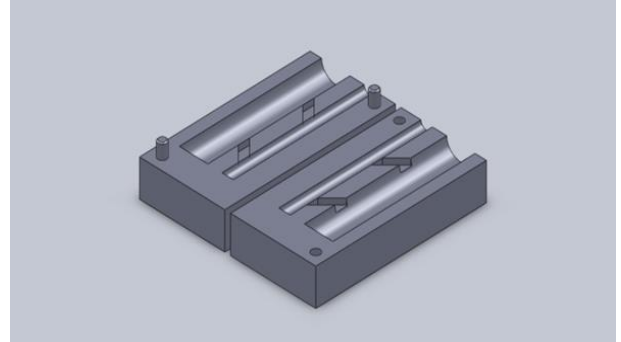
Magnezyum alaşımlarının işlenmesinde çıkan talaşla reaksiyona girme riski olduğu için su bazlı kesme sıvısı kullanılmaz. İşleme esnasında tutuşma riskini azaltmak için magnezyum talaşları mümkün olduğunca büyük ve kaba olmalıdır. En olumsuz işleme şartlarında dahi işlenen yüzey düzgündür ve takım uç radyüsü çizilme ve pürüzlülüğü korumak için düşük tutulmalıdır [10].

Bu çalışmada, Mg₂Si takviyeli Mg alaşımı malzeme, geleneksel döküm yöntemiyle ergiyik halde Mg matrisine %10 oranında ilave edilen Al-12Si master alaşımı içindeki Si ile Mg reaksiyona girerek Mg₂Si takviyesini oluşturarak üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen Mg₂Si takviyeli Mg alaşımı malzeme tornalama deneylerine tabi tutulmuş, kesme parametrelerinin ve takım uç yarıçapının yüzey kalitesi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Deney sonuçları ANOVA ile analiz edilmiş ve optimum kesme parametreleri belirlenmiştir.

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

2.1. Mg₂Si Partikül Takviyeli Magnezyum Alaşımlarının Üretimi (Production of Mg₂Si Particle Reinforced Magnesium)

Mg₂Si partikül takviyeli magnezyum alaşımlarının üretimi, atmosfer kontrollü 1150 °C kapasiteli elektrik rezistanslı fırında yapılmıştır. Pota içinde fırın içine şarj edilen malzeme ergidikten sonra pota altından kalıba dökülmektedir. Mg₂Si bileşimini oluşturmak için ticari erimiş haldeki saf Mg matrisine %10 oranında ilave edilmiştir. Al-12Si master alaşımı içindeki Si ile Mg reaksiyona girerek Mg₂Si takviyesini oluşturmuştur. Ergiyik, tornalama metoduyla işleme deneylerini yapabilmek için 50 mm çapında ve 120 mm boyunda metal kalıba dökülerek deney numuneleri üretilmiştir. Kullanılan metal (kokil) kalıbın şematik görünümü Şekil 1’de verilmiştir. Ergitme işlemi esnasında, dökümün yapılacağı ortamın atmosferle temasını kesmek için ergitme işlemi esnasında fırına koruyucu gaz verilmiştir. Ayrıca döküm yüzey alanını kapatmak ve oksitlenmeyi önlemek için strontium (Sr) toprak alkali metali kullanılmıştır. Bu çalışmada üretilen Mg₂Si partikül takviyeli Mg alaşımının kimyasal analiz sonucu Çizelge 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Dökümün yapıldığı metalik kalıp (Metal Casting Molds)

Çizelge 1. Üretilen malzemelerin % kimyasal analiz sonuçları (% Chemical analysis results of produced materials).

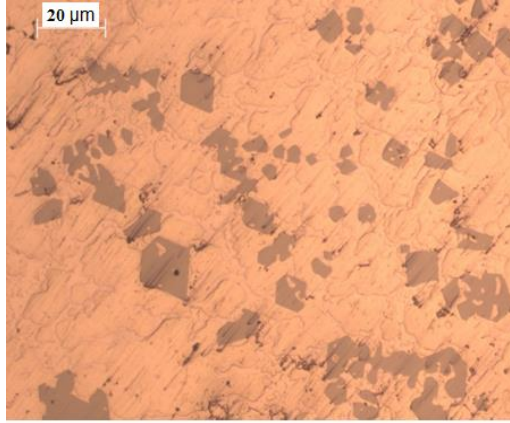
Mg	Si	Al
80,25	2,25	17,40

2.2. Mg₂Si Partikül Takviyeli Magnezyum Alaşımının Mikroyapı İncelemesi (Microstructure Examination in Mg₂Si Particle Reinforced Magnesium)

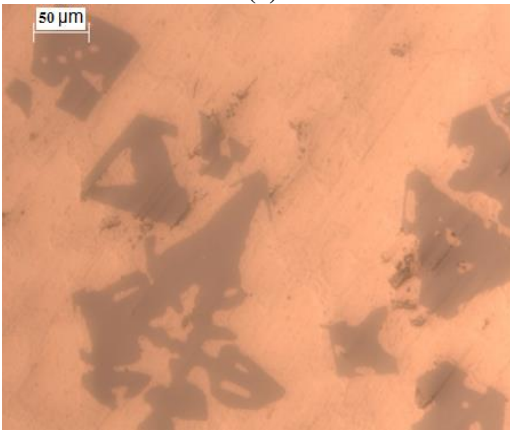
Mikroyapı incelemesi, standart metalografik prosedüre göre numuneleri hazırladıktan sonra optik mikroskopta gerçekleştirilmiştir. Metalografik prosedür, numuneleri 180, 400, 600, 800, 1000, 1200 ve 1400 elek zımparalarla zımparalama ve ardından elmas solüsyonla parlatma işlemini içermektedir

Mikroyapı resimleri, Leica DFC290 model kamera sistemli Leica DM ILM model optik mikroskopta dağlanmamış numuneler üzerinden çekilmiştir.

Şekil 2’de üretilen Mg₂Si partikül takviyeli malzemenin iki farklı büyütme ile elde edilmiş mikroyapı görüntüleri verilmektedir. Mikroyapı görüntülerinden matrisin açık gri renkli ve partiküllerin ise koyu renkli ve keskin köşeli olduğu görülmektedir. Ayrıca, partiküller ve matris arasında tane sınırlarında çökelmiş intermetalik fazlar görülmektedir.



(a)

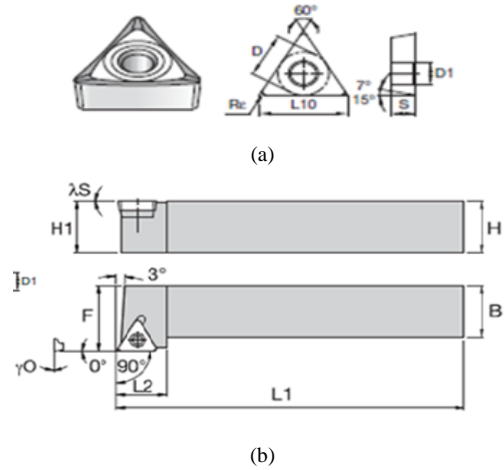


(b)

Şekil 2. Mg alaşımının (a) düşük büyütmedeki ve (b) yüksek büyütmedeki optik görünümü (Mg alaşımı (a) düşük büyütme ve (b) yüksek büyütme optik görünümü).

2.3. Takım Tezgahı, Kesici Takım ve Kesme Parametreleri (Machine Tool, Cutting Tool and Cutting Parameters)

Silindirik iş parçası malzemeleri üzerindeki işlenebilirlik deneyleri, Taksan TMC 500V CNC torna tezgahı kullanılarak yapılmıştır. İş parçası malzemeleri 50 mm çapında ve 120 mm boyundadır. Deneyler esnasında soğutma sıvısı kullanılmamıştır. Deneylerde kullanılan kesici takımlar Kennametal firması tarafından TCGT 16T304HP10 ve TCGT 16T308HP formunda imal edilmiştir. Kesici takım kalitesi üretici firma tarafından KC5010 olarak kodlanmıştır. Kesici takım yanaşma açısı 90° olup STGCL 2020K16 kodlu takım tutucuya mekanik olarak tespit edilmiştir.



Şekil 3. Kesici takım formu ve takım tutucusunun görüntüsü (Cutting tool form and image of tool holder).

Deney parametreleri, ISO 3685 standardına uygun olarak belirlenmiştir [11]. MAHR-Perthometer M1 yüzey pürüzlülük cihazı ile işlenmiş yüzeyler üzerinde yüzey pürüzlülüğü ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen her bir yüzey üzerinde üç ölçümün aritmetik ortalaması alınarak yüzey pürüzlülüğü değerleri elde edilmiştir.

3. DENEY TASARIMI (EXPERIMENTAL DESIGN)

Düşük maliyet ve yüksek kalitede ürünlerin elde edilebilmesi için uygun işleme şartlarının belirlenmesi gerekmektedir [12-13]. Bu sebeple son yıllarda Taguchi metodu deney sayısını azaltması, üretim ve test maliyetlerini düşürmesi sebebiyle mühendislik analizlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Taguchi deney tasarımı metodu optimizasyon problemlerinin çözümünde yardımcı olmaktadır. İşlenmiş yüzeyin kalitesini doğrudan etkileyecek olan etkin kesme parametrelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla kesme hızı, ilerleme değeri ve kesici takım uç yarıçapı dikkate alınacak parametreler olarak belirlenmiştir. Bu kesme parametreleri ve seviyeleri dikkate alınarak Taguchi L8 dikey dizinine göre talaş derinliği 1 mm de sabit olarak işleme deneyleri yapılmıştır. Deney dizini Çizelge 2’de ve deneylerde kullanılan işleme parametreleri ve seviyeleri Çizelge3’de verilmiştir.

Çizelge 2. Taguchi L8 deney tasarımı (Taguchi L8 experiment design).

Deney No	Kontrol Faktörleri		
	A	B	C
1	1	1	1
2	1	2	2
3	2	1	1
4	2	2	2
5	3	1	2
6	3	2	1
7	4	1	2
8	4	2	1

Çizelge 3. Deneylerde kullanılan işleme parametreleri ve seviyeleri (Machining parameters and levels used in experiments).

Kontrol faktörleri	Sembol	Seviye			
		I	II	III	IV
Kesme hızı (m/dk)	A	250	350	450	550
İlerleme hızı (mm/dev)	B	0,1	0,2	-	-
Kesici takım uç radüsü (mm)	C	0,4	0,8	-	-
Talaş Derinliği (mm)	-	1	-	-	-

4. DENEY SONUÇLARI VE ANALİZ (EXPERIMENTAL RESULTS AND ANALYSIS)

4.1 S/N Oranlarının Analizi (Analysis of S / N Rates)

Malzemelerin işlenebilirlik özelliklerinin değerlendirilmesinde çeşitli kriterler kullanılır. En yaygın kriterlerden birisi de işlenen yüzeyin kalitesidir. En iyi işlenmiş yüzeyi belirlemede, kontrol faktörlerinin optimizasyonunda S/N oranları kullanılmaktadır. Mg₂Si partikül takviyeli magnezyum alaşımlarının Taguchi L₈ deney tasarımına göre yapılan işleme deneylerinde, elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerine göre S/N oranları “en küçük en iyi eşitliği” kullanılarak hesaplanmıştır. Çizelge 4’de işleme sonrası elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri ve bunlara karşılık gelen S/N oranları yer almaktadır.

Çizelge 5’de yüzey pürüzlülüğü için S/N yanıt tablosu

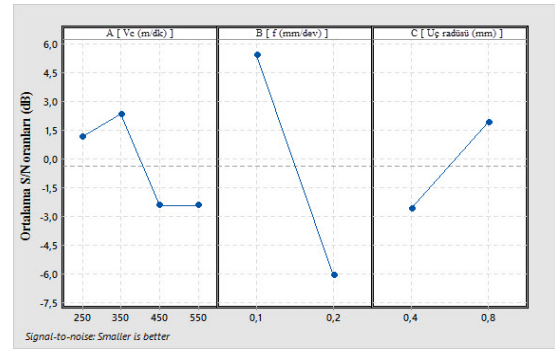
Çizelge 4. İşleme sonrası elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri ve S/N oranları (Surface roughness values and S / N ratios obtained after machining).

Deney No	Kontrol Faktörleri			Aritmetik Yüzey Pürüzlülük Değeri Ra (µm)	S/N Oranı (dB)
	A Kesme hızı	B İlerleme hızı	C Uç radüsü		
1	250	0,1	0,4	0,61	4,29
2	250	0,2	0,8	1,257	-1,98
3	350	0,1	0,4	0,493	6,14
4	350	0,2	0,8	1,19	-1,51
5	450	0,1	0,8	0,526	5,58
6	450	0,2	0,4	3,341	-10,47
7	550	0,1	0,8	0,529	5,53
8	550	0,2	0,4	3,312	-10,40

verilmiştir. Taguchi yöntemiyle oluşturulan bu tablo optimum yüzey pürüzlülüğü değeri için kontrol faktörlerinin optimum seviyelerini göstermektedir. Şekil 4. Yüzey pürüzlülüğü için kontrol faktörlerinin seviye değerleri grafikte gösterilmiştir.

Çizelge 5. Yüzey pürüzlülüğü için S/N yanıt tablosu (S/N response table for surface roughness)

Seviyeler	Kontrol Faktörleri		
	A	B	C
1	1,153	5,387	-2,611
2	2,316	-6,094	1,903
3	-2,449	-	-
4	-2,435	-	-
Delta	4,765	11,481	4,514

**Şekil 4.** Yüzey pürüzlülüğü için kontrol faktörlerinin seviye değerleri (Level values of control factors for surface roughness).

Mg₂Si partikül takviyeli magnezyum alaşımlarının tornalama deneyleri sonucunda yüzey pürüzlülük değerlerinin aritmetik ortalaması (T_{Ra}) 1,407 µm olarak hesaplanmıştır. Aynı zamanda S/N oranı aritmetik ortalaması da 0,352 dB olarak hesaplanmıştır.

Kontrol faktörlerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi

S/N yanıt tablosu kullanılarak analiz edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü değerinin en küçük değeri için en büyük S/N oranı kontrol faktörüne ait optimum seviyeyi göstermektedir.

Çizelge 6. Yüzey pürüzlülüğü için Anova tablosu (Anova table for surface roughness).

Kontrol Faktörleri	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri	Katkı Oranı %
A	3	2,1698	0,72325	1641,89	0,001	20,75
B	1	6,0239	6,02392	13675,19	0,000	57,60
C	1	2,2621	2,26206	5135,22	0,000	21,63
Error	2	0,0009	0,00044			0,02
Total	7	10,4566				100

Yüzey pürüzlülüğü için kontrol faktörlerinin optimum seviyeleri A kesme hızı 350 m/dk (Seviye 2), B ilerleme hızı 0,1 mm/dev (Seviye 1) ve C uç radüsü 0,8 mm (Seviye 2) üzerini bu parametrelerle yapılan deney sonucunda yüzey pürüzlülük değeri 0,387 μm ölçülmüştür.

4.2 Varyans Analizi (ANOVA)

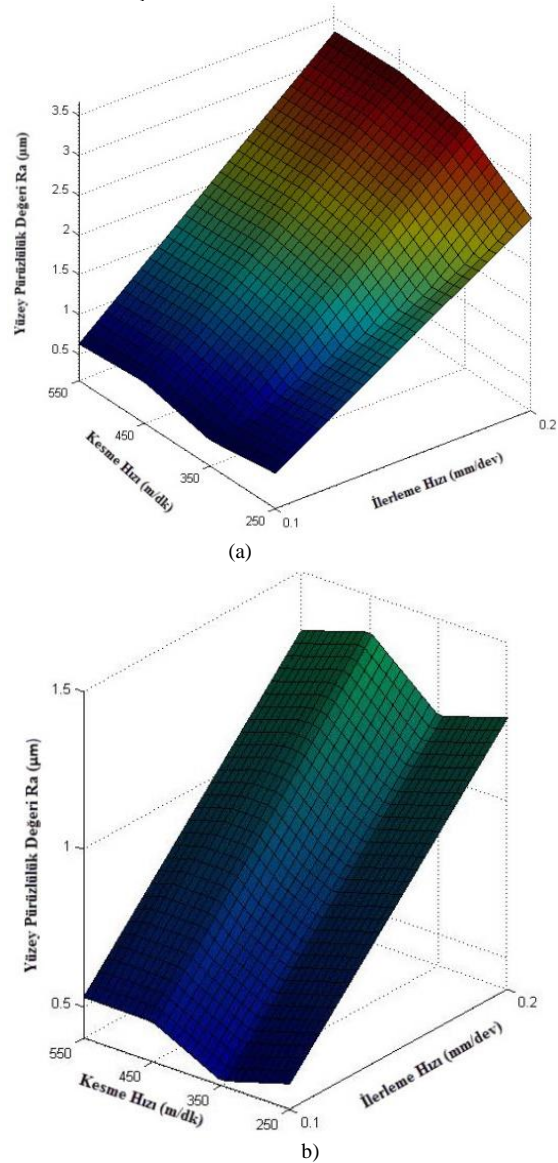
Deney tasarımında kullanılan tüm kontrol faktörlerinin birbiriyle etkileşimlerini belirlemek için ANOVA yöntemi kullanılır [15]. Bu çalışmada yüzey pürüzlülüğü üzerinde kesme hızı, ilerleme değeri ve kesici takım uç yarıçapının etkilerini analiz etmek için varyans analizi yapılmıştır. Varyans analizi sonuçları Çizelge 6'da görülmektedir. Yapılan bu analiz % 95 güven seviyesinde gerçekleştirilmiştir. Kontrol faktörlerinin çıktı üzerindeki etkisinin istatistiksel olarak ifade edilebilmesi için önem seviyesi (P) ve katkı oranının belirlenmesinde F değerleri dikkate alınır. P değeri 0,05 den küçük olduğunda faktörün çıktı üzerindeki etkisinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu F değeri için ise, F değeri en büyük olan kontrol faktörü sonuca en fazla etki eden faktör olarak kabul edilmektedir. Varyans analiz sonuçlarına göre yüzey pürüzlülüğü değeri üzerinden en fazla öneme sahip değişken % 57,6 katkı oranı ile ilerleme hızı olmuştur. İstatistiksel analiz sonuçları ile deneysel çalışmada elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında birbirlerini doğrular niteliktedir.

4.3 Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

(Evaluation of Experimental Results)

Mg ve Mg alaşımlarının işlenmesinde, takımın aşınmasından çok takıma yapışan talaşın engellenmesi gerekmektedir. Şekil 5 incelendiğinde genelde kesme hızının artması ile kesme işleminin kolaylaşacağı ve takımın kesme işlemi yapan kısmında meydana gelen yığıntı talaş (BUE) oluşumunun azalacağı düşünülmektedir. Kesme hızının 250 m/dk'dan 350 m/dk'ya artırılmasıyla yüzey pürüzlülük değerlerinin her iki uç yarıçapı için de azaldığı görülmektedir. Kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülük değerinin düşmesi talaşlı imalat işlemlerinde sıklıkla karşılaşılan bir durumdur. Kesme hızının artmasıyla kesici takım ucunda oluşan yığıntı talaş oluşma eğiliminin azalması yüzey pürüzlülük değerlerindeki azalmanın nedeni olarak düşünülür. Ancak, kesme hızının daha fazla artması sonucu yüzey pürüzlülük değerlerinin arttığı görülmektedir. Bu durum da yüksek

kesme hızlarından kaynaklanan yüksek iş mili devir sayılarındaki titreşimin fazla olması ve aynı zamanda yüksek kesme hızlarındaki muhtemel yüksek takım aşınma miktarı ile açıklanabilir.



Şekil 5. İşleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri a) 0,4 uç yarıçapına göre b) 0,8 uç yarıçapına göre (The effects of the machining parameters on the surface roughness a) according to 0.4 radius of tip b) 0.8 according to radius of tip).

En düşük yüzey pürüzlülük değeri 350 m/dk kesme hızında, 0,1 mm/dev ilerleme hızında, 0,8 mm uç-radüsünde 0,387 µm olarak elde edilmiştir.

5. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada, Mg₂Si takviyeli Mg alaşımı malzeme, geleneksel döküm yöntemiyle ergiyik halde Mg matrisi %10 oranında ilave edilen Al-12Si master alaşımı içindeki Si ile Mg reaksiyona girerek Mg₂Si takviyesini oluşturarak metal kalıba dökülerek üretilmiştir. Üretilen Mg₂Si takviyeli Mg alaşımı malzeme tornalama deneylerine tabi tutulmuş, yüzey pürüzlülüğünü etkileyen kesme parametrelerinin optimizasyonu yapılmıştır. Yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda belirtilmiştir:

- En düşük yüzey pürüzlülüğü değeri için kontrol faktörlerinin optimum seviyelerini belirlenmesinde S/N oranlarından yararlanılmıştır. Optimum yüzey pürüzlülük değeri 350 m/dk kesme hızında (A2), 0,1 mm/dev ilerleme hızında (B1), 0,8 mm uç radüsünde (C2) 0,387 µm olarak elde edilmiştir.
- Analiz sonuçlarına göre yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkin parametrenin %57,6 katkı oranı ile ilerleme değeri olduğu görülmüştür.
- Kesici takım uç yarıçapının büyümesiyle yüzey pürüzlülük değerleri azalmıştır.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma, Tübitak 2209 programı tarafından desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı TÜBİTAK'a ve deney malzemelerinin üretilmesinde emeği geçen Prof. Dr. Hayrettin AHLATÇI'ya teşekkür ederiz

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Zeytin, K.H., "Magnezyum Alaşımları: Otomotiv Endüstrisinde Uygulaması ve Geleceği", TÜBİTAK-Marmara Araştırma Merkezi, Kocaeli, (1999).
- [2] Guangyin, Y., Manping, L., Wenjiang, D., Inoue, A., "Microstructure and Mechanical Properties of Mg-Zn-Si Based Alloys", Materials Science and Engineering A, 357: 314-320, (2003).
- [3] Demir, A., "Metaller Arası Bileşik Mg₂Si Takviyeli AZ91/Mg₂Si Kompozit Malzemenin Geliştirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (2006).

- [4] Singh Raman., R.K., "The Role of Microstructure in Localized Corrosion of Magnesium Alloys", Metallurgical and Materials and Transactions A, 35A: 2525-2527, (2004).
- [5] Polmear, I.J., "Light Alloys: Metallurgy of the Light Metals", Metallurgy and Materials Science, Wiley 3rd Edition, (1995).
- [6] İrizalp, S., Aksoy, U., Ersenbil, E., Saklakoğlu, N., "A360 Alüminyum Alaşımına Mg İlavesinin Malzeme Yapısındaki Sertlik Dağılımına Etkisinin İncelenmesi", Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, 2: 87-93, (2011).
- [7] Akyüz, B., "Influence of Al Content on Machinability of AZ Series Mg Alloys", Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 23: 2243-2249, (2013).
- [8] Kim, J., Lee, K., "Surface Roughness Evaluation in Dry-Cutting of Magnesium Alloy by Air Pressure Coolant", Engineering, 2: 788-792, (2010).
- [9] Çiftçi, İ., "Alüminyum Esaslı Kompozitlerde Takviye Oranı ve Boyutunun Mekanik Özellikler ve İşlenebilirlik Üzerine Etkisinin Araştırılması", Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (2003).
- [10] <http://www.magnesiumsquare.com/images/stories/Machining Magnesium.pdf>
- [11] ISO 3685, "Tool-Life Testing With Single-Point Turning Tools", (1993).
- [12] Tamas, S. "Cutting Force Modeling Using Artificial Neural Networks", Journal of Materials Processing Technology, 92-93: 344-349, (1999).
- [13] Singh, P.D., Rao, V., "A Surface Roughness Prediction Model for Hard Turning Process" International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 32: 1115-1124, (2007).
- [14] Kıvak, T., "Optimization Of Surface Roughness and Flank Wear using the Taguchi Method in Milling of Hadfield Steel with PVD and CVD Coated Inserts", Measurement, 50: 19-28, (2014).
- [15] Mandal, N., Doloi, B., Mondal, B., Das, R., "Optimization of Flank Wear using Zirconia Toughened Alumina (ZTA) Cutting Tool: Taguchi Method and Regression Analysis", Measurement, 44: 2149-2155, (2011)



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>

Açık ve kapalı sistemlerde doluluk oranının parça mukavemetine etkisinin incelenmesi

Investigation on the effect of the open and closed systems

Yazar(lar) (Author(s)): Hatice EVLEN¹, Gülçin EREL², Elif YILMAZ³

ORCID¹: 0000-0002-8214-6286

ORCID²: 0000-0003-1235-7106

ORCID³: 0000-0002-7504-9058

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz(To cite to this article): Evlen H., Erel G. ve Yılmaz E., "Açık ve kapalı sistemlerde doluluk oranının parça mukavemetine etkisinin incelenmesi", *Politeknik Dergisi*, 21(3): 651-662, (2018).

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

DOI: 10.2339/politeknik.386962

Açık ve Kapalı Sistemlerde Doluluk Oranının Parça Mukavemetine Etkisinin İncelenmesi

Araştırma Makalesi / Research Article

Hatice EVLEN, Gülçin EREL*, Elif YILMAZ

Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümü Karabük/TÜRKİYE,
(Geliş/Received : 04.06.2017 ; Kabul/Accepted : 31.07.2017)

ÖZ

3 Boyutlu yazıcılar bilgisayar üzerinde modellenmiş veya 3 boyutlu olarak taranmış modelleri geleneksel üretim yöntemlerine nazaran oldukça hızlı bir şekilde üretebilen cihazlardır. 3 boyutlu yazıcılarda parça yazdırma metodlarından biri olan Ergiyik Depolayarak Modelleme metodunda doluluk oranı, katman kalınlığı, ekstruder sıcaklığı, ortam koşulları gibi faktörler parça mukavemetini etkilemektedir. Günümüzde bu parametrelerin etkisini en aza indirgeyerek optimum koşullarda parça üretimini amaçlayan birçok çalışma yapılmaktadır. Bütün bu gerekçeler göz önünde bulundurularak gerçekleştirilen çalışmada ortam koşullarının ürünün mekanik özelliklerine etkisini belirlemek amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda 400x400x360 mm, mak. 160x170x120 mm ürün yazdırabilen, ısıtılabilen tablaya sahip Kartezyen tip bir üç boyutlu yazıcı tasarımı ve prototip imalatı gerçekleştirilmiştir. Prototiplenen yazıcıda üç farklı polimer malzeme (ABS, PLA ve Power ABS), üç farklı doluluk oranı (%10, %30 ve %50) ve iki farklı çalışma ortamı (etrafi açık ve etrafi kapalı sistem) kullanılarak toplamda 54 adet deney numunesi yazdırılmıştır. Elde edilen numuneler çekme deneyine ve shore sertlik testine tabi tutulmuştur. Çalışmanın sonucunda, kapalı sistemde yazılan numunelerin açık sistemde yazılan numunelere nazaran sertlik değerinin daha düşük olduğu, çekme dirençlerinin ve % uzamalarının daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: 3 boyutlu yazıcılar, kompozit filament, doluluk oranı.

Investigation on the Effect of The Open and Closed Systems

ABSTRACT

3d printers are modeled on the computer or scanned as 3d is a device that can produce rather quickly as compared to traditional production methods. Factors such as fill rate, layer thickness, extruder temperature, ambient conditions affect the part strength in the Fused Deposition Modeling method which is one of the methods of printing parts in 3D printers. Today, many studies aiming to produce parts under optimum conditions by reducing the effect of these parameters to the minimum are being made. All these reasons are intended to operate in ambient conditions considering performed to determine the effect on the mechanical properties of the product. For this purpose, dimensions of 400x400x360 mm, max. A Cartesian type three-dimensional printer with a tray that can print 160x170x120 mm product can be designed and a prototype has been produced. A total of 54 test samples were printed on the prototype printer using three different polymer materials (ABS, PLA and Power ABS), three different fill rates (10%, 30% and 50%) and two different operating environments (open and enclosed system). The obtained samples were subjected to tensile test and shore hardness test. As a result of the study, it was determined that the samples written in the closed system have lower hardness value and higher tensile strength and% elongation than the samples written in open system.

Keywords: 3-D printers, composite filament, the occupancy rate

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüzün üretim dünyasında ürünün pazara sürüm süresinin kısaltılması firmaların rekabetçi kalabilmeleri için önemlidir. Bu sürecin kısaltılmasının yanında, pazara sunumdan sonra gelececek sorun giderici tasarım gereksinimlerinin de minimize edilmesi hatta sıfırlanması bir diğer önemli, tamamlayıcı koşuldur. Her sektörde olduğu gibi üretim sektöründe artan teknolojik olanaklar ile ürün geliştirme sürecinin kısaltmaya devam ettiği gözlenmektedir. Günümüz tasarım ve üretim

dünyasında müşteri odaklı ürün geliştirme artık kaçınılmaz bir gerçektir [1].

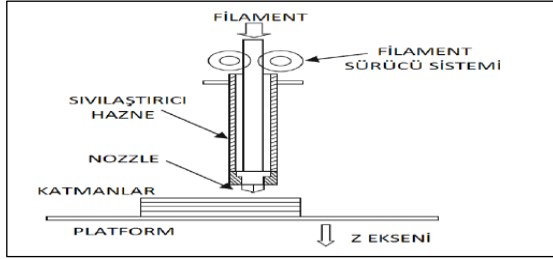
Bu noktada 1980'li yılların ortalarında başlayan hızlı prototipleme çalışmaları artık üretimin her aşamasında hızla yer almaya başlamıştır. Hızlı prototipleme yöntemleri ürünü pazara daha da hızlı sokmak üzere, ağır üretim teçhizatının devreye alınmasına kadar seri üretimde de başarı ile kullanılmaktadır [2].

Hızlı prototipleme sistemlerinde çok sayıda sınıflandırma mevcuttur. Çalışma kapsamında katı esaslı hızlı prototipleme sistemlerinde Ergiyik Biriktirme Yöntemi (FDM) (Fused Deposition Modeling) kullanan bir yazıcı tasarımına gidilmiştir.

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

Son yıllarda FDM teknolojisi, çeşitli uygulamalar için en yaygın kullanılan prototipleme yöntemlerinden biri haline geldi. Bu yöntem, kompozitler de dahil olmak üzere yeni materyalleri tasarlama ve tanıtmaya olanak sağlayan açılır platformda erimiş fiber materyal biriktirme üzerine kuruludur. FDM'de en sık kullanılan malzeme ABS (Akrilonitril bütadien stiren), ardından PC (Polikarbonat), PLA (Poli laktik asit) dir [3].

FDM teknolojisinde, tel şeklindeki plastik veya mum malzeme bir nozul içerisinden ekstrüzyon edilir. Nozul içerisinde malzemeyi ergime noktasının üzerindeki bir sıcaklıkta tutacak bir ısıtıcı vardır. Bu ısıtıcı vasıtasıyla eriyen malzeme nozul içerisinden aktıktan sonra sertleşmekte ve altındaki katmana yapışmaktadır. Bu şekilde bütün katmanlar oluştuktan sonra işlem tamamlanmaktadır Şekil 1’de FDM tekniği gösterilmiştir [4].



Şekil 1. Şematik FDM Tekniği (Schematic FDM Technique)

Herhangi üç boyutlu bir nesnenin sanal olarak katmanlara bölünmesi ve her bir katmanın eritilen ham madde dökülerek, üst üste gelecek şekilde basılması mantığına dayanan FDM teknolojisinde verimli bir ürün baskısı alınabilmesi için doluluk oranı, kabuk sayısı, katman kalınlığı, ekstruder sıcaklığı, baskı hızı gibi parametrelere ihtiyaç duyulmaktadır. Doluluk oranı parça mukavemetini belirleyen en önemli parametredir. Doluluk oranı arttığında hacim sabit kalmak koşuluyla parça içerisindeki federlerin sayısı çoğaltılarak parçanın içerisindeki malzeme yoğunluğu artırılır. Bu artış ile doğru orantılı olarak parça mukavemeti artmış olur.

Eriyik malzeme belirli bir sıcaklıktan direk oda sıcaklığına geçiş yapıyor olması ürünün mekanik özelliklerinde farklılıklar ortaya çıkartacağı kullanılan polimer malzemelerin fiziksel ve kimyasal davranışlarından yola çıkarak düşünülmüştür. Günümüzde var olan 3B yazıcı ana gövde tasarımlarına bakıldığında genellikle etrafı açık sistemlerin olduğu görülmektedir. Bu fikir kapsamında açık ve kapalı sistem farklılıkları ortaya konmaya çalışılmıştır.

Kapalı sistemde ise ortam şartlarından doğacak olumsuzlukları engellemek amaçlı 3B yazıcı iskelet sisteminin üzerine ahşap kaplanmış bir gövde yerleştirilerek çalışmalara devam edilmiştir.

Çelebi ve ark. “3 Boyutlu Yazıcı İle Üretilen Polilaktik asit (PLA) Numunelerde Doluluk Oranlarının Mekanik Özelliklere Etkisi” adlı çalışmalarında %5,

%50 ve %100 doluluk oranlarında PLA polimeri kullanılarak çekme ve eğme numuneleri hazırlanmış ve farklı doluluk oranlarının mekanik özellikleri üzerindeki etkisini incelemiştir. Deneysel sonuçları göz önünde bulundurulduğunda aynı doluluk oranına sahip numunelerin çekme dayanımlarında %50’e varan farklılıkların tespit edildiği, bu farklılıkların sebebinin yazdırma işlemi esnasında oluşan mikro çatlaklar olduğu düşünülmüştür. Eğilme sırasındaki çatlamanın başladığı F_{max} kuvveti etkisinin oldukça küçük olduğu gözlemlenmiştir. Üretim sırasında ortam sıcaklığının sabit tutulması, tabla ve nozul arasındaki sıcaklık farkını düşük olması, soğutma fanının hızının yüksek olmaması ürünün tabladan ayrılma sırasında hassas davranılması önerilmiştir [5].

Çantı ve ark. ise yapmış olduğu çalışmada, ticari bir ABS polimeri ile %100 doluluk oranında, farklı yazdırma hızlarında (30-70 mm/s), 230°C, 240°C ve 250°C sıcaklıklarındaki reolojik özellikleri Ergime Akış İndeksi (EAI) kullanılarak 3B yazdırılmış numunelerin Shore-D sertlik ve çekme testleri ile mekanik özellikleri incelenmiştir. Numunelerin yazdırılmasındaki baskı hızıyla baskı sonuçları arasındaki ilgi incelendiğinde; artan baskı hızı ile baskı süresinin azaldığı, numune geometrilerinde hataların artmaya başladığı gözlemlenmiştir. 50mm/s hızı ile yazdırılan numunelerin mukavemet değerleri en yüksek olduğu için ideal yazdırma hızı olarak değerlendirilmiştir [6].

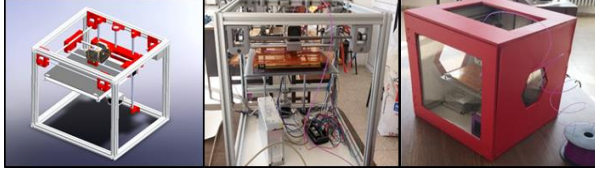
Bir başka çalışmada Özdemir ve ark. üç boyutlu yazıcıda doluluk oranının mekanik özellikler üzerine etkilerinin incelemiştir. PET ve PLA malzemeleri kullanarak %10, 20, 30, 40 ve %50 doluluk oranlarında numune hazırlayarak tek eksenli çekme testleri, sertlik ve pürüzlülük değerleri ölçülmüştür. Yapılan ölçümler neticesinde PET ve PLA malzemelerde sertlik değerinin malzemenin doluluk oranı ile doğru orantılı olduğu, doluluk oranı arttıkça malzemelerin sertliklerinin de arttığı görülmüştür [7].

Yapılan çalışmalara bakıldığında ortam şartlarının ürünün mekanik özellikleri üzerine etkisini ele alan verilerle karşılaşılması. Genellikle 3B yazıcıların yazdırma parametrelerinden olan doluluk oranı, destek türü ve çeşidi, dilimleme çeşidi gibi parametreler kullanılarak ürün verimliliği artırılmaya çalışılmıştır [5,7-9].

2.MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

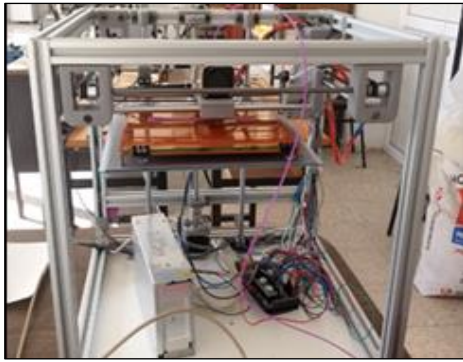
Bu çalışmada 3 Boyutlu yazıcı tasarımı ve prototipi gerçekleştirilmiştir. Geleneksel yöntemlerle üretilmiş üç boyutlu yazıcı SolidWorks 2015 programında modellenmiştir. Prototipi yapılan 3 boyutlu yazıcı kartezyen tipi olup ısıtmalı tablaya sahiptir. İskelet sistemi (x, y, z eksenleri), elektronik sistem ve eriyik serme (ekstruder) sisteminden oluşmaktadır. Şekil 2’de tasarlanana model ve prototipi yapılan 3 boyutlu yazıcının etrafı açık ve kapalı haldeki görüntüleri bulunmaktadır.

Tasarlanan 3 boyutlu yazıcının etrafı açık durumda ve etrafı kapalı durumda, PLA, ABS ve Power ABS filament kullanılarak deney numuneleri yazdırılmıştır. Yazdırılan bu numunelerin sertlikleri ölçülmüş ve numunelere çekme testi uygulanmıştır. Gerçekleştirilen bütün numune yazdırma işlemleri ve testler oda sıcaklığında yapılmıştır.



Şekil 2. Prototipi yapılan 3 boyutlu yazıcının etrafı açık ve kapalı haldeki görüntüleri (Images of open and closed system of prototype 3d printer)

Yazıcı gövdesi sistemi motorların, millerin, vidaların, rulmanların, bağlantı elemanlarının ve diğer parçaların ağırlığını taşıyacak şekilde üretilmiştir. Bu sebeple yazıcı gövdesinde 12 adet 20x20x390 mm boyutunda sigma profiller kullanılmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. 3 boyutlu yazıcı (3d printer)

X ekseninde eriyik serme kafasını taşımaktadır. Bu eksen Y eksenine üzerine monte edilmiş olup x eksenine senkronize hareket etmesi sağlanmıştır. Bu ekseninde motor ve motor miline bağlanan kasnak ve bu kasnak ile çalışan kayış yardımıyla eriyik serme kafasının x ekseninde hareketi sağlanmaktadır. Eriyik serme kafası 2 adet indüksiyonlu mil üzerinde lineer rulmanlar yardımıyla hareket etmektedir.

Y ekseninde hareketi motordan kayış kasnak ile aktarılır. Y ekseninde bulunan miller 3 boyutlu yazıcıda üretilmiş sabit yataklar ile sisteme yerleştirilmiştir.

Modelin yapıldığı tabla z ekseninde hareket etmektedir. Vidalı milin kaplin yardımıyla motora bağlanması ile hareket z eksenine aktarılır. Vidalı mil ile birlikte çalışan somun tabla taşıyıcı plakaya montaj edilmiştir. Sistemde ki vidalı milin haricinde 2 adet indüksiyonlu mil kullanılarak hareketin rijitliği sağlanmıştır. Bu miller tabla taşıyıcı plakaya lineer rulmanlar ile yataklanmıştır. Eriyik serme kafasının görevi erimiş haldeki plastik malzemenin nozulun ucundan akışını sağlamaktır. Malzeme beslemesi için bir adet step motor

kullanılmıştır. Eriyik serme kafasının gövdesine montajlanmış makara ve motor ucuna montajlanan dişli kasnak ile nozul ucuna 1.75 mm çapında ki plastik telin iletimi sağlanmıştır.

Üç boyutlu yazıcı için kontrol kartı, adım motoru, adım motoru sürücü devresi, ısıtıcı uç, ısıtıcı tabla gibi elektronik ekipmanlar kullanılmıştır.

Günümüzde kullanılan üç boyutlu yazıcıların kontrol kartları çoğunlukla Arduino 'ya dayanmaktadır. Bu kontrol kartlarının en temel görevleri step motorları, ısıtıcı nozul ve ısıtıcı tablayı kontrol etmektir. RAMPS (RepRap Arduino Mega Pololu Shield) elektronik kontrol kartı Arduino ek kartıdır. Üç boyutlu yazıcı için ihtiyaç duyulan tüm elektronik kontrol işlevini yerine getirmek için tasarlanmıştır [8].

Üç eksenin kontrolü için birer adet, filament besleme kısmı için bir adet olmak üzere toplamda dört adet adım motoru kullanılmıştır. Adım motor sürücüsü üç boyutlu yazıcıda kullanılan adım motorlarının hareketini sağlamak üzere kullanılır [9].

Isıtıcı tabla baskı esnasında malzemenin yüzeye yapışmasını, çarpılmasını önlemek amacıyla kullanılmaktadır. PLA malzeme için ısıtıcı zeminin kullanılması çok gerekmemekle birlikte ABS ve kompozit malzemenin baskısı esnasında mutlaka kullanılması gerekmektedir [8].

Prototip ve imalatı yapılan Kartezyen tipi üç boyutlu yazıcının teknik özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir.

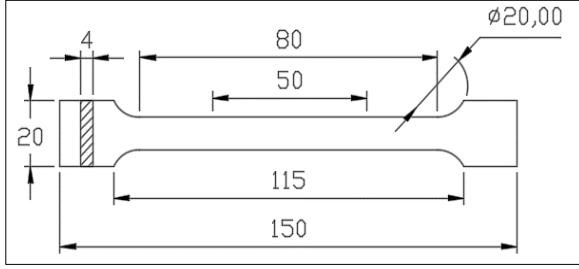
Çizelge 1. Kartezyen tipi üç boyutlu yazıcının teknik özellikleri (Technical specifications of the Cartesian type three-dimensional printer)

Tip	Kartezyen
Genel Boyut(XYZ)	400x400x360mm
Tabla Boyut(XYZ)	160x170x120mm
Nozzle	0.3 mm
Tahrik	XY Kayış-kasnak, Z M8 vida
Tabla ısıtması	Var
Filament	1.75 mm PLA/ABS/KOMPOZİT

Deney numuneleri, yapılan 3 Boyutlu Yazıcıda üretilmiştir. Şekil 4'te belirtilen ölçülerde ki deney numunesi 3 boyutlu yazıcıda yazdırabilmesi için katı modeli Solidworks 2015 çizim programında oluşturulmuş ve Repetier Host programı kullanılarak yazdırma işlemi gerçekleştirildi (Şekil 5). Çizelge 2'de gösterildiği gibi açık sistemde ABS, PLA, Power ABS olmak 3 farklı malzemeden %10, %30, %50 olmak üzere 3 farklı doluluk oranında 27 numune yazdırıldı ardından sistemin etrafı tamamıyla kapatılarak aynı oranlarda 27 numune daha yazıldı.

Çizelge 2. Numune Özellikleri (Specimen properties)

Doluluk Oranı	ABS	PLA	POWER ABS
%10	3 adet	3 adet	3 adet
%30	3 adet	3 adet	3 adet
%50	3 adet	3 adet	3 adet
	9 adet ABS	9 adet PLA	9 adet Power ABS
TOPLAM	27 adet açık ve 27 adet kapalı numune		

**Şekil 4.** Çekme Deneyi Standart Ölçüleri (Standard Measures of Tensile Test Sample)**Çekme Testi Numunesinin Geometrik Özellikleri**

(Geometric Properties of Tensile Test Specimen);

Çeneler Arası Mesafe: 115 mm

Toplam Uzunluk: 150 mm

Dar Paralel Kenarlı Kısım Uzunluğu: 80 mm

Yarıçap: 20 mm

Uçlardaki Genişlik: 20 mm

Dar kısım Genişliği: 10 mm

Ölçme Uzunluğu 50 mm

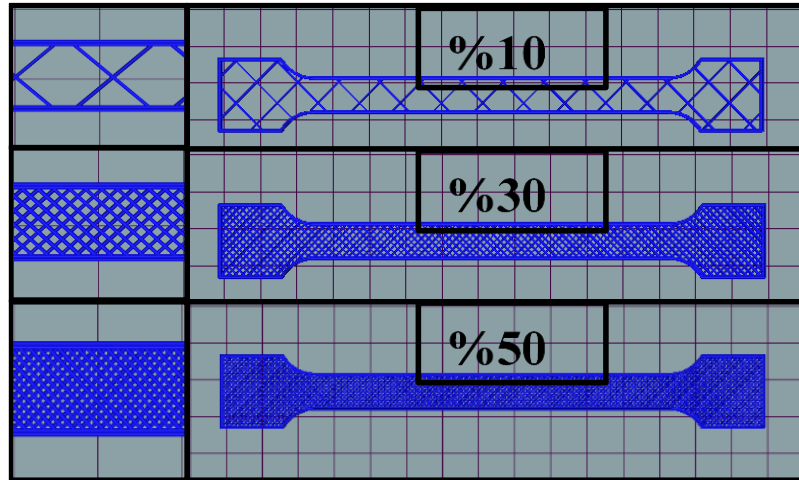
Et kalınlığı: 4 mm

Çizelge 3. Yazdırma Özellikleri (properties of 3d printed)

	PLA	ABS	POWER ABS
Tabla sıcaklığı	60°C	110°C	70°C
Ekstruder sıcaklığı	220 °C	240°C	230°C
Doluluk oranı	%10, %30, %50	%10, %30, %50	%10, %30, %50
Katman kalınlığı	0,2 mm	0,2 mm	0,2 mm
Destek	Yok	Yok	Yok
Kullanılan filament (1 adet)	%10 için: 553m m %30 için: 703mm %50 için: 853 mm	%10 için: 553m m %30 için: 703mm %50 için: 853 mm	%10 için: 553 mm %30 için: 703mm %50 için: 853 mm

Bu çalışmada ABS, PLA ve Power ABS içeren filamentlerin kullanılmasının sebebi katı eriyik biriktirme teknolojisi ile modeli oluşturan üç boyutlu yazıcılarda en yaygın olarak kullanımı tercih edilen filament türleri olmasıdır.

ABS plastik (Akrilonitril Butadin Stiren), sert bir termoplastik polimerdir. Bir petrol ürünü olan ABS aseton ile çözülebilmektedir. ABS malzemesi kullanarak yazdırılan ürünler, 20 ile 80°C arasında kullanıma uygundur. ABS malzemesinin 80°C üzerindeki bir sıcaklığa çıkılması durumunda yumuşama ve şekil bozulması yaşanabilir. ABS malzemesi yoğun güneş ışınlarına maruz bırakılırsa zarar görebilir. ABS yüksek

**Şekil 5.** %10, %30, %50 Doluluk Oranlarında Curaengine İle Dilimlenmiş Numunelerin Şematik Görünümü (Schematic View Of Samples Sliced With Curaengine At 10%, 30%, 50% Coverage)

dayanım ve darbe direnci nedeniyle üç boyutlu yazıcılarda sıkça tercih edilen bir malzeme türüdür [10], [8]. ABS malzemesinin mekanik ve termal özellikleri özellikleri çizelge 4'te verilmiştir.

Çizelge 4. ABS'nin Mekanik Ve Termal Özellikleri (Mechanical And Thermal Properties Of ABS) [11].

(ABS) Özellikler	BİRİM	DEĞER	METHOD
Yoğunluk (23 °C)	g/cm ³	0,25-0,36	ASTM D1895
Erime Akış Hızı(220° C, 10.0 Kg)	g/10 min	0,49 -36	ISO 1133
Rockwell Sertliği		95-117	ISO 2039-2
İzod Darbe Dayanımı ,23 °C (Çentikli)	Kj/m ²	9.0-35,7	ISO 180
Akmada Gerilme Dayanımı	MPa	35.9-63,5	ISO 527-2
Kopmada Gerilme Dayanımı	MPa	29-42	ISO 527-2
Erime Noktası	°C	218	
Bükülme Mod.(Flex Modulus)23 °C	MPa	1860-2860	ISO 178
Camsı Geçiş Sıcaklığı	°C	104	ISO 11357-2 2

Poli laktik Asit sık kullanılan üç boyutlu yazıcı malzemelerinden biridir. Bu malzemenin tercih edilmesinin başlıca sebebi düşük sıcaklıklarda eriyebilmesinden dolayı kullanımı kolaydır. Nozul erime sıcaklığı 180 °C'dir. Isıtıcı tabla kullanılmasına gerek yoktur. Polilaktik asit, ABS malzemesinden farklı olarak petrolden değil nişasta içeren ürünlerden elde edilmektedir [8].PLA malzemesinin mekanik ve termal özellikleri çizelge 5'te verilmiştir.

Çizelge 5. Pla'nın Mekanik Ve Termal Özellikleri (Mechanical And Thermal Properties Of Pla) [12].

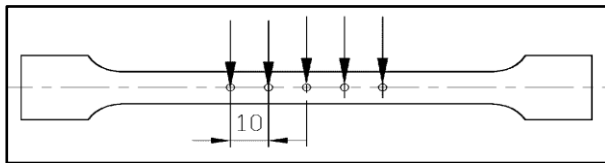
POLİ LAKTİK ASİT(PLA) Özellikler	BİRİM	DEĞER	METHODU
Yoğunluk (23 °C)	g/cm ³	1,24	ISO 1183
Erime Akış Hızı(190° C, 2.16 Kg)	g/10 min	4,12	ISO 1133
Rockwell Sertliği	R-Scale		
İzod Darbe Dayanımı ,23 °C (Çentikli)	Kj/m ²	3-6	ISO 179
Akmada Gerilme Dayanımı	MPa	70	ISO 527
Kopmada Gerilme Dayanımı	MPa	55-65	ISO 527
Erime Noktası	°C	180	
Deformasyon Sıcaklığı 0,45MPa	°C	>100	ISO 75
Bükülme Mod.(Flex Modulus)23 °C	MPa	4000-5000	ISO 175
Camsı Geçiş Sıcaklığı	°C	50-80	ISO 11357-2 2

Power ABS; ABS- PLA ve diğer baskı malzemelerinde, baskı sırasında yaşanan kalkma, yüksek yoğunlukta çatlama, zemine yapışmama, köşelerde kıvrılma gibi kronik problemlere karşın çözüm olarak geliştirilmiş kompozit bir filamenttir. Nozul erime sıcaklığı 235°C'dir. Tavsiye Edilen Kullanım ise yazdırma tablasının 80°C ye kadar ısıtılarak baskı işlemine başlanmasıdır [13].Sigma 3D firmasından temin edilen veriler doğrultusunda Power ABS mekanik ve termal özellikleri özellikleri çizelge 6' da verilmiştir.

Çizelge 6. Power ABS Mekanik Ve Termal Özellikleri Özellikleri (Mechanical And Thermal Properties Of Power ABS)

POWER ABS Özellikler	BİRİM	DEĞER	METHOD
Yoğunluk (23 °C)	g/cm ³	1,04	ASTM D1895
Erime Akış Hızı(220° C, 10.0 Kg)	g/10 min	23	ASTM D1238
Rockwell Sertliği	R-scale	110	ASTM D 785
İzod Darbe Dayanımı ,23 °C (Çentikli)	Kg.cm/cm	23	ASTM D 256
Akmada Gerilme Dayanımı	MPa	51	ASTM D 638
% uzama	%	30	ASTM D 638
Erime Noktası	°C	235	
Bükülme Mod.(Flex Modulus)2 3 °C	MPa	2750	ASTM D 790
Vicat Yumuşama Sıcaklığı 5kg. 50 °C/h	°C	94	ASTM D 1525

Üç boyutlu yazıcı ile üretilen deney numuneleri çekme deneyi ve shore sertlik ölçümleri yapıldı. Her bir çekme numunesinin enine kesitinden belirlenen rastgele bir çizgi boyunca beşer adet sertlik değeri alınarak ortalama değerler çizelgelerde verilmiştir. Numune üzerindeki sertlik ölçme noktaları Şekil 6'da gösterilmektedir.

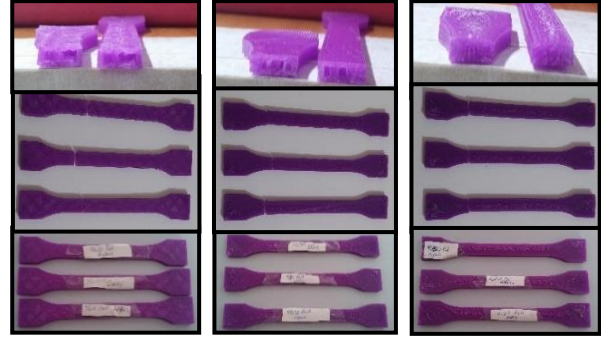


Şekil 6. Sertlik ölçme noktaları (Hardness measuring points)

Çekme deneyi Zwick/Roel Z050 marka test makinası ile yapılmış olup çekme hızı 10 mm/dak. alınmıştır. Sertlik ölçümü için Shahe A Shore Dijital Durometer kullanılmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

54 numuneye uygulanan çekme deneyi sonucu deney çubuklarında meydana gelen kopmalar ve yüzey Gerilmeleri Aşağıda Verilmiştir.

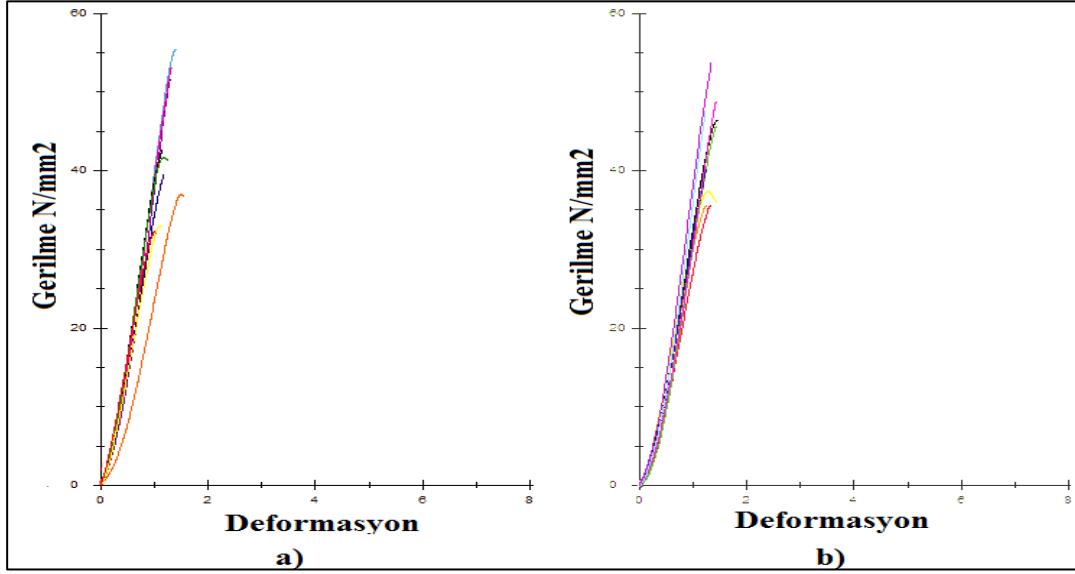


Şekil 7. PLA Plastik %10, %30, %50 Doluluk Oranlarındaki Numuneler (10%, 30%, 50% Occupancy Ratio In The PLA Plastic Sample)

Çizelge 7. Açık Ve Kapalı Sistemde Yazdırılan PLA Numunelerinin Sertlik Ölçümü Sonucu Elde Edilen Verileri (Data Obtained After Hardness Measurement Of PLA Specimen Printed In Open And Closed System)

	PLA	
	Açık Sistem	Kapalı Sistem
	Ortalama Shore A	Ortalama Shore A
10%	80	73,5
30%	86,33	86,33
50%	83	89,5

PLA plastik malzemesinden yazdırılan numunelerin sertlik ölçüm sonuçlarına göre; %10 doluluk oranında ki numunelerin ortalama sertlik değeri açık sistemde 80 Shore A, kapalı sistemde 73,5 Shore A değerindedir. %30 doluluk oranında ortalama sertlik değeri açık sistemde 86,33 Shore A, kapalı sistemde 86,33 Shore A değerindedir. %50 doluluk oranındaki numuneler için sertlik sonuçları ise açık sistemde 83 Shore A, kapalı sistemde 89,5 Shore A değerindedir. Ayrıca doluluk oranı arttıkça sertlik değerinde artış gözlenmiştir.



Şekil 8. a) Açık ve b) Kapalı Sistemde Yazılan PLA Numuneleri Çekme Eğrileri (a) Open System and b) Closed System;Tensile Test Curve Of 3d Printed Pla Specimen)

Çizelge 8. Açık ve kapalı sistemde, PLA ile basılmış deney numunelerinin çekme sonuçları (Tensile Test Result of Printed Specimen with PLA In Open and Closed System)

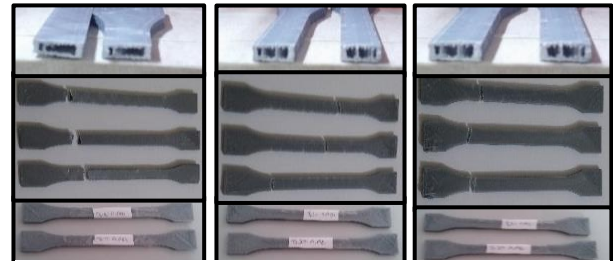
Açık Sistem			Kapalı Sistem		
Nu- mune Adı	ORT. Çekme Geril- mesi	Or.T. Uza- ma	Nu- mune Adı	Ort. Çekme Geril- mesi	Ort. Uza- ma
%10	36,02	1,19	%10	38,21	1,25
%30	43,20	1,16	%30	46,02	1,34
%50	55,17	1,32	%50	51,92	1,31

Açık ve kapalı sistemde, PLA plastikten basılmış deney numunelerinin çekme deneyi sonucu gösterdikleri gerilme ve uzama sonuçları çizelge 8’de, çekme deney grafikleri şekil 8’de gösterilmektedir. %10, %30, %50 doluluk oranlarının her birine ait 3 numune bulunmaktadır. Çizelgede bu değerlerin ortalamaları yer almaktadır.

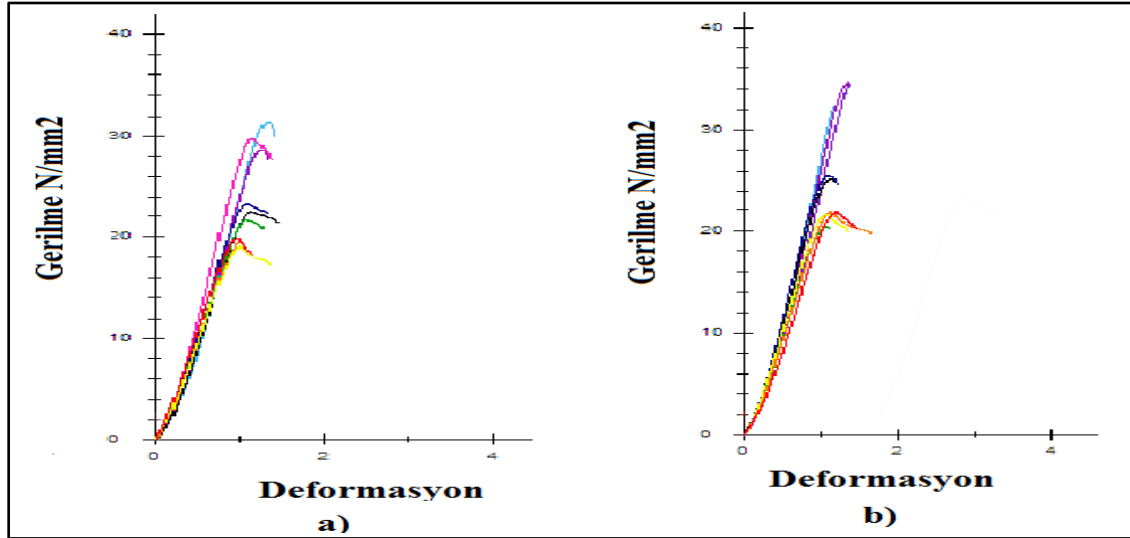
PLA plastik malzemesinden yazdırılan numunelerin çekme testi sonuçlarına göre; %10 doluluk oranında çekme gerilmeleri, açık sistemde 36,02 N/mm², kapalı sistemde 38,21 N/mm²’dir. Uzama miktarı ise açık sistemde %1,19, kapalı sistemde %1,25 oranındadır. %30 doluluk oranındaki numunelerin çekme gerilmeleri açık sistemde 43,20 N/mm², kapalı sistemde 46,02 N/mm². Uzama miktarları açık sistemde %1,16, kapalı sistemde %1,34 oranındadır. %50 doluluk oranındaki numunelerin çekme gerilmeleri açık sistemde 55,17 N/mm², kapalı sistemde 51,92 N/mm²’dir.Uzama miktarı açık sistemde %1,32, kapalı sistemde %1,31 oranındadır. Çekme testi sonuçlarına göre PLA plastik malzemesinin açık sistemden kapalı sisteme geçişte çekme gerilmelerinde ve uzama miktarlarında artış

gözlenmiştir. Ayrıca doluluk oranı arttıkça çekme gerilmesi ve uzama miktarında artış gözlenmiştir. PLA, çevre dostu bir termoplastiktir, çekme gerilmesi 55-65 MPa arasındadır ve 1-350 arası uzama sahiptir. Yoğunlaşma polimeri olduğundan dolayı, erime sırasında çok küçük bir miktarda dahi nem ihtiva etmesi, polimer zincirlerinin bozulmasına ve moleküler ağırlığın kaybıyla birlikte mekanik özelliklerde bozulmaya sebebiyet vermektedir. PLA nem alma özelliğinden kaynaklı çekmesi yüksek olmasına rağmen kırılğan bir özellik gösterir [14].

PLA ortamdaki nemi çok hızlı bir şekilde kapar ve PLA ile ilgili yaşanan problemlerin bir çoğunluğu da bu sebepten gerekli olan ön kurutma işleminin yeterli gerçekleştirilmemesinden kaynaklanmaktadır. Bu sebepten dolayı PLA’nın işlenmesinden önce uygun bir şekilde kurutulması gerekmektedir. Yoğunlaşma polimeri olduğundan dolayı, erime sırasında çok küçük bir miktarda dahi nem ihtiva etmesi, polimer zincirlerinin bozulmasına ve moleküler ağırlığın kaybıyla birlikte mekanik özelliklerde bozulmaya sebebiyet vermektedir [15].



Şekil 9.ABS Plastik %10, %30, %50 Doluluk Oranlarındaki Numuneleri (10%, 30%, 50% Occupancy Ratio In The ABS Plastic Specimen)



Şekil 10. a) açık ve b) kapalı sistemde yazılan ABS numuneleri çekme eğrileri (a) Open System and b) Closed System; Tensile Test Curve Of 3d Printed ABS Specimen)

Çizelge 9. Açık ve kapalı sistemde yazdırılan ABS numunelerinin sertlik ölçümü sonucu elde edilen verileri (Data Obtained After Hardness Measurement Of ABS Specimen Printed On Open And Closed System)

	ABS	
	Açık Sistem	Kapalı Sistem
	Ortalama Shore A	Ortalama Shore A
10%	83	73,5
30%	93	77,33
50%	85,83	77,16

ABS plastik malzemesinden yazdırılan numunelerin sertlik ölçüm sonuçlarına göre; %10 doluluk oranında ki numunelerin ortalama sertlik değeri açık sistemde 83 Shore A, kapalı sistemde 73,5 Shore A değerindedir. %30 doluluk oranında ortalama sertlik değeri açık sistemde 93 Shore A, kapalı sistemde 77,33 Shore A değerindedir. %50 doluluk oranındaki numuneler için sertlik sonuçları ise açık sistemde 85,83 Shore A, kapalı sistemde 77,16 Shore A değerindedir. Sonuçlar doğrultusunda ABS numuneleri için Açık sistemden kapalı sisteme geçildiğinde sertlik değerinde bir azalma görülmektedir. Ayrıca doluluk oranı arttıkça çekme sertlik değerinde artış gözlenmiştir.

ABS'in sertlik değerindeki azalmayı amorf bir termoplastik olması ile açıklanabileceği düşünülmektedir. Termoplastik malzemelerin sıcaklığı arttıkça yoğunluğu azalır, spesifik hacmi büyür yani molekül segmentleri birbirine uzaklaşmaya başlar. Belli bir sıcaklığa ulaştığında molekül segmentleri hareket etmeye başlar. İşte bu sıcaklığa Camı Geçiş Sıcaklığı (Tg) denir. Genelde Tg sıcaklığının altında termoplastik yapılar sert bir yapıya sahiptir. Bu nedenle kırılğan özellik taşırlar. Tg özellikle amorf malzemeler için önem

taşırlar. Amorf malzemeler Tg sıcaklığının altında kullanılırlar. Sıcaklık daha da arttırıldığında malzeme iyice yumuşar ve akmaya başlar. ABS malzemesinin Tg sıcaklığı 100 °C'dir. Oda sıcaklığında Tg altındadır [16]. Baskı sırasında ABS malzemesi için 240 °C ertme sıcaklığı kullanılmıştır. Bu sıcaklıkta ABS, Tg sıcaklığını Çoktan aşmış ve kolay şekil alabilir durumdadır. Kapalı sistemde nozuldan çıkan ergimiş ABS direk oda sıcaklığına çıkmamaktadır. Etrafı kapalı olduğu için elektronik sistemlerin ve nozuldan kaynaklanan ortam sıcaklığı oda sıcaklığının üzerindedir. Bu sebeple kapalı sistemde yazdırılan numunelerin sertlik değerlerinin daha düşük çıktığı düşünülmektedir.

ABS polimerin açık havada uzun süre kalması sonucunda fiziksel özelliklerinde azalma gözlemlenir. Bunun önüne geçmek için malzeme özel bir koruyucu filmle kaplanarak çevre koşullarına karşı direnci arttırılabilmektedir. Asit ve bazlara karşı kimyasal direnci genellikle iyidir. Ancak ketonlar, esterler ve aseton polimeri genelde çözme yönünde etkiler. Malzemenin yoğunluğu katkısız polimer için (1,02–1,07) g/cm³ arasındadır. ABS'nin elektriksel yalıtım özellikleri gayet iyidir ve bazı uygulamalarda yalıtım amaçlı da kullanılabilir. ABS malzemeler higroskopik (nem çekici) malzemeler olduğundan dolayı kullanımından önce yaklaşık 2 saat boyunca 70–80 °C'de kurutulmalıdır [17].

Açık ve kapalı sistemde, ABS plastikten basılmış deney numunelerinin çekme deneyi sonucu gösterdikleri gerilme ve uzama sonuçları çizelge 10'da, çekme eğrileri şekil 10'da gösterilmektedir. %10, %30, %50 doluk oranlarının her birine ait 3 numune bulunmaktadır. Çizelgede bu değerlerin ortalamaları yer almaktadır.

ABS plastik malzemesinden yazdırılan numunelerin çekme testi sonuçlarına göre; %10 doluluk oranında çekme gerilmeleri, açık sistemde 21,31 N/mm², kapalı

sistemde 23,66 N/mm²'dir. Uzama miktarı ise açık sistemde %0,98, kapalı sistemde %1,11 oranındadır.

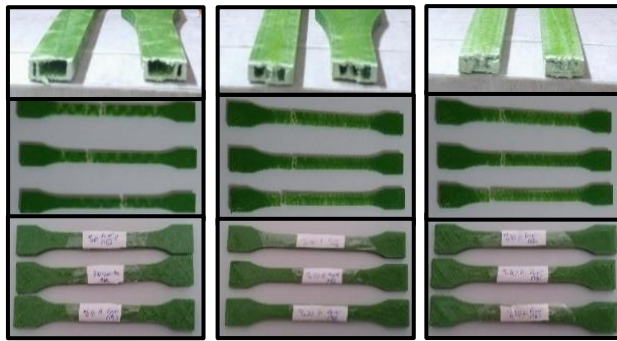
%30 doluluk oranındaki numunelerin çekme gerilmeleri açık sistemde 24,38 N/mm², kapalı sistemde 25,51 N/mm². Uzama miktarları açık sistemde %1,1 kapalı sistemde %1,08 oranındadır. %50 doluluk oranındaki numunelerin çekme gerilmeleri açık sistemde 31,80 N/mm², kapalı sistemde 35,61 N/mm²'dir. Uzama miktarı açık sistemde %1,23, kapalı sistemde %1,28 oranındadır. Çekme testi sonuçlarına göre ABS plastik malzemesinin açık sistemden kapalı sisteme geçişte çekme gerilmelerinde ve uzama miktarlarında artış gözlenmiştir.

Ayrıca doluluk oranı arttıkça çekme gerilmesi ve uzama miktarında artış gözlenmiştir.

Çizelge 10. Açık ve kapalı sistemde, ABS plastikten basılmış deney numunelerinin çekme sonuçları(Tensile Test Result of Printed Specimen with PLA In Open and Closed System)

Açık Sistem			Kapalı Sistem		
Nu- mune Adı	Ort. Çekme Geril- mesi	Ort. Uza- ma	Nu- mune Adı	Ort. Çek- me Geril- mesi	Ort. Uza- ma
10%	21,31	0,98	10%	23,66	1,11
30%	24,38	1,1	30%	25,51	1,08
50%	31,80	1,23	50%	35,61	1,28

Yapılan araştırma neticesinde Ekstrüze edilmiş ABS'nin çekme dayanımı, 175-560 kgf/cm² değerleri arasında değişebileceği ve uzama katsayısının düşük olduğu bilgisi edinilmiştir. Bu bilgi doğrultusunda bulunan sonuçların bu aralıkta olduğu görülmektedir [18].



Şekil 11. Power ABS plastik kompozit malzeme %10, %30, %50 doluluk oranlarındaki numuneler Numuneleri (10%, 30%, 50% Occupancy Ratio In The Power ABS Plastic Specimen)

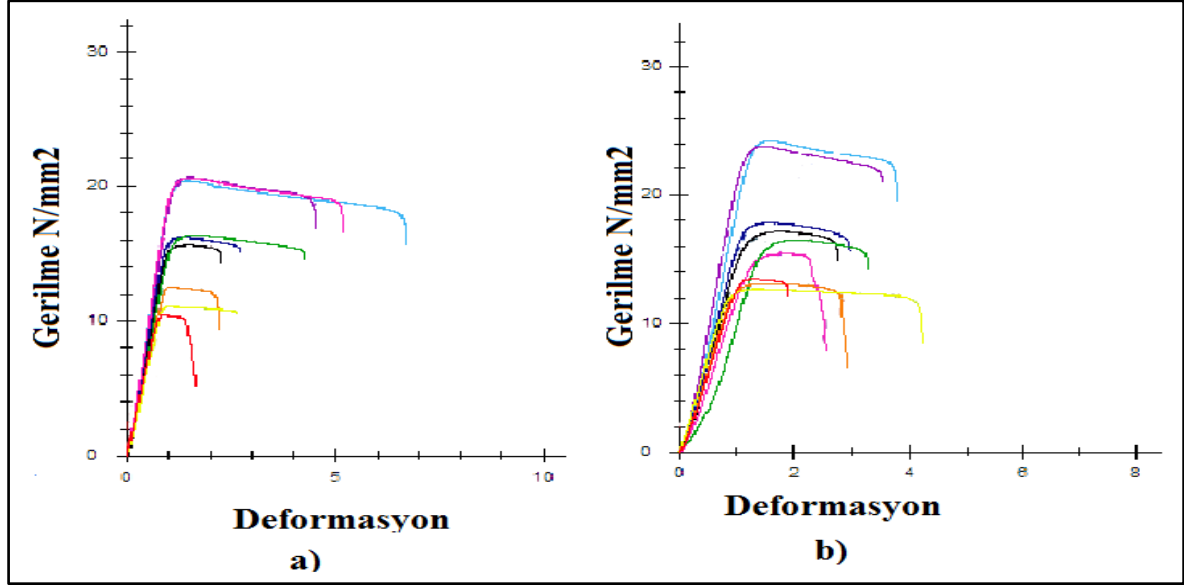
Çizelge 11. Açık ve kapalı sistemde yazdırılan Power ABS numunelerinin sertlik ölçümü sonucu elde edilen verileri (Data Obtained After Hardness Measurement Of Power ABS Specimen Printed In Open And Closed System)

	Power ABS	
	Açık Sistem	Kapalı Sistem
	Ortalama Shore A	Ortalama Shore A
10%	89,66	74
30%	92,5	81,33
50%	92,33	89,66

Power ABS plastik malzemesinden yazdırılan numunelerin sertlik ölçüm sonuçlarına göre; %10 doluluk oranında ki numunelerin ortalama sertlik değeri açık sistemde 89 Shore A, kapalı sistemde 74 Shore A değerindedir. %30 doluluk oranında ortalama sertlik değeri açık sistemde 92,5 Shore A, kapalı sistemde 81,33 Shore A değerindedir. %50 doluluk oranındaki numuneler için sertlik sonuçları ise açık sistemde 92,33 Shore A, kapalı sistemde 89,66 Shore A değerindedir. Sonuçlar doğrultusunda Power ABS numuneleri için Açık sistemden kapalı sisteme geçildiğinde sertlik değerinde bir azalma görülmektedir. Ayrıca doluluk oranı arttıkça çekme sertlik değerinde artış gözlenmiştir. Açık ve kapalı sistemde, Power ABS plastikten basılmış deney numunelerinin çekme deneyi sonucu gösterdikleri gerilme ve uzama sonuçları çizelge 12'de, çekme grafikleri şekil 12'de gösterilmektedir. %10, %30, %50 doluluk oranlarının her birine ait 3 numune bulunmaktadır. Çizelgede bu değerlerin ortalamaları yer almaktadır.

Çizelge 12. Açık ve kapalı sistemde, Power ABS plastikten basılmış deney numunelerinin çekme deneyi sonuçları (Tensile Test Result of Printed Specimen with PLA In Open and Closed System)

Açık Sistem			Kapalı Sistem		
Nu- mune Adı	Ort. Çekme Geril- mesi	Ort. Uza- ma	Numu- ne Adı	Ort. Çekme Geril- mesi	Ort. Uza- ma
10%	13,40	0,97	10%	14,95	1,38
30%	17,90	1,45	30%	18,95	1,80
50%	22,37	1,47	50%	22,96	1,57



Şekil 12. a) açık ve b) kapalı sistemde yazılan Power ABS numuneleri çekme eğrileri (a) Open System and b) Closed System; Tensile Test Curve Of 3d Printed Power ABS Specimen)

Power ABS plastik malzemesinden yazdırılan numunelerin çekme testi sonuçlarına göre; %10 doluluk oranında çekme gerilmeleri, açık sistemde 13,40 N/mm², kapalı sistemde 14,97 N/mm²'dir. Uzama miktarı ise açık sistemde %0,97, kapalı sistemde %1,38 oranındadır. %30 doluluk oranındaki numunelerin çekme gerilmeleri açık sistemde 17,9 N/mm², kapalı sistemde 18,95 N/mm². Uzama miktarları açık sistemde %1,45 kapalı sistemde %1,80 oranındadır. %50 doluluk oranındaki numunelerin çekme gerilmeleri açık sistemde 22,37 N/mm², kapalı sistemde 22,96 N/mm²'dir. Uzama miktarı açık sistemde %1,47, kapalı sistemde %1,57 oranındadır. Çekme testi sonuçlarına göre Power ABS plastik malzemesinin açık sistemden kapalı sisteme geçişte çekme gerilmelerinde ve uzama miktarlarında artış gözlenmiştir. Ayrıca doluluk oranı arttıkça çekme gerilmesi ve uzama miktarında artış gözlenmiştir. Power ABS malzemesi endüstriyel bir plastiktir. ABS malzemesinin özelliklerinin geliştirilmesi ile elde edilmiştir. Molekül yapısı hakkında bilgiye ulaşılmamıştır. Power ABS'i 3d yazıcıda tecrübe etmiş ve esnekliğinin ABS' göre daha fazla olduğu görülmüştür.

Çalışmanın devamında elde edilen sonuçların belirsizlik analizi Türk Akreditasyon kurumunun 09.07.2015 tarihinde yayınladığı belirsizlik ilkelerine göre %99 güven aralığında (k=3) uzama miktarı üzerinden yapılmıştır.

Aşağıdaki işlemler her bir numunenin uzama değeri için ayrı ayrı hesaplanıp daha sonra grupların genel belirsizliği hesaplanmıştır. Çizelge 13 'te bu belirsizlik değerleri yüzde olarak verilmiştir. Belirsizlik analizi için kullanılan denklemler aşağıda yer almaktadır.

$$S = \frac{L_s - L_o}{L_o \times 100} \quad (1)$$

$$W_s = \left[\left(\frac{dS}{dL_o} \times W_o \right)^2 + \left(\frac{dS}{dL_s} \times W_1 \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

$$\frac{W_s}{S} = \frac{\left[\left(\frac{L_s}{L_o^2 \times 100} \times W_o \right)^2 + \left(\frac{1}{L_o \times 100} \times W_1 \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}}{\frac{L_s - L_o}{L_o \times 100}} \quad (3)$$

S: Numune Uzama mik.

L_s= Test Sonrası Numune Uzunluğu

L_o: Numune Gerçek Uzunluk

W_o, W₁: Bağımsız Değişken Hata Oranı

W_s: Belirsizlik

Türk Akreditasyon kurumu 09.07.2015 tarihinde yayınladığı belirsizlik ilkelerine göre %99 güven aralığında PLA polimerinden %10-30-50 doluluk oranında açık sistemde yazdırılan numuneler için belirsizlik oranı %3,92'dir; kapalı sistemde yazdırılan numuneler için belirsizlik oranı %1,22'dir. ABS polimerinde %10-30-50 doluluk oranında açık sistemde yazdırılan numuneler için belirsizlik oranı %0,58'dir; kapalı sistemde yazdırılan numuneler için belirsizlik oranı %0,75'tir. Power ABS polimerinde %10-30-50 doluluk oranında açık sistemde yazdırılan numuneler için belirsizlik oranı %0,76'dır; kapalı sistemde yazdırılan numuneler için belirsizlik oranı %1,37'dir. Numunelerin bireysel ve grup belirsizlik oranları çizelge 13'te gösterilmektedir.

Çizelge 13. TURKAK %99 Güven Aralığında Numunelerin Uzama Miktarındaki Belirsizlik Oranları (Uncertainty Ratios İn Extension Of Spicemens İn TURKAK 99% Confidence Interval)

		PLA		ABS		POWER ABS	
		AÇIK S.	KAPALI S.	AÇIK S.	KAPALI S.	AÇIK S.	KAPALI S.
%UZAMADAKİ BİREYSEL BELİRSİZLİK	10%	%0,003	%0,002	%0,001	%0,0015	%0,0012	%0,0019
	30%	%0,002	%0,0007	%0,001	%0,0014	%0,0022	%0,0034
	50%	%0,012	%0,003	%0,0009	%0,0013	%0,0002	%0,0022
TURKAK %99 İÇİN GRUP BELİRSİZLİĞİ		%3,92	%1,22	%0,58	%0,75	%0,76	%1,37

4. SONUÇ(CONCLUSION)

Bu çalışmada 3 boyutlu yazıcılarda doluluk oranlarının mekanik özelliklere etkisi, yazıcı sisteminin açık ve kapalı olma durumlarında elde edilen numunelere çekme deneyi ve sertlik ölçümü yapılarak incelenmiştir. Kapalı sistemde yazılan numunelerin açık sistemde yazılan numunelere nazaran sertlik değerinin daha düşük olduğu, çekme dirençlerinin ve % uzamalarının daha yüksek olduğu görülmüştür. Farklı doluluk oranlarında elde edilen verilerde doluluk oranının arttıkça sertlik değerinin arttığı gözlenmiştir. Açık ve kapalı sistemde, 3 farklı doluluk oranında üretilen numunelerin çekme gerilmesinde ortalama %6 artış olduğu görülmüştür.

Farklı doluluk oranlarında açık ve kapalı sistemde yazdırılan numuneler genel olarak değerlendirildiğinde en yüksek çekme gerilmesi ve en düşük sertlik değerleri PLA malzemede elde edilirken, en düşük çekme gerilmesi ile en yüksek sertlik ve en yüksek yüzde uzama değeri Power ABS malzemede elde edilmiştir.

Çalışma kapsamında kullanılan malzemeler ile 3B yazıcı tarafından yazdırılan ABS, PLA, Power ABS malzemelerinin gerilme dirençleri ile bu malzemelerin katalog verilerindeki gerilme dirençleri arasında fark vardır. Bunun sebebi yazdırılan numunelerin farklı doluluk oranlarına (%10, %30, %50) sahip olması ve iç yapısının boşluklu olmasıdır. Bunun yanısıra katalogdaki veriler enjeksiyon kalıplama ile üretilen %100 dolu olan bir yapıya sahiptirler. Bu sebepten dolayı elde edilen test sonuçlarının katalog değerlerinden düşük olması beklenen bir sonuçtur.

Belirsizlik analizi doğrultusunda Yapılan çalışmada elde edilen verilerin %99 güven aralığında olduğu belirlenmiş ve test sonuçlarının doğru olduğu sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] K. Delikanlı, M. M. Sofu ve U. Bekci, "Üretim Sektöründe Hızlı Direkt İmalat Sistemlerinin Yeri Ve Önemi", *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 4: 33-39, (2005).
- [2] M. w. Burghilde, Toutaoui ve W. G. Hans, "Rapid prototyping technology-new potentials for off shore and abyssal engeneering", *The Thirteenth International Offshore and Polar Engineering Conference*, Hawaii, (2003).
- [3] P. Dudek, "FDM 3D Printing Technology in Manufacturing Composite Elements," *Archives of Metallurgy and Materials*, 4: 1415-1418, (2013).
- [4] H. Baş ve F. Yapıcı, "Ergonomik Tasarım ve Üretimde Hızlı Prototipleme teknolojisi", *Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, no. 21.Ulusal Ergonomi Dergisi Özel Sayısı, 199-204, (2015).
- [5] A. Çelebi, S. Demirdal ve M. Akbulut, "3 Boyutlu Yazıcı İle Üretilen Polylaktikasit (PLA) Numunelerde Doluluk Oranlarının Mekanik Özelliklere Etkisi", *2. 3b Baskı Teknolojileri Uluslararası Sempozyumu*, İstanbul, (2017).
- [6] E. Çantlı, M. Aydın, F. Yıldırım , M. Günay ve B. Kaya, "Investigation of the FDM process performance at different printing parameters", *2. 3B Baskı Teknolojileri Uluslar arası Sempozyumu*, İstanbul, (2017).
- [7] M. A. Özdemir, H. Evlen ve A. Çalışkan , "Doluluk oranının PLA ve PET Malzemelerin Mekanik Özellikleri ,üzerine Etkisi", *3b Baskı Teknolojileri Uluslararası Sempozyumu*, İstanbul, (2016).
- [8] D. Çelik , " Üç Boyutlu Yazıcı Tasarımı, Prototipi Ve Tersine Mühendislik Uygulamaları", *Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2015).
- [9] F. Çavdar , H. Filiz ve C. Doğan , "Bir Hızlı Prototipleme MakiNesi Tasarımı", *Timak-Tasarım İmalat Analiz Kongresi*, Balıkesir, (2006).
- [10] B. N. Tuner, R. Strong ve S. A. Gold , "A review of melt extrusion additive manufacturing processes: I. process design and modeling", *Rapid Prototyping Journal*, 3: 192-204, (2014).
- [11] <https://plastics.ulprospector.com/generics/1/c/t/acrylonitrile-butadiene-styrene-abs-properties-processing>.
- [12] <https://plastics.ulprospector.com/generics/34/c/t/polylactic-acid-pla-properties-processing>.
- [13] <http://www.sigma3dprinter.com/ar-ge.html?productid=62>.

- [14] S. Akkurt, "Abs Plastiklerinin Çekme Kopma Mukavemeti Üzerine Tavlama Sıcaklığının Etkisi", *Erciyes Üniversitesi Bilim Dergisi*, 3: 516-525, (1987).
- [15] <http://www.biyoplastik.net/2014/01/polilaktik-asit-pla-islenirken-dikkat.html>
- [16] O. Ekşi, *Plastik Esaslı Malzemelerin Isıl Şekil Verme Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi*, Edirne: Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2007).
- [17] <http://teknikbil.blogspot.com.tr/2013/11/akrilonitril-butadien-stiren-abs.html>.
- [18] C. Can, *Plastik Enjeksiyon Kalıplamada Termoplastik Malzemelerin Modelleme Ve Analizleri*, **Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, (2008).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>

Vidalı transfer sistemlerine sahip kartezyen tipi 3B yazıcılarda gıda malzemeleri yazdırma parametrelerinin incelenmesi

Analysing of food printing parameters of cartesian type 3D printers with screw transfer system

Yazar(lar) (Author(s)): Gülce KAYA¹, Kerim ÇETİNKAYA²

ORCID¹: 0000-0001-6483-2920

ORCID²: 0000-0001-9537-1821

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Kaya G. ve Çetinkaya M., “Vidalı transfer sistemlerine sahip kartezyen tipi 3B yazıcılarda gıda malzemeleri yazdırma parametrelerinin incelenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 21(3): 663-667, (2018).

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

DOI: 10.2339/politeknik.389605

Vidalı Transfer Sistemlerine Sahip Kartezyen Tipi 3B Yazıcılarda Gıda Malzemeleri Yazdırma Parametrelerinin İncelenmesi

Araştırma Makalesi / Research Article

Gülce KAYA*, Kerim ÇETİNKAYA

¹Teknoloji Fakültesi, Endüstriyel Tasarım Müh. Bölümü, Karabük Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 02.10.2016 ; Kabul/Accepted : 26.08.2017)

ÖZ

Bu çalışmada vidalı basınçlı transfer sistemine sahip çift nozullu kartezyen tipi üç boyutlu gıda yazıcısı tasarımı ve prototipi yapılmıştır. Çift nozullu ekstrüder sisteminde hazne olarak şırınga kullanılmış, malzeme iletimi için motorun dişli çark sistemini tahrik ederek şırınga pistonunu itmesini sağlayan özel bir ekstrüder tasarımı ve prototipi yapılmıştır. Üç boyutlu yazıcı boyutları X eksenini için 500mm, Y eksenini için 430mm, Z eksenini için 450mm' dir. Baskı boyutları X eksenini için 200mm, Y eksenini için 200mm, Z eksenini için 100mm' dir. Kontrol kartı olarak Arduino kullanılmıştır. Çift nozullu ekstrüder sistemi için yazılımda gerekli değişiklikler ve 3B yazıcı için gerekli kalibrasyon değişiklikleri yapılmıştır. Yapılan çalışmada genel amaç; yerli ve yabancı literatürde henüz çok fazla çalışılmamış olan 3B Gıda yazıcı sektörüne, bu çalışmayı kazandırmak ve kullanıma sokmaktır. Çift ekstrüderli bu sistem ile, iki farklı malzemeyle gıda üretimi yapılabilecek, çikolata, pasta süsleme malzemeleri, kurabiye hamurları, meyve aromalı jel malzemeler ve fütüristik gıdalar denenebilecektir.

Anahtar Kelimeler: 3B Gıda yazıcısı, çift ekstrüder.

Analysing of Food Printing Parameters of Cartesian Type 3D Printers With Screw Transfer System

ABSTRACT

In this study, a design and prototype of a two-nozzle Cartesian type three-dimensional food printer with screwed pressure transfer system was made. In the double nozzle extruder system, a syringe was used as a syringe and a special extruder design and prototype was made to drive the gear wheel system of the motor for material conveyance and to push the piston of the syringe. The dimensions of the three-dimensional printer are 500mm for X-axis, 430mm for Y-axis and 450mm for Z-axis. The print dimensions are 200mm for X axis, 200mm for Y axis and 100mm for Z axis. Arduino was used as a control card. For double nozzle extruder system, necessary changes in software and necessary calibration changes for 3D printer were made. The general aim in this study is; the 3D food printer sector, which has not been studied so much in domestic and foreign literature, is to gain and utilize this work. With this system with double extruder, food can be produced with two different materials, chocolate, cake decorating materials, cookie doughs, fruit flavored gel materials and futuristic foods.

Keywords: Solar air collector, conical spring, fuzzy logic, modeling, outlet temperature, thermal efficiency

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Üç boyutlu yazıcıların gıda sektöründe kullanımı günümüzde her geçen gün daha çok yaygınlaşmaktadır. Geleneksel üretimler ile tüketicilere sunulan şekerlemeden makarna üretimine kadar geniş alanlarda bu sistemlerin kullanılması çalışmaları yaygınlaşmakta ve gün geçtikçe başarılı sonuçlar vermektedir. Müşteri talebine özel olarak tasarlanmış yiyecekler, kişiye özel beslenme içeriklerinin oluşma zorunlulukları, yeme güçlüğü çeken ve özel öğütme ihtiyacı bulunan hastalar için günümüzde artan bir pazar ihtiyacı oluşmaktadır. Bu gerekliliklerin dışında karmaşık geometriye sahip 3B gıda yapılarının üretilmesinde de büyük bir potansiyele sahip bir teknolojidir. Gıda sektöründe üç boyutlu yazıcı teknolojilerinin kullanımı üretim ve verimlilik açısından yenilikler sunmaktadır. Üretim

verimliliğini artırırken, kişiye özel tasarlanmış gıda ürünleri için üretim maliyetini düşürmektedir. İsteğe göre tasarlanabilen farklı geometrilerdeki özellikle çikolata, hamur, pizza, makarna, kurabiye, şekerleme ve daha birçok gıdanın üretiminde ve pasta süsleme, ya da dolgu amaçlı olarak kullanılabilir [1].

3B gıda yazıcılarıyla gıda ürünlerini kişiselleştirme, bireysel diyetlere uyarlanmış gıda malzemeleri üretebilme, yemek hazırlamada kolaylıklar, kullanıcıların kendi yiyeceklerini tasarlamaları, yeni gıda dokuları, daha uzun raf ömrü ve Dünya'nın en uzak köşelerine bile örneğin uzaya gıdaların kolayca ulaştırılabilmelerinin sağlanması gibi avantajlar oluşmaktadır [2].

Gıda Katmanlı Üretim terimi, eklemeli imalat işleminin gıda üretimine çevirisi olan yeni bir gıda üretim sürecini tanımlamak için kullanılmakta olup gıda katmanlı üretim, yeni yiyecek formları oluşturmak ve katı ve jöle içerebilir gıdalar içinde özelleştirilmiş dokuları, renkleri ve

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

lezzetleri yeni yollarla oluşturma potansiyeline sahiptir. Bir 3B gıda yazıcısı, ağırlıklı olarak viskoz malzemelerden (örneğin peynir, hamur, çikolata, jöle) veya toz haline getirilmiş maddelerden (örneğin şeker) elde edilen yenilebilir malzemeleri kullanarak parçaların yapımını sağlayan özel bir katkı maddesi imalatı sistemidir. Gıda uygulamaları için FDM (ergiyik biriktirme yöntemi), SLA (steriolithography), ve PolyJet gibi çeşitli standart eklemeli imalat teknolojileri kullanılmaktadır [3].

Çalışma kapsamında vidalı basınçlı transfer sistemine sahip çift nozullu kartezyen tipi üç boyutlu gıda yazıcısı tasarlanmış ve prototip imalatı yapılmış ve iki ayrı malzeme ile 3B gıda baskı uygulama ve testleri gerçekleştirilmiştir.

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

Bu çalışmada kartezyen tipi üç boyutlu gıda yazıcısı prototip imalatı yapılmıştır ve vidalı basınçlı ekstrüder sistemi tasarlanıp üretilmiştir. Sistemin teknik özellikleri Çizelge 1’de ve 3B gıda yazıcısı Şekil 2’de gösterilmektedir.

Piyasada var olan Sigma3D firmasının 3B Yazıcı mekanik aksamı uygun görülmüş ve mekanik tasarımından yararlanılmıştır. Mekanik parçalar Sigma3D firmasından temin edilmiş ve gıda malzemesine uygun olabilmesi için

Vidalı basınçlı çift nozullu ekstrüder sistem montajı yapıldıktan sonra 3B yazıcının genel görünüşü Şekil 4’te gösterildiği gibidir.



Şekil 4. 3B Gıda Yazıcısı (3D Food printer)

3. EKSTRÜDER TASARIMI VE PROTOTİPİ (EXTRUDER DESIGN and PROTOTYPE)

Günümüzde, 3 boyutlu gıda yazıcılarında kullanılan ekstrüzyon sistemleri vidalı ve basınçlı sistemlerdir. Bu sistemlerde silindir pistonuna hareketi sağlamak için adım motor veya kompresör kullanılmaktadır. Adım motorlu sistemlerde piston hareketi için vidalı mil kullanılmaktadır. Milin dönüş hareketinin, piston kolunun doğrusal hareketine dönüşmesiyle malzemenin katmanlı yazdırılması sağlanmaktadır. Şekil 3.1’de 3B yiyecek yazıcılarında kullanılan basınçlı ve vidalı sistemler verilmiştir [4-7].

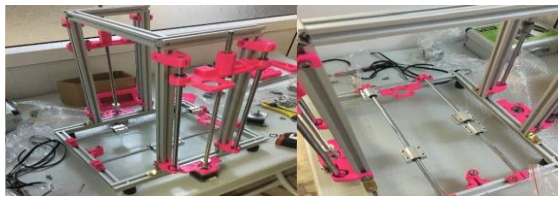
Çizelge 1. 3B Gıda yazıcısı teknik özellikleri (Technical specifications of 3D Food printer)

Sistem Ölçüleri	500x430x450mm
Baskı Alanı	200x200x100mm
Baskı Ucu Çapı	2.2mm
Diğer Özellikler	Çift Şırngalı vidalı sistem, ısıtıcı tabla, rijit yapı
Maliyet	2500TL

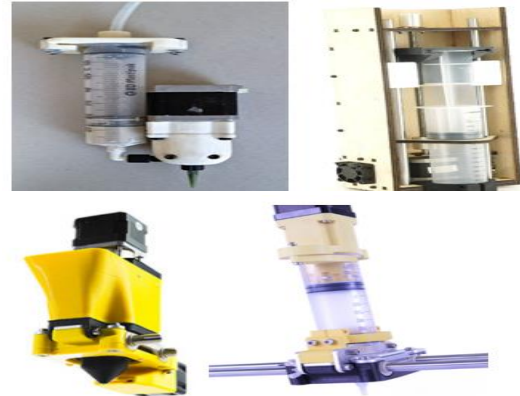
var olan mekanik sisteme uygun ekstrüder tasarımı yapılmıştır. Ek olarak sistem boyutları büyütülmüş, yeni ısıtıcı tabla sistemi geliştirilmiş ve yazılım yeni sisteme uygun hale getirilmiştir. Sistem yapımı sırayla Şekil 2 ve 3’te gösterilen aşamalarla gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2. 3B Gıda Yazıcısı Yapım Aşamaları (3D Food printer construction stages)

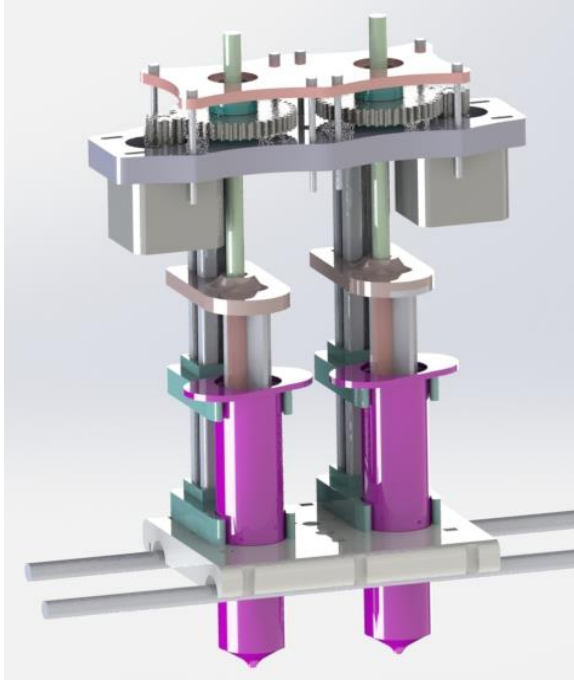


Şekil 3. 3B Gıda Yazıcısı Yapım Aşamaları (3D Food printer construction stages)

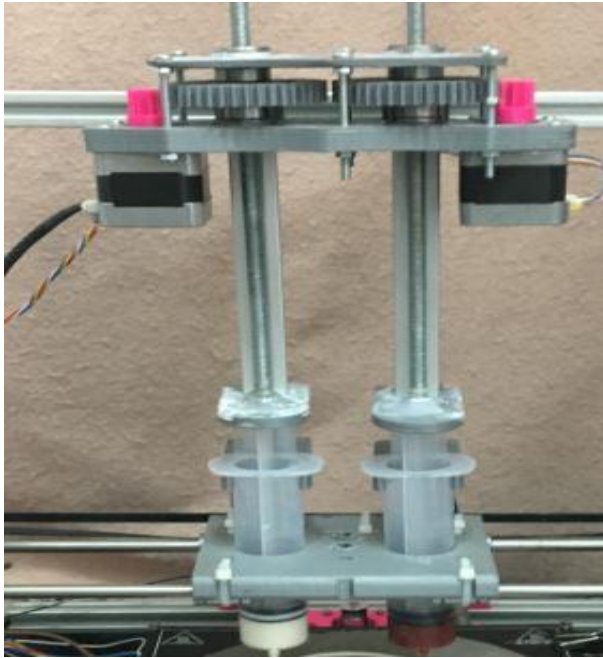


Şekil 5. Literatürdeki 3B gıda yazıcısı ekstrüzyon sistemleri. a) Kompresörlü sistem [4], b) Vidalı sistem [5], c) Helikonik milli sistem [6], d) Basınçlı sistem [7] (3D Food Printer systems in the literature a) Compressed System [4], b) Screwed system [5], c) Helical system [6], d) Pressured system [7]

Bu çalışmada, vidalı basınçlı transfer sistemine sahip çift nozullu ekstrüder tasarlanmış ve prototipi gerçekleştirilmiştir. Hazne olarak 60ml şırınga kullanılmış ve malzeme iletimi için motorun dişli çark sistemini tahrik ederek şırınga pistonunu itmesini sağlayan özel bir ekstrüder tasarımı ve prototipi yapılmıştır. Ekstrüder tasarımı Solidworks programı kullanılarak yapılmıştır. Şekil 6 a ve b' de ekstrüder tasarımı ve prototipi gösterilmektedir.



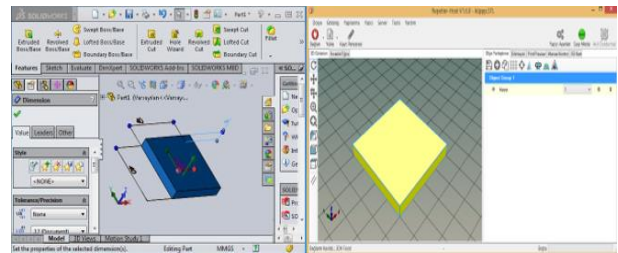
Şekil 6. a) Extruder system design



Şekil 6. b) Extruder system prototype

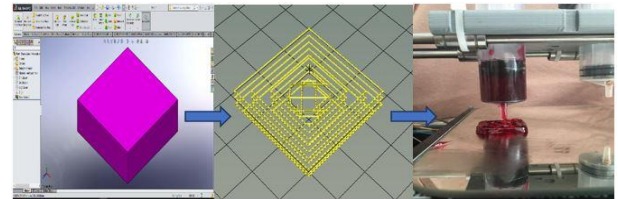
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR (EXPERIMENTAL STUDIES)

Vidalı transfer sistemine sahip çift ekstrüderli sistem ile alınmış baskı örneklerinin tasarımları Solidworks programında oluşturulmuştur. STL formatında tasarım aşamasından sonra kaydedilip Repetier Host programında dilimleme işlemi yapılmıştır. Dilimleme işlemi sonrasında oluşturulan G-Code dosyaları, SD kart ile yazıcıya gönderilmiştir Çift nozullu ekstrüzyon sisteminde nozul çapı 2.2 mm olduğu için Repetier Host program ayarlarında katman kalınlığı 2.2 mm verilmiş ve baskı alınmıştır. Çift nozulla baskı alabilmek için iki nozul için de ayrı ayrı parçalar tasarlanmış ve Repetier Host programına atılmıştır (Şekil 7).



Şekil 7. CAD modelinin oluşturulması ve Repetier host programına atılması (Creation a CAD model and send to Repetier Host)

Vidalı basınçlı çift ekstrüder ile farklı doluluk oranlarıyla gıda malzemeleri denenmiş ve numuneler arasında birtakım karşılaştırmalar yapılmıştır. Hazır olarak alınan çikolata, jöle, hamur ve krem peynir malzemeleriyle baskısı alınan numuneler 30 x 30 x 9 mm boyutlarında ve %10, %30, %50 doluluk oranlarıyla Repetier Host programında dilimlenmiştir. Her doluluk oranı için 3 adet numune basılmış ve verilen diğer değerler için ortalamaları alınmıştır. Çikolata, jöle, peynir ve hamur malzemeleri kullanılarak oluşturulan numuneler arasındaki yayılma oranları gözlemlenmiş ve ölçülmüştür. Hamur ile alınan numunelerde yayılma oranları dışında pişme çekilmesi testleri yapılmıştır. Numunelerin model halindeyken olan ölçüleri, baskı sonrası ölçüleri ve pişirildikten sonraki ölçüleri hesaplanmış ve buna göre malzemeye göre verilmesi gereken tolerans miktarları belirlenmiştir. Şekil 8'de modellenen numunenin model, dilimleme ve baskı işlemleri gösterilmektedir.



Şekil 8. Jöle ile 30 x 30 x 9 mm ölçülerinde numune baskısı (Print sample at 30 x 30 x 9 mm with jelly)

Hazır jöle ile 30 x 30 x 9 mm ölçülerinde, farklı doluluk oranlarında 9 adet baskı alınmıştır. Çizelge 2’ de hazır jöle ile 3 ayrı doluluk oranı için ayrı ayrı 3 ayrı numune üzerinden gerçekleştirilen baskı testleri gösterilmektedir. Şekil 9’ da modellenen numunenin model, dilimleme ve baskı işlemleri gösterilmektedir. Krem peynir malzemesi ile 30 x 30 x 9 mm ölçülerinde, farklı doluluk oranlarında 9 adet baskı alınmıştır.

Çizelge 2. Jöle ile baskı testi (Printing test with jelly)

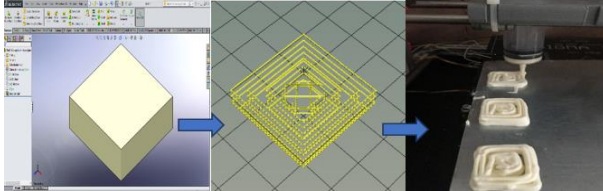
Doluluk Oranı	Boyutlar	Baskı Sonrası Boyutlar (mm)			Toleranslar (%)		
		X	Y	Z	X	Y	Z
%10	30x30x9mm	33.3	33.2	8.6	-0.11	-0.7	+0.05
%30		34.5	34.6	8.83	-0.15	-0.15	+0.02
%50		35.4	37.2	9.2	-0.18	-0.24	-0.02

Çizelge 3. Peynir ile baskı testi (Printing test with cream cheese)

Doluluk Oranı	Boyutlar	Baskı Sonrası Boyutlar (mm)			Toleranslar (%)		
		X	Y	Z	X	Y	Z
%10	30x30x9mm	33.3	33.2	8.6	-0.11	-0.7	+0.05
%30		34.5	34.6	8.83	-0.15	-0.15	+0.02
%50		35.4	37.2	9.2	-0.18	-0.24	-0.02

Çizelge 4. Çikolata ile baskı testi (Printing test with chocolate)

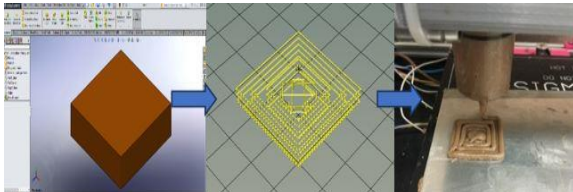
Doluluk Oranı	Boyutlar	Baskı Sonrası Boyutlar (mm)			Toleranslar (%)		
		X	Y	Z	X	Y	Z
%10	30x30x9mm	33.3	33.2	8.6	-0.11	-0.7	+0.05
%30		34.5	34.6	8.83	-0.15	-0.15	+0.02
%50		35.4	37.2	9.2	-0.18	-0.24	-0.02



Şekil 9. Peynir ile 30 x 30 x 9 mm ölçülerinde numune baskısı (Print sample at 30 x 30 x 9 mm with cream cheese)

Çizelge 3’ te peynir ile 3 farklı doluluk oranı için 3 ayrı numune üzerinden gerçekleştirilen baskı testleri gösterilmektedir.

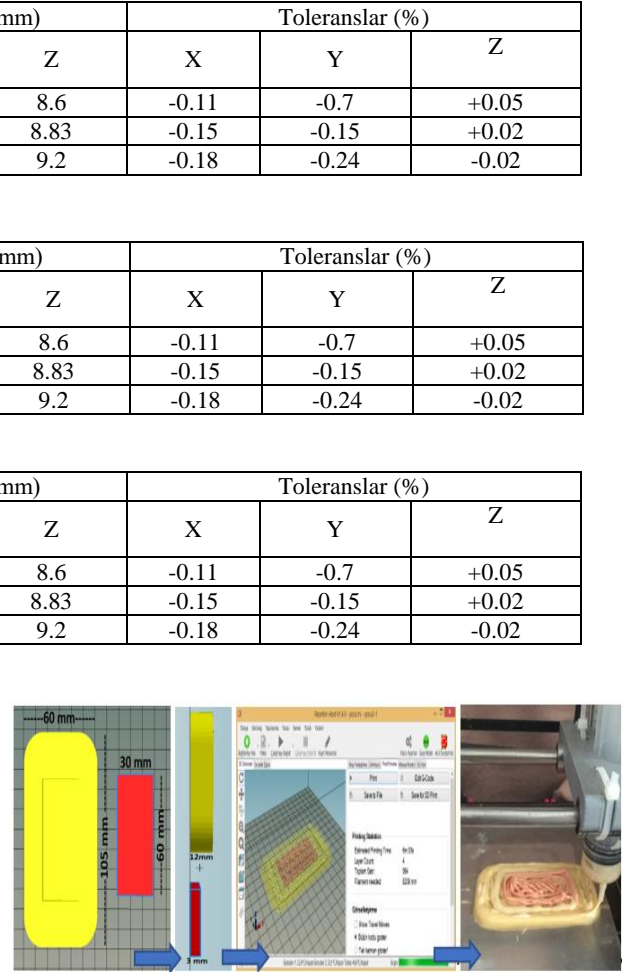
Şekil 10’ da modellenen numunenin model, dilimleme ve baskı işlemleri gösterilmektedir. Çikolata malzemesi ile 30 x 30 x 9 mm ölçülerinde, farklı doluluk oranlarında 9 adet baskı alınmıştır.



Şekil 10. Çikolata ile 30 x 30 x 9 mm ölçülerinde numune baskısı (Print sample at 30 x 30 x 9 mm with chocolate)

Çizelge 4’te çikolata ile 3 farklı doluluk oranı için 3 ayrı numune üzerinden gerçekleştirilen baskı testleri gösterilmektedir.

Şekil 11’ de modellenen numunenin modeli, dilimleme ve baskı işlemleri gösterilmektedir. Modelleme aşamasında, krep hamuru ile basılacak parça ayrı, domates salçası ve krem peynir ile hazırlanan sos için ayrı olarak iki adet parça modellenmiştir, Repetier Host programına STL olarak atılmıştır ve baskı alınmıştır.



Şekil 11. Krep hamuru ve sos ile numune baskısı (Print sample with crepe dough and souce)

Numune baskı sırasında ısıtıcı tabla ile yayılmasının önlenmesi için 75C’de ısıtılmış ve daha sonra pişmesi için tabla sıcaklığı 130C’ye çıkarılmıştır. Şekil 12’de baskı aşaması ve pişirildikten sonraki hali gösterilmektedir.



Şekil 12. Krep hamuru ve sos baskısı ve pişirilmesi (Printing and baking a sample with crepe dough and souce)

Çizelge 5. Numune Baskı Testleri (Printing tests of samples)

Parçalar	Boyutlar (mm)			Baskı sonrası boyutlar (mm)			Pişme sonrası boyutlar (mm)			Pişme çekilme oranları (%)		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
Krep Hamuru Parçası	105	60	12	107	62	5	104.7	60.2	3.5	+0.01	+0.01	+0.3
Sos Parçası	60	30	3	62	33	3	61	31	2	+0.01	+0.01	-0.01

Çizelge 5' te model ölçüleri, baskı sonrası ölçüler ve pişirildikten sonraki ölçüler verilmiştir ve pişme çekilme oranı hesaplanmıştır.

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışma FDM yöntemiyle çalışan, vidalı transfer sistemine sahip çift nozullu kartezyen tipi üç boyutlu gıda yazıcısı tasarımı ve prototipini kapsamaktadır. Üç boyutlu yazıcı boyutları X eksen için 500mm, Y eksen için 430mm, Z eksen için 450mm' dir. Baskı boyutları X eksen için 200mm, Y eksen için 200mm, Z eksen için 100mm' dir. 3B yazıcı gövdesi sigma profillerle üretilmiştir.

Elektronik kontrol ünitesinde dağıtıcı kart olarak Arduino kullanılmıştır. Tek ekstrüderli sistem için 3B yazıcıda 5 adet, çift ekstrüderli vidalı sistemler için 6 adet Nema17 step motor kullanılmıştır.

Arayüz programı olarak Cura ve Repetier Host programları kullanılmış olup, dilimleme işlemleri için de Cura ve Slicer programları kullanılmıştır.

Çalışmada malzeme iletimini sağlamak amacıyla 3 adet ekstrüder tasarımı ve prototipi de yapılmıştır. Tek nozullu ekstrüder sisteminin Power ABS malzeme kullanılarak hazne tasarlanıp prototipi üretilmiş ve malzeme iletimi helezonik plastik mille yapılmıştır. Çift nozullu ekstrüder sisteminin birincisinde PLA malzeme kullanılarak hazne tasarlanıp prototipi üretilmiş ve malzeme iletimi paslanmaz çelik helezonik mil ile yapılmıştır. Çift nozullu ekstrüder sisteminin ikincisinde hazne olarak şırınga kullanılmıştır, malzeme iletimi için motorun dişli çark sistemini tahrik ederek şırınga pistonunu itmesini sağlayan özel bir ekstrüder tasarımı ve prototipi yapılmıştır.

Çift nozullu basınçlı vidalı ekstrüder sisteminde farklı gıda malzemeleri denenmiş ve malzemelerin baskı sırasında yayılma oranları hesaplanmıştır. Çikolata, krem peynir ve jöle malzemeliyle 30 x 30 x 9 mm ölçülerinde, 3 farklı doluluk oranıyla numuneler alınmıştır. %10 %30 ve %50 doluluk oranlarındaki numuneler için doluluk oranı arttıkça yayılma oranlarının da arttığı gözlenmiştir ve bu sonuçlara göre modelleme esnasında istenilen ölçüleri elde etmek için toleranslar verilmesi gerektiği hesaplamalarla açıklanmıştır [8].

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Lipton, J. I., Cutler, M., Nigl, F., Cohen, D. and Lipson, H. "Additive manufacturing for the food industry", *Trends in Food Science & Technology*, 43(1): 114-123 (2015).
- [2] Kouzani, A. Z., Adams, S., Whyte, D. J., Oliver, R., Hemsley, B., Palmer, S., & Balandin, S., "3D Printing of Food for People with Swallowing Difficulties", *KnE Engineering*, 2(2): 23-29, (2017).
- [3] Antle, K., Leen, R., & Russo, A. 3D Food Printing in Museum Makerspaces: Creative Reinterpretation of Heritage, *KnE Engineering*, 2(2), 1-7, (2017).
- [4] www.thingiverse.com/thing28018 "Claystruder", (2017).
- [5] www.primrbot.com/shop/paste-extruder-beta/ "Paste Extruder", (2017).
- [6] www.store.zmorph3d.com/produkt/thick-paste-extruder/ "Thick Paste Extruder", (2017).
- [7] İnternet: Zmorph, "Cake and Chocolate Extruder" <http://sandbox.zmorph3d.com/cake-and-chocolate-extruder/> (2017).
- [8] Kaya, G. ve Çetinkaya, K., "Vidali Basınçlı Transfer Sistemine Sahip Çift Nozullu Kartezyen Tipi Üç Boyutlu Gıda Yazıcısı Tasarımı Ve Prototipi", *Yüksek Lisans Tezi*, (2017).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>

Konut türü betonarme binaların deprem risk değerlendirmesi

Earthquake risk evaluation of residential reinforced concrete buildings

Yazar(lar) (Author(s)): Yunus Emre TÜRKEL¹, Hamide TEKELİ²

ORCID¹: 0000-0002-1152-1464

ORCID²: 0000-0002-3515-6836

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Türkel Y.E. ve Tekeli H., “Konut türü betonarme binaların deprem risk değerlendirmesi”, *Politeknik Dergisi*, 21(3): 669-680, (2018).

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

DOI: 10.2339/politeknik.418848

Konut Türü Betonarme Binaların Deprem Risk Değerlendirmesi

Araştırma Makalesi / Research Article

Yunus Emre TÜRKEL¹, Hamide TEKELİ^{2*}

¹Fen Bilimleri Enstitüsü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye

²Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye

(Geliş/Received : 12.06.2017 ; Kabul/Accepted : 02.04.2018)

ÖZ

Bu çalışmada, 100 adet mevcut konut türü betonarme binanın Riskli Binaların Tespit Edilmesine İlişkin Esaslar Yönetmeliği (RBTEİE) hükümlerine göre risk değerlendirmeleri yapılmıştır. Her bir bina modeli için A, B, C, D ve E olmak üzere beş farklı malzeme sınıfı öngörülmüştür. Mevcut betonarme binaların RBTEİE'ye göre risk değerlendirmesinde malzeme özelliklerinin etkinliği belirlenmiştir. Bunun yanında yapısal modellemeye ve bilgisayar çözümlerine gerek kalmadan risk değerlendirmesinin yapılabilmesi için incelemeler yapılmıştır. Bu amaçla bina ağırlığının kolonların toplam kesme kuvveti kapasitesine oranı (RDP) bir parametre olarak seçilmiştir. Bu parametreye göre binaların risk değerlendirmesi yapılmış ve elde edilen sonuçlar RBTEİE'den elde edilen sonuçlarla kıyaslanmıştır. RDP ile elde edilen sonuçların RBTEİE'den elde edilen sonuçlarla %80 oranında uyumlu olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Malzeme sınıfı, risk değerlendirmesi, betonarme bina, hızlı değerlendirme.

Earthquake Risk Evaluation of Residential Reinforced Concrete Buildings

ABSTRACT

In this study; the risk evaluation of residential reinforced concrete buildings have been carried out according to the "Risk Evaluation Code of Buildings". For each building model, five different material classes have been selected as A, B, C, D and E. The effects of the material properties in the risk evaluation have been investigated according to the aforementioned code. Besides, the obtained results have been evaluated in order to perform the risk evaluation without any necessity of structural modeling and computer analyses. For this reason, the ratio of building weight to total shear capacities of the columns have been selected as a structural parameter (RDP) in the risk evaluations of buildings. The risk assessments of buildings have been determined according to the parameter. The obtained results are compared with the code results. It is seen that the results of RDP are compatible 80% with results of the code.

Keywords: Material classes, risk assessment, residential reinforced concrete buildings, rapid evaluation.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Ülkemiz önemli bir deprem kuşağında olduğundan her an deprem tehlikesi ile karşı karşıyadır. Yaşanan depremlerden sonra mevcut deprem yönetmeliği 2007 yılında düzenlenerek "Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik" (DBYBHY) [1] ismi ile yürürlüğe girmiştir. Yeni yönetmelikteki en önemli farklılık mevcut binaların deprem güvenliği ile ilgili yeni bir bölümün yönetmeliğe ilave edilmesidir. Van depreminde 644 kişi yaşamını yitirmiş ve 17005 adet bina zarar görmüştür [2]. Bu durum, depremlerde yaşanan can kayıplarının önlenmesi için mevcut binaların daha hızlı bir şekilde değerlendirilmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bu nedenle daha hızlı veri ve analiz yöntemi içeren 6306 sayılı Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkında Kanun 31.05.2012 tarihinde yürürlüğe girmiştir. Kanunda bina risk tespitinin Bakanlıkça hazırlanan yönetmelik usul ve esasları çerçevesinde belirlenmesi öngörülmektedir.

Bakanlık tarafından hazırlanan "Riskli Binaların Tespit Edilmesine İlişkin Esaslar Yönetmeliği" (RBTEİE) [3], 2013 yılında yürürlüğe girmiştir. RBTEİE'de önerilen yöntemler yardımı ile risk önceliği olan binalar tespit edilebilmektedir. Bu yöntemlerle bina içine girmeden veya kısmen bina içine girerek değerlendirme yapılabilmektedir.

RBTEİE'deki incelemeler için, iki farklı aşamada değerlendirme yöntemi önerilmiştir. Birinci aşama değerlendirme; binanın dışarıdan ve kısmen içeriden belirlenen ve deprem davranışını etkileyen parametreler kullanılarak yapılır. İncelenen parametreler; taşıyıcı sistemin türü, kat adedi, mevcut durum ve görünen kalite (iyi, orta, kötü), yumuşak/zayıf kat, ağır çıkma, yatayda ve düşeyde düzensizlik gibi yapısal olumsuzlukların gözlemsel olarak tespit edilmesini içerir. Değerlendirmeler puanlandırma esasına dayanır. Bu değerlendirmeye, Ünal ve Yurtcu [4] tarafından, Afyonkarahisar şehir merkezindeki binaların deprem risk durumunun belirlenmesi için yapılan anket çalışması örnek olarak verilebilir. Araştırmada İstanbul Teknik

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

Üniversitesi Mezunları Derneği Bursa Şubesi tarafından, mimar, inşaat, jeoloji, jeofizik ve harita mühendislerinden oluşan 8 uzman tarafından hazırlanan 12 soruluk grup anketinden yararlanılmıştır.

Tokgöz ve Bayraktar [5] tarafından yapılan çalışmada Düzce iline bağlı Kaynaşlı ilçe merkezinde bulunan binaların deprem tehlikesine karşı risk durumları hızlı tarama yöntemlerinden sokak taraması yöntemi ile belirlenmiştir. Sokak taraması yöntemi ile bilgileri alınan binaların risk skorları hesaplanarak risk açısından sınır değer belirlenmiştir. Çalışmada yöntemin sahada uygulanma aşamaları ve hesap yöntemi açıklanmıştır.

RBTEİE’de [3] verilen ikinci aşama değerlendirmede ise, binanın dışarıdan yapılan gözlemlere ilave olarak, malzeme özellikleri, kesit boyutları gibi yapısal parametrelerinin belirlenmesi gerekir. Elde edilen verilerle yapısal hesaplamalar yapılarak binanın risk durumu değerlendirilmektedir.

Uğur vd. [6], 6306 sayılı Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkında Kanun ve uygulama yönetmeliğinin riskli yapıların belirlenmesi ile ilgili hükümlerinin uygulanması esnasında karşılaşılan problemleri incelemiştir. Çalışmada “Riskli Yapı Tespit Raporu” hazırlama süreci tarif edilerek, Tekirdağ ilinde uygulama süreçleri boyunca yaşanan sorunlar sunulmuştur. Sürece tesir eden olumsuzlukların çözümü için öneriler geliştirilmiştir.

Canbaz ve Şengel [7] tarafından yapılan çalışma, Eskişehir’de kentsel dönüşümü yapılan 112 betonarme binaya ait verilerin incelenmesi ile elde edilen istatistiksel analiz sonuçlarını içermektedir. Bu binalara ait beton dayanımı, yapım yılı, yaşı, kat adedi, karot numune sayısı, donatı tipi ve donatı korozyonunun varlığı çizilen grafikler ile değerlendirilmiştir.

Fahjan vd. [8] yaptıkları çalışmada, yer hareketi, yapı envanteri ve yöntem bileşenlerinde mevcut olan belirsizliklerin deprem risk değerlendirmesine etkisini araştırmıştır. Çalışmada, Gebze (Kocaeli) ilçesinin deprem senaryosuyla risk yapısı değerlendirilmiştir. Senaryo depremleri uygulanırken depremin kaynağı, depremin büyüklüğü ve zemin parametrelerinin riske etkisi incelenmiştir. Risk değerlendirmeleri sonuçlarına göre bina hasarı, can kaybı ve barınak ihtiyacı oranları hesaplanmıştır. Ayrıca mahalle bazında beklenen şiddet ve hasar seviyeleri, zemin etkisinin dikkate alındığı ve alınmadığı durumlar için harita üzerinde ayrı ayrı gösterilmiştir. Bu değerlendirmeler ülkemiz için hazırlanmış sismik tehlike bilgisi, yerel zemin bilgisi ve bina envanterindeki unsurları içeren veriler ile Coğrafi Bilgi Sistemi verilerini birleştirebilen ön hasar tespit yazılımı, AFAD-RED kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, deprem risk planlamasında yer hareketi tahmin belirsizliklerinin kayıp tahmini sonuçları üzerindeki önemi gösterilmiştir.

Duran vd. [9], RBTEİE’ de [3] verilen doğrusal elastik hesap yönteminde normal dayanımlı beton için tanımlanan elastisite modülünün düşük dayanımlı beton için de geçerli olup olmadığını araştırmıştır. Bu amaçla,

hazırlanan 36 adet düşük dayanımlı beton numunesinin elastisite modülünü belirlemek için aksel basınç testleri gerçekleştirilmiştir. Laboratuvarda yapılan testler sonucunda elde edilen elastisite modülü değerleri, ulusal ve uluslararası yönetmeliklerle kıyaslanarak yeni bir formül önerilmiştir. Ayrıca, RBTEİE [3] kapsamında ele alınan mevcut bir binanın çözümlenmesinde, farklı yönetmeliklerdeki elastisite modülü değerlerinin kullanılmasının yapılan risk değerlendirme sonuçları üzerindeki etkinliği araştırılmıştır.

Binaların RBTEİE’ye [3] göre ikinci aşama risk değerlendirmelerinin yapılabilmesi için bilgisayar modelleme ve çözümlenmelerine ihtiyaç duyulmaktadır. Uygulaması kolay olan yöntemlerin ortaya konulmasının çözümlenelerde ortaya çıkacak zaman kaybını önleyeceği ve ekonomi sağlayacağı açıktır. Literatürde, bu amaçla yapılmış çalışmalarda mevcuttur.

Gürbüz ve Tekin [10] tarafından yapılan çalışmanın amacı; olası bir depremde meydana gelecek hasar ve kayıp olasılıklarını tahmin etmeye yarayan bir hasar tahmin metodu geliştirmektir. Bu amaçla; 11 farklı tip betonarme yapı, doğrusal olmayan statik itme analizi ile çözümlenmiştir. Analizlerden elde edilen veriler kullanılarak her bina grubu için 4 farklı hasar olasılığını gösteren kırılma eğrileri çizilmiştir. Çalışmada, elde edilen eğriler kullanılarak benzer özelliklere sahip binalardaki hasarları tahmin etmenin mümkün olduğu vurgulanmıştır.

Solak ve Alaybeyoğlu [11] tarafından yapılan çalışmada, riskli alan belirleme işleminde kullanılmak üzere bir bulanık mantık modeli oluşturulmuştur. Bu modelde, yapı ortalama performans puanı, yerleşime uygunluk durumu ve nüfus yoğunluğu bilgileri sisteme girdi verileri olarak ele alınmıştır. Bu girdi verileri değer aralıklarına göre derecelendirilerek bulanık bir küme oluşturulmuş ve kural tabanlı çalıştırılarak risk önceliği çıktısı elde edilmiştir. C# programlama dili kullanılarak kullanıcının bulanık mantık tabanlı model tasarlamasında kolaylık sağlayacak bir arayüz geliştirilmiştir.

Işık ve Kutanis [12] çalışmalarında Bitlis ili, Merkez ilçesinde bulunan betonarme bina stoğunun değerlendirmesini P25 hızlı tarama yöntemi ile gerçekleştirmiştir. İncelenen binalar güvenli, güvensiz ve detaylı hesaplarla incelenmesi gereken binalar olarak üç grupta sınıflandırılmıştır. Benzer olarak, Işık vd. [13] tarafından Muş ilinde 200 adet betonarme binanın “Kanada sismik tarama yöntemi” kullanılarak risk değerlendirmesi yapılmıştır. Çalışmadan amaç yapısal deprem kayıplarının en aza indirgenmesi, mevcut yapı stoğu için bir veri tabanı oluşturulması ve hızlı değerlendirme sonuçları ile deprem geçirmiş yapıların gerçek davranışı arasındaki tutarlılığın ortaya konulmasıdır. İncelenen binaların %48’i orta öncelikli, %47’si yüksek öncelikli ve %5’i de çok tehlikeli bina olarak tespit edilmiştir.

Bu çalışmada arazi incelemeleri yapılmış 100 adet mevcut betonarme konut türü binanın RBTEİE’ye göre risk değerlendirmesi yapılmıştır. Binalar x ve y

doğrultularında piyasada kullanılan hazır paket programı Sta4-Cad v.13 ile çözümlenmiştir. Her bir mevcut bina için A, B, C, D ve E olmak üzere beş farklı malzeme sınıfı öngörülmüştür. Dolayısıyla toplamda 1000 adet bina çözümlenmesi yapılmıştır. Yapılan çalışmada betonarme binaların risk değerlendirmesinde malzeme özelliklerinin etkinliği belirlenmiştir. Bunun yanında yapısal modellere ve bilgisayar çözümlerine gerek kalmadan risk değerlendirmesinin yapılabilmesi için öneriler getirilmiştir. Bu amaçla bina ağırlığının kolonların toplam kesme kapasitesine oranı bir parametre olarak belirlenmiş ve bu parametre üzerinden risk değerlendirmesi yapılmıştır. Yönetmelik ile uyumlu sonuç verebilecek ve uygulaması kolay olan yöntemlerin ortaya konulmasının çözümlerinde meydana gelecek zaman kaybını önleyeceği ve ekonomi sağlayacağı açıktır. Elde edilen sonuçlar RBTEİE'den [3] elde edilen sonuçlarla kıyaslanmış ve geçerliliği incelenmiştir.

2. BETONARME BİNALARIN RİSK DEĞERLENDİRME ESASLARI (PRINCIPLES OF RISK EVALUATION IN REINFORCED CONCRETE BUILDINGS)

Riskli binaların tespiti “Riskli Binaların Tespit Edilmesine İlişkin Esaslar Yönetmeliği (RBTEİE)” [3] hükümlerine göre yapılmaktadır. Bunun için RBTEİE’de [3] öncelikle kritik kat belirlenerek bina taşıyıcı sistem özellikleri tespit edilmelidir. Kritik kat, betonarme çevre perdeleri bulunmayan veya yanal ötelenmesi zemin tarafından tutulmamış en alt kat olarak seçilir. Mevcut projenin olmaması veya projenin yerindeki imalatla uyumsuz olması durumunda asgari bilgi düzeyi, tam uyum söz konusu ise kapsamlı bilgi düzeyi seçilmelidir (Çizelge 1).

Çizelge 1. Binalar için bilgi düzeyi katsayıları (Information level coefficients for buildings)

Bilgi Düzeyi	Bilgi Düzeyi Katsayısı
Asgari	0.90
Kapsamlı	1.00

Çizelge 2. Kolon sınıflandırma tablosu (Column classification table)

V_e/V_r	Aralığı $s \leq 100$ mm olan, her iki ucunda 135° kancalı etriyesi bulunan ve toplam enine donatı alanı $A_{sh} \geq 0.06sb_k(f_{cm}/f_{yw})$ denklemini sağlayan kolonlar	Diğer durumlar
$V_e/V_r \leq 0.7$	A	B
$0.7 < V_e/V_r \leq 1.1$	B	B
$1.1 < V_e/V_r$	B	C

Belirlenen bilgi düzeylerine göre, taşıyıcı elemanların mevcut malzeme dayanımları, “Bilgi Düzeyi Katsayısı” ile çarpılarak kullanılmalıdır.

Deprem etkisinin tanımında, DBYBHY’de [1] verilen elastik (azaltılmamış) ivme spektrumu kullanılır ve Bina Önem Katsayısı (I) “1” (bir) olarak dikkate alınır. Taşıyıcı sistemin analizinde “Etkin Eğilme Rijitlikleri”

$(EI)_e$ kirişler ve perdelerde Denklem (1)’ de, kolonlarda ise Denklem (2)’ de verildiği gibi hesaplanır.

$$(EI)_e = 0.30 (E_{cm}I)_o \quad (1)$$

$$(EI)_e = 0.50 (E_{cm}I)_o \quad (2)$$

Burada belirtilen “Beton Elastisite Modülü” (E_{cm}) Denklem (3) ile bulunabilir.

$$E_{cm} = 5000 (f_{cm})^{0.5} \quad (3)$$

Risk değerlendirmesi kritik kat için yapılır. Ancak, yapılan analiz sonucunda hesaplanan en büyük kat ötelenme oranı başka bir katta oluşuyorsa, bu kat için de sadece kat ötelenme sınır değerleri kontrol edilerek değerlendirme yapılır. Herhangi bir katın riskli çıkması durumunda bina “Riskli Bina” olarak kabul edilir.

Risk değerlendirmesinde yapılacak hesaplardaki sınır koşullarının belirlenmesi için kolonlar (V_e/V_r) oranına ve sarılma bölgesindeki donatı detayına göre A, B ve C olmak üzere üç gruba ayrılır (Çizelge 2). Burada V_e , kolon, kiriş ve perdede enine donatı hesabında esas alınan kesme kuvvetini; V_r ise kolon, kiriş veya perde kesitinin kesme dayanımını ifade etmektedir. A grubu kolonların eğilme göçmesine, B grubu kolonların eğilme-kesme göçmesine ve C grubu kolonların ise kesme göçmesine maruz kalacağı kabul edilir. Kolon sınıflandırmasında kullanılacak V_e ve V_r değerleri sırasıyla Denklem (4) ve Denklem (5) ile hesaplanabilir. Düşey yükler ile birlikte $R_a=2$ alınarak depremden hesaplanan toplam kesme kuvvetinin V_e ’den küçük olması durumunda V_e yerine bu kesme kuvveti kullanılır.

$$V_e = (M_a + M_u)/l_n \quad (4)$$

$$V_r = \left(\frac{A_{sw}}{s} \right) \cdot d \cdot f_{ywd} + 0,8,0,65 \cdot f_{ctd} \cdot b_w \cdot d \cdot \left(1 + \gamma \cdot \frac{N_d}{A_c} \right) \quad (5)$$

Betonarme kolon ve perdelerin hasar düzeylerinin belirlenmesi için Denklem (6)’da verilen etki/kapasite oranı hesaplanır.

$$m = M_{G+nQ+E} / M_K \quad (6)$$

Buradaki (M_K) değeri, ($G+nQ \pm E/6$) yükleme kombinasyonundan elde edilen N_K değerine karşılık gelen momenti temsil etmektedir. Kolon elemanın risk

durumuna; kritik katta hesaplanan kolon etki kapasite oranı (m) ve kat ötelenme oranı (δ/h) değerlerinin, kolon sınıfına bağlı olarak elde edilen risk sınır değerleri $m_{sınır}$ ve $(\delta/h)_{sınır}$ ile kıyaslanması ile karar verilir. Elde edilen değerlerin sınır değerleri aşması durumunda o eleman riskli aksi halde risksiz olarak kabul edilir. Risk sınır değerleri, A grubu kolonlar için Çizelge 3' te, B grubu kolonlar için Çizelge 4' te, C grubu kolonlar için Çizelge 5' te verilmiştir.

Çizelge 3. A grubu kolonlar için $m_{sınır}$ ve $(\delta/h)_{sınır}$ değerleri (Values of $m_{boundary}$ and $(\delta/h)_{boundary}$ for columns in group A)

$N_k/(f_{cm} A_c)$	$m_{sınır}$	$(\delta/h)_{sınır}$
≤ 0.1	5.0	0.0350
≥ 0.6	2.5	0.0125

Çizelge 4. B grubu kolonlar için $m_{sınır}$ ve $(\delta/h)_{sınır}$ değerleri (Values of $m_{boundary}$ and $(\delta/h)_{boundary}$ for columns in group B)

$N_k/(f_{cm} A_c)$	$A_{sh}/(s b_k)$	$m_{sınır}$	$(\delta/h)_{sınır}$
≤ 0.1	≤ 0.0005	2.0	0.01
	≥ 0.006	5.0	0.03
≥ 0.6	≤ 0.0005	1.0	0.005
	≥ 0.006	2.5	0.0075

Çizelge 5. C grubu kolonlar için $m_{sınır}$ ve $(\delta/h)_{sınır}$ değerleri (Values of $m_{boundary}$ and $(\delta/h)_{boundary}$ for columns in group C)

$m_{sınır}$	$(\delta/h)_{sınır}$
1.0	0.005

Kritik katta ($G+nQ$) yükleme kombinasyonu eksenel basınç gerilmeleri toplamının toplam kolon sayısına bölümünden eksenel gerilme ortalaması (σ_{ort}) elde edilir. Bu değer hesaplandıktan sonra Çizelge 6' dan yararlanarak kat kesme kuvveti oranı sınır değeri belirlenir.

Tablodaki ara değerler enterpolasyon yapılarak bulunabilir. Yönteme göre belirlenen riskli kolonların yüzdesi kat kesme kuvveti sınır değerini aşarsa bina "Riskli Bina" olarak sınıflandırılır. Kritik katta binanın risksiz çıkması durumunda en büyük kat ötelenmesinin bulunduğu katta riskli kolonların yüzdesinin kat kesme kuvveti oranını geçip geçmediği kontrol edilir. Bu sınırın aşılması durumunda binanın "Riskli Bina" sınıfında olduğuna karar verilir.

Çizelge 6. Kat kesme kuvveti oranı sınır değerleri (The limit values of the storey shear force ratio)

Perde ve kolon eksenel gerilme ortalaması (=Perde ve kolon gerilmelerinin toplamı / Perde ve kolon sayısı)	Kat kesme kuvveti oranı sınır değerleri
$\geq 0.65 f_{cm}$	0
$0.1 f_{cm} \geq$	0.35

3. MEVCUT BİNALARIN TANITILMASI (DEFINITION OF EXISTING BUILDINGS)

Bu çalışma kapsamında İstanbul ilinde bulunan ve saha çalışmaları yapılmış 100 adet mevcut betonarme binanın RBTEİE'e [3] göre risk değerlendirmesi yapılmıştır. Birinci ve ikinci derece deprem bölgesinde bulunan ve çalışma kapsamında incelenen binaların katlara göre dağılımı Çizelge 7'de verilmiştir.

Çizelge 7. Mevcut binaların kat adedine göre dağılımı (Distribution of existing buildings according to the number of storey)

Kat Adedi	Bina Adedi
2	25
3	25
4	20
5	16
6	14
Toplam	100

Betonarme binalar üzerinde beş farklı malzeme grubu için risk değerlendirme hesapları yapılmıştır. Her bir bina modeli için öngörülen malzeme grupları A, B, C, D ve E olarak Çizelge 8' de tanımlanmıştır.

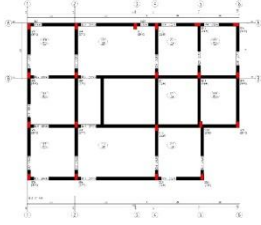

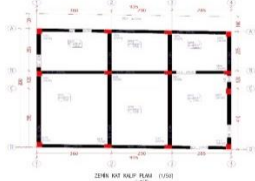

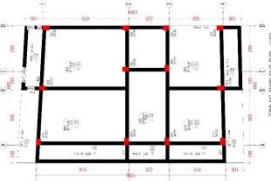

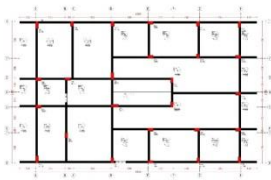

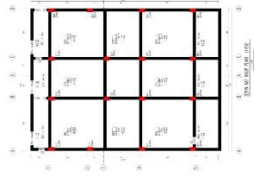

Çizelge 8. Malzeme grupları (Material groups)

Malzeme özellikleri	f_{cm} (MPa)	f_{ym} (MPa)	Etriye (mm)	Aralık (mm)
A	20	420	8	100
B	20	420	8	200
C	20	220	8	100
D	10	420	8	100
E	Yerinde Ölçüm Sonuçları			

Beton basınç dayanımı (f_{cm}), donatı akma dayanımı (f_{ym}), etriye çapı ve aralığı için farklı parametreler seçilmiştir. A malzeme sınıfı projeye uygun tasarıma karşılık gelmektedir. Bu malzeme sınıfında, beton basınç dayanımı 20 MPa, donatı akma dayanımı 420 MPa ve taşıyıcı sistem elemanları mesnet bölgelerinde etriye sıklaştırması bulunmaktadır. Etriye sıklaştırmasının bulunması durumu $\emptyset 8/100$ etriyeyi temsil etmektedir. B, C ve D malzeme sınıfları ise malzeme özelliklerinin risk değerlendirmesindeki etkinliğinin ortaya konulabilmesi için tek bir parametre üzerinden değişiklik yapılarak belirlenmiştir. Örneğin, B malzeme grubu sadece etriye sıklaştırmasının bulunmadığı, C malzeme grubu sadece donatı dayanımının düşük olduğu, D malzeme grubu ise sadece beton dayanımının düşük olduğu durumları temsil etmektedir. Bunların dışında kalan E grubu arazi ölçümleri ve incelemeleri ile elde edilen gerçek verileri göstermektedir.

Çözümlenen mevcut binalardan farklı kat adedine sahip rastgele beş adedi seçilmiş ve bu binaların kalıp planı ile üç boyutlu görünüşleri Çizelge 9'da verilmiştir [14].

Çizelge 9. Seçilen mevcut binalara ait kalıp planları ve görünüşleri (Floor plans and views of some existing buildings)

Bina No	Kat adedi	Kat planı	Görünümü
5	2		
16	4		
29	3		
32	5		
84	6		

Kalıp planları verilen bu binaların arazi incelemelerinden elde edilen yapısal özellikleri Çizelge 10' da verilmiştir. İncelenen mevcut binaların büyük çoğunluğunda düz yüzeyle (St I) donatı kullanıldığı, beton dayanımının

düşük olduğu ve taşıyıcı sistem elemanlarının mesnet bölgelerinde etriye sıklaştırmasının uygulanmadığı görülmüştür.

Çizelge 10. Seçilen mevcut binaların yerinde yapılan incelemelerden elde edilen yapısal özellikleri (The structural properties obtained from investigation of some existing buildings)

Bina no	A_0	Kat adedi	f_{cm} (MPa)	f_{ym} (MPa)	Etriye çapı (mm)	Etriye aralığı (mm)
5	0.40	2	13	220	8	300
16	0.40	4	10.3	220	8	300
29	0.40	3	9.2	220	8	250
32	0.30	5	9.6	220	8	250
84	0.40	6	5.3	220	8	300

4. BİNALARIN RİSK DEĞERLENDİRMESİ (RISK ASSESSMENT OF BUILDINGS)

Mevcut betonarme binaların x ve y doğrultuları için risk değerlendirmesi; “Riskli Binaların Tespit Edilmesine İlişkin Esaslar Yönetmeliği (RBTEİE)” [3] hükümlerine göre yapılmıştır. Çözümlenelerde beton dayanımı, donatı dayanımı ve sargılama durumu değiştirilerek malzeme sınıfının risk değerlendirmedeki etkinliği

Çözümlenelerde her bir bina için taşıyıcı sistem elemanlarına ait etki kapasite oranı (m) ve kat etkin görelî kat ötelenmesi oranı (δ/h) hesaplanmıştır. Bu değerler RBTEİE’ye [3] göre belirlenen etki kapasite oranı sınır değeri ($m_{sınır}$) ve etkin görelî kat ötelenmesi oranı sınır değeri ($(\delta/h)_{sınır}$) ile kıyaslanmıştır. Sınır değerini aşılması durumunda eleman “Riskli” olarak kabul edilmiştir. Benzer şekilde kritik kattaki riskli kolonların yüzdesinin RBTEİE’de [3] tanımlanan kat kesme kuvveti oranı sınır

Çizelge 11. Seçilen mevcut binaların yapısal özellikleri (Structural properties of some existing buildings)

Bina no	A_0	Kat adedi	h_i (m)	H_n (m)	ΣA_c (m ²)	W_k (t)	W_{bina} (t)	A_k (m ²)	ΣA (m ²)
5	0.4	2	2.65	5.30	1.60	156	258	125	251
16	0.4	4	2.95	11.35	1.14	96	340	80	322
29	0.4	3	2.70	8.10	1.15	94	246	88	266
32	0.3	5	3.00	15.00	3.80	295	1409	298	1450
84	0.4	6	2.80	16.80	1.60	140	817	119	742

incelenmiştir. Bu amaçla A, B, C, D ve E olmak üzere 5 farklı malzeme sınıfı öngörülmüştür. Çözümleneler bu malzeme sınıfları için tekrarlanmıştır.

Binaların risk değerlendirmesinin yapılabilmesi için öncelikle binaya ait kritik kat belirlenmiştir. Seçilen mevcut binalara ait bazı yapısal parametreler Çizelge 11’de verilmiştir. Bu tabloda etkin yer ivme katsayısı

değerini aşması durumunda bina “Riskli Bina”, aksi halde “Risksiz Bina” olarak tanımlanmıştır. İncelenen 100 adet mevcut binadan seçilen binalara ait risk değerlendirme sonuçları A malzeme grubu için Çizelge 12’de örnek olarak verilmiştir

Yapılan tüm çözümlenelerden elde edilen sonuçlara ait riskli ve risksiz bina yüzdeleri kat adedine ve malzeme

Çizelge 12. Seçilen mevcut binaların A malzeme grubu için risk değerlendirmesi (Risk assessment of some existing buildings for A material classification)

Bina no	Yön	m	$m_{sınır}$	(δ/h)	$(\delta/h)_{sınır}$	En büyük (δ/h)	Kritik kat riskli kolon yüzdesi	Kritik kat sınır değeri	Sonuç
5	X	79.35	5.00	0.0331	0.0350	0.0331	100%	35%	Riskli
	Y	71.18	5.00	0.0203	0.0350	0.0203	13%	35%	Risksiz
16	X	6.82	5.00	0.0210	0.0350	0.0269	75%	32%	Riskli
	Y	8.13	5.00	0.0227	0.0350	0.0269	63%	32%	Riskli
29	X	4.14	5.00	0.0194	0.0350	0.0220	0%	34%	Risksiz
	Y	2.49	5.00	0.0142	0.0336	0.0220	0%	34%	Risksiz
32	X	3.14	4.99	0.0138	0.0338	0.0168	0%	32%	Risksiz
	Y	4.80	5.00	0.0122	0.0344	0.0165	0%	32%	Risksiz
84	X	7.97	5.00	0.0313	0.0295	0.0313	100%	27%	Riskli
	Y	5.54	4.87	0.0223	0.0349	0.0223	65%	27%	Riskli

(A_0), kritik kat yüksekliği (h_i), bina yüksekliği (H_n), kritik kattaki x ve y yönlerindeki toplam kolon alanı (ΣA_c), kritik kat ağırlığı (W_k), bina ağırlığı (W_{bina}), kritik kat alanı (A_k), toplam bina oturma alanı (ΣA) parametreleri tanımlanmıştır.

grubuna bağlı olarak Çizelge 13’te binanın x yönü için, Çizelge 14’te ise y yönü için verilmiştir. Tabloda verilen yüzde oranları, riskli/risksiz bina adedinin toplam bina adedine oranlanması ile elde edilmiştir.

Çizelge 13. Mevcut binaların x yönündeki risk dağılım yüzdeleri (Risk percentages of the existing buildings in x direction)

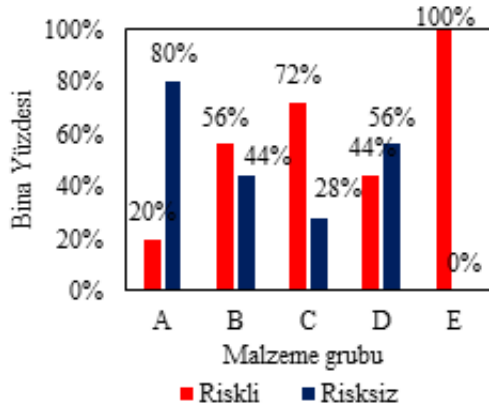
Yön	Kat adedi	Malzeme grubu	Bina adedi			Yüzde oranı	
			Riskli	Risksiz	Toplam	Riskli bina	Risksiz bina
x	2	A	5	20	25	20%	80%
		B	14	11	25	56%	44%
		C	18	7	25	72%	28%
		D	11	14	25	44%	56%
		E	25	0	25	100%	0%
	3	A	11	14	25	44%	56%
		B	20	5	25	80%	20%
		C	20	5	25	80%	20%
		D	16	9	25	64%	36%
		E	25	0	25	100%	0%
	4	A	8	12	20	40%	60%
		B	18	2	20	90%	10%
		C	18	2	20	90%	10%
		D	17	3	20	85%	15%
		E	20	0	20	100%	0%
	5	A	11	5	16	69%	31%
		B	13	3	16	81%	19%
		C	14	2	16	88%	13%
		D	12	4	16	75%	25%
		E	16	0	16	100%	0%
	6	A	8	6	14	57%	43%
		B	13	1	14	93%	7%
		C	12	2	14	86%	14%
		D	13	1	14	93%	7%
		E	13	1	14	93%	7%

Çizelge 14. Mevcut binaların y yönündeki risk dağılım yüzdeleri (Risk percentages of the existing buildings in y direction)

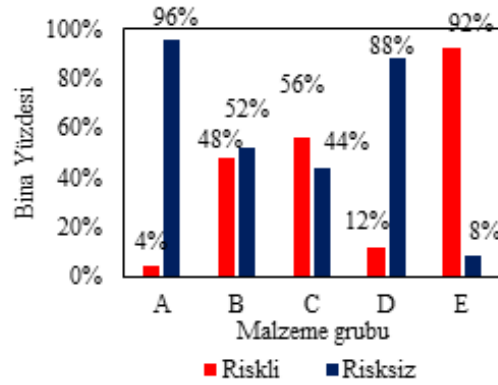
Yön	Kat adedi	Malzeme grubu	Bina adedi			Yüzde değeri	
			Riskli	Risksiz	Toplam	Riskli bina	Risksiz bina
y	2	A	1	24	25	4%	96%
		B	12	13	25	48%	52%
		C	14	11	25	56%	44%
		D	3	22	25	12%	88%
		E	23	2	25	92%	8%
	3	A	6	19	25	24%	76%
		B	11	14	25	44%	56%
		C	10	15	25	40%	60%
		D	11	14	25	44%	56%
		E	25	0	25	100%	0%
	4	A	6	14	20	30%	70%
		B	16	4	20	80%	20%
		C	15	5	20	75%	25%
		D	15	5	20	75%	25%
		E	20	0	20	100%	0%
	5	A	5	11	16	31%	69%
		B	12	4	16	75%	25%
		C	10	6	16	63%	38%
		D	11	5	16	69%	31%
		E	16	0	16	100%	0%
	6	A	12	2	14	86%	14%
		B	13	1	14	93%	7%
		C	14	0	14	100%	0%
		D	13	1	14	93%	7%
		E	14	0	14	100%	0%

Tablodaki risk dağılım yüzdeleri malzeme gruplarına bağlı olarak, iki katlı binalar için Şekil 1’ de, üç katlı binalar için Şekil 2’de, dört katlı binalar için Şekil 3’ te,

beş katlı binalar için Şekil 4’ te, altı katlı binalar için Şekil 5’te grafik olarak verilmiştir.

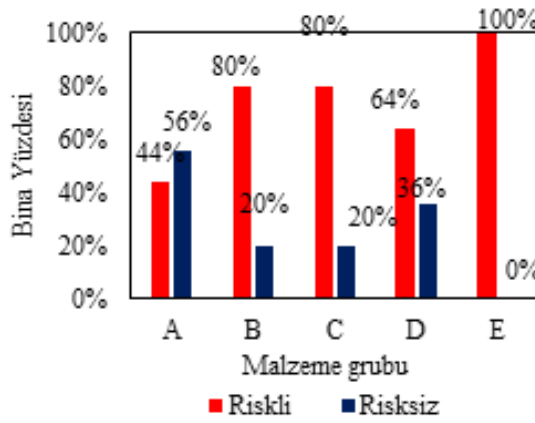


(a) x yönü

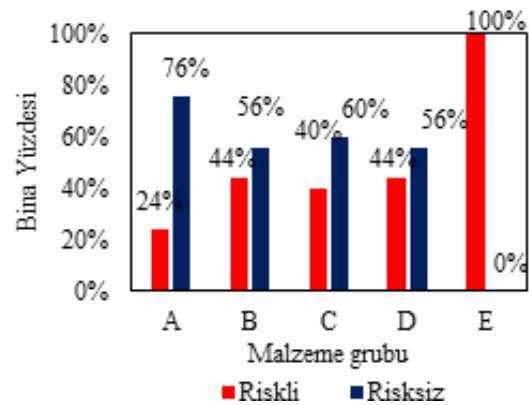


(b) y yönü

Şekil 1. İki katlı binaların malzeme gruplarına göre risk dağılım yüzdeleri (Risk percentage of the two storied buildings according to material classification)

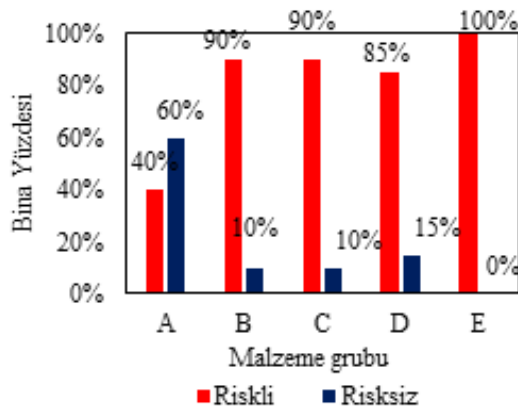


(a) x yönü

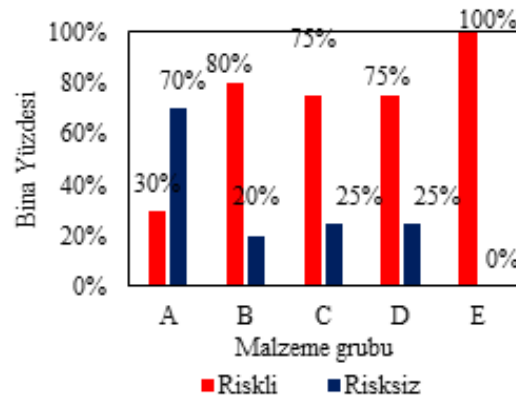


(b) y yönü

Şekil 2. Üç katlı binaların malzeme gruplarına göre risk dağılım yüzdeleri (Risk percentage of the three storied buildings according to material classification)

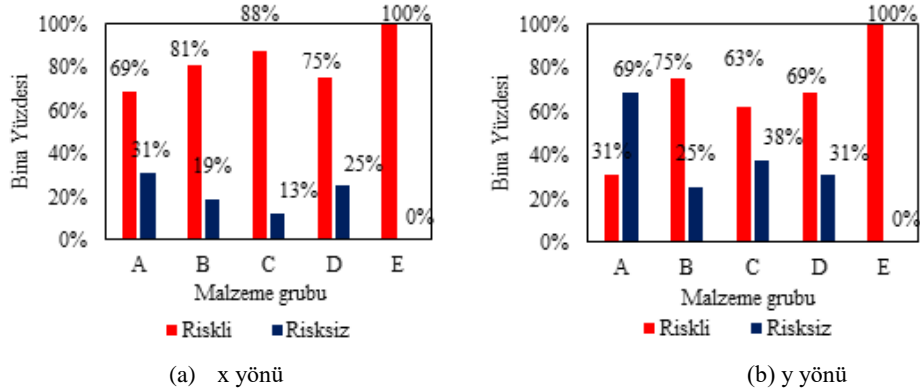


(a) x yönü

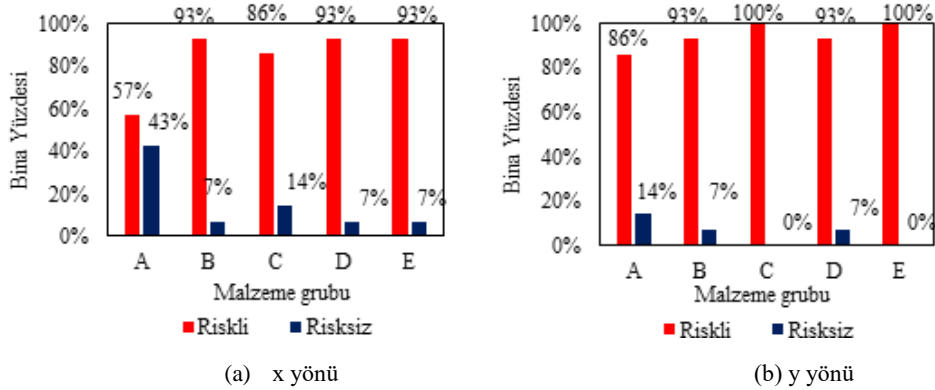


(b) y yönü

Şekil 3. Dört katlı binaların malzeme gruplarına göre risk dağılım yüzdeleri (Risk percentage of the four storied buildings according to material classification)



Şekil 4. Beş katlı binaların malzeme gruplarına göre risk dağılım yüzdeleri (Risk percentage of the five storied buildings according to material classification)



Şekil 5. Altı katlı binaların malzeme gruplarına göre risk dağılım yüzdeleri (Risk percentage of the six storied buildings according to material classification)

5. RİSK DEĞERLENDİRME PARAMETRESİ (PARAMETER OF RISK ASSESSMENT)

Betonarme binaların risk değerlendirmeleri genellikle piyasada kullanılan hazır paket programlar yardımıyla yapılmaktadır. Bu değerlendirmelerin bilgisayar modelleme ve çözümlemesine gerek kalmadan kolay ve RBTEİE [3] ile uyumlu şekilde belirlenebilmesi uygulamacı mühendise büyük bir kolaylık sağlayacaktır. Bu amaçla çalışmada, bina ağırlığının (W_{bina}) zemin kat kolonları toplam kesme kuvveti kapasitesine (ΣV_r) oranlanması ile elde edilen "Risk Değerlendirme

Parametresi" (RDP) kullanılmıştır (Denklem 7). Bu parametrenin seçilmesinin nedeni, çalışma kapsamında incelenen beton dayanımı, donatı dayanımı ve sargılama durumu yanında kat adedi, kat ağırlığı ve kolon boyutu gibi çok sayıda parametreyi içermesidir. Binanın risk değerlendirmesinde, x ve y yönü için hesaplanan RDP değerlerinden küçük olanı kritik değer (RDP_{krt}) olarak dikkate alınmıştır. Seçilen mevcut binaların x ve y yönü çözümlemelerine ait hesaplanan RDP ve RDP_{krt} değerleri Çizelge 15'te verilmiştir.

$$RDP = W_{bina} / \Sigma V_r \quad (7)$$

Çizelge 15. Seçilen mevcut binalar için hesaplanan RDP ve RDP_{krt} değerleri (The calculated RDP and RDP_{krt} values of some existing building)

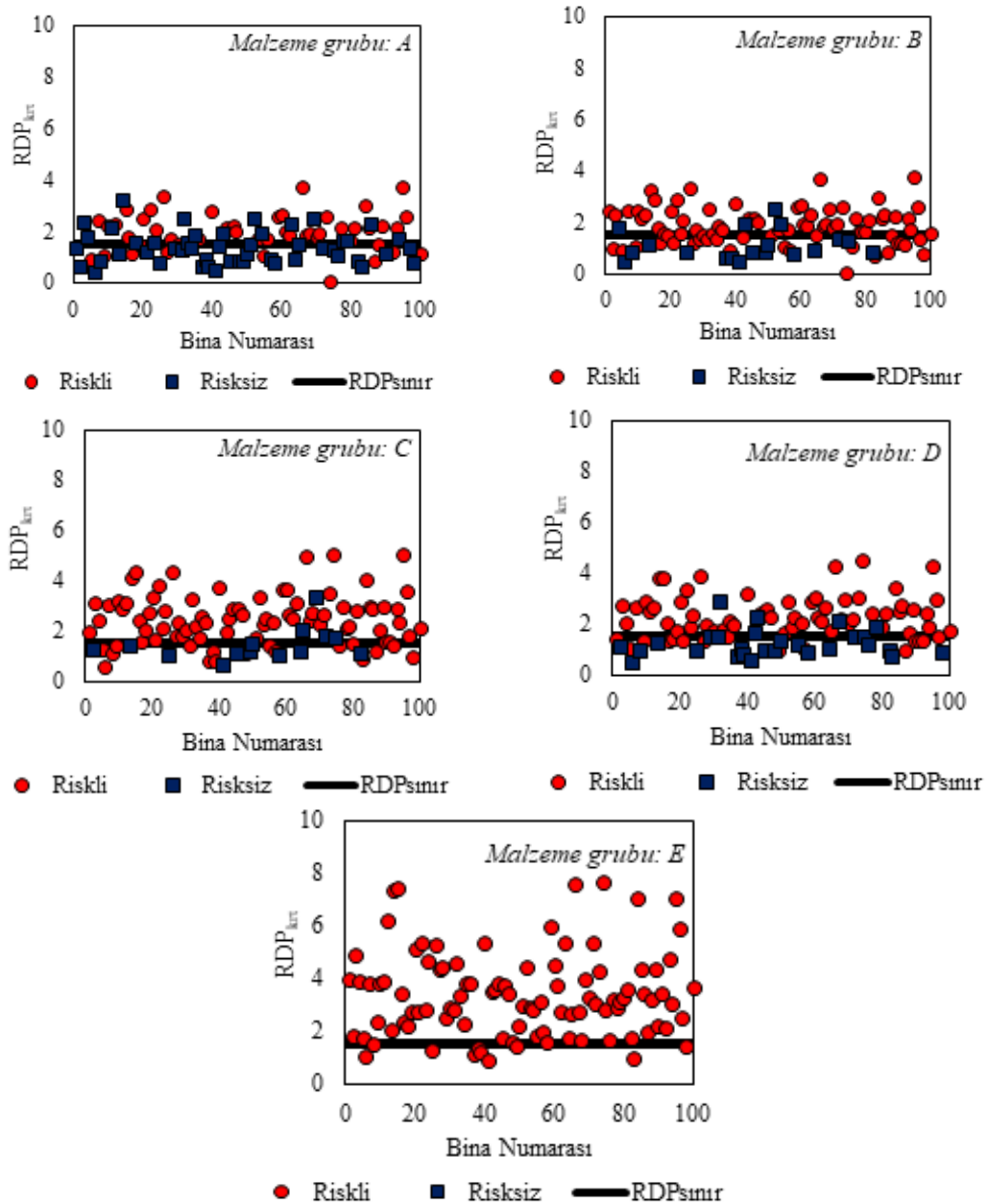
Bina No	Yön	RDP değerleri					RDP_{krt} değerleri				
		A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
5	X	0.9	1.0	1.3	1.1	1.7	0.9	1.0	1.3	1.1	1.7
	Y	0.9	1.0	1.3	1.1	1.7	0.9	1.0	1.3	1.1	1.7
16	X	1.8	1.8	2.4	2.1	3.5	1.8	1.8	2.4	2.0	3.5
	Y	1.8	1.8	2.4	2.0	3.5	1.8	1.8	2.4	2.0	3.5
29	X	1.3	1.3	1.8	1.5	2.5	1.3	1.3	1.8	1.5	2.5
	Y	1.4	1.4	1.8	1.6	2.6	1.3	1.3	1.8	1.5	2.5
32	X	2.6	2.6	3.4	3.1	4.6	2.5	2.5	3.3	2.9	4.6
	Y	2.5	2.5	3.3	2.9	4.6	2.5	2.5	3.3	2.9	4.6
84	X	3.0	3.0	4.1	3.4	7.1	3.0	3.0	4.1	3.4	7.1

Mevcut binalar için elde edilen RDP_{krt} değerlerine ait grafikler farklı malzeme grupları için Şekil 6’ da verilmiştir. Bu grafiklerdeki bina risk durumları RBTEİE’ye [3] göre elde edilen değerlendirmeleri ifade etmektedir.

Yönetmelik ve şartname esaslarına göre tasarlanan bir taşıyıcı sistemin güç tükenme yükü, kesit tasarımında beton ve donatı için kullanılan güvenlik katsayılarından dolayı daha büyüktür. Bu dayanım fazlalığı değerinin

kabul edilmiştir. Bu değerler Şekil 6’ daki grafiklerde verilmiştir.

Değerlendirmelerde bina için hesaplanan RDP_{krt} değerinin tanımlanan sınır değerinin altında olması durumunda bina “Risksiz”, üstünde olması durumunda ise “Riskli” olarak sınıflandırılmıştır. Mevcut binalar için RDP_{krt} ile yapılan risk değerlendirme sonuçları, RBTEİE [3] sonuçları ile kıyaslanmıştır. Seçilen mevcut binalar için yapılan kıyaslamalar Çizelge 16’ da, mevcut



Şekil 6. Binalara ait RDP_{krt} ve $RDP_{sınır}$ değerleri ve risk değerlendirmesi (The RDP and RDP_{crit} values and risk assessment of buildings)

yaklaşık olarak 1.5 civarında olduğu söylenebilir [15]. Dayanım fazlalığı düşünülerek, yapılan değerlendirmelerde RDP sınır değeri ($RDP_{sınır}$) 1.5 olarak

binaların tamamı için elde edilen uyum yüzdeleri ise Çizelge 17’de sunulmuştur

Çizelge 16. Seçilen mevcut binaların RDP ve RBTEİE'ye [3] göre elde edilen risk değerlendirmeleri (The obtained risk assessments according to RDP and "Risk Assessment Code" for some existing buildings)

Bina No	Malzeme grubu	RDP _{krt} değerleri	RDP _{smr} değeri	Risk Durumu (RDP)	Risk Durumu (RBTEİE)	Uyum
5	A	0.9	1.5	Risksiz	Riskli	Yok
	B	1.0	1.5	Risksiz	Riskli	Yok
	C	1.3	1.5	Risksiz	Riskli	Yok
	D	1.1	1.5	Risksiz	Riskli	Yok
	E	1.7	1.5	Riskli	Riskli	Var
16	A	1.8	1.5	Riskli	Riskli	Var
	B	1.8	1.5	Riskli	Riskli	Var
	C	2.4	1.5	Riskli	Riskli	Var
	D	2.0	1.5	Riskli	Riskli	Var
	E	3.5	1.5	Riskli	Riskli	Var
29	A	1.3	1.5	Risksiz	Risksiz	Var
	B	1.3	1.5	Risksiz	Riskli	Yok
	C	1.8	1.5	Riskli	Riskli	Var
	D	1.5	1.5	Riskli	Risksiz	Yok
	E	2.5	1.5	Riskli	Riskli	Var
32	A	2.5	1.5	Riskli	Risksiz	Yok
	B	2.5	1.5	Riskli	Riskli	Var
	C	3.3	1.5	Riskli	Riskli	Var
	D	2.9	1.5	Riskli	Risksiz	Yok
	E	4.6	1.5	Riskli	Riskli	Var
84	A	3.0	1.5	Riskli	Riskli	Var
	B	3.0	1.5	Riskli	Riskli	Var
	C	4.1	1.5	Riskli	Riskli	Var
	D	3.4	1.5	Riskli	Riskli	Var
	E	7.1	1.5	Riskli	Riskli	Var

Çizelge 17. Çözümlemelerde elde edilen uyum yüzdeleri (The obtained compliance percentages in analyses)

Malzeme grubu	Bina adedi	Uyumlu çözüm adedi	Uyum yüzdesi
A	100	67	%67
B	100	76	%76
C	100	83	%83
D	100	82	%82
E	100	94	%94
Toplam	500	402	%80

Çizelge 17' de görüldüğü gibi RDP ile yapılan risk değerlendirmesinde, A malzeme grubu için %67, B malzeme grubu için %76, C malzeme grubu için %83, D malzeme grubu için %82, E malzeme grubu için %94 oranında RBTEİE [3] ile uyumlu sonuç elde edilmiştir. Tüm malzeme grupları birlikte değerlendirildiğinde ise %80 oranında uyum söz konusudur.

6. SONUÇLAR (RESULTS)

Bu çalışmada, saha çalışmaları yapılmış mevcut 100 adet konut türü betonarme binanın, Riskli Binaların Tespit Edilmesine İlişkin Esaslar Yönetmeliği'ne (RBTEİE) [3] göre risk durumu değerlendirilmiştir. Risk değerlendirmesinde etkin parametrenin belirlenebilmesi için her bir mevcut bina beş farklı malzeme sınıfı için çözümlenmiştir. Parametre olarak beton basınç dayanımı, donatı akma dayanımı ve etriye sıklaştırmasının varlığı/yokluğu durumları dikkate alınmıştır. İncelenen mevcut binaların

büyük çoğunluğunda düz yüzeyli (St I) donatı kullanıldığı, beton dayanımının düşük olduğu ve taşıyıcı elemanların mesnet bölgelerinde etriye sıklaştırmasının uygulanmadığı görülmüştür. Beton dayanımı, donatı dayanımı, etriye sıklaştırmasının varlığı/yokluğu durumlarından tek bir sınıfın olumsuz olması durumunda dahi binaların risk yüzdesi artmış, birden fazla olumsuzluğun bulunması durumunda ise neredeyse binaların tamamı riskli bina sınıfında tanımlanmıştır. Dolayısıyla, beton dayanımı, donatı dayanımı ve etriye sıklaştırmasının uygulanmadığı binalarda birden fazla kusurun aynı anda bulunması durumunda çok büyük olasılıkla binanın "Riskli bina" sınıfında tespit edileceği söylenebilir.

Mevcut binaların x yönünün RBTEİE'ye [3] göre risk değerlendirmesinde, beton dayanımının 20 MPa, donatı dayanımının 420 MPa ve etriye sıklaştırmasının Ø8/100 olarak bulunduğu çözümlemelerde iki katlı binaların %20'si, üç katlı binaların %56'sı, dört katlı binaların %60'ı, beş katlı binaların %69'u ve altı katlı binaların

%57'si riskli grubunda yer almaktadır. Bu durum RBTEİE [3] yönetmeliğinin biraz katı kurallar içerdiğini düşündürse de bunun yanında malzeme sınıfları ve taşıyıcı sistem düzenlenmesi gibi farklı parametrelerinde etkin olduğunu ortaya koymaktadır.

Kat adedine göre binaların risk durumu incelendiğinde, iki katlı binalarda risk yüzdesinin düşük olduğu, kat adedi arttıkça bu yüzdenin arttığı görülmüştür. Kat adedi arttıkça beton dayanımı ve etriye aralığının risk tespitindeki etkinliği de artış göstermektedir. Az katlı binaların risk değerlendirmesinde en etkili parametre donatı sınıfı, en etkisiz parametre ise beton dayanımı olarak karşımıza çıkmaktadır. Dolayısıyla eksenel yükün düşük olduğu az katlı binalarda risk değerlendirmesinde beton dayanımının belirlenmesi için alınacak karot sayısının azaltılabileceği söylenebilir.

Mevcut binaların RBTEİE [3] esaslarına göre risk değerlendirmesi genellikle piyasa mühendisleri tarafından hazır paket programlar kullanılarak yapılmaktadır. Yöntemin uygulanması bilgisayar kullanımını zorunluluk haline getirmiştir. Risk değerlendirmelerinin RBTEİE [3] ile uyumlu olarak elde edilebildiği uygulaması kolay bir parametrenin belirlenmesi uygulamacı mühendise büyük kolaylık sağlayacaktır. Çalışmada modellemeye ve bilgisayar çözümlerine gerek kalmadan bina risk değerlendirmesinin yapılabilmesi için bir ön parametre seçilerek incelemeler yapılmıştır. Bu amaçla, bina ağırlığının (ΣW_{bina}) kolon kesme kapasiteleri toplamına (ΣV_{rx} ve ΣV_{ry}) oranı ile elde edilen "Risk Değerlendirme Parametresi" (RDP)'nin bina risk değerlendirmesinde etkinliği incelenmiştir. Mevcut binalar için elde edilen RDP değerinin $RDP_{\text{sınır}}$ değerinin üstünde olması durumunda bina "Riskli", altında olması durumunda ise "Risksiz" olarak sınıflandırılmıştır. Taşıyıcı sistem elemanlarının tasarımında kullanılan malzeme güvenlik katsayılarının taşıyıcı sistemin güç tükenme yükünü yaklaşık olarak 1.5 kat artıracığı ve dayanım fazlalığı meydana getireceği söylenebilir. Bu artış, risk değerlendirmesinde RDP'nin sınır değeri ($RDP_{\text{sınır}}$) olarak dikkate alınmıştır.

Önerilen yaklaşım ile elde edilen sonuçların, RBTEİE [3] sonuçları ile; A malzeme sınıfı için %67; B malzeme sınıfı için %76; C malzeme sınıfı için %83; D ve E malzeme sınıfları için %94 uyumlu olduğu görülmüştür. Tüm çözümler genel olarak değerlendirildiğinde ise %80 oranında uyum söz konusudur. En kötü uyum oranı en iyi malzeme sınıfı olan A grubunda gözlenmiştir. Önerilen yaklaşımın riskli binaların seçiminde daha uyumlu sonuç verdiği söylenebilir. Dolayısıyla bilgisayar modellemesine gerek kalmadan riskli olan mevcut betonarme binaların seçiminin yapılabilmesi için önerilen yaklaşımdan yararlanılabilecektir. Böylece incelenmesi gereken bina sayısı azaltılarak riskli bölgelerin tespit edilmesinde hız sağlanmış olacaktır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] DBYBHY, "Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik", *Bayındırlık ve İskan Bakanlığı*, (2007).
- [2] AFAD, "Van Depremi Afet Raporu", *T. C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi Başkanlığı*, Ankara, <https://www.afad.gov.tr/tr/2385/Van-Depremi-Hakkında>, (2017).
- [3] RBTEİE, Riskli Binaların Tespit Edilmesine İlişkin Esaslar Hakkında Yönetmelik, (2013).
- [4] Ünal, O., Yurtcu, Ş., "Binaların deprem risk değerlendirmesi için anket çalışması", *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2: 17-22, (2006).
- [5] Tokgöz, H. ve Bayraktar, H., "Düzce ili Kaynaşlı ilçesinde riskli binaların tespitinde sokak taraması yönteminin uygulanması", *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 3: 107-116, (2015).
- [6] Uğur, O.U., Aliefendioğlu, Y., Saka, M., "Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkında Kanun'a göre riskli yapı tespitinde karşılaşılan uygulama problemlerinin vaka tabanlı incelenmesi: Tekirdağ ili örneği", *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4: 354-375, (2016).
- [7] Canbaz, M., Şengel, S., "Betonarme binalarda kentsel dönüşüm uygulamaları: Eskişehir", *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2(2): 9-16, (2015).
- [8] Fahjan, Y., Pakdamar, F., Eryılmaz, Y., Kara, F. İ., "Afet planlamasında deprem riski belirsizliklerinin değerlendirilmesi", *Artvin Çoruh Üniversitesi Doğal Afetler Uygulama ve Araştırma Merkezi Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 1(1-2): 21-39, (2015).
- [9] Duran, B., Tunaboyu, O., Avşar, Ö., "Düşük dayanımlı betonun elastisite modülünün belirlenmesi ve RYTEİE ile yapılan risk değerlendirmesine etkisi", *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 32(1): 253-264, (2017).
- [10] Gürbüz, A., Tekin, M., "Farklı tip betonarme binalar için geliştirilmiş hasar tahmin yöntemleri", *İMO Teknik Dergi*, 487: 8051-8076, (2017).
- [11] Solak, H.İ., Alaybeyoğlu, A., "Kentsel dönüşümde riskli alan önceliklerinin belirlenmesi için bulanık mantık tabanlı sistem tasarımı", *Selçuk Üniversitesi Müh. Bilim ve Tekn. Derg.*, 5(4): 402-413, (2017).
- [12] Işık, E., Kutanis, M., "Bitlis ilindeki betonarme binaların P25 hızlı tarama yöntemi ile değerlendirilmesi", *BAÜ Fen Bil. Enst. Dergisi*, 15(1): 21-29, (2013).
- [13] Işık, E., Bozkurt, N., Taşkın, V., "Muş ili yapı stoğunun kanada sismik tarama yöntemi ile incelenmesi ve bölgenin depremselliği", *Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21(2): 421-429, (2017).
- [14] Türkel, Y.E., "Betonarme Binaların Deprem Risk Değerlendirmesi", *Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi, Isparta, (2017).
- [15] Celep, Z., "Betonarme Yapılar", *Beta Basım Yayım Dağıtım*, 864 s., İstanbul, (2015).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>

Talaş magnezyum atığından hidrojen gazı üretimi ve hız profillerinin incelenmesi

Hydrogen gas production from chip magnesium waste and investigation of rate profiles

Yazar(lar) (Author(s)): Çisem ÖZ¹, Bilge COŞKUNER FİLİZ², Aysel KANTÜRK FİGEN³

ORCID¹: 0000-0003-3611-5128

ORCID²: 0000-0002-2737-119X

ORCID³: 0000-0002-0930-9704

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Öz Ç., Coşkuner Filiz B., Kantürk Figen A., "Talaş magnezyum atığından hidrojen gazı üretimi ve hız profillerinin incelenmesi", *Politeknik Dergisi*, 21(3): 681-684, (2018).

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

DOI: 10.2339/politeknik.403972

Talaş Magnezyum Atığından Hidrojen Gazı Üretimi ve Hız Profillerinin İncelenmesi

Araştırma Makalesi / Research Article

Çisem ÖZ¹, Bilge COŞKUNER FİLİZ¹, Aysel KANTÜRK FİĞEN^{1*}

¹Kimya Mühendisliği Bölümü, Yıldız Teknik Üniversitesi, Türkiye
(Geliş/Received : 12.06.2017 ; Kabul/Accepted : 02.02.2018)

ÖZ

Son yıllarda, yüksek potansiyele sahip olan enerji taşıyıcısı hidrojenin (H₂) yakıt olarak kullanımı ve mevcut sistemler ile değiştirilmesine yönelik araştırmalar hız kazanmıştır. H₂'nin sıfır emisyonlu üretimi, güvenli depolanması, etkin dağıtımı ve son kullanımda yüksek verimle enerjiye dönüştürülmesi, günlük hayatta kullanımının yaygınlaştırılması için önem arz etmektedir. Hidrojenin üretiminde, fosil temelli kaynaklar yerine sıfır emisyonlu alternatif tekniklerin geliştirilmesi hedeflenmektedir. Özellikle düşük ağırlıklı metaller içerisinde magnezyum (Mg)'un H₂ üretiminde, bu hedefe ulaşmak amacıyla kullanılacak hammaddeler arasında yer almaktadır. Mg ve Mg alaşımları başta otomotiv, uzay mühendisliği, metalürji ve kimya sektörleri olmak üzere pillerde ve katodik koruma gibi alanlarda kullanılırken, %50'lik kısmı atık olarak oluşmaktadır. Ancak, bu atıkların sadece %33'lük kısmı atık yönetimi kapsamında sınıflandırılarak tekrar kullanımı mümkün olmaktadır.

Bu araştırma makalesinde, endüstriyel atık sınıfında yer alan talaş Mg'un H₂ gazı üretiminde değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Hidroliz reaksiyonu ile gerçekleşen H₂ üretiminde, ortamda H⁺ iyonlarının geçişini hızlandıracak aktivatörün kullanımı gerekli olup ve klorür tuzları, metaller ve asitler bu amaç doğrultusunda tercih edilmektedirler. Farklı konsantrasyonlardaki sirke çözeltilerinin (% 0.8-4 ağırlık asetik asit, CH₃COOH) hidroliz ortamında aktivatör olarak kullanımı incelenmiştir. Atık Mg talaşından hidrojen üretimi gerçekleştirilmiş ve H₂ gazı üretim profilleri aydınlatılmıştır.

Anahtar Kelimeler: H₂ üretimi, atık magnezyum, hidroliz, sirke.

Hydrogen Gas Production from Chip Magnesium Waste and Investigation of Rate Profiles

ABSTRACT

In recent years, researches about the use of hydrogen (H₂) as a high-potential energy carrier and replacement with current systems have been enhanced. Production of H₂ with zero emission, safe storage, efficient distribution and, highly efficient energy conversion in end-use are the most important factors for popularizing the use of hydrogen energy systems in daily life. The main target is to develop alternative techniques to produced hydrogen with zero emission instead of fossil-based sources. In particular, magnesium (Mg) from light weight metals has been gain attention to achieve this target. While, Mg and Mg alloys are mainly used as a raw material in automotive, space engineering, metallurgy and chemistry sectors, cells and cathodic protection, %50 of raw Mg is formed as a waste. However, only 33% of these wastes are classified based on waste management and reused is being possible.

In this research article, the evaluation of the industrial waste grade Mg chips in the production of H₂ gas is studied. H₂ production is carried out based on the hydrolysis reaction and it is necessary to use an activator which accelerates the passage of H⁺ ions and chlorine salts, metals and acids are preferred for this purpose. The usage of different concentrations of vinegar solutions (0.8-4 % wt. acetic acid, CH₃COOH) as an activator in hydrolyses medium was investigated. Hydrogen production was carried out from waste Mg chip and H₂ gas production profiles were illuminated.

Keywords: H₂ production, waste magnesium, hydrolysis, vinegar.

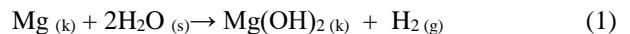
1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüzde, dünyadaki ekonomik sürdürülebilirliği ve gelişmeyi devam ettirebilmek için gerek duyulan enerji en çok kömür ve doğal gaz gibi hidrokarbon kökenli fosil yakıtlardan sağlanmaktadır. Gelecek 50-60 sene içerisinde fosil yakıtların tükeneceği gerçeği, enerji sistemlerinin revize edilmelerini ve yenilenebilir temiz enerji kaynaklarına yönelimi zorunlu hale getirmiştir.

Temiz bir enerji taşıyıcısı olan hidrojen (H₂) gazının yakıt pillerinde elektriğe dönüşümü ile başta ulaşım

sektörü ve endüstriyel uygulamalarda kullanımının yaygınlaşarak geleceğin enerjisi olacağı kabul edilmektedir [1,2]. H₂'nin enerji taşıyıcısı olarak kullanımının yaygınlaşması için sıfır emisyonla verimli bir kaynaktan üretilmesi gerekmektedir. Özellikle, magnezyum (Mg) içerikli kompozitlerin düşük ağırlıklı ve maliyetli olmaları bu alanda kullanımına olanak sağlamaktadır [3-7].

Mg ile su arasında gerçekleşen hidroliz reaksiyonu sonucunda ($\Delta H = -354$ kJ/mol) H₂ gazı üretilmekte ve yan ürün olarak magnezyum hidroksit (Mg(OH)₂) oluşmaktadır (Eşitlik 1) [8].



*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : akanturk@yildiz.edu.tr

Mg metalinin, H₂ üretiminde daha etkin kullanılabilmesi amacıyla yüzey özelliklerinin iyileştirilmesi gereklidir. Bu amaçla, mekanik alaşımlandırma metodunun kullanılması önerilmektedir [9]. Bir toz işleme tekniği olan mekanik alaşımlandırma, belirli zaman aralıklarında ve atmosferde, kaba konulan farklı büyüklükteki bilyalar ile öğütme şeklinde gerçekleştirilmektedir [10].

Mg ve kompozitlerine uygulanan mekanik alaşımlandırma ve H₂ gazı üretiminde kullanılmaları üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Sun Q. vd. (2015), Mg'a farklı oranlarda (% 2, 4, 6, 8 ve 10 ağı.) kobalt klorür (CoCl₂) tuzu ekleyerek, argon atmosferi altında paslanmaz çelik bilyalar (çap 5.1mm; 1:10 katı:top) ile 1 saat boyunca öğütme işlemini gerçekleştirmiş ve elde edilen kompozitlerden H₂ gazı üretmişlerdir. Farklı miktardaki tuz içeriğinin H₂ gazı üretim verimi üzerindeki etkisi incelenerek ve tuz içeriğinin artmasıyla H₂ gazı üretim veriminin arttığını gözlemlemişlerdir. Cl⁻ iyonları başlangıç aşamasında metal hidroksit tabakası oluşumunu önleyerek, su iyonlarının metal yüzeyinden iç kısımlara geçişine olanak sağladığı ve bu durumun sonucunda Cl⁻ iyonlarının tepkimenin ilerlemesine yardımcı olduğu sonucuna varmışlardır [11].

Grosjean ve Roue (2006), Mg ve MgH₂'nin saf su ve 1 M KCl içerisindeki H₂ üretimini incelemişlerdir. Öğütme süresi (0.5, 3 ve 10 saat), tuz miktarı (%1, %3 ve %10 mol) ve tuz bileşikleri (KCl, NaCl, LiCl ve MgCl₂) gibi reaksiyon parametrelerinin, hidroliz reaksiyonunun dönüşümü ve kinetiğine üzerine olan etkilerini belirlenmiştir. Mg ve Mg-Ni kompozitlerinde yüksek enerjili öğütme uygulanması ve 1 M KCl çözeltisi varlığında daha etkin ve hızlı hidroliz gerçekleştirdiğini tespit etmişlerdir [12]. Liang vd. (2016), kimyasal madde üreten fabrikasından temin edilen Al (%99 saf)'dan H₂ üretimi için kobalt (Co), demir (Fe) ve nikel (Ni) katkılarının etkisini incelemişlerdir. Sadece deiyonize su ve Al eklenerek yapılan denemeler sonucunda H₂ üretiminin gerçekleşmediği ve özellikle Co eklenmesiyle Al-H₂O reaksiyonunun başladığını belirtmişlerdir. Katkılandırma ile reaksiyon esnasında oluşan alümina oksit (Al₂O₃) tabakası hızlıca kırılarak Al-H₂O arasındaki tepkime hızlandırarak ve H₂ üretimi etkin hale getirdiğini belirtmişlerdir [13]. H₂ gazı üretimi Mg metalinin yanı sıra, kompozitlerinden [14] ve magnezyum hidrür (MgH₂)'den gerçekleştirebilmektedir [15-19]. Daha önce Mg atıklarına yönelik gerçekleştirdiğimiz çalışmalarda, hidroliz ortamına eklenen nikel, kobalt, bakır, demir ve mangan (NiCl₂, CoCl₂, CuCl₂, FeCl₃ ve MnCl₂) klorür tuzlarının H₂ gazı üretimi üzerine olan etkilerini inceleyerek en etkin aktivatörün NiCl₂ olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 1. Sirke çözeltilerinin pH ve iletkenlik değerleri (pH and conductivity values of vinegar solutions)

Konsantrasyon, % ağı.	pH	İletkenlik, $\mu\text{s.cm}^{-1}$
0.8	2.80	848
1.6	2.73	1370
2.4	2.68	1776
3.2	2.65	2170
4.0	2.62	2550

[20]. Bununla birlikte, NiCl₂ eklenmiş Marmara ve Ege deniz suları kullanıldığında H₂ üretimi sırasıyla 127 ml.g⁻¹.sn⁻¹ ve 380 H₂ ml.g⁻¹.sn⁻¹ hızlarına ulaşmıştır [21].

Bu çalışmada ise, farklı konsantrasyonlarda biyo-bozunur özellikte aktivatör olan sirke varlığında talaş Mg atıklarından hidrojen üretimi incelenmiş ve hız profilleri oluşturulmuştur.

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

2.1. Hammadde ve Karakterizasyon (Materials and Characterization)

Deneysel çalışmalarda, altın fabrikası plastik kalıplama esnasında atık ürün olarak açığa çıkan talaş Mg hammadde olarak kullanılmıştır. Vakum altında muhafaza edilen atıklar hiçbir ön işlem uygulanmadan deneysel çalışmalarda kullanılmışlardır. Malzemelerin kristal faz özellikleri X-Işınları Difraktometresi (XRD, Philips Panalytical X'Pert Pro, CuK α), elementel dağılımı X-Işınları Floresans Spektrometresi (XRF, Panalytical Minipal4, Standartless Software) ve yüzey özellikleri ise Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM, CamScan, 4nm Au kaplama) enstrümantal analiz teknikleri kullanılarak incelenmiştir.

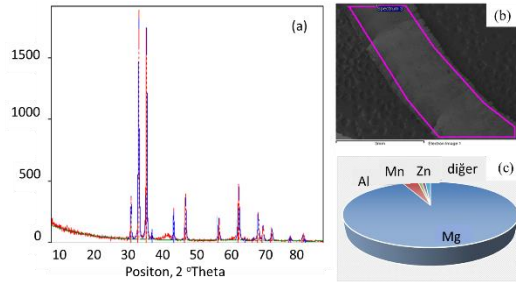
2.2 Hidrojen Gazı Üretimi ve Hız Profillerinin İncelenmesi (Hydrogen Gas Production and Investigation of Rate Profiles)

H₂ gazı üretimi, sıcaklık kontrollü sızdırmaz bir pyrex reaksiyon balonu, gaz transfer boruları ve üretilen H₂ gazının toplandığı mezürden oluşan suyun yer değiştirme prensibini temel alan sistem kullanılarak incelenmiştir. Oda sıcaklığında, Mg atığı (0.01 g) ve sirke (5 ml, 0.8-4% ağı.) çözeltileri 750 rpm hızda karıştırılmış ve üretilen H₂ gazı miktarı belirli sürelerde okunmuştur. Deneysel çalışmalarda, H₂ gazı çıkışı tamamlanana kadar beklenmiş ve üretilen H₂ gazı hacmi zamana karşı grafiğe geçirilerek elde edilen üretim hız profilleri farklı bölgelere ayrılarak ayrıntılı olarak incelenmiştir. Saf su ile gerçekleştirilen hidroliz reaksiyonu ile Mg atıklarından H₂ üretilememiştir. Üzüm sirkesi, ev kullanımı amaçlı Vatan marka olup marketten satın alınmıştır. % 4.0 ağı. lık asetik asit içeren sirke, saf su (6.8 pH, 1.5 $\mu\text{s.cm}^{-1}$) ile farklı konsantrasyonlara (% 3.2, 2.4, 1.6 ve 0.8 ağı.) seyreltilerek aktivatör olarak kullanılmıştır (Çizelge 1). Sirke çözeltilerinin konsantrasyonunun artması ile ortamın asidik özelliği ve iletkenlik değeri artış göstermiştir. Bu değerler, hidroliz ortamındaki H⁺ iyonlarının taşınma hızının artış gösterdiğini ifade etmektedir.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

3.1 Magnezyum Atığının Karakterizasyonu (Characterization of Waste Magnesium)

Talaş Mg'ye ait karakterizasyon sonuçları Şekil 1'de verilmektedir. Kristal ve yüzey özellikleri, elementel dağılımı sırasıyla XRD (a), SEM (b) ve XRF (c) teknikleri kullanılarak belirlenmiştir.

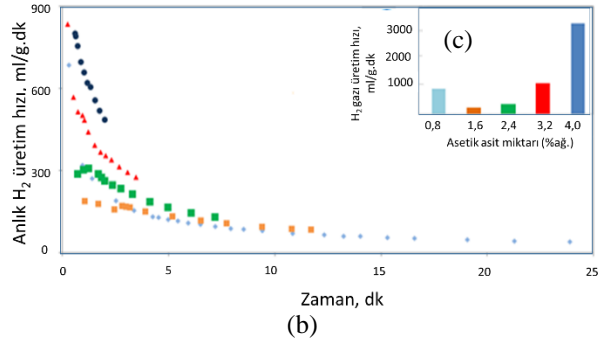
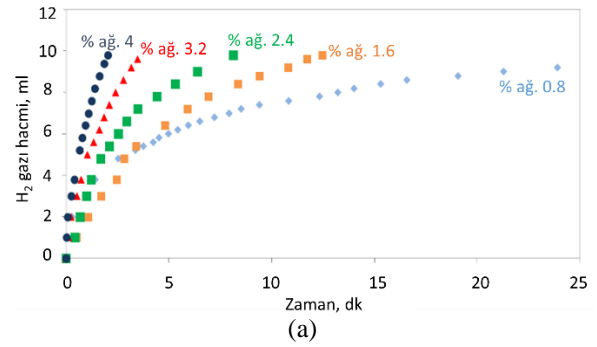


Şekil 1. Talaş Mg'ye ait karakterizasyon sonuçları: (a) XRD paterni, (b) SEM görüntüsü (39X), (c) elementel dağılım (Characterization results of Mg chips: (a) XRD paterni, (b) SEM image, (c) elemental distribution)

XRD analiz sonuçlarına göre kristal yapıdaki ana fazın magnezyum olduğu ve 00-035-0821 numaralı PDF kartı ile eşleştiği belirlenmiştir (Şekil 1a). Bununla beraber, alüminyum (Al, 01-089-2769) ise ikincil faz olarak tespit edilmiştir. Şekil 1b'de verilmekte olan SEM görüntüsü incelendiğinde talaş yapı üzerinde bölgesel çatlaklar tespit edilmiştir. Hammaddenin elementel dağılımı ise XRF analizi ile belirlenmiştir (Şekil 1c). Majör ve minör elementel analiz sonuçları incelendiğinde, majör elementler olarak % 93.30 Mg ve % 3.66 Al içermektedir. Bununla beraber, %0.90 Mn ve % 0.87 Zn içeren numunede krom (Cr), kalsiyum (Ca), kükürt (S), bakır (Cu), kobalt (Co), nikel (Ni) elementlerinin minör miktarlarda (<0.15) bulunmaktadır [22].

3.2 Hidrojen Gazı Üretiminin İncelenmesi ve Hız Profillerinin Belirlenmesi (Hydrogen Gas Production and Investigation of Rate Profiles)

Farklı sirke konsantrasyonlarında gerçekleştirilen hidroliz reaksiyonu ile talaş hammaddesinden üretilen H₂ gazı miktarı, anlık ve başlangıç hız değerlerine ait profiller Şekil 2'de verilmektedir. Şekil 2a'da farklı konsantrasyonlardaki sirke çözeltileri ortamında zamana karşı üretilen hacimsel H₂ gazı miktarları verilmiştir. % 0.8 ağırlık asetik asit içeren sirke çözeltisi varlığında 9.8 ml H₂ gazı üretimi 30.78 dk sonunda tamamlanmıştır. Hidroliz ortamında aktivatör konsantrasyonunun üç



Şekil 2. Farklı sirke konsantrasyonları elde edilen H₂ üretim hacmi (a) ve hızları (b) (H₂ production volume (a) and rate (b) in the presence of different vinegar-acidic acid concentration)

Reaksiyon süresindeki azalma, hidroliz çözeltisinin iletkenlik değerinin ve H⁺ iyonlarının taşınım hızının artması sonucu Eşitlik 1'de verilmekte olan hidroliz reaksiyonun daha hızlı gerçekleşmesi ile mümkün olmuştur. Şekil 2b ve 2c'de farklı konsantrasyonlardaki sirke ortamında H₂ gazı üretimi anlık ve başlangıç hız profilleri verilmiştir. H₂ üretim başlangıç hızı % 0.8 ağırlık asetik asit içeren sirke ortamında 685 H₂ ml.g⁻¹.dk⁻¹ olarak hesaplanmış iken konsantrasyonun % 4.0 ağırlık asetik asit içeren sirke ortamında kullanımı ile hızı 3.5 katına çıkarmıştır. En hızlı ve en verimli hidroliz tepkimesi % 4.0 ağırlık asetik asit aktivatörünün kullanıldığı denemelerde elde edildiği tespit edilmiştir. Çizelge 2 incelendiğinde, 3 farklı bölgede H₂ üretiminin farklı

Çizelge 2. Hız profili bölgeleri ve H₂ üretim hızları (Rate profile regions and H₂ production rate)

Hız Bölgeleri	1. Bölge		2. Bölge		3. Bölge	
Asetik asit miktarı, % ağırlık	Sınırları, dk	Hız, ml.g ⁻¹ .dk ⁻¹	Sınırları, dk	Hız, ml.g ⁻¹ .dk ⁻¹	Sınırları, dk	Hız, ml.g ⁻¹ .dk ⁻¹
1.6	0- 2.73	1370	3.08-8.53	40	8.53-30.78	11
2.4	0- 2.68	1776	2.45-5.21	80	5.21-12.46	41
3.2	0- 2.65	2170	1.67-3.27	141	3.27-8.13	59
4.0	0- 2.62	2550	0.96-1.85	211	1.85-3.71	163

katına çıkarılması (% 2.4 ağırlık asetik asit) ile tamamlanma süresi 8.13 dk ve beş katına çıkarılması (% 4 ağırlık asetik asit) ile 2.02 dk düşüş göstermiştir. En hızlı H₂ üretimi, % 4 ağırlık asetik asit içeren sirke çözeltisi ortamında gerçekleşmiştir.

hızlarla gerçekleştiği görülmektedir. Asetik asit ortamının konsantrasyonundaki değişimin üretim profili bölge sayısını değiştirmemiş olmasıyla beraber, reaksiyon hızlarını etkilediği dikkat çekmektedir.

3 bölge hız profillerine göre en hızlı reaksiyon % 4.0 ağırlık asetik asit ortamında büyük bir farkla daha hızlı şekilde gerçekleşmiş olup 1., 2. ve 3. bölgelerde sırasıyla 569

ml.g⁻¹.dk⁻¹, 430 ml.g⁻¹.dk⁻¹ ve 259 ml.g⁻¹.dk⁻¹ H₂ hızına sahip oldukları belirlenmiştir.

Tüm konsantrasyonlarda, hız profil 1. bölgeden 3. bölgeye üretim ilerlemesi ile H₂ üretim hızında düşüş olduğu görülmüştür. Hiçbir ön işlem uygulanmadan kullanılan talaş formundaki Mg atığının, % 4.0 ağırlık asetik asit varlığındaki oda sıcaklığındaki hidrolizi ile üretilen H₂ gazının ortalama hızı 419.33 ml.g⁻¹.dk⁻¹ olarak hesaplanmıştır.

sirke aktivatörü varlığında gerçekleşen hidroliz reaksiyonunun üretim hızı benzer çalışmalar ile karşılaştırılabilir olduğu görülmüştür: Mg metalinden CoCl₂ varlığında, 50 °C'de 558.60 ml.g⁻¹.dk⁻¹ [11]; saf Mg metalin kullanılarak 0.017 ml.g⁻¹.dk⁻¹ [14], Mg-Ce-Ni alaşımının performansı ilk 1.5 dk. içerisinde 276 ml.g⁻¹.dk⁻¹ [17], La-Mg hidrürden su ortamında 40.1 ml.g⁻¹.dk⁻¹ [19] ve granül Mg metalinin asetik asit ortamında 370 ml.g⁻¹.dk⁻¹ [23]'lük hız değerleri ile H₂ üretimi gerçekleştirildiği araştırmacılar tarafından yayınlanmıştır.

6. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada, geleceğin enerji taşıyıcısı olarak görülen H₂ enerjisi sistemi için hidroliz yöntemiyle atık Mg talaşından H₂ üretimi incelenmiştir. Hidroliz ortamının daha iletken olmasını sağlamak için farklı asetik asit konsantrasyonlarda (% 0.8-4 ağırlık) sirke çözeltileri kullanılmış ve hız profilleri incelenmiştir.

Sirke-asetik asit aktivatör konsantrasyonunun artmasıyla, hidroliz reaksiyonu daha hızlı gerçekleşmekte olup daha verimli H₂ üretimi için ticari üzüm sirkesinin seyreltilmeden kullanımı gerekmektedir. Başta otomotiv sektörü olmak üzere Mg metali kullanılan endüstrilerde atık yönetimi kapsamında, atığın depolanmadan kurum içi enerjinin bir kısmının sağlanması değerlendirilmesi ve yakıt hücrelerinde kullanılmak üzere H₂ gazının üretiminde kaynak olarak kullanılması önerilmektedir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Koordinatörlüğü'ne (Proje No: 2016-07-01-YL05) desteklerinden ötürü teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Uan J.Y., Yu S.H., Lin M.C., Chen L.F. and Lin H.I. "Evolution of hydrogen from magnesium alloy scraps in citric acid-added seawater without catalyst", *International Journal of Hydrogen Energy*, 34: 6137-6142, (2009).
- [2] Jain I.P., Lal C. and Jain A. "Hydrogen storage in Mg: a most promising material", *International Journal of Hydrogen Energy*, 35: 5133-5144, (2010).
- [3] Wang S., Sun L.X., Xu F., Jiao C.L., Zhang J., Zhou H.Y., Huang F.L. "Hydrolysis reaction of ball-milled Mg-metal chlorides composite for hydrogen generation for fuel cells", *International Journal of Hydrogen Energy*, 37: 6771-6775, (2012).

- [4] Yu S.H., Uan J.Y. and Hsu T.L. "Effects of concentrations of NaCl and organic acid on generation of hydrogen from magnesium metal scrap", *International Journal of Hydrogen Energy*, 37: 3033-3040, (2012).
- [5] Liu Y., Wang X., Dong Z., Liu H., Li S., Ge H., and Yan M. "Hydrogen generation from the hydrolysis of Mg powder ball-milled with AlCl₃", *Energy*, 53: 147-152, (2013).
- [6] Yavor Y., Goroshin S., Bergthorson J. M., and Frost, D. L. "Comparative reactivity of industrial metal powders with water for hydrogen production", *International Journal Of Hydrogen Energy*, 40(2): 1026-1036, (2015).
- [7] Javaid A., Essadiqi E., Bell S., and Davis B. "Literature review on magnesium recycling" *Magnesium Technology*, 7-12, (2006)
- [8] Zou M.S., Guo X.Y., Huang H.T., Yang R.J. and Zhang P. "Preparation and characterization of hydro-reactive Mg-Al mechanical alloy materials for hydrogen production in seawater", *Journal of Power Sources*, , 219: 60-64, (2012).
- [9] Zou M.S., Yang R.J., Guo X.Y., Huang H.T., He J.Y. and Zhang P. "The preparation of Mg-based hydro-reactive materials and their reactive properties in seawater", *International Journal of Hydrogen Energy*, 36: 6478-6483, (2011).
- [10] Suryanarayana C., Ivanov E. and Boldyrev V.V. "The science and technology of mechanical alloying", *Materials Science and Engineering: A*, 304-306: 151-158, (2001).
- [11] Sun Q., Zou M., Guo X., Yang R., Huang H. and Huang P., "A study of hydrogen generatiy reaction of an activated Mg-CoCl₂ (magnesium-cobalt chloride) composite with pure water for portable applications", *Energy*, 79: 310-314, (2015).
- [12] Grosjean, M. H. and Roue, L., "Hydrolysis of Mg-salt and MgH₂-salt mixtures prepared by ball milling for hydrogen production", *Journal of Alloys and Compounds*, 416: 296-302, (2006).
- [13] Liang J., Gao L.J., Miao N.N., Chai Y.J., Wang N. and Song X.Q. "Hydrogen generation by reaction of Al-M (M=Fe,Co,Ni) with water", *Energy*, 113: 282-287, (2016).
- [14] Oh S., Kim M., Eom K., Kyung J., Kim D., Cho E. and Kwon H. "Design of MgNi alloys for fast hydrogen generation from seawater and their application in polymer electrolyte membrane fuel cells", *International Journal of Hydrogen Energy*, 41: 5296-5303, (2016).
- [15] Huang M., Ouyang L., Wang H., Liu J., and Zhu M. "Hydrogen generation by hydrolysis of MgH₂ and enhanced kinetics performance of ammonium chloride introducing", *International Journal of Hydrogen Energy*, 40: 6145-6150, (2015).
- [16] Grosjean M. H., Zidoune M., Roue L., and Huot J.-Y. "Hydrogen production via hydrolysis reaction from ball-milled Mg-based materials", *International Journal of Hydrogen Energy*, 31: 109-119, (2006).
- [17] Huang J.M., Ouyang L.Z., Wen Y.J., Wang H., Liu J.W., Che, Z.L. and Zhu M., "Improved hydrolysis properties of Mg₃RE hydrides alloyed with Ni", *International Journal of Hydrogen Energy*, 39: 6813-6818, (2014).
- [18] Ouyang L.Z., Wen Y., Xu Y., Yang X.S., Sun L.X. and Zhu M. "The effect of Ni and Al addition on hydrogen generation of Mg₃La hydrides via hydrolysis", *International Journal of Hydrogen Energy*, 35: 8161-8165, (2010).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>

Kablosuz ağ uygulamaları ile dirençli hata kontrolünün sıvı seviyesine etkisi

Impact of robust error control on fluid level by wireless network applications

Yazar(lar) (Author(s)): İsmail BAYRAM¹, Hale HAPOGLU², Adnan ALDEMİR³

ORCID¹: 0000-0002-5065-4497

ORCID²: 0000-0003-0464-9483

ORCID³: 0000-0001-9884-0961

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz(To cite to this article): Bayram İ., Hapoglu H. ve Aldemir A., “Kablosuz Ağ uygulamaları ile dirençli hata kontrolünün sıvı seviyesine etkisi”, *Politeknik Dergisi*, 21(3): 685-691, (2018).

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

DOI: 10.2339/politeknik.389610

Kablosuz Ağ Uygulamaları ile Dirençli Hata Kontrolünün Sıvı Seviyesine Etkisi

Araştırma Makalesi / Research Article

İsmail BAYRAM^{1,2*}, Hale HAPOĞLU¹, Adnan ALDEMİR³

¹Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Ankara Üniversitesi, Türkiye

²Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Kimya ve Proses Mühendisliği Bölümü, Ahi Evran Üniversitesi, Türkiye

³Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 11.01.2017; Kabul/Accepted : 17.12.2017)

ÖZ

Bu yayında, kablosuz proses kontrolü için geliştirilmiş bir proses simülatörü ve kablosuz iletişim uygulamaları için kullanılan antenler ve modüller gösterilmiştir. İlk defa parametrik olmayan yöntemler ile belirlenen, oransal integral türevsel ayarlama katsayıları kullanılarak dirençli hata kontrol kodunun kablosuz sıvı seviye kontrol deneyleri üzerindeki etkisi araştırıldı. Başlangıç kontrol edici katsayıları, kablosuz iletişimle bir basamak etki değişimine yanıt olarak elde edilen verileri gösteren proses reaksiyon eğrisi kullanılarak belirlendi. İyi ayarlanmış kontrol parametreleri bir MATLAB grafik aracı (SISO) aracılığıyla değerlendirildi. Proses simülatörün öngörülen değerlerini belirlemek için kontrol vanasının sabit açıklık derecesinde (% 10) başlangıç kararlı hal elde edildi ve sistem çıkışı 100s boyunca izlendi. 100 saniyenin sonunda, MATLAB/Simulink blok diyagramındaki kontrol anahtarını değiştirilerek kontrol algoritması etkinleştirildi ve sistemde farklı set noktası değişiklikleri yapıldı ve aynı anda parametrelerin etkisi gözlemlendi. İyi ayarlanmış parametreler ile dirençli hata kontrol kullanılarak farklı set noktalarını takip etmek için yapılan kablosuz kontrol deneylerinde sıvı seviyesinin istenen set değerlerinin etrafında düzelme eğiliminde olduğu görüldü. Önerilen kablosuz kontrol ve iletişim ağı performansları, farklı sıvı seviyeleri için hesaplanan hata karelerinin toplamı (ISE) ve hata mutlak değerlerinin toplamı (IAE) değerleri ile karşılaştırıldı.

Anahtar Kelimeler: Kablosuz iletişim, dayanıklı (güçlü) sıvı seviye kontrolü, MATLAB/Simulink, kablosuz ağ sensörleri, MATLAB/SISO grafik aracı.

Impact of Robust Error Control on Fluid Level by Wireless Network Applications

ABSTRACT

The paper presents a process simulator developed with wireless process control purpose and antennas and modules for wireless communication applications. The impact of robust error control code on wireless liquid level control experiments is investigated by means of three tuning coefficients of the proportional integral derivative actions which are initially determined by using non-parametric methods. The initial controller tuning coefficients were determined using the process reaction curve which sketched the data obtained in response to a step change by wireless communication. The well-tuned control parameters were assessed by means of a MATLAB graphical tool (SISO). To determine the bias values of the process simulator, an initial steady state was obtained and the system output was monitored at the constant control valve openness (10%) for 100s. At the end of 100 seconds, the control key in MATLAB/Simulink block diagram was changed and the control algorithm was activated and different set point changes were given to the system at the same time and the effect of the parameters was observed. It was seen that the liquid level tended to level off around the desired set values in the wireless control experiments performed to follow different set points by using the wireless robust error control with well-tuned parameters. The proposed wireless control and communication network performances were compared with the integral of squared error (ISE) and the integral of absolute error (IAE) criteria at various fluid levels.

Keywords: Wireless communication, robust fluid level control, MATLAB/Simulink, wireless network sensors, MATLAB/SISO graphical tool

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kablosuz iletişim, iki veya daha fazla nokta arasında herhangi bir kablo olmadan bilgi aktarımıdır. Kablosuz iletişimde kablolu iletişime göre kablo hattı döşeme ve bakım onarım gibi maliyetler yoktur. Bilgi alış-verişi havada yayılan elektromanyetik kablolarla gerçekleşmektedir. Herhangi bir kablo bağlantısı olmadığından rahatça hareket edilebilmekte, kullanıcılar için yer ve zaman kısıtlamaları ortadan kalkmaktadır [1].

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : ismailbayram@ahievran.edu.tr

Kablosuz iletişim sistemlerinin kurulumu daha hızlı ve basittir. Kablolu sistemlerin kurulamadığı ve çalışmaların tehlikeli olduğu yerlerde kablosuz iletişim ağları ile iletişim imkânı sağlanır. Dağ, tepe, nehir gibi kablolu iletişimi zor olan doğal alanlarda radyo dalgaları ile kablosuz iletişim kolaylıkla sağlanabilir. Kablosuz iletişim teknolojilerinin uygulama alanları oldukça geniştir. Kablosuz iletişim genel olarak eğitim, sağlık, ulaşım, ticaret, güvenlik, endüstri alanlarında kullanılmaktadır. Kablosuz iletişim sayesinde yakın gelecekte çoğu işin evden yürütülmesi ve böylece trafik,

insan yoğunluğu ve çevre kirliliğinin azalması düşünülmektedir [2].

Endüstriyel bir süreçte yer alan değişkenler; akış hızı, sıvı seviye, sıcaklık, basınç, derişim gibi değerlerdir. Bir kimyasal prosesin çeşitli değişkenlerini sabit tutabilmek için kontrol sistemleri kullanılmaktadır [3-6]. Sıvı seviye kontrolü bir kimyasal proses için çok önemlidir. Bilgisayar sistemlerinin geliştirilmesi ile birlikte artan endüstriyel proseslerin bilgisayar destekli kontrolü; çalışanlar için güvenli bir çalışma ortamı, ürün kalitesindeki farklılığın azaltılması, proses parametrelerinin anlık ve sürekli olarak izlenmesi ve prosesle istenmeyen bir durum oluştuğunda anında müdahale edebilmek açısından büyük fayda sağlamaktadır. Ayrıca proseslerin tasarım, kurulum ve üretim maliyetleri göz önüne alındığında, proseslerin ve çalışanların güvenliğini sağlamak için üretim sırasında değişiklik gösteren, farklı birçok proses parametresinin on-line bilgisayarlarla sürekli olarak ölçüm ve kontrol edilmesi son derece önemlidir [7-8].

PID kontrol ediciler; tasarım, üretim ve temin edilmelerinin kolay olması, ucuz olmaları, prosese monte edilmiş bir cihaz olarak veya bilgisayarda algoritma şeklinde gerçek zamanlı olarak kullanılabilmeleri, çalışma prensiplerinin anlaşılır olması ve kontrol ayar parametrelerinin kolay kullanılabilirliği sonucunda endüstride çok geniş kullanım alanı bulan kontrol sistemleridir. Önce yayımlanmış çalışmalarda PID kontrol ayar parametrelerinin hesaplanması için geliştirilmiş çok sayıda metod mevcuttur. Bu yöntemler parametrik veya parametrik olmayan yapıda tasarlanabilirler ve deneysel olarak sistemin giriş ve çıkış değişken değerlerini kullanırlar. Cohen-Coon yöntemi en eski ve en yaygın kullanılan yöntemlerden birisidir [9]. Proses reaksiyon eğrisi verileri parametrik olmayan yöntemlerde yaygın kullanıma sahiptir. Bu şekilde birinci mertebe iletim fonksiyonu için ölü zaman, zaman sabiti değerleri tespit edilerek oransal kazanç, integral ve türevsel zaman sabitleri hesaplanır. Farklı süreçlerde çıkış değişkenlerinin kontrol edilmesinde pozisyon ve hız formunda farklı PID algoritmaları kullanım alanı bulmaktadır [10-12]. Değişken yapı (DY) PID algoritması sıvı seviye kontrol çalışmaları için önerilmiştir. Bu metod ile yarı doğrusal yapıda olan DY PID için kapalı hat kararlılık ve etkinlik araştırmaları gerçekleştirilmiştir. Kontrol etkinlik karşılaştırmaları yapılarak geleneksel PI sonuçlarına göre DY PI algoritmasının daha iyi olduğu bulunmuştur [13]. Açık hat transfer fonksiyonu kullanılarak yapılan kararlılık incelemeleri ile PID yapısına ait ayar değişkenlerinin büyüklük tayinleri sağlanmaktadır. Doğrusal olmayan dinamik davranışların yüksek ölçüde yer aldığı sürekli karıştırmalı reaktörde geleneksel PID kontrol kullanılarak oransal kazanç ile bir kararlı hal çalışma noktasına ulaşmak için dinamik yönlendirilmektedir. Burada integral hareketi ise tahmin edici görevi görmek ve türevsel zamanı dalgalı cevabı ve aşırı çıkış değişken değişimlerini engelleyici görevini yapmaktadır [14]. Set noktası takibi gerektiren, değişken ölü zamanlı doğrusal

olmayan sistemlerde PID kontrol edici etkinliklerinin genel araştırması yapılmış ve geleneksel kontrol edicilerin kolay ayarlanabilirliği, gürbüzlüğü vurgulanmıştır [15]. Ayrıca PID kontrol edicilerde kullanılan ayar değişkenleri farklı yöntemler ile farklı tasarım kriterleri sağlayacak şekilde hesaplanabilmektedir. Bu tasarımlarda zaman, frekans veya optimizasyon temellerine dayalı olarak ayar parametresi seçimleri oluşmaktadır. Bu üç farklı kontrol ayar parametre setini kullanan PID algoritması etkinliği, farklı endüstriyel proseslere uygulanmıştır. Bu deneysel çalışmadan ayar parametresi hesaplama metodlarının PID ile set noktası takibi veya yük etkisi bertaraf etme üzerine önemli etkiye sahip olduğu belirlenmiştir [16]. Literatürde kablosuz sıvı seviye ölçüm ve kontrolüne yönelik çalışmalar çok az sayıdadır. Ayrıca literatürde PID kontrol katsayılarının deneme-yanılma yöntemine göre MATLAB/SISO grafik aracı ile belirlendiği ve PID kontrol algoritmasının çevrimiçi kullanıldığı MATLAB/Simulink ile yürütülen sıvı seviye kontrolüne yönelik herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmada ilk defa parametrik olmayan yöntemler ile belirlenen, oransal integral türevsel ayarlama katsayıları kullanılarak dirençli hata kontrol kodunun kablosuz sıvı seviye kontrol deneyleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Dinamik bir deney sisteminin kablosuz iletişim ile PID kontrolü için Cohen-Coon ve Deneme-Yanılmayöntemleri ile belirlenen PID kontrol katsayılarının sayısal değerleri (K_c , τ_i , τ_D) kullanılarak kablosuz sıvı seviye kontrol deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonrasında kablosuz sıvı seviye kontrol için kullanılan farklı PID kontrol katsayıları ile farklı sıvı seviyeleri için hesaplanan hata karelerinin toplamı (ISE) ve hata mutlak değerlerinin toplamı (IAE) değerleri karşılaştırılmıştır.

2. DENEY SİSTEMİ VE YÖNTEM (EXPERIMENTAL SYSTEM and METHOD)

Deneysel çalışmalar, Cussons P3005 model proses kontrol simülöründe gerçekleştirilmiş olup, veri iletişimini sağlamak için simülör ile bilgisayar arasında kablosuz bağlantı sağlanmıştır. Kablosuz izleme ve kontrol için yeni ekipman eklentisi yapılmış ve proses kontrol simülörü üzerinde bazı değişiklikler gerçekleştirilmiştir. Simülör giriş değişkenlerinden sıvı seviye kontrol vanası, ısıtıcı ve basınç kontrol vanası kalibre edilerek çıkışları modüllere ilişkilendirilmiştir. Bu modüller iki anten hattında bulunan verileri kullanmaktadır. Kontrol simülörü kumanda panosunda ise elektronik devreler yer almaktadır. Şekil 1'de kablosuz kontrol amacıyla geliştirilen proses simülörü ve Şekil 2'de ise simülör ile bilgisayar arasında kablosuz veri aktarımını sağlayan antenler ve modüller gösterilmiştir. Bu sistemde sıcaklık, basınç, sıvı seviye ve akış hızı ölçüm ve kontrolü yapılabilmektedir.



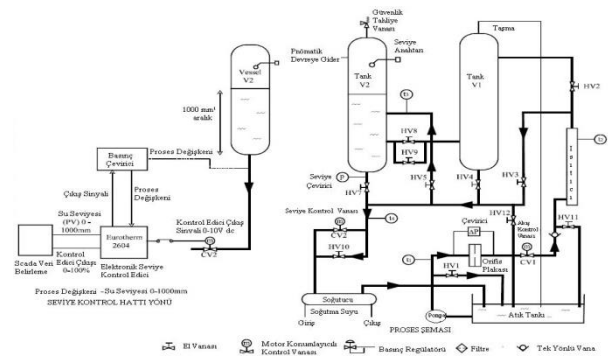
Şekil 1. Kablosuz proses kontrol amacı ile geliştirilen proses simülatorü (Process simulator developed with wireless process control purpose)



Şekil 2. Kablosuz veri aktarımı için kullanılan antenler ve modüller (Antennas and modules for wireless data transmissions)

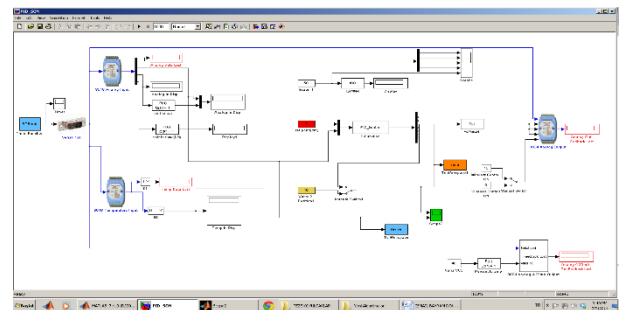
Proses kontrol simülatoründe, bir adet su besleme tankı ve pompası, bir adet ceketli soğutucu, sistemde suyun bulunduğu iki adet cam tank, bir adet elektrik ile çalışan sıvı seviye kontrol vanası (CV1) ve akış hızı kontrol vanası (CV2), bir adet orifis metre, diferansiyel basınç farkını sıvı seviyesine çeviren bir adet transmitter, sıvının taşmasını önlemek amacıyla pompanın otomatik olarak kapanmasını sağlayan sigorta, pnömatik basınç kontrol edici indikatörü, pnömatik basınç kaydedici, pnömatik olarak çalışan basınç kontrol vanası, sisteme istenilen basınç değerindeki havayı ileten iki adet regülatör bulunmaktadır. Bunlara ek olarak sistemde farklı deney düzeneği oluşturabilmek için elle ayarlanan vanalar yer almaktadır. Su tankından pompa yardımı ile çekilen su sırasıyla CV1 ve CV2 tanklarına dolmakta ve CV2 çıkışında seviye kontrol vanasının açıklığına göre CV2'deki sıvı seviyesinin ölçüm ve kontrolü yapılmaktadır. CV2 tankındaki sıvı seviyesi, tankın içindeki suyun oluşturduğu basınç farkının tankın hemen altında bulunan transmitter ile sıvı seviyesine dönüştürülerek dm olarak ölçülmektedir. CV2 tankında su seviyesi belirli bir değere kadar yükseldiğinde otomatik sigorta çalışarak pompayı durdurmaktadır. Ayrıca CV1 tankının tamamen su dolması halinde tankın üstündeki tahliye borusu ile su tankına geri gönderilmekte ve CV2 tankının tamamen dolması halinde ise taşmayı önlemek için CV2 tankının üstünde otomatik olarak çalışan tahliye vanası ile suyun fazlası boşaltılmaktadır. CV1 ve CV2 tanklarının boşalmasını veya taşmasını önlemek amacıyla bu iki tank arasında bulunan by-pass vanası ile gerektiğinde bu iki tank

arasında su geçişi yapılabilmektedir. Proses kontrol simülatoründe sıvı seviye deneyi için seviye kontrol döngüsü ve proses akım şeması Şekil 3'te gösterilmiştir [17].



Şekil 3. Sıvı seviye deneyi için seviye kontrol çevrimi ve proses akış diyagramı (Level control cycle and process flow diagram for liquid level experiment)

Bu çalışmada kullanılan MATLAB, MathWorks Inc. tarafından geliştirilen matematiksel hesaplamalar için güçlü bir yazılım ve görsel paket programıdır. Simulink ise, MATLAB'ın görsel uygulamalar için kullanılan önemli bir parçasıdır. Kablosuz sıvı seviye kontrol deneylerinde kullanılan PID kontrol katsayılarının sayısal değerleri (K_c , τ_i , τ_D) Cohen-Coon ve Deneme-Yanılma yöntemleri ile belirlenerek deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneylerde kullanılan PID kontrol algoritması MATLAB m.file dosyası olarak hazırlanmış ve kablosuz deneylerde bu algoritma s-ışlevini kullanarak çevrimiçi olarak kullanılmıştır. Kablosuz PID sıvı seviye kontrol deneyleri, MATLAB/Simulink ile oluşturulan blok diyagramı ile gerçekleştirilmiş, sonuçlar grafikler ile takip edilerek veriler kaydedilmiştir. PID sıvı seviye kontrol deneylerinin yapıldığı MATLAB/Simulink blok diyagramı Şekil 4'te verilmiştir. Deneyler sonrasında kablosuz sıvı seviye kontrol için kullanılan farklı PID kontrol katsayıları ile farklı sıvı seviyelerinde elde edilen hata karelerinin toplamı (ISE) ve hata mutlak değerlerinin toplamı (IAE) ile karşılaştırılmıştır.



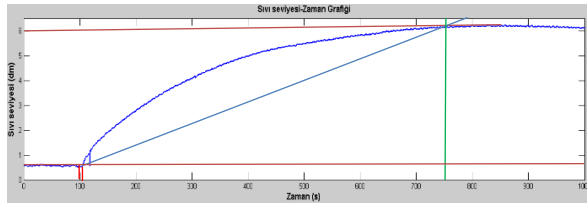
Şekil 4. Kablosuz sıvı seviye kontrol deneyinin MATLAB/Simulink blok diyagramı (MATLAB/Simulink block diagram of liquid level control experiments)

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Başlangıç PID kontrol edici katsayıları, Cohen-Coon yöntemi ile kablosuz olarak bir basamak etki değişimine yanıt olarak elde edilen verileri gösteren proses reaksiyon eğrisi kullanılarak belirlendi. Bu yöntemde prosesin birinci mertebeden ölü zamanlı transfer fonksiyonuna sahip olduğu kabul edilmiştir [9]. İyi ayarlanmış kontrol parametreleri bir MATLAB grafik aracı (SISO) aracılığıyla değerlendirildi. Proses simülasyonun yatışkın hal değerlerini belirlemek için kontrol vanasının sabit açıklık derecesinde (% 10) başlangıç kararlı hal elde edildi ve sistem çıkışı 100s boyunca izlendi. 100 saniyenin sonunda, MATLAB/Simulink blok diyagramındaki kontrol anahtarı değiştirilerek kontrol algoritması etkinleştirildi ve sistemde farklı set noktası değişiklikleri yapıldı ve aynı anda parametrelerin etkisi gözlemlendi.

3.1. Cohen-Coon Yöntemi ile Kablosuz PID Sıvı Seviye Kontrol Sonuçları (Wireless PID Liquid Level Control Results with Cohen-Coon Method)

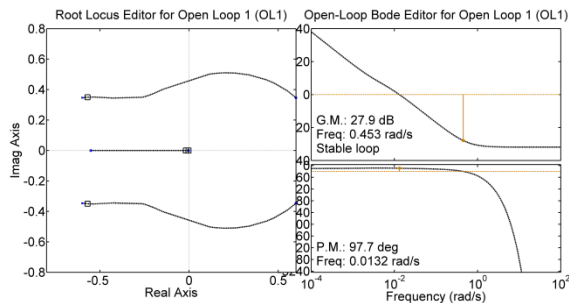
Cohen-Coon yöntemi ile PID ayar parametre değerlerinin belirlenmesinde %10-%65 pozitif basamak etki değerleri kullanılmıştır. Basamak etki sonucunda elde edilen sıvı seviyesinin zamanla değişim grafiği Şekil 5'te verilmiştir. Bu teknik ile hesaplanan parametreler $K_c=22.8$, $T_1=12.3s$, $T_D=1.8s$ MATLAB/SISO tool grafiksel uygulamalarında başlangıç olarak kullanılmıştır.



Şekil 5. Basamak etki sonucu oluşturulan reaksiyon eğrisi (Obtained reaction curve with step effect)

Buradan elde edilene açık hat transfer fonksiyonu Eşitlik (1) ile ve bu eşitlik kullanılarak elde edilen MATLAB SISO tool grafikleri Şekil 6'da verilmiştir;

$$G = \frac{e^{-5s}(0.02545s^2 + 0.01414s + 0.00005)}{s^2 + 0.0062s} \quad (1)$$



Şekil 6. MATLAB SISO tool kullanarak ve $K_c=22.8$, $T_1=12.3s$, $T_D=1.8s$ kontrol edici parametreleri ile elde edilen Root locus grafiği (Root locus diagram generated using MATLAB SISO tool and the controller tuning parameters: $K_c=22.8$, $T_1=12.3s$, $T_D=1.8s$.)

Şekil 6 incelendiğinde kararlı bir kapalı hatsonucuna ulaşıldığını göstermektedir. Bu parametre seti kullanılarak gerçekleştirilen deney sonuçları Tablo 1'de verilmiştir. Farklı set noktası değerlerine karşılık sıvı seviyesinin zamanla değişiminden hesaplanan ISE ve IAE değerleri elde edilmiştir. Bu değerlere göre set noktasının 4 dm olduğu hal için en iyi kontrol etkinliği elde edilmiştir.

Tablo1. Cohen-Coon yöntemi ile katsayıları belirlenen PID kontrol etkinlik değerleri (Performance values of PID control which coefficients are determined with Cohen-Coon)

Set Değerleri	ISE	IAE	U_0	U_n	ϵ_n
3 dm	5669.419	1517.042	10	57.286	-0.125
4 dm	1222.888	674.986	10	60	-0.4
5 dm	1624.476	753.372	10	63.333	0.571
6 dm	3543.412	1146.539	10	65	0.333

3.2. Deneme-Yanılma Yöntemi ile Kablosuz PID Sıvı Seviye Kontrol Sonuçları (Wireless PID Liquid Level Control Results with Trial and Error Method)

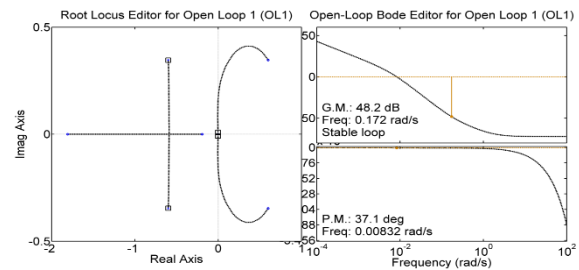
PID kontrol algoritmasındaki K_c , τ_i , τ_D parametreleri MATLAB SISO tool kullanılarak deneme-yanılma yöntemi ile değiştirilerek en iyi sıvı seviye kontrol sonuçlarının elde edildiği katsayılar Tablo 2'de verilmiştir. Verilen PID parametreleri deneme yanılma yöntemi ile belirlenerek farklı set noktalarında kablosuz kontrol deneyleri yapılmıştır.

Tablo2. Deneme-yanılma yöntemi ile belirlenen PID kontrol katsayıları (PID control coefficients determined by trial and error method)

Katsayılar	K_c	τ_i	τ_D
Değerler	0.8	7.2s	0.5s

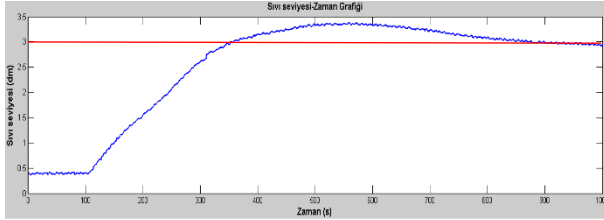
MATLAB SISO tool ile $K_c=0.8$, $T_1=7.2s$, $T_D=0.5s$ PID parametreleri kullanılarak hesaplanan açık hat transfer fonksiyonu Eşitlik (2) ile ve bu eşitlik kullanılarak elde edilen MATLAB SISO tool grafikleri Şekil 7'de verilmiştir;

$$G = \frac{e^{-5s}(0.000248s^2 + 0.000496s + 0.0000862)}{s^2 + 0.0062s} \quad (2)$$

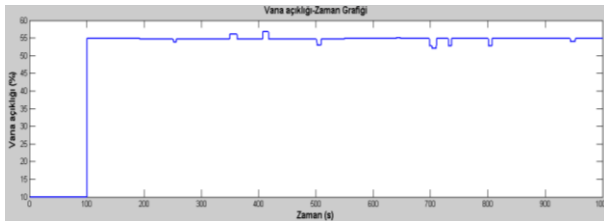


Şekil 7. MATLAB SISO tool kullanarak ve $K_c=0.8$, $T_1=7.2s$, $T_D=0.5s$ kontrol edici parametreleri ile elde edilen Root locus grafiği, (Root locus diagram generated using MATLAB SISO tool and the controller tuning parameters: $K_c=0.8$, $T_1=7.2s$, $T_D=0.5s$)

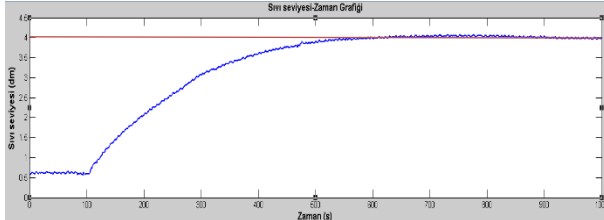
Daha iyi sıvı seviye kontrolü elde etmek amacıyla MATLAB/SISO tool kullanılarak Deneme-Yanılma Yöntemi ile PID kontrol parametreleri belirlenmiş ve yöntemin uygunluğunu ve kontrol edici performansını incelemek için farklı set noktalarında kablosuz sıvı seviye kontrol deneyleri gerçekleştirilmiştir. Kablosuz deneyler sonrasında ISE ve IAE değerleri hesaplanarak Cohen-Coon yöntemiyle hesaplanan ISE ve IAE değerleri ile karşılaştırılmıştır.



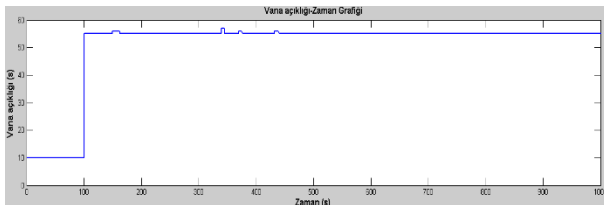
Şekil 8. PID kontrol deneyinde set noktası 3dm için sıvı seviyesi değişim grafiği (Controlled with PID liquid level changes for set point 3 dm)



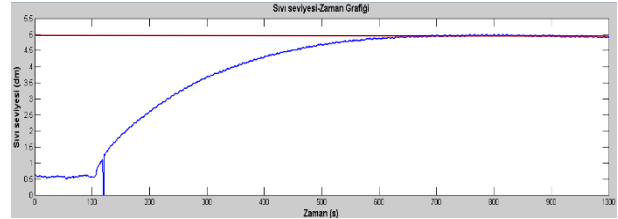
Şekil 9. PID kontrol deneyinde set noktası 3dm için sıvı seviye vana açıklığı değişim grafiği (Liquid level valve position changes for set point 3 dm)



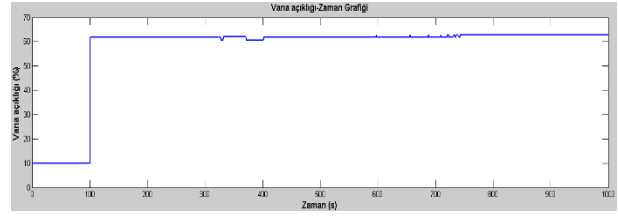
Şekil 10. PID kontrol deneyinde set noktası 4dm için sıvı seviyesi değişim grafiği (Controlled with PID liquid level changes for set point 4 dm)



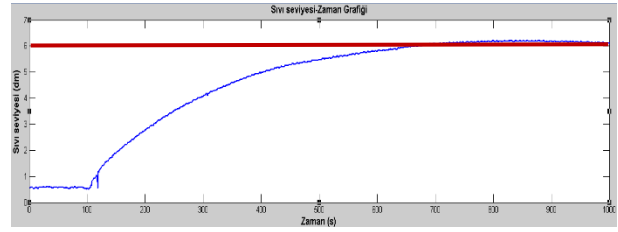
Şekil 11. PID kontrol deneyinde set noktası 4dm için sıvı seviye vana açıklığı değişim grafiği (Liquid level valve position changes for set point 4 dm)



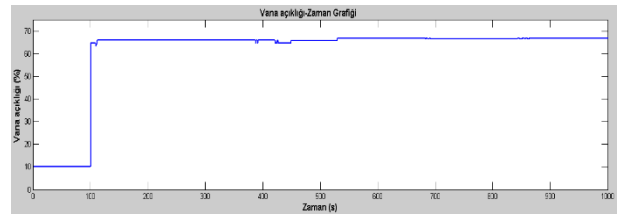
Şekil 12. PID kontrol deneyinde set noktası 5dm için sıvı seviyesi değişim grafiği (Controlled with PID liquid level changes for set point 5 dm)



Şekil 13. PID kontrol deneyinde set noktası 5dm için vana açıklığı değişim grafiği (Liquid level valve position changes for set point 5 dm)



Şekil 14. PID kontrol deneyinde set noktası 6dm için sıvı seviyesi değişim grafiği (Controlled with PID liquid level changes for set point 6 dm)



Şekil 15. PID kontrol deneyinde set noktası 6dm için vana açıklığı değişim grafiği (Liquid level valve position changes for set point 6 dm)

Tablo 3'te farklı set noktası değerlerine karşılık sıvı seviyesinin zamanla değişiminden hesaplanan ISE ve IAE değerleri verilmiştir. Deneme-yanılma yöntemi ile elde edilen ISE ve IAE değerleri ile Cohen-Coon yöntemi ile elde edilen ISE ve IAE değerleri karşılaştırıldığında deneme-yanılma yöntemi ile belirlenen PID kontrol katsayılarının kablosuz sıvı seviye kontrol deneylerinde daha iyi kontrol performansı gösterdiği belirlenmiştir.

Tablo 3. Deneme-Yanılma yöntemi ile parametreleri belirlenen PID kontrol performans değerleri (Performance values of PID control which parameters are determined with trial-and-error method using MATLAB/SISO tool)

Set Değerleri	ISE	IAE
3 dm	962.695	671.136
4 dm	1932.274	894.606
5 dm	3827.774	1273.808
6 dm	5614.768	1521.516

6. SONUÇ (CONCLUSION)

Kablosuz sıvı seviye kontrol deneylerinde öncelikli olarak sıvı seviye kontrol vanası açıklığı %10 değerinde 100s çalıştırılarak sistemin yatışkın hali gözlenmiş, daha sonra PID kontrol algoritması devreye alınarak sistemin kablosuz kontrolü gerçekleştirilmiştir. MATLAB/SISO tool kullanılarak Deneme-yanılma yöntemi ile kablosuz sıvı seviye kontrol deneylerinde en iyi kontrolü sağlayan parametrelerin değerleri $K_c=0.8$, $\tau_i=7.2s$, $\tau_D=0.5s$ olarak belirlenmiştir. Deneme-yanılma yöntemi ile belirlenen PID kontrol katsayılarının kullanıldığı farklı set noktaları için yapılan kablosuz sıvı seviye deney sonuçları incelendiğinde kontrol vanası açıklığının başlangıçta ani bir artıştan sonra çok küçük salınımlarla sabitlendiği gözlenmiştir. Kontrol vanası açıklığına bağlı olarak sıvı seviyesinin düzenli olarak arttığı ve istenilen set değerlerinde sabitlendiği görülmüştür. Deneysel sonuçlara göre deneme-yanılma yöntemi ile bulunan PID katsayılarının kullanıldığı kablosuz sıvı seviye kontrolünde istenilen sıvı seviye değerlerine ulaşarak kablosuz sıvı seviye kontrolü başarıyla sağlanmıştır. 48.2 dB kazanç marjı ve 37.1 derece faz marjı ile dayanaklı (güçlü) kontrol içingereken parametreler belirlendi. Kablosuz sıvı seviye deney sonuçları ile hesaplanan ISE ve IAE değerleri karşılaştırıldığında deneme-yanılma yöntemi ile belirlenen PID kontrol katsayılarının Cohen-Coon yöntemi ile kablosuz sıvı seviye kontrol deneylerine göre daha iyi kontrol performansı gösterdiği belirlenmiştir. Bu sonuçlara dayanarak deneme-yanılma yöntemi ile belirlenen PID kontrol katsayılarının sıvı seviye kontrolünde güvenle kullanılabileceğini göstermiştir.

SİMGELER (SYMBOLS)

K	proses kazancı
K_c	oransal kontrol sabiti
t_d	ölü zaman
U	proses giriş sapma değişkeni
Y	proses çıkış sapma değişkeni
τ	proses zaman sabiti
τ_i	integral zaman sabiti
τ_D	türevsel zaman sabiti
τ_r	proses cevap zamanı

Δ birinci fark operatörü

Kısaltmalar (Abbreviations)

DY	değişken yapı
ISE	hata kareleri integrali
IAE	hata mutlak değeri integrali
PID	oransal integral türevsel

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığı (AÜ BAPRO) 10A4343001 nolu proje ile desteklediği için Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığına çok teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Aldemir A., Hapoğlu H. and Albaz M., "Application of MATLAB/Simulink Program for Wireless Generalized Predictive Control", *International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT)*, 3(12): 19-22, (2014).
- [2] Murari A. and Lotto L., "Wireless Communication Using Detectors Located Inside Vacuum Chambers", *Vacuum*, 72: 149-155, (2004).
- [3] Çetinkaya S., Durmazuçar H. H., Zeybek Z., Hapoğlu H. and Albaz M., "Application of Temperature Control In A Batch Polymerization Reactor At Different Optimal Temperature", *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 28(2): 383-392, (2013).
- [4] Camcıoğlu Ş., Özyurt B., Zeybek Z. and Hapoğlu H., "Experimental Application of One Step Ahead Advanced pH Control To Water-Based Paint Wastewater Treatment", *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 31(3): 655-664, (2016).
- [5] Altuntaş S., Hapoğlu H., Ertunç S. and Albaz M., "Experimental pH Advance Control of The Cheese Whey Batch Kefir-Type Drink Production With Manipulated Base Flowrate", *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 31(3): 709-716, (2016).
- [6] Donatas L., Rimvydas S. and Vytautas G., "Adaptive Set-Point Control System For Microbial Cultivation Processes", *Nonlinear Analysis-Modelling and Control*, 21(2): 153-165, (2016).
- [7] Martin D., Klavco F. J., Janecek F. and Kvasnica M., "Optimal Control of a Laboratory Binary Distillation Column via Regionless Explicit MPC", *Computers and Chemical Engineering*, 96: 139-148, (2017).
- [8] Cancelier A., Claumann C. A., Bolzan A. and Machado R.A.F., "Predictive Control of Batch Polymerization System Using A Feedforward Neural Network With Online Adaptation By Genetic Algorithm", *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 33(1): 177-190, (2016).
- [9] Cohen, G. H. and Coon, G. A., "Theoretical Consideration of Retarded Control", *Transactions of ASME*, 75: 827-834, (1953).

- [10] Aldemir A. and Hapoğlu H., "Comparison of PID Tuning Methods For Wireless Temperature Control", *Journal of Polytechnic*, 19(1): 9-19, (2016).
- [11] Altinten A., Erdogan S., Alioglu F., Hapoglu H. and Albaz M., "Application of Adaptive PID Control With Genetic Algorithm to A Polymerization Reactor", *Chemical Engineering Communications*, 191: 1158-1172, (2004).
- [12] Giwa A., "PI and PID Control of a Fuel Additive Reactive Distillation Process", *ARP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 11(11): 6779-6793, (2016).
- [13] Boiko I., "Variable-Structure PID Controller for Level Process", *Control Engineering Practice*, 21(5): 700-707, (2013).
- [14] Ramirez J. A., Alvarez J., and Schaum A., "On The Global Stability of Conventional PID Control for A Class of Chemical Reactors", *International Journal of Robust and Nonlinear Control*, 22(5): 575-590, (2012).
- [15] Aström K. J. and Hagglund T. H., "The Future of PID Control", *Control Engineering Practice*, 9(11): 1163-1175, (2001).
- [16] Liu G. P. and Daley S., "Optimal-Tuning PID Control for Industrial Systems", *Control Engineering Practice*, 9(11): 1185-1194, (2001).
- [17] Bayram İ., "İleri Kontrol Yöntemleriyle Kablosuz Sıvı Seviye Kontrolü", Doktora Tezi, *Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2015).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>

Investigation of output voltages depending on load in multi output flyback converter

Çok çıkışlı flyback dönüştürücüde çıkış geriliminin yüke bağlı incelenmesi

Yazar(lar) (Author(s)): Salih DİNDAR¹, İres İSKENDER²

ORCID¹: 0000-0001-7177-5338

ORCID²: 0000-0002-5370-8040

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Dindar S. ve İskender İ., "Investigation of output voltages depending on load in multi output flyback converter", *Politeknik Dergisi*, 21(3): 693-700, (2018).

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

DOI: 10.2339/politeknik.389612

Çok Çıkışlı Flyback Dönüştürücüde Çıkış Geriliminin Yüke Bağlı İncelenmesi

Araştırma Makalesi / Research Article

Salih DİNDAR*, İres İSKENDER

Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Müh. Bölümü, Gazi Üniversitesi, Türkiye
(Geliş/Received : 16.06.2017 ; Kabul/Accepted : 18.07.2017)

ÖZ

Günümüz anahtarlamalı güç kaynakları güvenilirliği ve yüksek verimliliğinden dolayı tercih edilmektedir. Birçok anahtarlamalı güç kaynağı topolojisi vardır. Bu topolojilerden birisi de ızalasyonun sağlanıp ve çok çıkışın elde edilebilmesinden dolayı flyback dönüştürücüdür. Tezin bölümlerinde çok çıkışlı flyback dönüştürücü topolojisi anlatılıp örnek bir sistemi matematiksel bağıntıları verilip bilgisayar ortamında modellenmiştir. Bilgisayar ortamında tasarlanan bu model trafodaki yüksüz bir sargıdan geri besleme işareti oranlanıp kontrol devresine verilmektedir. Kontrol devresinden elde edilen kapı sinyali elektronik anahtarı yüksek frekansta tetikleyip çıkış gerilimlerini ayarlamaktadır. Ancak geri besleme işareti tek bir sargıdan alındığından alınan sargının gerilimi istenen değerde tutulmasına rağmen, trafodaki ortak endüktans etkisinden dolayı diğer gerilimlerde yük durumlarına göre ve ya giriş gerilimleri değişimleri sonucu çıkış gerilimlerinde değişimler meydana gelmektedir. Bu değişimleri gösterebilmek için ORCAD 16.6 programından yararlanılıp öngörülen modelin çalışması yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Çok çıkışlı flyback dönüştürücü, psipice.

Investigation of Output Voltages Depending On Load In Multi Output Flyback Converter

ABSTRACT

Switched mode power supplies (SMPS) is currently preferred due to safety and high efficiency. Flyback converter, which is one of topologies used by various switches, is capable of providing voltage isolation and multioutput. This article firstly attempts to investigate the topology of multioutput flyback converter, and then to model it in a computer based simulation utilizing from mathematical analysis. This simulation based modelling is designed to control the integrated circuit (IC) by getting ratio a voltage from unloaded feedback winding. Gate pulse providing from control circuit regulate output voltages by triggering MOSFET. The feedback signal is taken from one of the windings to perform good efficiency and best cost. Although the feedback winding is at desired voltage, other output is to change according to load conditions in outputs or to input voltages, because of mutual inductance and other condition. To represent the variables in the design of a flyback power supply with six isolated output, the model have been run properly on ORCAD 16.6 by showing the transient and steady state simulations of converter. Unlike other simulation programs, this model is fully designed for all nonlinear components without using blocks.

Keywords: Multioutput flyback converter, psipice

1. INTRODUCTION

Today, there are many switching power supplies which widely used in industry due to fast switching response and high stability. Various topologies have been emerged in switching power supplies due to problems of insulation and multioutput. The flyback converters is one of switching power supplies providing multioutput energy storage, insulation and voltage transformation via transformer and also output voltages up to 5000V can be obtained [1-2]. Moreover, when compared to other topologies, flyback converter topology can be used both buck type and boost type in extensive output voltage range [3]. In the many studies [4-6], flyback converters have been designed using opto-coupler for the purpose of isolation. Although an opto-coupler offers easy way to capture the output voltage, its transfer function is

nonlinear, dependent on ambient temperature, to occur time delay and to change its characteristic as a depending on production. These drawbacks impose efficiency and quality of converter circuit [7, 8]. In this article, flyback primary-side control was adopted to control the flyback converter in discontinuous conduction mode (DCM) to perform stable performance. The simulation of a flyback power supply with six isolated output with different voltage levels have been examined and compared with loading and input varieties. Besides, this simulation is close to the truth, unlike many of simulation worked on this converter. In this design, it has been benefit from technical documents [9-16].

2. DESCRIPTION OF THE MULTI OUTPUT FLYBACK CONVERTER

The schematic diagram of a multi output Flyback converter is shown in fig 1. Energy is stored in the

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

magnetic circuit when the switch is turned on and the stored energy is discharged and transferred to the load during off period of the switch.

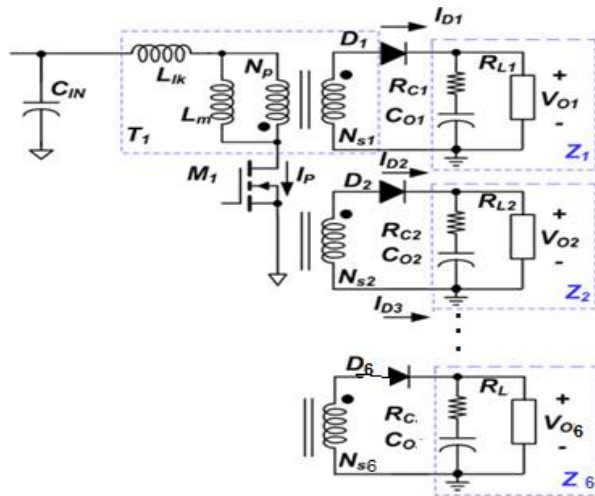


Figure 1. Schematic diagram of multioutput flyback converter.

The specifications and considerations made during design of the converter are explained in the following steps:

2.1. The System Specifications

The converter supplies six independent loads with the rated voltages and currents as: i- 3.3V, 1A, ii- + 5V, 1A, iii- -5V, 250mA, iv- + 15V, 250mA, v- -15V, 250mA, vi- + 25V, 200mA. The line frequency is 50Hz and the line voltage is considered to be in the range of 85 to 265 V. During design the efficiency of the converter (E_{ff}) will be also considered as a criteria such that not to be less than 80%. Maximum output power is given as P_o . The maximum input power (P_{in}) is defined in equation 1.

$$P_{in} = \frac{P_o}{E_{ff}} \quad (1)$$

For multiple output switching mode power supplies (SMPS), the load occupying factor for each output $K_{L(n)}$ for the n-th output is defined as given in equation 2 and $P_o(n)$ is the maximum output power for the n-th output. For single output SMPS, $K_{L(1)}=1$.

$$K_{L(n)} = \frac{P_o(n)}{P_o} \quad (2)$$

2.2. Determining DC Link Capacitor and The DC Link Voltage Range

The typical value of the DC link capacitor value is as 2-3 μ F per watt of input power. In this study, the value of C_{in} is selected as 47 μ F and flyback converter has input voltage range of 85V_{rms} - 265V_{rms}. We may use equations 3 to obtain minimum DC link voltage.

$$V_{DC}^{min} = \sqrt{2 (V_{line}^{min})^2 - \frac{P_{in}(1-D_{ch})}{f_L C_{in}}} = 71V \quad (3)$$

Where D_{ch} is the DC link capacitor charging duty ratio, which is typically about 0.2 because of DC link voltage waveform of single phase. Line frequency (f_L), minimum line voltage (V_{line}^{min}) is respectively 50 Hz, 85V_{rms}.

Maximum line voltage (V_{line}^{max}) is selected 265V_{rms}. The maximum DC link voltage is derived using equation 4.

$$V_{DC}^{max} = \sqrt{2} V_{line}^{max} = 375V \quad (4)$$

2.3. Determining The Maximum Duty Ratio (Dmax)

D_{max} is approximately in the range of 0.45-0.5 for universal input range application. When the MOSFET is turned off, the input voltage (V_{DC}) together with the output voltage reflected to the primary (V_{RO}) are imposed on the MOSFET. In this study, the maximum duty ratio (D_{max}) has been chosen as 0,485. The value of V_{RO} and voltage between drain and source terminals of MOSFET (V_{ds}^{nom}) are determined using equations 5 and 6.

$$V_{RO} = \frac{D_{max}}{1-D_{max}} \cdot V_{DC}^{min} = 67V \quad (5)$$

$$V_{ds}^{nom} = V_{DC}^{max} + V_{RO} = 442V \quad (6)$$

2.4. Determining The Transformer Primary Side Inductance (L_m)

In most of the flyback converter, its operation changes between continuous conduction mode (CCM) and DCM as depending the load condition and input voltage. For both operation modes, considering the worst case in designing, the inductance of the transformer primary side (L_m) is adopted full load and minimum input voltage condition. Therefore, L_m is obtained using equation 7 and f_s is the switching frequency.

$$L_m = \frac{(V_{DC}^{min} \cdot D_{max})^2}{2 P_{in} f_s K_{RF}} = 333\mu H \quad (7)$$

When the flyback converter is operating in CCM, it is appropriate to set $K_{RF} = 0.25-0.5$ for the universal input range and $K_{RF} = 0.4-0.8$ for the European input range. In this study, K_{RF} is chosen as 1 for DCM because of non-subharmonics. After determining of L_m , the maximum peak current (I_{ds}^{peak}) of the MOSFET in normal operation can be obtained from equation 8.

$$I_{ds}^{peak} = \frac{P_{in}}{V_{DC}^{min} D_{max}} + \frac{V_{DC}^{min} D_{max}}{2 L_m f_s} = 1.6A \quad (8)$$

2.5. Determining The Proper Core and The Minimum Primary Turns

Considering the core Etd 3C90, the minimum number of turns for the transformer primary side (N_p^{min}) to avoid the core saturation is given by equation 9.

$$N_p^{min} = \frac{1.12 L_m I_{ds}^{peak}}{B_{sat} A_e} \times 10^6 = 17.7 \text{ Turn} \quad (9)$$

where B_{sat} is the saturation flux density in tesla and approximately 0,3, A_e is the cross-sectional area of the core.

2.6. Determining The Number of Turns For Each Output

The turns ratio (n) between the primary side and first secondary winding

$$n = \frac{N_p}{N_{s1}} = \frac{V_{RO}}{V_{F1} + V_{O1}} = \frac{67}{3,3+0,5} = \frac{N_p}{3} \rightarrow N_p \cong 53 \text{ Turn} \quad (10)$$

with Etd39_3C90 chosen the gap length of the core is calculated with equation 11.

$$G = 40\pi A_e \left(\frac{N_p^2}{1000 L_m} - \frac{1}{A_L} \right) \cong 1.263\text{mm} \quad (11)$$

where A_L is the A_L -value with no gap in nH/turns² and it is chosen 2700 nH/turns² for Etd39_3C90 core examining datasheet. Using equation 10 for each winding, shown as winding turn numbers in table 1. All values are chosen approximate due to designing problem.

Table 1. Calculated winding turn number

Winding	Voltage value (V)	Winding turn number
Secondary1	+3.3	3
Secondary2	+5	4.5
Secondary3	-5	4.5
Secondary4	+15	12
Secondary5	-15	12
Secondary6	+25	20
Auxiliary winding	+15	12

2.7. Determining The Diameters of Conductors

The rms current of the n-th secondary winding is obtained using equation 12. The diameters of different windings are derived considering their current and theirs values are given in Table 2.

$$I_{sec(n)}^{rms} = I_{ds}^{rms} \sqrt{\frac{(1-D_{max})}{D_{max}} \frac{V_{RO} K_{L(n)}}{(V_{O(n)} + V_{F(n)})}} \quad (12)$$

where $V_{F(n)}$ is the diode $D_{R(n)}$ forward voltage.

Table 2. Diameters of the conductors of the windings

Winding	RMS Current value (A)	Wire diameter (mm)
Primary	0.6	0.405
Secondary1	1.7	3.264
Secondary2	1.8	2.588
Secondary3	0.5	2.588
Secondary4	0.5	1.291
Secondary5	0.5	1.291
Secondary6	0.4	1.024
Auxiliary winding	0.1	1.291

2.8. Choosing The Output Diodes and Capacitors

The maximum reverse voltage ($V_{D(n)}$) and the rms current of the rectifier diode $D_{R(n)}$ of the n-th output ($I_{D(n)}^{rms}$) are obtained using equation 13 and 14.

$$V_{D(n)} = V_{O(n)} + \frac{V_{DC}^{max} (V_{O(n)} + V_{F(n)})}{V_{RO}} \quad (13)$$

$$I_{D(n)}^{rms} = I_{ds}^{rms} \sqrt{\frac{(1-D_{max})}{D_{max}} \frac{V_{RO} K_{L(n)}}{V_{O(n)} + V_{F(n)}}} \quad (14)$$

V_{RRM} is the maximum reverse voltage and I_F the average forward current of the diode and their values are determined using equation 15 and 16, respectively.

$$V_{RRM} > 1.3 V_{D(n)} \quad (15)$$

$$I_F > 1.5 I_{D(n)}^{rms} \quad (16)$$

The voltage and current ripple values of the n-th output capacitor are obtained from equation 17 and 18 respectively and appropriately are consisted of table 3.

$$\Delta V_{O(n)} = \frac{D_{max} I_{O(n)}}{f_s C_{O(n)}} + \frac{K_{L(n)} R_{C(n)} V_{RO} I_{ds}^{peak}}{(V_{O(n)} + V_{F(n)})} \quad (17)$$

$$I_{cap(n)}^{rms} = \sqrt{(I_{D(n)}^{rms})^2 - I_{O(n)}^2} \quad (18)$$

2.9. Designing The Snubber Circuit Parameters

When the power MOSFET is turned off, there is a high voltage spike between drain and source terminals due to existence of the transformer leakage inductance. This excessive voltage on the MOSFET may lead to failure of MOSFET. Therefore, it is essential to use an additional circuit to limit this spike voltage. The power dissipated in the snubber circuit (P_{sn}) is determined using equation 19.

$$P_{sn} = \frac{V_{sn}^2}{R_{sn}} = \frac{1}{2} f_s L_{lk} (I_{ds}^{peak})^2 \frac{V_{sn}}{V_{sn} - V_{RO}} \cong 0,8W \quad (19)$$

V_{sn} is the snubber capacitor voltage at the minimum input voltage and full load condition, L_{lk} is the leakage inductance, V_{RO} is the reflected output voltage and R_{sn} is the snubber resistor. V_{sn} should be larger than V_{RO} and it is typical to set V_{sn} to be 2~2.5 times of V_{RO} .

Using equation (19) R_{sn} is obtained as 33.8 kΩ.

The maximum ripple of the snubber capacitor voltage is calculated using equation 20.

$$\Delta V_{sn} = \frac{V_{sn1}}{C_{sn} R_{sn} f_s} \rightarrow C_{sn} = \frac{V_{sn1}}{\Delta V_{sn} R_{sn} f_s} \cong 4,5nF \quad (20)$$

2.10. Designing The Control Parameters

The bode plot is an important tool for stability analysis of closed loop systems. It is based on calculating the amplitude and phase angle for transfer function. In section 2.10, flyback converter will be analysed with bode plots using MATLAB.

A system with feedback control is illustrated with the flow diagram of figure 2. Our system is same as this control system. The control-to-output transfer function

Table 3. The calculated values of output capacitors and value of rectifier diode

Output (V)	Capacitors value (μF)	$I_{cap(n)}$ (A)	$\Delta V_{O(n)}$ (V)	Type of diode	$I_{D(n)}^{rms}$ (A)	$V_{D(n)}$ (V)
+3.3	2200	1.4	0.18	MBR340	1.75	25
+5	2200	1.5	0.19	MBR360	1.83	36
-5	470	0.4	0.07	MBRS420	0.46	36
+15	470	0.4	0.07	MBRS420	0.49	102
-15	470	0.4	0.07	MBRS420	0.49	102
+25	470	0.3	0.06	MBR40250	0.39	168

of the Flyback converter or Power Stage ‘ $H(s)$ ’ and compensation network ‘ $C(s)$ ’ is defined in figure 2.

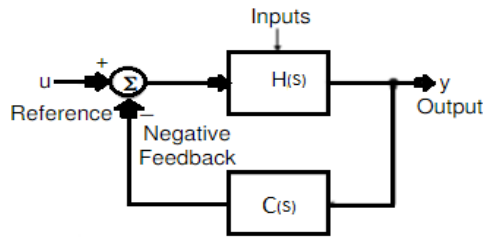


Figure 2. The Flyback with feedback control

Closed loop transfer function is derived from equation 21 [13].

$$T(s) = \frac{H(s)}{1 + H(s)G(s)} \tag{21}$$

For DCM operation, the Flyback converters’ Power Stage ($H(s)$) with current mode control is given by equation 22.

$$H(s) = K \frac{1 + \frac{s}{w_z}}{1 + \frac{s}{w_p}} \tag{22}$$

K can be calculated using equation 23.

$$K = \frac{R_L(1 - D_{max})}{n_{aux} R_{CS} A_v (1 + D_{max})} = 8,33 \tag{23}$$

where voltage gain (A_v) is 3 for SG1842

Sense resistance (R_{CS}), total effective resistance (R_L), turn ratio (n_{aux}) are determined using equation 24, 25 and 26 respectively.

$$R_{CS} = \frac{1.0V}{I_{ds(max)}} = 0,625\Omega \tag{24}$$

$$R_L = \frac{V_o^2}{P_o} = \frac{15^2}{22,05} = 10,2\Omega \tag{25}$$

$$n_{aux} = \frac{N_{aux}}{N_p} = \frac{12}{53} = 0,226 \tag{26}$$

In our converter, $C_o = 40\mu F$, $r_c = 100m\Omega$ for aux is determined. Poles and zeros is given respectively by equation 27, 28.

$$w_z = \frac{1}{r_c C_o} = 250000 \text{ (rad/sn)} \tag{27}$$

$$w_p = \frac{2}{R_L C_o} = 4900 \text{ (rad/sn)} \tag{28}$$

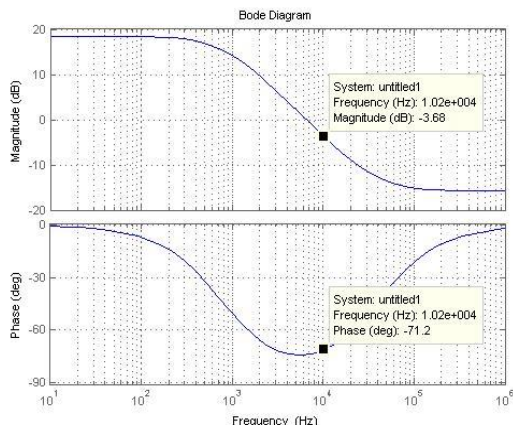


Figure 3. Transfer function of power stage

Figure 3 shows the transfer function of power stage for our example Flyback converter. One can see the poles and zeros and the DC gain as calculated. We need stability for flyback converter. Thus, it has been determined crossover frequency (f_c). There are three conditions to define f_c .

- Right-half-plane zero (RHP) zero crossover limit
- Switching frequency crossover limit
- Capacitor esr crossover limit

It is not important to examine RHP zero crossover limit for DCM flyback due to high frequency. Crossover frequency is theoretically enough half of switching frequency according to Nyquist, but noise becomes an issue in SMPS at this frequency. Thus, this frequency is obtained with equation 29 in reality.

$$f_c \leq \frac{f_s}{5} \tag{29}$$

Other crossover limit is capacitor esr crossover limit. If SMPS is driven by step loading, this limit is unimportant. Esr crossover limit is calculated using equation 30.

$$f_c \leq \frac{1}{2\pi C r_c} \tag{30}$$

In our design, switching frequency crossover limit and capacitor esr crossover limit is calculated respectively 13kHz, 39,8kHz using equation 29 and 30. Thus, crossover frequency (f_c) is selected 10,2kHz. At this crossover frequency, power stage ($H(s)$) is calculated -3,68 DB and -71,2°. Thus, we need to a compensation network. Compensation network is a transfer function which gives one poles. R_b , which is shown in fig 5, doesn’t play any role in the transfer function, but is needed to regulate the output steady-state voltage. (adjusting 2,5V to pin 2)

$$C(s) = \frac{R_a}{R_c (1 + s C_a R_a)} \tag{31}$$

$R_a = 150k\Omega$, $R_b = 4k\Omega$, $C_a = 500pF$, $R_c = 20k\Omega$ as shown in figure 5.

In order to view stability of Flyback converter, we have to know loop transfer function of this system. It can be obtained with equation 32 [14].

$$L(s) = H(s) C(s) \tag{32}$$

Loop transfer function is plotted using equation 31 in figure 4. According to the Nyquist criterion, if the loop gain is at 0 dB and the phase lag at crossover frequency is less than 180°, the system is stable. The phase margin (PM) is the difference between the phase and 180° [15]. However, while a control circuit has been designed, it should not be forgotten that loop transfer function with 30° or less phase margin has a tendency to occurring ring. On the other hand, this systems has fast response [16].

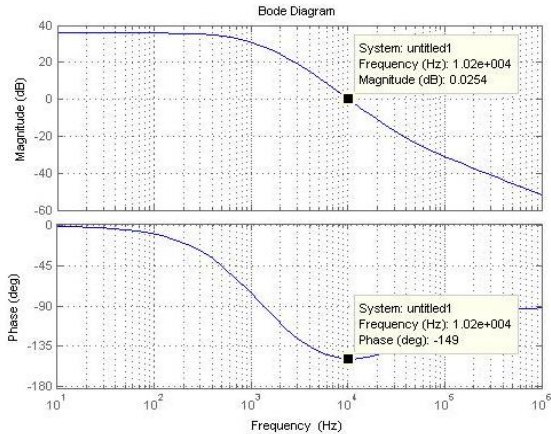


Figure 4. Loop transfer function of flyback converter

In our flyback, loop transfer function of flyback is calculated P.M= 31° at crossover frequency which is 10,2 kHz. Thus, it is observed that the designed system is stable. In addition to this, since the compensation

network with the supply winding is provided in here, both the insulation problem and the nonlinear element (opto-coupler) have been eliminated. In this way, efficiency is increased and cost is reduced.

3. SIMULATION RESULTS

In this simulation study, Orcad Pspice 16.6 program have been used by taking care of eight-winding mutual inductance. Coupling factor (k) is 0,992 between all winding. ‘85-265 V_{AC}’ (universal input) can be used as the input source. Current mode control method has been applied. Thus, IC control has been selected SG1842 in simulation. Besides, Start-up Circuit has been designed to examine transient-state. RCD snubber used parallel to switch because of leakage inductance. All the circuit components which is nonlinear are used as designed in the design example in figure 5.

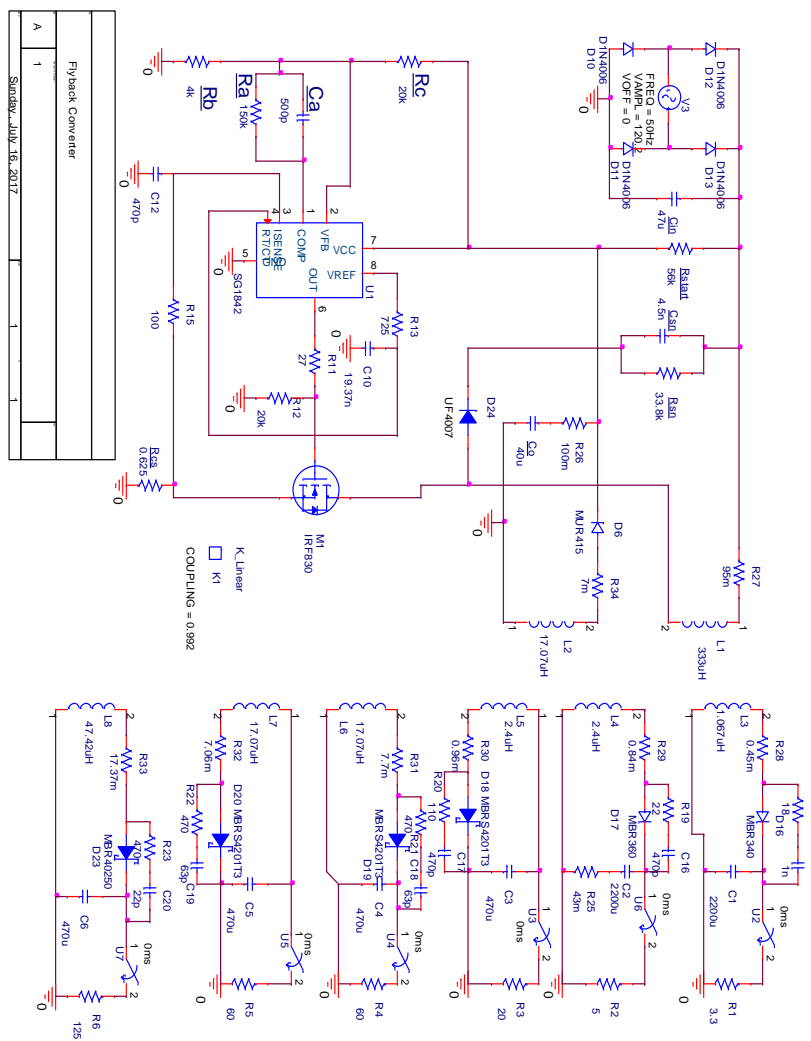


Figure 5. Simulated flyback converter

Table 5. Changing output voltage to loading at input voltage 220V rms

Unloading Winding	Load(%)	Vo1 (3.3V)	Vo2 (5V)	Vo3 (-5V)	Vo4 (15V)	Vo5 (-15V)	Vo6 (25V)
-	100	3.342	5.131	-5.092	14.634	-14.634	24.986
		1.28%	2.61%	1.84%	-2.44%	-2.44%	-0.06%
1,3	79,37	3.754	5.075	-5.542	14.559	-14.559	24.868
		13.75%	1.50%	10.83%	-2.94%	-2.94%	-0.53%
3,4,5	60,31	3.325	5.147	-5.559	15.422	-15.422	25.032
		0.75%	2.94%	11.17%	2.81%	2.81%	0.13%
1,2,6	39,68	3.731	5.611	-5.105	14.688	-14.689	26.640
		13.06%	12.21%	2.09%	-2.08%	-2.07%	6.56%
2,4,5,6	20,63	3.304	5.614	-5.132	15.354	-15.354	26.585
		0.12%	12.28%	2.63%	2.36%	2.36%	6.34%
1,2,3,4,5,6	0	3.733	5.630	-5.521	15.423	-15.423	26.164
		13.12%	12.61%	10.43%	2.82%	2.82%	4.66%

Table 6. Output powers based on percentage load changes at Vin 220Vrms.

Unloading Winding	Loading percentage (%)	Po ₁ (w)	Po ₂ (w)	Po ₃ (w)	Po ₄ (w)	Po ₅ (w)	Po ₆ (w)	P _{total} (W)
-	100	3.3851	5.26441	1.2964	3.5692	3.5692	4.9944	22.0788
1,3	79,37	0	5.15113	0	3.5327	3.5327	4.9473	17.1639
3,4,5	60,31	3.3496	5.29832	0	0	0	5.0128	13.6607
1,2,6	39,68	0	0	1.3028	3.5956	3.5961	0	8.49453
2,4,5,6	20,63	3.3076	0	1.3167	0	0	0	4.62432
1,2,3,4,5,6	0	0	0	0	0	0	0	0

Table 7. Output voltages according to input voltage changes at full load

V _{in}	Vo1 (3.3V)	Vo2 (5V)	Vo3 (-5V)	Vo4 (15V)	Vo5 (-15V)	Vo6 (25V)
85Vac	3.32 0.61%	5.0482 0.96%	-5.0531 1.06%	14.526 -3.16%	-14.527 -3.15%	24.761 -0.96%
130Vac	3.3227 0.69%	5.0591 1.18%	-5.0648 1.30%	14.561 -2.93%	-14.561 -2.93%	24.832 -0.67%
175Vac	3.3397 1.20%	5.1261 2.52%	-5.0875 1.75%	14.62 -2.53%	-14.621 -2.53%	24.951 -0.20%
220Vac	3.3423 1.28%	5.1305 2.61%	-5.0919 1.84%	14.634 -2.44%	-14.634 -2.44%	24.986 -0.06%
265Vac	3.3427 1.29%	5.1311 2.62%	-5.0924 1.85%	14.635 -2.43%	-14.636 -2.43%	24.997 -0.01%

Table 5 shows the changes in the output voltages of the designed flyback converter with load changes. The output voltages change due to the mutual inductance between the windings. The changes in voltage on the windings do not exceed 15 percent of their nominal voltages. Table 6 shows output powers based on percentage load changes at Vin 220Vrms. The Flyback

converter operates as a stable system at the output load changes. Output voltages are given according to the input voltage changes of the designed flyback converter in table 7. The increase in the input voltage of the designed model is observed to increase slightly in the output voltage

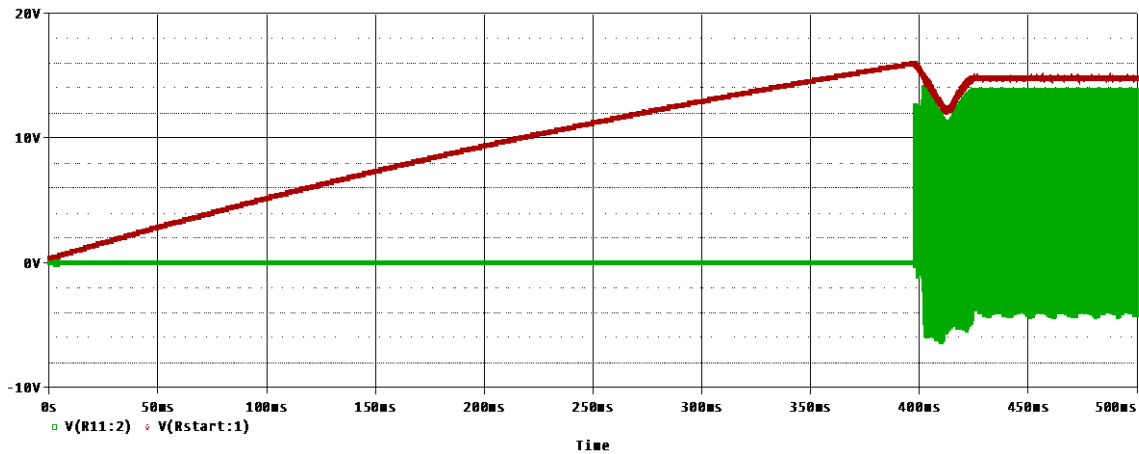


Figure 6. Bulk capacitor voltage at input voltage 85Vrms using full load

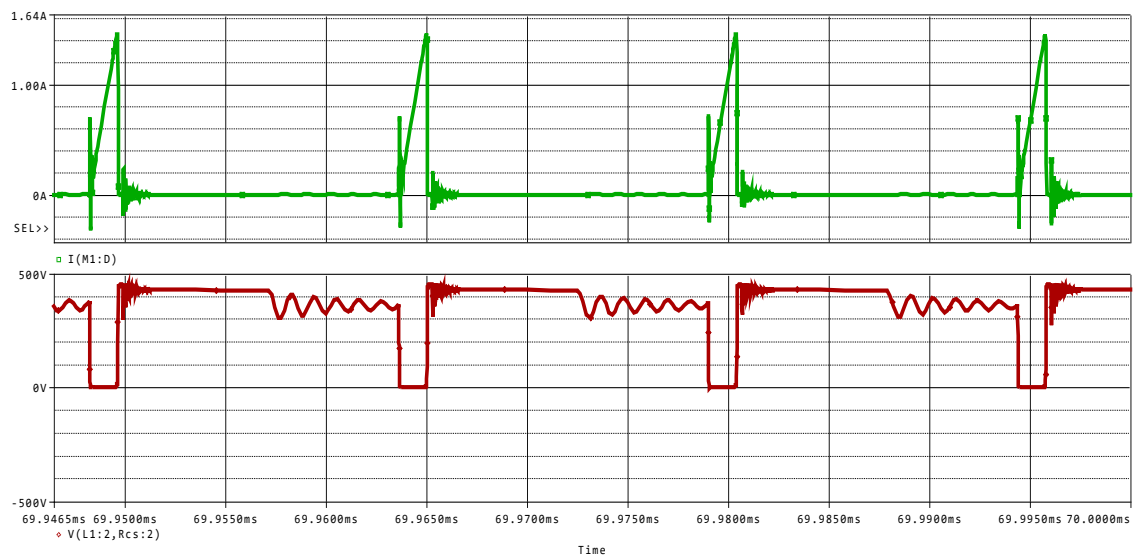


Figure 7. Waveforms of drain current and voltage at 265Vac and full load condition

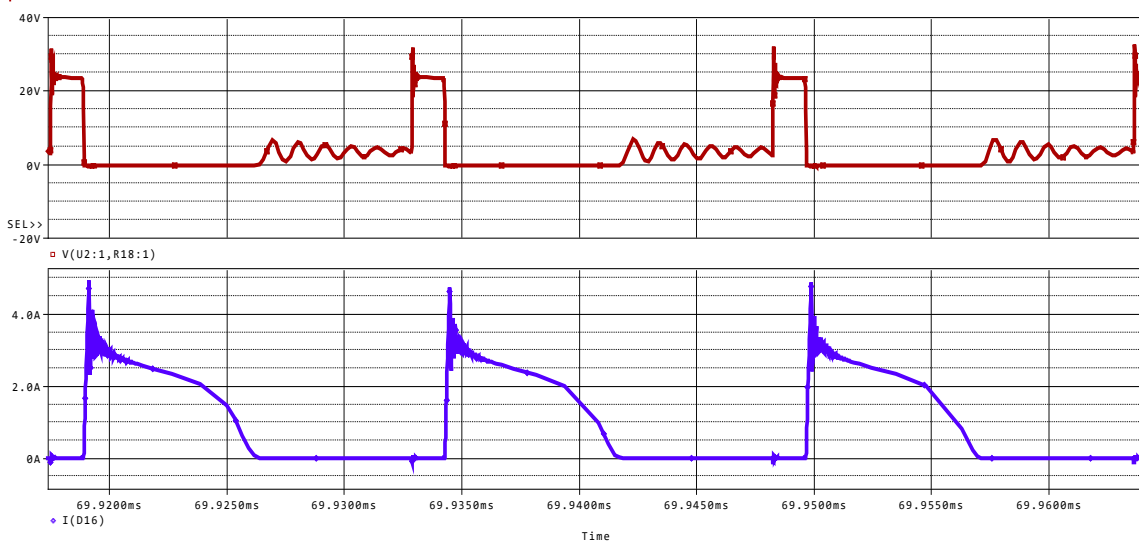


Figure 8. Current and voltage waveforms of the first output (3.3V) rectifier diode at 265Vac and full load condition

The bulk capacitor is to provide enough energy to prevent its voltage from dropping below the UVLO-off threshold during start-up. It is given cycle between 10-16V bulk voltage to run SG1842. It shouldn't be forgotten that when V_{bulk} firstly become 17V, SG1842 will run in this range. Thus, the aux output voltage is taken 15V in this converter. The aux winding output (bulk voltage) is to reach its regulated level in figure 6. Figure 7 shows the FPS drain current and voltage waveforms at the maximum input voltage and full load condition. The maximum voltage stress on the MOSFET is about 450V, which is lower than the designed value (500V). Figure 8 shows the current and voltage waveforms of the first output (3.3V) rectifier diode. The maximum reverse voltage of this diode was calculated as 25V in Fig. 8 and the measured value is 32V and figure 9 is to show efficiency of designed flyback.

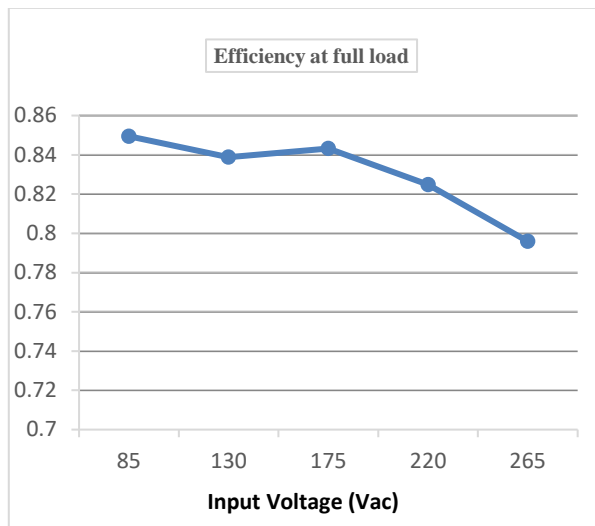


Figure 9. Simulated efficiency at full load

4. RESULTS

In this study, the design of a multiple output flyback converter circuit has been simulated in pspice environments. Firstly, the number of outputs, the output voltages and corresponding currents for the design have been identified. Secondly, components of proposed converters' power stage have been calculated. Besides, the simulation study has been carried out using eight-winding mutual inductance. Thirdly, control circuit has been designed using bode plot. At this point, a non-opto-coupler solution is to bring a significant improvement for both system performance and production cost. Lastly, it has been shown changing of output voltages at both input varieties and load changes. Importance of this paper is that all components used in simulation have nonlinear and proposed eight windings transformer is to include mutual inductance between each of windings. Mutual inductance is to occur slightly changings at output voltages. When flyback converter has been designed in a good way, it shouldn't be forgotten effect of mutual inductance.

REFERENCES

- [1] Chen, T.H., Lin, W.L., Liaw, C.M., "Dynamic modeling and controller design of flyback converter", *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems* 35(4): 1230 – 1239, (1999).
- [2] Pressman A.I., "Switching Power Supply Design", Second Edition, *McGraw-Hill*, United States of America, (1998).
- [3] Wang, H., Gong, C., Ma, H., Yan, Y., "Research on a novel interleaved flyback DC/DC converter", *1st IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications*, Singapore, 1-5 (2006).
- [4] Lo, Y.K., Lin, J.Y., "Active clamping zvs flyback converter employing two transformers", *IEEE Transactions on Power Electronics*, 22(6): 2416-2423, (2007).
- [5] Lin, B.R., Huang, C.E., Huang, K., Wang, D., "Design and implementation of zero-voltage-switching flyback converter with synchronous rectifier", *IEE Proc.-Electr.Power Appl.*, 153(3): 420-428, (2006).
- [6] Naresh K M ,Umavathi M , Mohan HR, " Multi output Fly back Converter with Switching/Linear Post Regulators", *International Journal of Recent Development in Engineering and Technology*, 2(6): 21-26 (2014).
- [7] Tue T. Vu, Seamus O'Driscoll, John V. Ringwood, "Primary-side sensing for a flyback converter in both continuous and discontinuous conduction mode", *IET Irish Signals and Systems Conference*, 1-12, Maynooth, (2012).
- [8] Tiger Zhou, (2009), "Primary-Side Sensing Takes Complexity out of Isolated Flyback Converter Design", pp.30-31, *Linear Technology Magazine*, 17(4): 30-31, (2009).
- [9] Fairchild, "Design guidelines for off-line flyback converters using fairchild power switch", Application Note, AN-4137, 1-18, (2003).
- [10] Freescale, "Semiconductor, MC34670 usage and configuration", Application Note (AN3279), 15-30 (2009).
- [11] ON Semiconductor, "How to keep a flyback switch mode supply stable with a critical-mode", Controller Note (AN1681), 1-4, (2000).
- [12] Richtek Technology, "Feedback control design of off-line flyback converter", USA, Application Note (AN017), 3-11, (2014).
- [13] Mitchell, D., Mammano, B., "Designing Stable control Loops", Texas Instruments, Dallas, 1-3, (2002).
- [14] Aström, K.J., "Control System Design Lecture Notes for ME 155A", California, 252-253, (2002).
- [15] Dixon, L.H., "Control Loop Cookbook", Texas Instruments, Dallas, 2-8, (2002).
- [16] Richtek Technology, "ACOT Stability testing", USA: Note AN03, 2-6, (2013).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>

Dizel motorlarda performans ve egzoz emisyonlarının n-hexadecane katkı maddesi ile iyileştirilmesi

Improvement of performance and exhaust emissions in diesel engines by addition of n-hexadecane material

Yazar(lar) (Author(s)): Mehmet ÇELİK

ORCID: 0000-0002-3390-1716

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Çelik M., “Dizel motorlarda performans ve egzoz emisyonlarının n-hexadecane katkı maddesi ile iyileştirilmesi”, *Politeknik Dergisi*, 21(3): 701-706, (2018).

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

DOI: 10.2339/politeknik.382994

Dizel Motorlarda Performans ve Egzoz Emisyonlarının n-hexadecane Katkı Maddesi ile İyileştirilmesi

Araştırma Makalesi / Research Article

Mehmet ÇELİK*

Niğde Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Niğde Ömer Halisdemir, Türkiye

(Geliş/Received : 23.09.2017 ; Kabul/Accepted : 05.10.2017)

ÖZ

Yakıtların fiziksel ve kimyasal özellikleri; motor performansı ve emisyonları önemli ölçüde etkilemektedir. Yakıt kalitesini arttırmak, daha iyi yanma ve emisyonları azaltmak için yakıt içerisine çeşitli katkı maddeleri ilave edilmektedir. Bu katkı maddeleri hidrokarbonların daha iyi yanması için katalitik bir etki oluşturur. Bu çalışmada, dizel yakıtına ilave edilen n-hexadecane katkı maddesi değişen yakıt özelliklerinin motor performansı ve egzoz emisyonları üzerine etkisi incelenmiştir. Deneyler sonucunda n-hexadecane ilave edilen yakıtların viskozitesi azalırken setan sayısı artmaktadır. Yakıt özelliklerinde ki bu iyileşme, yakıtın silindir içerisine püskürtüldüğünde daha iyi atomize olmasına ve yanma kalitesinin artmasına neden olmaktadır. Deneyler sonucunda en iyi iyileşme %16 n-hexadecane (DHD16) oranında elde edilmiştir. 2800 l/min'de dizel yakıtına göre (D0) güç %1.06 artarken, özgül yakıt tüketimi %2.38 azalmaktadır. Karbon monoksit (CO) emisyonu %10.24, hidrokarbon (HC) emisyonu %19.31, is emisyonu %19.96 azalmaktadır. Yanma kalitesinin iyileşmesi ısı yayılımının yükselmesine sebep olurken azot oksit (NO_x) emisyonu %6.66 artırmıştır. Setan sayısındaki artışa bağlı olarak maksimum silindir basıncı artmış tutuşma gecikmesi azalmıştır.

Anahtar Kelimeler: n-hexadecane, yakıt katkıları, egzoz emisyonları, dizel motorlar, motor performansı.

Improvement of Performance and Exhaust Emissions in Diesel Engines by Addition of n-hexadecane Material

ABSTRACT

Physical and chemical properties of fuels significantly affect engine performance and emissions. Various additives are added to the fuel to improve fuel quality, better combustion and reduce emissions. These additives create a catalytic effect for better combustion of hydrocarbons. In this study, the effect of varying fuel properties on engine performance and exhaust emissions of n-hexadecane additive added to diesel fuel was investigated. As a result of the experiments, while the viscosity of n-hexadecane added fuels decreased, the cetane number increased. This improvement in fuel properties leads to better atomization and increased combustion quality when fuel is injected into the fuel cylinder. As a result, the best improvement was obtained at 16% n-hexadecane (DHD16) ratio. At 2800 l/min, the power increases by 1.06% compared to diesel fuel (D0) while the brake specific fuel consumption decreases by 2.38%. Carbon monoxide (CO) emission decreases by 10.24%, hydrocarbon (HC) emission decreases by 19.31% and smoke emission decreases by 19.96%. Improvement of combustion quality caused increase of heat emission while nitrogen oxide (NO_x) increased the emission by 6.66%. Due to the increase in cetane number, the maximum cylinder pressure increased and the ignition delay decreased.

Keywords: n-hexadecane, fuel additives, exhaust emissions, diesel engines, engine performance

1.GİRİŞ (INTRODUCTION)

Dizel motorlar yüksek ısı verim, dayanıklılık, yakıt ekonomisi ve sağlıklarından dolayı tarım, ulaşım ve sanayi gibi çeşitli sektörlerde kullanılmaktadır. Bu tür avantajlarına rağmen PM, is ve NO_x gibi zararlı emisyonlardan dolayı çevresel kaygıları artırmaktadır. İnsan sağlığı açısından tehlikeli olduğundan bu emisyonlar ile ilgili düzenlemeler tüm dünyada giderek daha sıkı hale gelmektedir. Ayrıca, yüksek talep ve lüks tüketim fosil yakıt rezervlerinin tükenmesine yol açmıştır [1-2].

Sınırlı seviyedeki enerji üretimi, artan enerji talebi, fosil yakıtların tükenmesi, küresel ısınma, olumsuz çevresel etkileri ve sıkı emisyon standartları araştırmacıları dizel yakıt kalitesini iyileştirme üzerine çalışmalara teşvik etmiştir. Dizel motorlardan kaynaklı emisyonları ve yakıt tüketimin azaltmak için dünya çapında önemli araştırmalar yapılmaktadır [3]. Dizel motorlarda yakıt-hava karışımı, oksidasyon, silindir içerisindeki gazların türbülansı, yanan gazların silindir duvarlarına ısı transferi, atomizasyon ve buharlaşma özellikleri yanma verimini etkiler [4]. Yakıtın viskozitesi, moleküler yapı ve enerji içeriğindeki farklılıkları yanma işlemini değiştirebilir. Viskozite yakıtın moleküler yapısını ve

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : mehmetcelik@ohu.edu.tr

enerji içeriğindeki farklılıkları etkilediğinden yanma sürecini değiştirebilir [5]. İyi bir atomizasyon yanma odası içinde ince yakıt damlacıklarına yol açarak, daha yüksek verim ve daha düşük emisyon oluşumuna önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır [6-7]. Tutuşma, yanma ve kirlenici emisyon oluşumu atomizasyon özelliklerinden etkilenir [6].

Yakıtın fiziksel özelliklerini iyileştirmek, daha iyi yanma ve zararlı egzoz gazlarını azaltmak için yakıt içerisine çeşitli katkı maddeleri ilave edilmektedir. Bu katkı maddeleri hidrokarbonların daha iyi yanması için katalitik etki oluşturmaktadır [8]. Petrol ürünlerinde kullanılan katkı maddeleri genellikle petrol bazlı hammaddelerden elde edilirler. Katkı maddelerinin tür ve yapıları, ne kadar gerektiği kullanılacağı ürünlere göre değişir. Dizel motor emisyonlarındaki azalma ve motor verimliliğini iyileştirme yakıt katkı maddeleri

sağlanarak sabit motor çalışma sıcaklığında 6 farklı devirde yapılmıştır. Motor deneyleri; Antor 3LD510 dizel motorunda yapılmış, motor yüklemeye donanımı olarak Net Fren marka motor dinamometresi kullanılmıştır. Motorun yüklenmesi anındaki değerler, 1 gr hassasiyetinde, 0–200 kg aralığında ölçüm yapabilen CAS marka SBA 200L model yük hücresi kullanılarak okunmuştur. Dinamometrenin devir ölçüm aralığı 0–6500 1/min ve tork ölçüm aralığı 0–450 Nm'dir. Motor test düzeneği Şekil 1'de görülmektedir. Deney motoru teknik özellikleri Çizelge 2'de görülmektedir. Test sürecinde egzoz emisyonlarının ölçümü için Bosch-BEA 350 model emisyon ölçüm cihazı ve duman emisyonu ölçümü için Bosch RTM 430 model duman ölçüm kiti kullanılmıştır.

Çizelge 1. Test yakıtlarının fiziksel ve kimyasal özellikleri (Chemical and physical properties of the test fuels)

	Setan Sayısı	Yoğunluk (g/cm ³)	Viskozite (mm ² /s, 40 °C)	Alt Isıl Değer (MJ/kg)	Ref.
Dizel (D0)	52.1	0.838	2.40	41.30	---
DHD8	55.2	0.826	2.33	42.10	---
DHD16	57.9	0.802	2.29	42.92	---
n-hexadecane	100	0.759	2.21	---	[10-11]

kullanılarak elde edilebilir. Yakıt katkılarının kullanımının dizel motor performansına etkileri birçok araştırmacı tarafından çalışılmış ve umut verici sonuçlar elde edilmiştir [4]. Dizel yakıtlar, esas itibarıyla, düz alkanlar (aynı zamanda n-alkanlar olarak da bilinir), dallanmış alkanlar (aynı zamanda izoalkanlar olarak da bilinir), siklo-alkanlar (sikloalkanlar gibi) gibi çeşitli temel yapısal sınıflara ayrılabilen farklı türde hidrokarbon türlerinin kompleks karışımlarını ve aromatik bileşiklerini içerir [9]. Tüm bu sınıflar arasında düz alkanlar, genellikle sıvı yakıtların en sık bileşenidir. Bununla birlikte, kısa zincirli vekil yakıt modellerinin, gerçek yakıtların yanma kinetiklerini yeteri kadar temsil edemediği görülmüştür. Bu sebeple, n-dodekan, n-tetradekan ve n-hexadecane (HD) gibi uzun zincirli, düzalkanlar için yedek modeller, karşılaştırılabilir kaynama aralığından ötürü dizel yakıtlar için geliştirilmiştir [9]. Bu çalışma da dizel yakıt (D0) içerisine hacimce %8 (DHD8) ve %16 (DHD16) oranlarında n-hexadecane katkı maddeleri ilave edilmiştir. n-hexadecane (n-C₁₆H₃₄), dizel yakıt termodinamik özelliklerini modellemek için referans yakıt olarak yaygın olarak kullanılır [10]. Dizel yakıtı içerisine n-hexadecane katkı maddesi ilave edilerek yakıt özelliklerinin ve buna bağlı performans ve emisyon karakteristiklerinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır.

2. MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHODS)

n-hexadecane setan sayısı 100'dür [11]. Katkı maddesi ilave edilen yakıtların özellikleri Çizelge 1'de gösterilmiştir. Motor deneyleri kararlı çalışma koşulları

Çizelge 2. Deney motoru teknik özellikleri (Technical specification of the test engine)

Model	3 LD 510
Motor tipi	Dört zamanlı, Direkt enjeksiyonlu
Silindir sayısı	1
Silindir hacmi, cm ³	510
ÇapxStrok, mm	85x90
Sıkıştırma oranı	17.5:1
Maksimum motor devri	3300 1/min
Maksimum motor torku	32.8 Nm
Maksimum motor gücü	9 kW
Soğutma şekli	Su soğutmalı



Şekil 1. Deney düzeneğinin şematik görünümü (Schematic view of the experimental setup)

Silindir basıncı ölçüm sistemi, silindir basınç sensörü, amplifikatör, enkoder, veri toplama kartı, sinyal koşullandırıcı ve filtresi elemanlarından oluşmaktadır. Silindir içi basıncın ölçülmesinde Kistler marka 6052C model piezoelektrik basınç sensörü kullanılmıştır. Silindir basıncı, motorun her bir çevrimi için, bir iş çevrimi boyunca her 1°KA aralığında 720 °KA boyunca alınan silindir içi basınç verilerinin ölçülmesi ile tespit edilmiştir. Silindir içi basınç verileri en az 50 çevrimin ortalaması alınarak tespit edilmiştir. Silindir içi basınç verileri 1°KA aralıklarla alınmakta ve dijital sinyallere çevrilmektedir. Dijital sinyallere çevrilen basınç verilerinin türevi alındığında ısı dağılımı hesabında gürültü ortaya çıkmaktadır. Bu gürültünün önlenmesi amacıyla basınç verileri aşağıda belirtilen fonksiyon ile filtrelenmektedir. Yapılan çalışmada ısı dağılımı 4. dereceden filtreleme işlemine tabi tutulmuştur. Silindir içi basınç sinyalleri Eş. 1’de ki Taylor serisi formatında 4. seriye göre açılabilir.

$$\begin{aligned}
 P_{i+2} &= P_i + \frac{2P_i'd\theta}{1!} + \frac{2^2P_i''d\theta^2}{2!} + \frac{2^3P_i'''d\theta^3}{3!} + \frac{2^4P_i''''d\theta^4}{4!} + \dots \\
 P_{i+1} &= P_i + \frac{P_i'd\theta}{1!} + \frac{P_i''d\theta^2}{2!} + \frac{P_i'''d\theta^3}{3!} + \frac{2^4P_i''''d\theta^4}{4!} + \dots \\
 P_i &= P_i \\
 P_{i-1} &= P_i - \frac{P_i'd\theta}{1!} - \frac{P_i''d\theta^2}{2!} - \frac{P_i'''d\theta^3}{3!} - \frac{2^4P_i''''d\theta^4}{4!} - \dots \\
 P_{i-2} &= P_i - \frac{2P_i'd\theta}{1!} - \frac{2^2P_i''d\theta^2}{2!} - \frac{2^3P_i'''d\theta^3}{3!} - \frac{2^4P_i''''d\theta^4}{4!} - \dots
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Dört adet düğüm noktasına göre fonksiyonun 1. merteye türevi Eş. 2’de ki gibi olmaktadır.

$$P_i = \frac{P_{i-2} - 8P_{i-1} + 8P_{i+1} - P_{i+2}}{12d\theta}
 \tag{2}$$

Sonuçta elde edilen verilerde meydana gelen gürültüyü azaltmak amacıyla filtreleme işlemi uygulanmıştır. Deneysel ölçüm sırasında silindir basınç algılayıcısından gelen veriler, silindir hacminin anlık değişimi, yanma ve silindir duvarına ısı transferi gibi faktörlerden etkilenmektedir ve yanma, grafik üzerine etki eden en önemli faktörlerdir. Basınç verileri ısı yayılım oranı hesaplanmak için kullanılmıştır. Isı yayılım oranını termodinamiğin birinci yasası uygulanarak tek bölgeli yanma modeline göre Eş.3 ile hesaplanmıştır.

$$\frac{dQ_{net}}{dt} = \frac{k}{k-1} P \frac{dV}{dt} + \frac{1}{k-1} V \frac{dP}{dt}
 \tag{3}$$

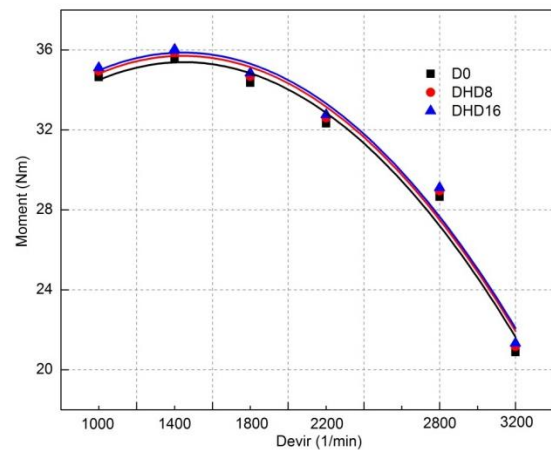
dQ_{net}/dt ; net ısı yayılım oranı, k; özgül ısıların oranını ifade etmektedir. Termik verim ve motor gücü ısı transferinden etkilenmektedir. Emme supabı kapanışı ile egzoz supabı açılışı arasında geçen süre boyunca, ısı yayılımı analizi ile silindir içerisindeki olgular incelenirken ısı transferinin göz önünde bulundurulması gerekli olmaktadır. Newton’un soğuma yasasına göre içten yanmalı motorlar için ısı transferi Eş. 4 ile hesaplanır.

$$\frac{dQ_{ht}}{d\theta} = h_c A_g (T_g - T_w) \left(\frac{1}{\epsilon n} \right) \quad (J^\circ KA)
 \tag{4}$$

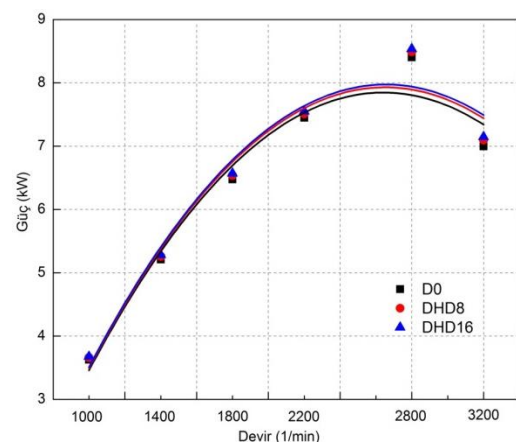
h_c ; ısı transfer katsayısı (W/m^2K), A_g ; krank açısına bağlı anlık yanma odası yüzey alanı (m^2), T_g ; silindire giren dolgu sıcaklığı (K), T_w ; silindir duvar sıcaklığı (K), n ; devir ($1/min$)’ dir.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULT AND DISCUSSION)

Şekil 2 ve Şekil 3’de dizel yakıtı içerisinde n-hexadecane ilave edilen yakıtların moment ve güç grafikleri görülmektedir. Maksimum moment 1400 1/min’de elde edilmiştir. Dizel yakıtında maksimum moment 35.54 Nm olurken D0 yakıtına göre DHD8 yakıtında %0.92 DHD16 yakıtında %1.37 artış meydana gelmiştir. Maksimum güç 2800 1/min’de elde edilmiştir. Maksimum güç D0-DHD8 ve DHD16 yakıtlarında sırasıyla 8.40 – 8.49 ve 8.53 kW elde edilmiştir. Dizel motorlarda moment ve özgül yakıt tüketimini etkileyen yakıt özellikleri; alt ısıl değer, viskozite ve yoğunluktur [12]. n-hexadecane ilave edilen yakıtların motor gücü ve momentinin yüksek olması, iyi atomizasyon ve artan yanma verimliliğinin sonucu olarak düşünülebilir.



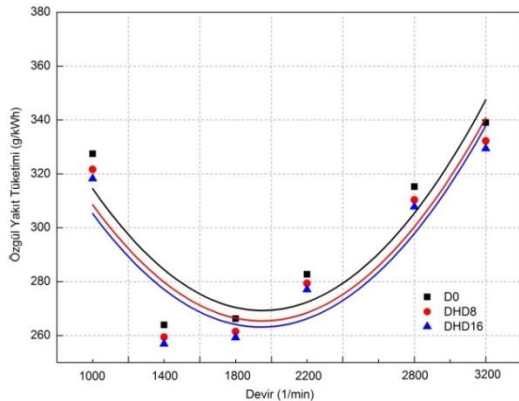
Şekil 2. Motor momentinin motorun devir sayısı ile değişimi (tam yük) (Change of engine torque with engine speed-full load)



Şekil 3. Motor gücünün motorun devir sayısı ile değişimi (tam yük) (Change of engine power with engine speed-full load)

Şekil 4' de katkı maddesi ilave edilen yakıtların özgül yakıt tüketimi grafiği görülmektedir. Minimum özgül yakıt tüketimi maksimum momentin elde edildiği 1400 1/min'de elde edilmiştir. 1400 1/min'de D0 yakıtında 263.92 g/kWh olurken DHD8 yakıtında 259.44 g/kWh DHD16 yakıtında 256.92 g/kWh olmuştur. Özgül yakıt tüketimindeki maksimum azalma 3200 1/min'de DHD16 yakıtında %2.85 olmuştur. Yakıt içerisine n-hexadecane katkı maddesi ilavesi viskoziteye, yoğunluğu azaltırken ısı değer, setan sayısını arttırmaktadır. Yakıt özelliklerinin iyileşmesi yakıtın; silindir içerisindeki nüfuzunu ve atomizasyonunu olumlu yönde etkilerken hava/yakıt karışımının da iyileşmesine neden olur. Püskürtülen yakıtın daha iyi yanmasını özellikle de buharlaşma özelliğini dengeler. Bu da özgül yakıt tüketiminin olumlu şekilde etkiler [13].

Şekil 5' de silindir basıncı ve ısı yayılımı grafiği görülmektedir. Silindir gaz basıncı grafiği incelendiğinde maksimum silindir gaz basıncı DHD16 yakıtında 96.59 bar ve üst ölü noktadan 7 °KA sonra meydana gelmiştir. Isı yayılımı grafiğinde ise maksimum ısı yayılımı DHD16 yakıtında 0.0307 kJ/°KA meydana gelirken D0 yakıtında 0.2713 kJ/°KA, DHD8 yakıtında 0.2860 kJ/°KA olmuştur. Isı yayılım oranı dizel motorlarda yanma sürecini karakterize etmek için önemli bir parametredir [14].

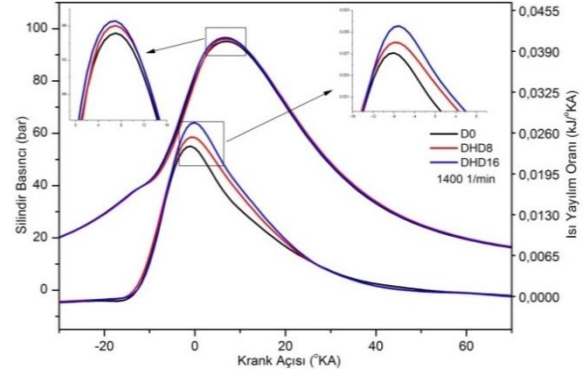


Şekil 4. Özgül yakıt tüketiminin motorun devir sayısı ile değişimi (tam yük) (Change of brake specific fuel consumption with engine speed-full load)

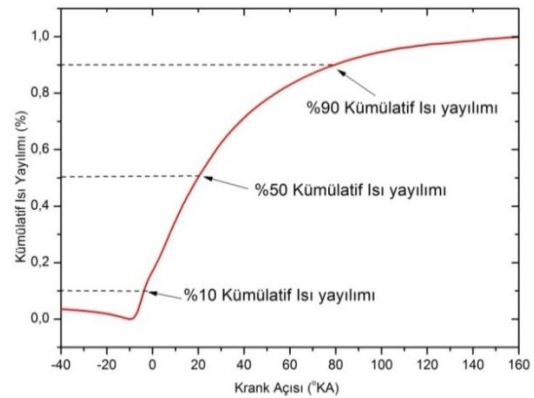
Tüm test yakıtlarında maksimum ısı yayılımı hemen hemen aynı krank açısında meydana gelmiştir. Viskozite yakıtın moleküler yapısını ve enerji içeriğindeki farklılıkları etkilediğinden yanma işlemi değiştirebilir. n-hexadecane ilave edilen yakıtların viskozite ve yoğunluğunda olumlu yönde iyileşme olduğu görülmektedir. Bu püskürtme esnasında daha küçük yakıt damlacıklarına sebep olacağından maksimum silindir basıncı ve ısı yayılım oranı artar [5]. n-hexadecane ilave edilen yakıtlarda tutuşma gecikmesinin kısalmasıyla yanma daha erken başlayacağından maksimum ısı yayılımı artmaktadır. Daha yüksek setan sayılı yakıtlar genel olarak daha düşük tutuşma gecikmesine sebep olurlar [15]. Basınç grafikleri incelendiğinde silindir gaz

basınçlarındaki artışın güç grafiği ile uyumlu olduğu görülmektedir.

Şekil 6'da kümülatif ısı yayılımı eğrisi üzerinde ki parametrelerden ilki yanma süresinde ilk alev oluşum zamanını belirten yanma başlangıcıdır. Yanma başlangıcı silindir basıncının ikinci derece türevinin sıfır olduğu nokta göz önüne alınarak belirlenebilir [16].



Şekil 5. Silindir içi gaz basıncının ve ısı yayılım oranının krank açısı ile değişimi (Variation in-cylinder gas pressure and heat release of rate with crank angle)

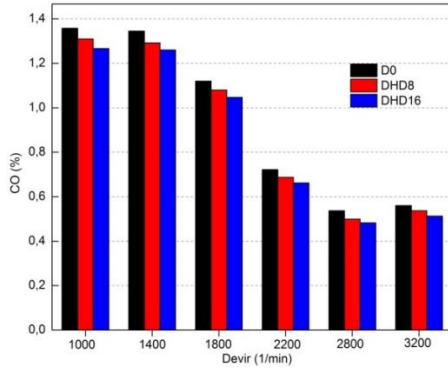


Şekil 6. Kümülatif ısı yayılım oranı (Cumulative heat release phase graphics)

Yanma süresi kümülatif ısı yayılım eğrisinden tahmin edilmektedir. Yanmanın başlangıcı ile %90 ısının çıktığı nokta arasındaki süre yanma süresidir [1]. Maksimum momentin elde edildiği 1400 1/min'de tutuşma gecikmesi D0 yakıtında 13 °KA olurken n-hexadecane ilave edilen DHD8 ve DHD16 yakıtlarında sırasıyla 12 ve 10 °KA olmuştur. Yine n-hexadecane ilave edilen yakıtlarda minimum yanma süresi DHD16 yakıtında meydana gelmiştir. Yakıtın viskozite ve yoğunluğunun azalması ile yakıt-hava karışım oranını reaksiyon hızı artar buda yanma süresini azaltır [17]. n-hexadecane ilave edilen yakıtlarda püskürtülen yakıtın daha geniş alana nüfuz etmesini sağlar. Bu yanma sırasında yakıtın hava ile daha iyi karışmasına fırsat verir ve yanma daha kısa sürede tamamlanarak art yanma safhasına sarkmaz [18].

CO oluşumu yanmanın kalitesi ile bağlantılıdır ve eksik yanma ile artış eğilimindedir [19]. CO'nun oluşumu yakıtın fiziksel-kimyasal özelliklerine bağlı olarak

değişir [21]. Şekil 7 ve Şekil 8’ de n-hexadecane ilave edilen yakıtların CO ve HC emisyonu grafikleri görülmektedir. 1400 1/min’de D0 yakıtına göre CO emisyonlarında DHD8 yakıtında %3.94 DHD16 yakıtında %6.31 azalma meydana gelmiştir. HC emisyonunda ise D0 yakıtında 353 ppm olurken D0 yakıtına göre DHD8 yakıtında %10.19 DHD16 yakıtında %18,41 azalma meydana gelmiştir. 2800 1/min’de CO ve HC emisyonlarında maksimum azalma %16 n-hexadecane ilave edilen DHD16 yakıtında sırasıyla %10.24 ve %19.31 olmuştur. n-hexadecane ilave edilen yakıtlarda viskozite ve yoğunluğun iyileşmesi, setan sayısındaki artışa bağlı olarak buharlaşma hızı arttığından yanma ve püskürtme kalitesi daha iyi olur. Yanma hızı artarak daha yüksek yanma sıcaklıklarına ulaşılır. Bunun sonucunda CO ve HC emisyonu azalır [21-22].

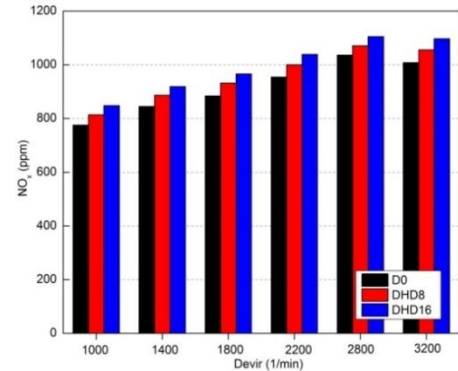


Şekil 7. Yakıt türüne göre karbon monoksit emisyonları değişimi (Change of fuel type carbon monoxide emissions)

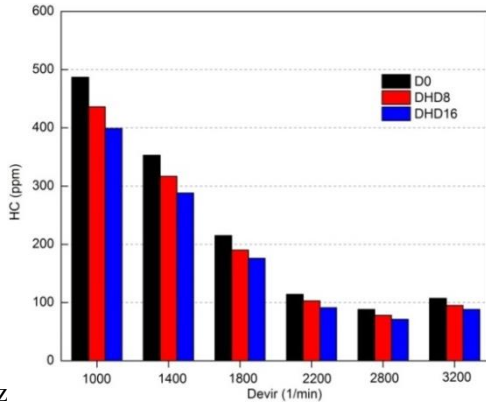
Şekil 9’da n-hexadecane ilave edilen yakıtların NO_x emisyonları grafiği görülmektedir. Devir artışıyla birlikte NO_x emisyonları artarken maksimum gücün elde edildiği 2800 1/min’den sonra silindir içerisinde yanma süresi kısaldığı için NO_x emisyonları tekrar azalma eğilimi olmuştur.

Maksimum momentin elde edildiği 1400 1/min’de D0 yakıtına göre NO_x emisyonunda ki artış DHD8 ve DHD16 yakıtlarında sırasıyla %4.97 ve %8.75 olmuştur. n-hexadecane oranının artmasıyla NO_x emisyonlarının da arttığı görülmektedir. Devir artışıyla birlikte silindir içerisinde hava-yakıt konsantrasyonu artacağından yanma odasında ortalama gaz ısısının yükselmesine neden olur buda NO_x emisyonunu artırır. n-hexadecane ilave edilen yakıtlarda tutuşma gecikmesindeki azalmaya bağlı olarak yanma daha iyi tamamlanacağından silindir içi sıcaklıkta artmaktadır. Silindir içi sıcaklığın artması hidrokarbon oksidasyonunu artırır ve maksimum silindir basıncı ve ısı yayılımı arttığından NO_x emisyonlarında artış meydana gelmektedir.

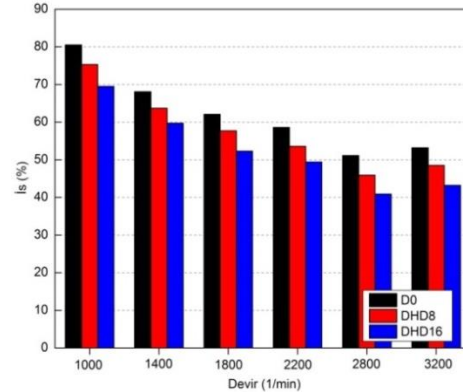
Şekil 10’da n-hexadecane ilave edilen yakıtların is emisyonları grafiği görülmektedir. Yakıt içerisinde n-hexadecane oranının artmasıyla is emisyonları azalmaktadır. Minimum is emisyonu 2800 1/min’de meydana gelmektedir. D0 yakıtına göre is emisyonlarında azalma DHD8 yakıtında %10.17 olurken DHD16 yakıtında %19.96 olmuştur. Yakıt içerisine n-hexadecane ilavesi ile viskozite ve yoğunluğunun iyileştirilmesi ile is emisyonlarının da azaldığı görülmektedir. Viskozite ve yoğunluğun iyileşmesi yakıt atomizasyonunu ve yanma kalitesini olumlu etkilemektedir. Böylece yanma prosesi esnasında oluşan is partiküllerinin oksidasyon sıcaklığı düşer ve bunun sonucunda is emisyonlarında azalmalar olur [20].



Şekil 9. Yakıt türüne göre azot oksit emisyonları değişimi (Change of fuel type nitrogenoxides emissions)



Şekil 8. Yakıt türüne göre hidrokarbon emisyonları değişimi (Change of fuel type hydrocarbon emissions)



Şekil 10. Yakıt türüne göre is emisyonları değişimi (Change of fuel type smoke emissions)

4. SONUÇ (CONCLUSIONS)

Dizel yakıt içerisinde karıştırılan n-hexadecane yüzdesinin artmasıyla viskozite ve yoğunluğun azaldığı altı ısı değer ve setan sayısının arttığı görülmüştür. Viskozite ve yoğunluktaki azalma silindir içerisinde püskürtülen yakıtın daha küçük damlacık çapına sahip olmasına neden olur. Yakıt damlacıklarının buharlaşması için gerekli sürenin kısılması ve silindir içerisinde yakıt hava karışımının daha iyi olmasını sağlar. Buda yanma ve emisyon karakteristiklerini iyileştirerek moment ve gücün artmasına özgül yakıt tüketiminin azalmasına neden olur. NO_x emisyonları harici diğer emisyonların azalmasını sağlar. Yakıt içerisinde ilave edilecek n-hexadecane karışım yüzdesinin sınırı yakıt özelliklerini etkilediği için yakıtın kullanılabilirliği açısından da çok önemlidir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Kaimal V.K. and Vijayabalan P., “A detailed study of combustion characteristics of a DI diesel engine using waste plastic oil and its blends”, *Energy Conversion and Management*, 105: 951-956, (2015).
- [2] Du J., Sun W., Guo L., Xiao S., Tan M., Li G. and Fan L., “Experimental study on fuel economies and emissions of direct-injection premixed combustion engine fueled with gasoline/diesel blends”, *Energy Conversion and Management*, 100: 300-309, (2015).
- [3] Çelik M., Solmaz H. and Yücesu H.S., “Examination of the effects of organic based manganese fuel additive on combustion and engine performance”, *Fuel Process. Technol.* 139: 100-107, (2015).
- [4] Shahabuddin M., Liaquat A.M., Masjuki H.H., Kalam M.A. and Mofiruj M., “Ignition delay, combustion and emission characteristics of diesel engine fueled with biodiesel”, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 21: 623-632, (2013).
- [5] Mangus M., Kiani F., Mattson J., Tabakh D., Petka J., Depcik C., Peltier E. and Stagg-Williams S., “Investigating the compression ignition combustion of multiple biodiesel/ULSD (ultra-low sulfur diesel) blends via common-rail injection”, *Energy*, 89: 932-945, (2015).
- [6] Ghasemi A., Barron R.M. and Balachandar R., “Spray-induced air motion in single and twin ultra-high injection diesel sprays”, *Fuel*, 121: 284-297, (2014).
- [7] Agarwal A.K., Som S., Shukla P.C., Goyal H. and Longman D. “In-nozzle flow and spray characteristics for mineral diesel, Karanja, and Jatropha biodiesels”, *Applied Energy*, 156: 138-148, (2015).
- [8] Lenin M.A., Swaminathan M.R. and Kumaresan G., “Performance and emission characteristics of a DI diesel engine with a nano-fuel additive”, *Fuel*, 109: 362-365, (2013).
- [9] Poon H.M., Pang K.M., Ng H.K., Gan S. and Schramm J., “Development of multi-component diesel surrogate fuel models – Part I: Validation of reduced mechanisms of diesel fuel constituents in 0-D kinetic simulations”, *Fuel*, 180: 433-441, (2016).
- [10] Wang X., Wang X. and Chen J., “Experimental investigations of density and dynamic viscosity of n-hexadecane with three fatty acid methyl esters”, *Fuel*, 166: 553-559, (2016).
- [11] Parmar S., Pant K.K., John M., Kumar K., Pai S.M. and Newalkar B.L. “Hydroisomerization of n-hexadecane over Pt/ZSM-22 framework: Effect of divalent cation exchange”, *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 404-405: 47-56, (2015).
- [12] Öztürk E., “Performance, emissions, combustion and injection characteristics of a diesel engine fueled with canola oil-hazelnut soapstock biodiesel mixture”, *Fuel Process. Technol.* 129: 183-191, (2015).
- [13] Çaynak S., Gürü M., Biçer A., Keskin A. and İçingür Y., “Biodiesel production from pomace oil and improvement of its properties with synthetic manganese additive”, *Fuel*, 88: 534-538, (2009).
- [14] Tesfa, B., Mishra, R., Zhang, C., Gu, F. and Ball, A.D. “Combustion and performance characteristics of CI engine runnin with biodiesel”, *Energy*, 51: 101-115, (2013).
- [15] Challen B. and Baranescu R., “Diesel Engine Reference Book, Second edition”, McFarland, ISBN: 0-7506-2176-1, (1984).
- [16] Avinash A., Natarajan S. and Mahalakshmi N.V., “Lean homogenous combustion of E-diesel using external mixture formation technique”, *Alexandria Engineering Journal*, 54: 271-279, (2015).
- [17] Liu H., Wang Z., Wang J., He X., Zheng Y., Tang Q. and Wang J., “Performance, combustion and emission characteristics of a diesel engine fueled with polyoxymethylene dimethyl ethers (PODE3-4)/diesel blends”, *Energy*, 88: 793-800, (2015).
- [18] Ashraful A.M., Masjuki H.H., Kalam M.A., Rashedul H.K., Sajjad H. and Abedin M.J., “Influence of anti-corrosion additive on the performance, emission and engine component wear characteristics of an IDI diesel engine fueled with palm biodiesel”, *Energy Convers. Manag.* 87: 48-57, (2014).
- [19] Oliveira A., Morais A.M., Valente O.S. and Sodré J.R., “Combustion characteristics, performance and emissions from a diesel power generator fueled by B7-ethanol blends”, *Fuel Process. Technol.* 139: 67-72, (2015).
- [20] Keskin A., Ocakoğlu K., Reşitoğlu I.A. and Gürü M., “Influence of titanium based fuel additive on diesel engine performance and emission”, *J. Fac. Eng. Archit. Gazi Univ.* 28 (3): 671-676, (2013).
- [21] Venu H. and Madhavan V., “Influence of diethyl ether (DEE) addition in ethanol-biodiesel-diesel (EBD) and methanol-biodiesel-diesel (MBD) blends in a diesel engine”, *Fuel*, 189: 377-390, (2017).
- [22] An H., Yang W.M., Maghbouli A., Li J., Chou S.K., Chua K.J., Wang J.X. and Li L., “Numerical investigation on the combustion and emission characteristics of a hydrogen assisted biodiesel combustion in a diesel engine”, *Fuel*, 120: 186-194, (2013).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>

Characterization of soft sets by $\tilde{\delta}$ -soft operations

Esnek kümelerin $\tilde{\delta}$ -esnek operasyonlarla tanımlanması

Yazar (Author): Güzide ŞENEL

ORCID: 0000-0003-4052-2631

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Şenel G., “Characterization of soft sets by $\tilde{\delta}$ -soft operations”, *Politeknik Dergisi*, 21(3): 707-713, (2018).

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

DOI: 10.2339/politeknik.389631

Characterization of Soft Sets by $\tilde{\delta}$ -soft Operations

Araştırma Makalesi / Research Article

Güzide ŞENEL

Fen Fakültesi, Matematik Bölümü, Amasya Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 23.10.2017 ; Kabul/Accepted : 19.12.2017)

ABSTRACT

The purpose of this paper is to introduce new structures of $\tilde{\delta}$ -soft sets in soft ditopological (SDT) spaces and study $\tilde{\delta}$ -soft operations such as $\tilde{\delta}$ -soft interior, $\tilde{\delta}$ -soft closure, $\tilde{\delta}$ -soft boundary and $\tilde{\delta}$ -soft exterior. This study is therefore organized the analogies between the concepts of $\tilde{\delta}$ -soft operations, on the other, are strongly emphasized. Moreover, a result which play a pivotal role in the characterization of $\tilde{\delta}$ -soft open sets is found out.

Keywords: Soft sets, $\tilde{\delta}$ -soft open(closed)set, $\tilde{\delta}$ -soft nbd, $\tilde{\delta}$ -soft interior(exterior), $\tilde{\delta}$ -soft closure(boundary), soft topology, soft ditopology.

Esnek Kümelerin $\tilde{\delta}$ -esnek Operasyonlarla Tanımlanması

ÖZ

Bu araştırmanın amacı, esnek 3-lü topolojik (SDT) uzaylarda esnek kümelerin yeni yapılarını tanıtmak ve $\tilde{\delta}$ -esnek iç, $\tilde{\delta}$ -esnek kapanış, $\tilde{\delta}$ -esnek komşuluk ve $\tilde{\delta}$ -esnek dış gibi $\tilde{\delta}$ -esnek işlemleri incelemektir. Bu yüzden bu çalışma bir taraftan $\tilde{\delta}$ -esnek işlem tanımları arasındaki benzerlikleri düzenlerken, bir taraftan da işlem ilişkilerini güçlü bir şekilde vurgular. Dahası, $\tilde{\delta}$ -esnek açık kümelerin tanımlanmasında çok önemli bir rol oynayan bir sonuç da bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Esnek küme, $\tilde{\delta}$ -esnek açık(kapalı)küme, $\tilde{\delta}$ -esnek komşuluk, $\tilde{\delta}$ -esnek iç(dış), $\tilde{\delta}$ -soft kapanış(sınır), esnek topoloji, esnek 3-lü topoloji.

1. INTRODUCTION

The notion of soft sets introduced by Molodtsov [1] in 1999 as a general mathematical tool for dealing with uncertainties while modelling the problems in engineering, physics, computer science, economics, social sciences and medical sciences. Later, he brought out applications of soft set in various areas in [2]. Maji et al. [3] defined and studied several basic notions of soft set theory and developed this theory in [4]. In 2005, Pei and Miao [5] and Chen [6] improved the application of soft sets in various areas.

Recently, few researches (see, for example, [7-10]) introduced and studied the notion of soft topological spaces which are defined over an initial universe with a fixed set of parameters. I tried to account for all the major achievements in soft topology over the last few years. A considerable achievement is introducing product topology and defining soft compactness in [7]. Considering the importance of topological structure in developing soft set theory, more specialized notions from the theory of soft topology will be introduced is needed. This brings about the natural question of whether or not there is any additional topology on the soft set all possible itineraries. Consequently, soft ditopological (SDT) space on a soft set was introduced by Dizman et al. [11] and Şenel [12] independently. In the notion of soft ditopology [12], the concept of SDT-space on a soft set consists of

with two structures on it - a soft topology and a soft subspace topology. The first one is used to describe soft openness properties of a soft topological space while the second one deals with its sub-soft openness properties. This structure enables to study with all soft open sets can be obtained on a soft set. Therefore, we continue investigating the work of [12].

Much of the rest of the paper is devoted to a general study of soft ditopological spaces. In section 2, I lay the foundations for a systematic study of soft sets. In section 3, I proceed with the study of SDT-space. I define and study new structures in soft ditopological spaces with defining soft exterior. I establish several interesting properties of soft interior, soft exterior, soft closure and soft boundary and their relationship which are fundamental for further research on soft ditopology and will strengthen the foundations of the theory of soft ditopological spaces. I intend to obtain an interest in the study of the relationships between $\tilde{\delta}$ -soft exterior, $\tilde{\delta}$ -soft closure, $\tilde{\delta}$ -soft complement, $\tilde{\delta}$ -soft interior and $\tilde{\delta}$ -soft boundary with respect to $\tilde{\delta}$ -soft operations by giving theorems. I study some properties of $\tilde{\delta}$ -soft exterior, with the aim of describing $\tilde{\delta}$ -soft open and $\tilde{\delta}$ -soft close sets directly using $\tilde{\delta}$ -soft exterior. The usefulness and interest of this correspondence of $\tilde{\delta}$ -soft exterior will of course be enhanced if there is a way of

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : g.senel@amasya.edu.tr

returning from the transforms to the $\tilde{\delta}$ -soft sets, that is to say, if there is a formula that characterize $\tilde{\delta}$ -soft set. In closing this paper, all the studies come to fruition and I take up a result which play a pivotal role in the characterization of $\tilde{\delta}$ -soft open and $\tilde{\delta}$ -soft closed sets.

2. PRELIMINARY

Throughout that follows, I shall accept and permanently use elementary definitions and preliminary results of the works Molodtsov [1], Maji et al. [3, 4], Aktas and Cagman [13] are presented in this section in this paper. Unless otherwise stated, throughout this paper, U refers to an initial universe, E is a set of parameters and $P(U)$ is the power set of U .

Definition 2.1. [1, 14] A soft set f on the universe U is a set defined by

$$f : E \rightarrow P(U) \text{ such that } f(e) = \emptyset \text{ if } e \in E \setminus A \text{ then } f = f_A \tag{1}$$

Here f is also called an approximate function. A soft set over U can be represented by the set of ordered pairs

$$f = \{ (e, f(e)) : e \in E \} \tag{2}$$

I will identify any soft set f with the function $f(e)$ and and we shall use that concept as interchangeable. Soft sets are denoted by the letters $f, g, h \dots$ and the corresponding functions by $f(e), g(e), h(e) \dots$

Throughout this paper, the set of all soft sets over U will be denoted by \mathbb{S} . From now on, or all undefined concepts about soft sets, we refer to: [14].

Definition 2.2. [3] Let $f \in \mathbb{S}$. Then,

If $f(e) = \emptyset$ for all $e \in E$, then f is called an empty set, denoted by Φ .

If $f(e) = U$ for all $e \in E$, then f is called universal soft set, denoted by \tilde{E} .

Definition 2.3. [3] Let $f, g \in \mathbb{S}$. Then,

f is a soft subset of g , denoted by $f \subseteq g$, if $f \subseteq g$ for all $e \in E$.

f and g are soft equal, denoted by $f = g$, if and only if $f(e) = g(e)$ for all $e \in E$.

Definition 2.4. [14] $f, g \in \mathbb{S}$. Then, the

intersection of f and g , denoted $f \tilde{\cap} g$, is defined by and the union of f and g , denoted $f \tilde{\cup} g$, is defined by

$$(f \tilde{\cup} g)(e) = f(e) \cup g(e) \text{ for all } e \in E \tag{3}$$

Definition 2.5. [14] $f \in \mathbb{S}$. Then, the soft complement of f , denoted f^c , is defined by

$$f^c(e) = U \setminus f(e), \text{ for all } e \in E \tag{4}$$

Definition 2.6. [14] Let $f \in \mathbb{S}$. The power soft set of f is defined by

$$\mathcal{P}(f) = \{ f_i \subseteq f : i \in I \} \tag{5}$$

and its cardinality is defined by

$$|\mathcal{P}(f)| = 2^{\sum_{e \in E} |f(e)|} \tag{6}$$

where $|f(e)|$ is the cardinality of $f(e)$.

Example 2.7. Let $U = \{u_1, u_2, u_3\}$ and $E = \{e_1, e_2\}$. $f \in \mathbb{S}$ and

$$f = \{ (e_1, \{u_1, u_2\}), (e_2, \{u_2, u_3\}) \} \tag{7}$$

Then,

$$\begin{aligned} f_1 &= \{ (e_1, \{u_1\}) \}, \\ f_2 &= \{ (e_1, \{u_2\}) \}, \\ f_3 &= \{ (e_1, \{u_1, u_2\}) \}, \\ f_4 &= \{ (e_2, \{u_2\}) \}, \\ f_5 &= \{ (e_2, \{u_3\}) \}, \\ f_6 &= \{ (e_2, \{u_2, u_3\}) \}, \\ f_7 &= \{ (e_1, \{u_1\}), (e_2, \{u_2\}) \}, \\ f_8 &= \{ (e_1, \{u_1\}), (e_2, \{u_3\}) \}, \\ f_9 &= \{ (e_1, \{u_1\}), (e_2, \{u_2, u_3\}) \}, \\ f_{10} &= \{ (e_1, \{u_2\}), (e_2, \{u_2\}) \}, \\ f_{11} &= \{ (e_1, \{u_2\}), (e_2, \{u_3\}) \}, \\ f_{12} &= \{ (e_1, \{u_2\}), (e_2, \{u_2, u_3\}) \}, \\ f_{13} &= \{ (e_1, \{u_1, u_2\}), (e_2, \{u_2\}) \}, \\ f_{14} &= \{ (e_1, \{u_1, u_2\}), (e_2, \{u_3\}) \}, \\ f_{15} &= f, \\ f_{16} &= \Phi \end{aligned} \tag{8}$$

are all soft subsets of f . So $|\tilde{P}(f)| = 2^4 = 16$.

Definition 2.8. [15] The soft set f is called a soft point in \mathbb{S} , if for the parameter $e_i \in E$ such that $f(e_i) \neq \emptyset$ and $f(e_j) = \emptyset$, for all $e_j \in E \setminus \{e_i\}$ is denoted by $(e_i)_j$ for all $i, j \in \mathbb{N}^+$.

Note that the set of all soft points of f will be denoted by $SP(f)$.

Example 2.9. [15] Let $U = \{u_1, u_2, u_3, u_4, u_5\}$ and $E = \{e_1, e_2, e_3\}$. $f \in \mathbb{S}$ and

$$f = \{ (e_1, \{u_1, u_3\}), (e_2, \{u_2, u_3\}), (e_3, \{u_1, u_2, u_3\}) \}$$

Then the soft points for the parameter e_1 are;

$$\begin{aligned} (e_1)_1 &= (e_1, \{u_1\}) \\ (e_1)_2 &= (e_1, \{u_3\}) \\ (e_1)_3 &= (e_1, \{u_1, u_3\}) \end{aligned} \tag{9}$$

one of them can be chosen as soft point.

For the the parameter e_2 one of three occasions can be chosen as soft point likewise;

$$\begin{aligned} (e_{2_f})_1 &= (e_2, \{u_2\}) \\ (e_{2_f})_2 &= (e_2, \{u_3\}) \\ (e_{2_f})_3 &= (e_2, \{u_2, u_3\}) \end{aligned} \tag{10}$$

The soft points for the parameter e_3 are;

$$\begin{aligned} (e_{3_f})_1 &= (e_3, \{u_1\}) \\ (e_{3_f})_2 &= (e_3, \{u_2\}) \\ (e_{3_f})_3 &= (e_3, \{u_3\}) \\ (e_{3_f})_4 &= (e_3, \{u_1, u_2\}) \\ (e_{3_f})_5 &= (e_3, \{u_1, u_3\}) \\ (e_{3_f})_6 &= (e_3, \{u_2, u_3\}) \\ (e_{3_f})_7 &= (e_3, \{u_1, u_2, u_3\}) \end{aligned} \tag{11}$$

Definition 2.10. [7] Let $f \in \mathbb{S}$. A soft topology on f , denoted by $\tilde{\tau}$, is a collection of soft subsets of f having following properties:

- i. $f, \Phi \in \tilde{\tau}$,
- ii. $\{g_i\}_{i \in I} \subseteq \tilde{\tau} \Rightarrow \bigcup_{i \in I} g_i \in \tilde{\tau}$,
- iii. $\{g_i\}_{i=1}^n \subseteq \tilde{\tau} \Rightarrow \bigcap_{i=1}^n g_i \in \tilde{\tau}$.

The pair $(f, \tilde{\tau})$ is called a soft topological space.

Example 2.11. Refer example Example 2.7., $\tilde{\tau}^1 = \mathcal{P}(f), \tilde{\tau}^0 = \{\Phi, f\}$ and $\tilde{\tau} = \{\Phi, f, f_2, f_{11}, f_{13}\}$ are soft topologies on f .

Definition 2.12. [7] Let $(f, \tilde{\tau})$ be a soft topological space. Then, every element of $\tilde{\tau}$ is called soft open set. Clearly, Φ and f are soft open sets.

Definition 2.13. [12] Let f be a nonempty soft set over the universe U , $g \subseteq f$, $\tilde{\tau}$ be a soft topology on f and $\tilde{\tau}_g$ be a soft subspace topology on g . Then, $(f, \tilde{\tau}, \tilde{\tau}_g)$ is called a soft ditopological space which is abbreviated as SDT-space.

A pair $\tilde{\delta} = (\tilde{\tau}, \tilde{\tau}_g)$ is called a soft ditopology over f and the members of $\tilde{\delta}$ are said to be $\tilde{\delta}$ -soft open in f .

The complement of $\tilde{\delta}$ -soft open set is called $\tilde{\delta}$ -soft closed soft set.

Example 2.14. [12] Let us consider all soft subsets on f in the example Example 2.7.

Let $\tilde{\tau} = \{\Phi, f, f_2, f_{11}, f_{13}\}$ be a soft topology on f . If $g = f_9$, then $\tilde{\tau}_g = \{\Phi, f_5, f_7, f_9\}$, and $(g, \tilde{\tau}_g)$ is a soft topological subspace of $(f, \tilde{\tau})$.

Hence, we get soft ditopology over f as $\tilde{\delta} = \{\Phi, f, f_2, f_5, f_7, f_9, f_{11}, f_{13}\}$. (12)

Definition 2.15. [12] Let $h \subseteq f$. Then, $\tilde{\delta}$ -soft interior of h , denoted by $(h)_{\tilde{\delta}}^{\circ}$, is defined by

$$(h)_{\tilde{\delta}}^{\circ} = \bigcup \{h : k \subseteq h, k \text{ is } \tilde{\delta}\text{-soft open}\} \tag{13}$$

The $\tilde{\delta}$ -soft closure of h , denoted by $(\bar{h})_{\tilde{\delta}}$, is defined by

$$(\bar{h})_{\tilde{\delta}} = \bigcap \{k : h \subseteq k, k \text{ is } \tilde{\delta}\text{-soft closed}\} \tag{14}$$

Note that $(h)_{\tilde{\delta}}^{\circ}$ is the biggest $\tilde{\delta}$ -soft open set that contained in h and $(\bar{h})_{\tilde{\delta}}$ is the smallest $\tilde{\delta}$ -soft closed set that containing h .

3. NEW $\tilde{\delta}$ -SOFT STRUCTURES OF SOFT DITOPOLOGICAL SPACE

In this section, the concept of soft ditopological (SDT) space on a soft set is developed with defining soft exterior in SDT. I establish several interesting properties of soft interior, soft exterior, soft closure and soft boundary and their relationship which are fundamental for research on soft ditopology and will strengthen the foundations of the theory of soft ditopological spaces. The results generalize soft topological properties of soft sets by exploiting some general facts seemingly overlooked by the aforementioned authors studied soft topology.

Theorem 3.1. Let $(f, \tilde{\delta})$ be a SDT-space, $h, k \subseteq f$.

Then,

i. $(h\tilde{\cap}k)_{\tilde{\delta}} \subseteq (\bar{h})_{\tilde{\delta}} \tilde{\cap} (\bar{k})_{\tilde{\delta}}$

ii. $(h)_{\tilde{\delta}}^{\circ} \tilde{\cup} (k)_{\tilde{\delta}}^{\circ} \subseteq (h\tilde{\cup}k)_{\tilde{\delta}}^{\circ}$

Proof:

i. Since $h\tilde{\cap}k \subseteq h$ and $h\tilde{\cap}k \subseteq k$, then $(h\tilde{\cap}k)_{\tilde{\delta}} \subseteq (\bar{h})_{\tilde{\delta}}$ and $(h\tilde{\cap}k)_{\tilde{\delta}} \subseteq (\bar{k})_{\tilde{\delta}}$. So,

$$(h\tilde{\cap}k)_{\tilde{\delta}} \subseteq (\bar{h})_{\tilde{\delta}} \tilde{\cap} (\bar{k})_{\tilde{\delta}} \tag{15}$$

ii. Since $(h)_{\tilde{\delta}}^{\circ} \subseteq h$ and $(k)_{\tilde{\delta}}^{\circ} \subseteq k$, then $(h)_{\tilde{\delta}}^{\circ} \tilde{\cup} (k)_{\tilde{\delta}}^{\circ} \subseteq h\tilde{\cup}k$ and

$$((h)_{\tilde{\delta}}^{\circ} \tilde{\cup} (k)_{\tilde{\delta}}^{\circ})_{\tilde{\delta}}^{\circ} \subseteq (h\tilde{\cup}k)_{\tilde{\delta}}^{\circ} \tag{16}$$

where $(h)_{\tilde{\delta}}^{\circ}$ and $(k)_{\tilde{\delta}}^{\circ}$ $\tilde{\delta}$ -soft open. $(h)_{\tilde{\delta}}^{\circ} = s\tilde{\cup}t$ where $s \in \tilde{\delta}$ and $t \in \tilde{\delta}$. $(k)_{\tilde{\delta}}^{\circ} = m\tilde{\cup}n$ where $m \in \tilde{\delta}$ and $n \in \tilde{\delta}$

$(h)_{\tilde{\delta}}^{\circ} \tilde{\cup} (k)_{\tilde{\delta}}^{\circ} = (s\tilde{\cup}t) \tilde{\cup} (m\tilde{\cup}n) = (s\tilde{\cup}m) \tilde{\cup} (t\tilde{\cup}n)$ where $s\tilde{\cup}m \in \tilde{\delta}$ and $t\tilde{\cup}n \in \tilde{\delta}$. So, $(h)_{\tilde{\delta}}^{\circ} \tilde{\cup} (k)_{\tilde{\delta}}^{\circ}$ be a $\tilde{\delta}$ -soft open set. Hence we get

$$((h)_{\tilde{\delta}}^{\circ} \tilde{\cup} (k)_{\tilde{\delta}}^{\circ})_{\tilde{\delta}}^{\circ} = (h)_{\tilde{\delta}}^{\circ} \tilde{\cup} (k)_{\tilde{\delta}}^{\circ} \tag{17}$$

If we apply this equation to the Equation 16 then we get

$$(h)_{\delta}^{\circ} \tilde{\cup} (k)_{\delta}^{\circ} \tilde{\subset} (h \tilde{\cup} k)_{\delta}^{\circ} \tag{18}$$

This proves the theorem (ii). □

I now state a definition of $\tilde{\delta}$ -soft boundary of soft set that will be of use later with $\tilde{\delta}$ -soft openness and $\tilde{\delta}$ -soft exterior:

Definition 3.2. Let $(f, \tilde{\delta})$ be a SDT-space and $h \tilde{\subset} f$. Then, $\tilde{\delta}$ -soft boundary of soft set h is denoted by $(h)_{\tilde{\delta}}^{\tilde{b}}$ and is defined as

$$(h)_{\tilde{\delta}}^{\tilde{b}} = (\bar{h})_{\tilde{\delta}} \tilde{\cap} \overline{(h)_{\tilde{\delta}}^{\tilde{c}}} \tag{19}$$

Definition 3.3. [12] Let $(f, \tilde{\tau}, \tilde{\tau}_g)$ be a SDT-space and $(e_{i_j})_j \tilde{\in} f$. If there is a $\tilde{\delta}$ -soft open set h such that $(e_{i_j})_j \tilde{\in} h$, then h is called $\tilde{\delta}$ -soft open neighborhood (or $\tilde{\delta}$ -soft nbd) of $(e_{i_j})_j$. The set of all $\tilde{\delta}$ -soft neighborhood of $(e_{i_j})_j$, denoted $\mathcal{V}_{\tilde{\delta}}((e_{i_j})_j)$, is called family of $\tilde{\delta}$ -soft neighborhood of $(e_{i_j})_j$, that is

$$\mathcal{V}_{\tilde{\delta}}((e_{i_j})_j) = \{h : h \tilde{\in} \tilde{\delta}, (e_{i_j})_j \tilde{\in} h\} \tag{20}$$

Definition 3.4. Let $(f, \tilde{\delta})$ be a SDT-space, $h \tilde{\subset} f$ and $(e_{i_j})_j \tilde{\in} f$. If every $\tilde{\delta}$ -soft nbd of $(e_{i_j})_j$ soft intersects h in some soft points other than $(e_{i_j})_j$ itself, then $(e_{i_j})_j$ is called a $\tilde{\delta}$ -soft limit point of h .

The set of all $\tilde{\delta}$ -soft limit points of h is denoted by $(h')_{\tilde{\delta}}$. I can shortly define it like that:

$$h, k \tilde{\subset} f, (e_{i_j})_j \tilde{\in} f, (e_{i_j})_j \tilde{\in} (h')_{\tilde{\delta}} \Leftrightarrow (\forall k \tilde{\in} \mathcal{V}_{\tilde{\delta}}((e_{i_j})_j) : (k \tilde{\cap} (h \tilde{\setminus} \{(e_{i_j})_j\})) \neq \Phi) \tag{21}$$

Example 3.5 Let me consider the soft ditopological space $(f, \tilde{\delta})$ in Example 2.14 and $(e_{i_j})_j = (e_{i_j})_3$ defined in Example 2.7. Then,

$$\mathcal{V}_{\tilde{\delta}}((e_{i_j})_3) = \{ \{(e_1, \{u_1, u_2\}), (e_2, \{u_2, u_3\})\}, \{(e_1, \{u_1, u_2\}), (e_2, \{u_2\})\} \} \tag{22}$$

Proposition 3.6. Let $(f, \tilde{\delta})$ be a SDT-space, $h, k \tilde{\subset} f$. Then, the collection of $\tilde{\delta}$ -soft nbd $\mathcal{V}_{\tilde{\delta}}((e_{i_j})_j)$ at $(e_{i_j})_j \tilde{\in} (f, \tilde{\delta})$ has the following properties:

- i. If $h \tilde{\in} \mathcal{V}_{\tilde{\delta}}((e_{i_j})_j)$, then $(e_{i_j})_j \tilde{\in} h$.
- ii. If $h, k \tilde{\in} \mathcal{V}_{\tilde{\delta}}((e_{i_j})_j)$, then $h \tilde{\cap} k \tilde{\in} \mathcal{V}_{\tilde{\delta}}((e_{i_j})_j)$.
- iii. If $h \tilde{\in} \mathcal{V}_{\tilde{\delta}}((e_{i_j})_j)$ and $h \tilde{\subset} k$, then $k \tilde{\in} \mathcal{V}_{\tilde{\delta}}((e_{i_j})_j)$.

iv. $h \tilde{\subset} f$ is $\tilde{\delta}$ -soft open if and only if h contains a $\tilde{\delta}$ -soft nbd of each of its soft points.

Proof: The others being obvious, only (iv) needs proof.

iv. (i) \Rightarrow (ii): Suppose h is $\tilde{\delta}$ -soft open in f , then $(e_{i_j})_j \tilde{\in} h \tilde{\subset} h$ implies that h is a $\tilde{\delta}$ -soft nbd of each $(e_{i_j})_j \tilde{\in} h$.

(ii) \Rightarrow (i): If each $(e_{i_j})_j \tilde{\in} h$ has a $\tilde{\delta}$ -soft nbd $k_{(e_{i_j})_j} \tilde{\subset} h$, then

$$h = \{ (e_{i_j})_j : (e_{i_j})_j \tilde{\in} h \} \tilde{\subset} \cup_{(e_{i_j})_j \tilde{\in} h} k_{(e_{i_j})_j} \tilde{\subset} h \tag{23}$$

or

$$h = \cup_{(e_{i_j})_j \tilde{\in} h} k_{(e_{i_j})_j} \tag{24}$$

This implies that h is $\tilde{\delta}$ -soft open in f . □

The following theorem gives the relationship between $\tilde{\delta}$ -soft limit point and $\tilde{\delta}$ -soft closure of a soft set.

Theorem 3.7. Let $(f, \tilde{\delta})$ be a SDT-space, $h \tilde{\subset} f$.

Then,

$$h \tilde{\cup} (h')_{\tilde{\delta}} = (\bar{h})_{\tilde{\delta}} \tag{25}$$

Proof: If $(e_{i_j})_j \in h \tilde{\cup} (h')_{\tilde{\delta}}$, then $(e_{i_j})_j \in h$ or $(e_{i_j})_j \in (h')_{\tilde{\delta}}$. In this case, if $(e_{i_j})_j \in h$, then $(e_{i_j})_j \in (\bar{h})_{\tilde{\delta}}$. If $(e_{i_j})_j \in (h')_{\tilde{\delta}}$, then $k \tilde{\cap} (h \tilde{\setminus} \{(e_{i_j})_j\}) \neq \Phi$ for all $k \in \mathcal{V}_{\tilde{\delta}}((e_{i_j})_j)$ and so $k \tilde{\cap} h \neq \Phi$ for all $k \in \mathcal{V}_{\tilde{\delta}}((e_{i_j})_j)$, hence $(e_{i_j})_j \in (\bar{h})_{\tilde{\delta}}$.

Conversely, if $(e_{i_j})_j \in (\bar{h})_{\tilde{\delta}}$, then $(e_{i_j})_j \in h$ or $(e_{i_j})_j \notin h$. In this case, if $(e_{i_j})_j \in h$, then, clearly $(e_{i_j})_j \in h \tilde{\cup} (h')_{\tilde{\delta}}$. If $(e_{i_j})_j \notin h$, then $k \tilde{\cap} (h \tilde{\setminus} \{(e_{i_j})_j\}) \neq \Phi$ for all $k \in \mathcal{V}_{\tilde{\delta}}((e_{i_j})_j)$. Therefore, $(e_{i_j})_j \in (h')_{\tilde{\delta}}$ so that $(e_{i_j})_j \in h \tilde{\cup} (h')_{\tilde{\delta}}$.

Hence $h \tilde{\cup} (h')_{\tilde{\delta}} = (\bar{h})_{\tilde{\delta}}$. □

A soft subset of a soft ditopological space is $\tilde{\delta}$ -soft closed if it contains all its $\tilde{\delta}$ -soft limit points. The following theorem explains this property:

Theorem 3.8. Let $(f, \tilde{\delta})$ be a SDT-space, $h \tilde{\subset} f$. Then, h is a $\tilde{\delta}$ -soft closed if and only if $(h')_{\tilde{\delta}} \tilde{\subset} h$.

Proof: $h = (\bar{h})_{\tilde{\delta}} = h \tilde{\cup} (h')_{\tilde{\delta}} \Leftrightarrow (h')_{\tilde{\delta}} \tilde{\subset} h$. □

Theorem 3.9. Let $(f, \tilde{\delta})$ be a SDT-space, $k, h \tilde{\subset} f$.

Then,

- i. $(h')_{\tilde{\delta}} \tilde{\subseteq} (\bar{h})_{\tilde{\delta}}$
- ii. $k \tilde{\subseteq} h \Rightarrow (k')_{\tilde{\delta}} \tilde{\subseteq} (h')_{\tilde{\delta}}$
- iii. $(k \tilde{\cap} h)'_{\tilde{\delta}} \tilde{\subseteq} (k')_{\tilde{\delta}} \tilde{\cap} (h')_{\tilde{\delta}}$
- iv. $(k \tilde{\cup} h)'_{\tilde{\delta}} = (k')_{\tilde{\delta}} \tilde{\cup} (h')_{\tilde{\delta}}$
- v. $(\bar{k})_{\tilde{\delta}} = k \Leftrightarrow (k')_{\tilde{\delta}} \tilde{\subseteq} k$

Proof:

i. From the definition of $\tilde{\delta}$ -soft closure the proof is trivial.

ii. Let $k \tilde{\subseteq} h$. Because of $k \tilde{\cap} \{(e_{i_f})_j\} \tilde{\subseteq} h \tilde{\cap} \{(e_{i_f})_j\}$, then $\overline{(k \tilde{\cap} \{(e_{i_f})_j\})_{\tilde{\delta}}} \tilde{\subseteq} \overline{(h \tilde{\cap} \{(e_{i_f})_j\})_{\tilde{\delta}}}$. We obtain $(k')_{\tilde{\delta}} \tilde{\subseteq} (h')_{\tilde{\delta}}$.

iii. $k \tilde{\cap} h \tilde{\subseteq} k$ and $k \tilde{\cap} h \tilde{\subseteq} h$. Then,

$$(k \tilde{\cap} h)'_{\tilde{\delta}} \tilde{\subseteq} (k')_{\tilde{\delta}} \tilde{\cap} (h')_{\tilde{\delta}}$$

Therefore,

$$(k \tilde{\cap} h)'_{\tilde{\delta}} \tilde{\subseteq} (k')_{\tilde{\delta}} \tilde{\cap} (h')_{\tilde{\delta}}$$

iv. $\forall (e_{i_f})_j \tilde{\in} (k \tilde{\cup} h)'_{\tilde{\delta}} \Leftrightarrow ((e_{i_f})_j \in \overline{(k \tilde{\cup} h) \tilde{\cap} \{(e_{i_f})_j\}}_{\tilde{\delta}})$, therefore

$$\begin{aligned} \overline{(k \tilde{\cup} h) \tilde{\cap} \{(e_{i_f})_j\}}_{\tilde{\delta}} &= \overline{(k \tilde{\cup} h) \tilde{\cap} \{(e_{i_f})_j\}}_{\tilde{\delta}} \\ &= \overline{(k \tilde{\cap} \{(e_{i_f})_j\})_{\tilde{\delta}} \tilde{\cup} (h \tilde{\cap} \{(e_{i_f})_j\})_{\tilde{\delta}}} \\ &= \overline{(k \tilde{\cap} \{(e_{i_f})_j\})_{\tilde{\delta}} \tilde{\cup} (h \tilde{\cap} \{(e_{i_f})_j\})_{\tilde{\delta}}} \\ &= \overline{(h \tilde{\cap} \{(e_{i_f})_j\})_{\tilde{\delta}} \tilde{\cup} (k \tilde{\cap} \{(e_{i_f})_j\})_{\tilde{\delta}}} \\ &\Leftrightarrow (e_{i_f})_j \in (k')_{\tilde{\delta}} \tilde{\cup} (h')_{\tilde{\delta}} \end{aligned}$$

Hence $(k \tilde{\cup} h)'_{\tilde{\delta}} = (k')_{\tilde{\delta}} \tilde{\cup} (h')_{\tilde{\delta}}$.

v. $k = (\bar{k})_{\tilde{\delta}} \Leftrightarrow k = k \tilde{\cup} (k')_{\tilde{\delta}} \Leftrightarrow (k')_{\tilde{\delta}} \tilde{\subseteq} k \quad \square$

Definition 3.10. Let $(f, \tilde{\delta})$ be a SDT-space and $\mathcal{B}_{\tilde{\delta}} \tilde{\subseteq} \tilde{\delta}$. If every element of $\tilde{\delta}$ can be written as a union of element of $\mathcal{B}_{\tilde{\delta}}$, then $\mathcal{B}_{\tilde{\delta}}$ is called $\tilde{\delta}$ -soft basis for $(f, \tilde{\delta})$.

Each element of $\mathcal{B}_{\tilde{\delta}}$ is called soft ditopological basis element. I can shortly define it like that,

$$\mathcal{B}_{\tilde{\delta}} \tilde{\subseteq} \tilde{\delta}, \tilde{\delta}\text{-soft basis} \Leftrightarrow (\forall h \tilde{\in} \tilde{\delta}) (\exists \Psi \tilde{\subseteq} \mathcal{B}_{\tilde{\delta}}) : (h = \bigcup_{k \in \Psi} k)$$

Theorem 3.11. Let $(f, \tilde{\delta})$ be a SDT-space, $h, k \tilde{\subseteq} f$. Then,

- i. $((h)_{\tilde{\delta}}^{\circ})_{\tilde{\delta}}^{\circ} = \overline{(h)_{\tilde{\delta}}^{\circ}}$
- ii. $((h)_{\tilde{\delta}}^{\circ})_{\tilde{\delta}}^{\circ} = \overline{(h)_{\tilde{\delta}}^{\circ}}$
- iii. $(h)_{\tilde{\delta}}^{\circ} = \overline{((h)_{\tilde{\delta}}^{\circ})_{\tilde{\delta}}^{\circ}}$

$$\text{iv. } (\bar{h})_{\tilde{\delta}} = (((h)_{\tilde{\delta}}^{\circ})_{\tilde{\delta}}^{\circ})_{\tilde{\delta}}^{\circ}$$

$$\text{v. } (h \tilde{\setminus} k)_{\tilde{\delta}}^{\circ} \tilde{\subseteq} ((h)_{\tilde{\delta}}^{\circ})_{\tilde{\delta}}^{\circ} \tilde{\setminus} (k)_{\tilde{\delta}}^{\circ}$$

Proof:

i. Let $(e_{i_f})_j \tilde{\in} h$ such that $(e_{i_f})_j \notin (h)_{\tilde{\delta}}^{\circ}$. Then, for each $\tilde{\delta}$ -soft open nbd k of $(e_{i_f})_j$, k $\tilde{\delta}$ -soft intersects $(h)_{\tilde{\delta}}^{\circ}$. Otherwise, for some $\tilde{\delta}$ -soft open nbd k of $(e_{i_f})_j$, $k \tilde{\cap} (h)_{\tilde{\delta}}^{\circ} = \Phi$ or $k \tilde{\subseteq} h$. Since $(h)_{\tilde{\delta}}^{\circ}$ is the largest $\tilde{\delta}$ -soft open set in h , therefore $(e_{i_f})_j \tilde{\in} k \tilde{\subseteq} (h)_{\tilde{\delta}}^{\circ}$, which is a contradiction. Therefore, $(e_{i_f})_j \tilde{\in} ((h)_{\tilde{\delta}}^{\circ})_{\tilde{\delta}}^{\circ}$. Hence, $((h)_{\tilde{\delta}}^{\circ})_{\tilde{\delta}}^{\circ} = \overline{(h)_{\tilde{\delta}}^{\circ}}$.

Conversely, suppose $(e_{i_f})_j \tilde{\in} \overline{(h)_{\tilde{\delta}}^{\circ}}$, Then $(e_{i_f})_j \tilde{\in} (h)_{\tilde{\delta}}^{\circ}$ or $(e_{i_f})_j$ is a $\tilde{\delta}$ -soft limit point of $\overline{(h)_{\tilde{\delta}}^{\circ}}$. If $(e_{i_f})_j \tilde{\in} (h)_{\tilde{\delta}}^{\circ}$, Then $(e_{i_f})_j \tilde{\in} ((h)_{\tilde{\delta}}^{\circ})_{\tilde{\delta}}^{\circ}$. In the second case, $(e_{i_f})_j \notin (h)_{\tilde{\delta}}^{\circ}$. Otherwise, by the definition of $\tilde{\delta}$ -soft limit point $(h)_{\tilde{\delta}}^{\circ} \tilde{\cap} (h)_{\tilde{\delta}}^{\circ} \neq \Phi$, which is false. Therefore, $(e_{i_f})_j \tilde{\in} \overline{(h)_{\tilde{\delta}}^{\circ}}$. This shows that $\overline{(h)_{\tilde{\delta}}^{\circ}} \tilde{\subseteq} ((h)_{\tilde{\delta}}^{\circ})_{\tilde{\delta}}^{\circ}$. Combining, we get the proof.

ii. The proof is trivial.

iii. and iv. are directly obtained by taking the complements of i. and ii., respectively.

$$\begin{aligned} (h \tilde{\setminus} k)_{\tilde{\delta}}^{\circ} &= (h \tilde{\cap} (k)_{\tilde{\delta}}^{\circ})_{\tilde{\delta}}^{\circ} \\ &= (h)_{\tilde{\delta}}^{\circ} \tilde{\cap} ((k)_{\tilde{\delta}}^{\circ})_{\tilde{\delta}}^{\circ} \\ &= (h)_{\tilde{\delta}}^{\circ} \tilde{\cap} (\bar{k})_{\tilde{\delta}}^{\circ} \\ &\tilde{\subseteq} (h)_{\tilde{\delta}}^{\circ} \tilde{\cap} ((h)_{\tilde{\delta}}^{\circ})_{\tilde{\delta}}^{\circ} \\ &= (h)_{\tilde{\delta}}^{\circ} \tilde{\setminus} (k)_{\tilde{\delta}}^{\circ} \end{aligned}$$

Definition 3.12. Let $(f, \tilde{\delta})$ be a SDT-space, $h \tilde{\subseteq} f$. Then, $\tilde{\delta}$ -soft exterior of a soft set h is denoted by $(h)_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}}$ and is defined as $(h)_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}} = ((h)_{\tilde{\delta}}^{\circ})_{\tilde{\delta}}^{\circ}$.

Thus, $(e_{i_f})_j$ is called a $\tilde{\delta}$ -soft exterior point of h if there exists a $\tilde{\delta}$ -soft open set k such that $(e_{i_f})_j \tilde{\in} k \tilde{\subseteq} (h)_{\tilde{\delta}}^{\circ}$. We observe that $(h)_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}}$ is the largest $\tilde{\delta}$ -soft open set contained in $(h)_{\tilde{\delta}}^{\circ}$.

Example 3.13. Let $U = \{u_1, u_2, u_3\}$ and $E = \{e_1, e_2, e_3\}$. $f \in \mathbb{S}$ and $f = \{(e_1, U), (e_2, \{u_1, u_2\}), (e_3, U)\}$ $h \tilde{\subseteq} f$ and $h = \{(e_1, U), (e_2, \{u_1, u_2\})\}$ Then, $(h)_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}} = \{(e_2, \{u_3\})\}$, and thus, $(h)_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}} = ((h)_{\tilde{\delta}}^{\circ})_{\tilde{\delta}}^{\circ} = \Phi$

4. CHARACTERIZATION OF SOFT SETS BY $\tilde{\delta}$ -SOFT OPERATIONS

In this section, I study some properties of $\tilde{\delta}$ -soft exterior, with the aim of describing $\tilde{\delta}$ -soft open and $\tilde{\delta}$ -soft close sets directly using $\tilde{\delta}$ -soft exterior.

The usefulness and interest of this correspondence of $\tilde{\delta}$ -soft exterior will of course be enhanced if there is a way of returning from the transforms to the $\tilde{\delta}$ -soft sets, that is to say, if there is a formula that characterize $\tilde{\delta}$ -soft set. In closing this section, all the studies come to fruition and we take up a result which play a pivotal role in the characterization of $\tilde{\delta}$ -soft open and $\tilde{\delta}$ -soft closed sets. I intend to obtain an interest in the study of the relationships between $\tilde{\delta}$ -soft exterior, $\tilde{\delta}$ -soft closure, $\tilde{\delta}$ -soft complement, $\tilde{\delta}$ -soft interior and $\tilde{\delta}$ -soft boundary with respect to $\tilde{\delta}$ -soft operations by given theorems below:

Theorem 4.1. Let h, k be $\tilde{\delta}$ -soft subsets of a SDT-space $(f, \tilde{\delta})$. Then,

- i. $(h)_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}} = ((h)_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}})_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}}$
- ii. $(h \tilde{\cup} k)_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}} = (h)_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}} \tilde{\cap} (k)_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}}$
- iii. $(h)_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}} \tilde{\cup} (k)_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}} \tilde{\subseteq} (h \tilde{\cap} k)_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}}$

Proof:

i. It is trivial from the definition of $\tilde{\delta}$ -soft exterior.

- ii.
$$\begin{aligned} (h \tilde{\cup} k)_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}} &= ((h \tilde{\cup} k)_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}})_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}} \\ &= ((h)_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}} \tilde{\cap} (k)_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}})_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}} \\ &= ((h)_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}})_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}} \tilde{\cap} ((k)_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}})_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}} \\ &= (h)_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}} \tilde{\cap} (k)_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}} \end{aligned}$$
- iii.
$$\begin{aligned} (h)_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}} \tilde{\cup} (k)_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}} &= ((h)_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}})_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}} \tilde{\cup} ((k)_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}})_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}} \\ &\tilde{\subseteq} ((h)_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}} \tilde{\cup} (k)_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}})_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}} \\ &= ((h \tilde{\cap} k)_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}})_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}} \\ &= (h \tilde{\cap} k)_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}} \end{aligned}$$

Theorem 4.2. Let $(f, \tilde{\delta})$ be a SDT-space, $h \tilde{\subseteq} f$.

Then,

- i. $((h)_{\tilde{\delta}}^{\tilde{b}})_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}} = (h)_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}} \tilde{\cup} (h)_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}}$
- ii. $(\bar{h})_{\tilde{\delta}}^{\tilde{b}} = h \tilde{\cup} (h)_{\tilde{\delta}}^{\tilde{b}}$
- iii. $(h)_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}} = h \tilde{\setminus} (h)_{\tilde{\delta}}^{\tilde{b}}$

Proof:

- i.
$$\begin{aligned} (h)_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}} \tilde{\cup} (h)_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}} &= (h)_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}} \tilde{\cup} ((h)_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}})_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}} \\ &= (((h)_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}})_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}})_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}} \tilde{\cup} (((h)_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}})_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}})_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}} \\ &= [(((h)_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}})_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}})_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}} \tilde{\cup} (((h)_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}})_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}})_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}}]_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}} \\ &= [(\overline{((h)_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}})_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}}})_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}} \tilde{\cap} (\overline{((h)_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}})_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}}})_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}}]_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}} \\ &= ((h)_{\tilde{\delta}}^{\tilde{b}})_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}} \end{aligned}$$
- ii.
$$\begin{aligned} h \tilde{\cup} (h)_{\tilde{\delta}}^{\tilde{b}} &= h \tilde{\cup} ((\bar{h})_{\tilde{\delta}}^{\tilde{b}} \tilde{\cap} (\overline{(h)_{\tilde{\delta}}^{\tilde{b}}})_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}}) \\ &= [h \tilde{\cup} (\bar{h})_{\tilde{\delta}}^{\tilde{b}}] \tilde{\cap} [h \tilde{\cup} (\overline{(h)_{\tilde{\delta}}^{\tilde{b}}})_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}}] \\ &= (\bar{h})_{\tilde{\delta}}^{\tilde{b}} \tilde{\cap} [h \tilde{\cup} (\overline{(h)_{\tilde{\delta}}^{\tilde{b}}})_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}}] \\ &= (\bar{h})_{\tilde{\delta}}^{\tilde{b}} \tilde{\cap} f = (\bar{h})_{\tilde{\delta}}^{\tilde{b}} \end{aligned}$$
- iii.
$$\begin{aligned} h \tilde{\setminus} (h)_{\tilde{\delta}}^{\tilde{b}} &= h \tilde{\cap} ((h)_{\tilde{\delta}}^{\tilde{b}})_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}} \\ &= h \tilde{\cap} ((h)_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}} \tilde{\cup} ((h)_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}})_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}}) \\ &= [h \tilde{\cap} (h)_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}}] \tilde{\cup} [h \tilde{\cap} ((h)_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}})_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}}] \\ &= (h)_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}} \tilde{\cup} \Phi \\ &= (h)_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}} \end{aligned}$$

Following these theorems, I now state this remark:

Remark 4.3. It is known that $(h)_{\tilde{\delta}}^{\tilde{b}} = ((h)_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}})_{\tilde{\delta}}^{\tilde{b}}$ and from Theorem 4.2. (i), it follows that

$$f = (h)_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}} \tilde{\cup} (h)_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}} \tilde{\cup} (h)_{\tilde{\delta}}^{\tilde{b}}$$

I remark at the outset that this formula makes sense, because I can characterize soft set by the combination of $\tilde{\delta}$ -soft interior, $\tilde{\delta}$ -soft exterior and $\tilde{\delta}$ -soft boundary.

Theorem 4.4. Let $(f, \tilde{\delta})$ be a SDT-space, $h \tilde{\subseteq} f$.

Then,

- i. $(h)_{\tilde{\delta}}^{\tilde{b}} \tilde{\cap} (h)_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}} = \Phi$
- ii. $(h)_{\tilde{\delta}}^{\tilde{b}} \tilde{\cap} (h)_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}} = \Phi$

Proof:

- i.
$$\begin{aligned} (h)_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}} \tilde{\cap} (h)_{\tilde{\delta}}^{\tilde{b}} &= (h)_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}} \tilde{\cap} ((\bar{h})_{\tilde{\delta}}^{\tilde{b}} \tilde{\cap} (h)_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}}) \\ &= (h)_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}} \tilde{\cap} (\bar{h})_{\tilde{\delta}}^{\tilde{b}} \tilde{\cap} (h)_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}} \\ &= \Phi \end{aligned}$$
- ii.
$$\begin{aligned} (h)_{\tilde{\delta}}^{\tilde{b}} \tilde{\cap} (h)_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}} &= ((h)_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}})_{\tilde{\delta}}^{\tilde{b}} \tilde{\cap} ((\bar{h})_{\tilde{\delta}}^{\tilde{b}} \tilde{\cap} (\overline{(h)_{\tilde{\delta}}^{\tilde{b}}})_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}}) \\ &= ((h)_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}})_{\tilde{\delta}}^{\tilde{b}} \tilde{\cap} (\bar{h})_{\tilde{\delta}}^{\tilde{b}} \tilde{\cap} (\overline{(h)_{\tilde{\delta}}^{\tilde{b}}})_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}} \\ &= ((\bar{h})_{\tilde{\delta}}^{\tilde{b}})_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}} \tilde{\cap} (\bar{h})_{\tilde{\delta}}^{\tilde{b}} \tilde{\cap} (\overline{(h)_{\tilde{\delta}}^{\tilde{b}}})_{\tilde{\delta}}^{\tilde{e}} \\ &= \Phi \end{aligned}$$

In the next theorem, I state a characterization of $\tilde{\delta}$ -soft open and $\tilde{\delta}$ -soft closed sets which do not seem to have been noticed previously:

Theorem 4.5. Let $(f, \tilde{\delta})$ be a SDT-space, $h \subseteq f$.

Then,

i. h is $\tilde{\delta}$ -soft open if and only if $h\tilde{\cap}(h)^{\tilde{b}} = \Phi$.

ii. h is $\tilde{\delta}$ -soft closed if and only if $(h)^{\tilde{b}} \subseteq h$.

Proof:

i. Let h be a $\tilde{\delta}$ -soft open set. Then, $(h)^{\circ} = h$. By the Theorem 4.4.,

$$h\tilde{\cap}(h)^{\tilde{b}} = (h)^{\circ}\tilde{\cap}(h)^{\tilde{b}} = \Phi \tag{25}$$

Conversely, let $h\tilde{\cap}(\bar{h})_{\tilde{\delta}} = \Phi$, or $\overline{(h)^{\tilde{c}}} \subseteq (h)^{\tilde{c}}$, which implies that $(h)^{\tilde{c}}$ is $\tilde{\delta}$ -soft closed.

Hence, h is $\tilde{\delta}$ -soft open.

ii. Let h is $\tilde{\delta}$ -soft closed set. Then, $\overline{(h)^{\tilde{c}}} = (h)^{\tilde{c}}$. On the other hand,

$$(h)^{\tilde{c}} = (\bar{h})_{\tilde{\delta}}\tilde{\cap}\overline{(h)^{\tilde{c}}}\tilde{\cap}(\bar{h})_{\tilde{\delta}} \tag{26}$$

Or $(\bar{h})_{\tilde{\delta}} \subseteq h$, conversely. \square

Actually, the proof gives an even more precise conclusion: $\tilde{\delta}$ -soft open and $\tilde{\delta}$ -soft closed sets can be characterized by $\tilde{\delta}$ -soft boundary.

5. CONCLUSION

In this paper, I establish several new structures as soft interior, soft exterior, soft closure and soft boundary and their relationship which are fundamental for research on soft ditopology. I study some properties of $\tilde{\delta}$ -soft operations, with the aim of describing $\tilde{\delta}$ -soft open and $\tilde{\delta}$ -soft close sets directly using $\tilde{\delta}$ -soft operations. The usefulness and interest of this correspondence of $\tilde{\delta}$ -soft operations will of course be enhanced if there is a way of returning from the transforms to the $\tilde{\delta}$ -soft sets, that is to say, if there is a formula that characterize $\tilde{\delta}$ -soft set. In closing of the last section, all the studies come to fruition and I take up a result which play a pivotal role in the characterization of $\tilde{\delta}$ -soft open and $\tilde{\delta}$ -soft closed sets.

These results lead to several illuminating pieces of information about the insufficiently studied the characterization of $\tilde{\delta}$ -soft open and $\tilde{\delta}$ -soft closed properties in SDT-spaces. It is hoped that a deeper understanding of these residues will help establish new results about the distribution of soft set theory.

REFERENCES

- [1] Molodtsov, D.A., "Soft set theory-first results", *Computers and Mathematics with Applications*, 37: 19-31, (1999).
- [2] Molodtsov, D., Leonov, V.Y., Kovkov, D.V.: "Soft sets technique and its application". *Nechetkie Sistemy i Myagkie Vychisleniya*, 1(1): 839, (2006).
- [3] Maji, P.K., Biswas, R., Roy, A.R., "An Application of Soft Sets in A Decision Making Problem", *Computers and Mathematics with Applications*, 44: 1077- 1083, (2002).
- [4] Maji, P.K., Biswas, R., Roy, A.R., "Soft set theory", *Computers and Mathematics with Applications*, 45: 555-562, (2003).
- [5] Pie, D., Miao, D., "From soft sets to information systems", *Granular Comput, 2005 IEEE Inter. Conf.*, 2: 617-621, (2005).
- [6] Chen, D, "The parametrization reduction of soft sets and its applications", *Comput. Math. Appl.*, 49: 757-763, (2005).
- [7] Aygünöglü, A. Aygün, H., "Some notes on soft topological spaces", *Neural Computation and Application*, 21: 113-119, (2012).
- [8] Çağman, N., Karatas, S, Enginoğlu, S., "Soft topology", *Computers & Mathematics with Applications*, 62(1): 351-358, (2011).
- [9] Hussain, S, Ahmad, B., "Some properties of soft topological spaces", *Comput. Math. Appl.*, 62: 4058-4067, (2011).
- [10] Shabir, M., Naz, M., "On soft topological spaces", *Computers and Mathematics with Applications*, 61: 1786-1799, (2011).
- [11] Dizman, T. et. al., "Soft Ditopological Spaces", *Filomat*, 30(1): 209-222, (2016).
- [12] Şenel, G., The Theory of Soft Ditopological Spaces, *International Journal of Computer Applications*, 150(4):1-5, (2016).
- [13] Aktaş, H., Çağman, N., "Soft sets and soft groups", *Information Sciences*, 177(1): 2726-2735, (2007).
- [14] Çağman, N., Enginoğlu, S., "Soft set theory and uni-int decision making", *European Journal of Operational Research*, 207: 848-855, (2010).
- [15] Şenel, G., "A Comparative Research on the Definition of Soft Point", *International Journal of Computer Applications*, 163(2):1-5, (2017).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>

Türbülanslı metan alevinde mikrojet destekli seyreltici kullanımının NO_x emisyonlarına olan etkisinin sayısal olarak incelenmesi

Numerical investigation of microjet assisted diluents usage on effect of NO_x emissions in turbulent methane flame

Yazar(lar) (Author(s)): Serhat KARYEYEN¹, Mustafa ILBAS²

ORCID¹: 0000-0002-8383-5518

ORCID²: 0000-0001-6668-1484

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Karyeyen S. ve Ilbas M., "Türbülanslı metan alevinde mikrojet destekli seyreltici kullanımının NO_x emisyonlarına olan etkisinin sayısal olarak incelenmesi", *Politeknik Dergisi*, 21(3): 715-721, (2018).

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

DOI: 10.2339/politeknik.403983

Türbülanslı Metan Alevinde Mikrojet Destekli Seyreltici Kullanımının NO_x Emisyonlarına Olan Etkisinin Sayısal Olarak İncelenmesi

Araştırma Makalesi / Research Article

Serhat KARYEYEN¹, Mustafa ILBAS^{1*}

¹Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

(Geliş/Received : 27.10.2017 ; Kabul/Accepted : 09.02.2018)

ÖZ

Bu çalışma kapsamında, mikrojet destekli metan alevinin yanma ve emisyon karakteristikleri sayısal olarak araştırılmıştır. Yapılan modellemelerde, metan alevinin merkezinden mikrojet olarak seyreltici beslenmiş ve böylece metan alevinde NO_x emisyonlarına olan etkileri araştırılmıştır. Seyreltici olarak, CO₂, N₂ ve H₂O (su buharı), farklı Reynolds (Re) sayılarında mikrojet olarak alev bölgesine beslenmiştir. Çalışmada, bir hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) programı (Ansys Fluent) kullanılmış ve modellemeler bu program ile gerçekleştirilmiştir. The PDF/Mixture Fraction yanma modeli, P-1 radyasyon modeli ile birlikte, farklı türbülans modelleri de yanma modellemesinde kullanılarak en uygun türbülans modeli belirlenmiştir. Yanma modellemesi neticesinde, bu HAD programına ait yanma-sonrası NO_x işlemcisi ile metan alevinin ısı ve ani NO_x oluşum mekanizmalarına göre tahminler yapılmış ve seyrelticilerin etkileri sayısal olarak araştırılmıştır. Gerçekleştirilen yanma modellemeleri neticesinde elde edilen sonuçlara göre, yanma odası merkezinden beslenen seyrelticilerin metan alevinde oluşan NO_x emisyonlarının bastırılmasına bir miktar katkı sağladığı görülmüştür. Seyrelticiler kendi içerisinde değerlendirilecek olursa, mikrojet şeklinde seyreltici olarak su buharı kullanımının CO₂ ve N₂'ye göre metan alevindeki NO_x seviyelerini daha fazla düşürdüğü tespit edilmiştir. Bu değer 45 ppm'den 30 ppm dolaylarına kadar azaltılabilmektedir. Yapılan bu sayısal çalışma ile birlikte, metan alevinin merkezinden mikrojet şeklinde seyreltici beslenmesinin alev stabilizasyonuna etkisi olduğu gibi NO_x emisyonlarının azaltılmasına da katkı sağladığı sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Mikrojet, seyreltme, metan, NO_x.

Numerical Investigation of Microjet Assisted Diluents Usage on Effect of NO_x Emissions in Turbulent Methane Flame

ABSTRACT

Combustion and emission characteristics of microjet assisted methane flame have been investigated numerically in the present study. Diluents have been supplied as microjet from the center of the methane flame and therefore, their effects on NO_x emissions have been investigated in methane flame. CO₂, N₂ and steam have been supplied into the flame zone as diluents for different Reynolds (Re) numbers. A computational fluid dynamics (CFD) code (Ansys Fluent) has been used and modellings have been performed by it in the present study. The PDF/Mixture Fraction combustion model and P-1 Radiation model have been used. Different turbulence models have also been used in combustion modellings and the best turbulence model has been determined. After combustion modellings have been carried out, NO_x predictions have been taken place with NO_x post processor in this CFD code based on thermal and prompt NO_x mechanisms and the effects of the diluents have been investigated numerically. According to the results, It has been seen that center-fed diluents have contributed suppression of NO_x emissions forming in the methane flame. When the diluents are evaluated each other, it has been determined that steam enables more reduction of NO_x emissions forming in the methane flame in comparison to CO₂ and N₂. This reduction has been provided from 45 ppm to 30 ppm. It can be concluded from the present study that supplying diluents as microjet has also contributed reduction of NO_x emissions as well as it affects flame stabilization.

Keywords: Microjet, dilution, methane, NO_x

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Fosil yakıtlar, günümüzün vazgeçilmez enerji kaynakları olmaya devam etmektedirler. Günümüzdeki bir çok uygulamada, özellikle de elektrik üretiminde fosil

yakıtlar kullanımdaki yerini korumaktadırlar. Ancak bu durum, tüm Dünya için iki büyük problem yaratmaktadır. Birincisi, fosil yakıtlar hızla tükenmektedir. İkinci ve en önemlisi ise, yarattıkları çevre tahribatlarıdır. Günümüzün en büyük problemi küresel ısınmaya neden olan CO₂ gazı da bu yakıtların yakılması neticesinde açığa çıkmaktadır. Bunun yanı sıra, gerek havanın

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta : ilbas@gazi.edu.tr

bünyesinde bulunan serbest azottan gerek, özellikle katı yakıtların bünyesinde bağlı olarak bulunan azottan kaynaklı NOX emisyonları da diğer önemli bir kirletici olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu kirletici, fosil yakıtların yakılması neticesinde oluşmakta, ya yanma sonu ürünlerinden olan su buharı ile doğrudan ya da atmosferdeki nem ile dolaylı olarak reaksiyona girmekte ve nitrik asit oluşturmakta, bu şekilde de asit yağmuru olarak Dünya'ya yağmaktadır. Bu nedenle, yanma işlemlerinde NOX emisyonunun azaltılmasına yönelik çalışmalar bilim adamlarının başlıca konuları arasında olmaya devam etmektedir.

NOX emisyonları genel olarak üç farklı emisyon olarak oluşmaktadır. Bunlar, N₂O, NO ve NO₂'dir. N₂O, inert bir gaz olup anestetik (uyuşturucu) karakteristiği gösterir. NOX oluşumuna bağlı olmaksızın çevresel çevrimlerde genellikle dengeli bir yapıya sahiptir. NO, renksiz bir gazdır ve 0.50 ppm'den daha az konsantrasyonlarında, insan sağlığı için zehirleyici etkisi oldukça azdır. Bunun yanında, NO, fotokimyasal duman oluşumunda aktif rol oynamaktadır. Ayrıca NO emisyonları bulunduğu zaman, sinir sistemini doğrudan etkilemekte, kandaki hemoglobine yapışmaktadır. NO₂, NO'nun, atmosferde hızlıca NO₂'ye dönüşmesi neticesinde ortaya çıkar ve göz ve burnun tahrişine yol açar. Ayrıca, NO₂ seviyesi, 15 ppm'in üzerine çıkacak olursa, akciğer rahatsızlıklarına neden olabilir [1].

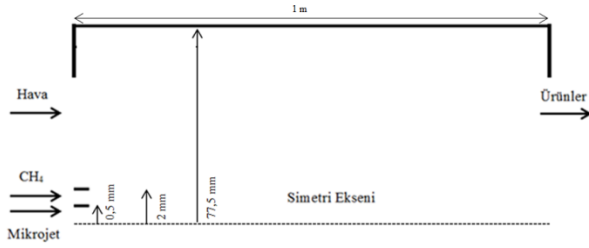
Mikrojet, en basit tanımı ile, ön-karışimsız bir metan-hava alevinde yakıt ve havanın merkezinde bulunan çok küçük kesitli bir delikten herhangi bir gazın alev bölgesine doğru hızlı bir şekilde püskürtülmesi işlemidir. Özellikle, türbülanslı metan alevlerinde alev kararlılığını arttırmak, yüksek sıcaklık bölgelerini yanma odasının girişine taşımak ve böylece içte yeni bir alev oluşturmak için sıklıkla kullanılmakta olan bir yöntemdir. Örneğin, Chouaieb vd. [2] tarafından yapılan bir çalışmada, ön-karışimsız bir metan alevi mikrojet desteği ile sayısal olarak yakılmış ve yanma sonu parametreleri araştırılmıştır. Bahsi geçen çalışmada mikrojet olarak hava kullanılmıştır. Yapılan çalışma neticesinde, özellikle yüksek Re sayıları için alev bölgesinin gerisinde yeni iç bir alev oluştuğu ve böylece yüksek sıcaklık bölgelerinin yanma odası girişine doğru hareket ettiği anlaşılmıştır. Chouaieb vd. [3] yaptıkları bir başka çalışmada ise CH₄-H₂ alevini mikrojet ile desteklemişler ve yanma sonu sıcaklık ve is oluşumlarını sayısal olarak araştırmışlardır. Çalışmanın ilk bölümünde "Eddy Dissipation Concept (Girdap Dağılım Kavramı)" ile "Presumed PDF-Probability Density Function (Farzedilmiş Olasılıklı Yoğunluk Fonksiyonu)" modellerini karşılaştırmışlar ve "Presumed PDF" modelin daha iyi sonuçlar verdiğini tespit etmişlerdir. Çalışmanın ikinci kısmında ise mikrojet destekli (hava) CH₄-H₂ alevinin yanma sonu karakteristiklerini ortaya koymuşlardır. Bu bölümden elde edilen sonuçlara göre de H₂ ilavesinin reaksiyonu hızlandırdığı bunun da bir sonucu olarak is oluşumunu azalttığı yönündedir. Ganguly ve Puri [4] yaptıkları bir çalışma ile mikrojet desteğinin alev üzerindeki etkilerini araştırmışlardır.

Yapılan çalışma neticesinde elde edilen bulgulara göre, mikrojet desteği arttıkça alevin boyu lineer bir şekilde kısalmış ve alevin ışıldama seviyesi de azalmıştır. Sinha vd. [5] ön-karışimsız bir metan alevinde mikrojet desteği kullanmışlar ve bunun yanma sonu karakteristiklerine olan etkilerini araştırmışlardır. Yapılan çalışma ile birlikte, mikrojetin hızının değiştirilmesi ile alevin kontrol edilebildiği belirlenmiştir. Daha önce bahsi geçen çalışmalarda olduğu gibi, yüksek sıcaklık bölgeleri, bu çalışmada da girişe yaklaşmıştır. NOX ve CO emisyonları açısından değerlendirilecek olursa, mikrojet hızının 20 m/s'yi aştığı ve alevin kontrol altında tutulmadığı bölgelerde NOX emisyonları azalırken CO emisyonlarında artış olduğu saptanmıştır. Yuchun vd. [6] yanma odası girişindeki brülörün kenarlarından alev doğru mikrojet olarak hava beslemesi gerçekleştirmişler ve alev karakteristiği üzerine olan etkilerini araştırmışlardır. Yandan beslenen bu mikrojetlerin kullanımı, alev yapısının (alev kopma sınırları gibi) kontrolünü sağlamıştır. Ayrıca, hava ile yapılan mikrojet beslemesi, alev uzunluğunu, beslenen mikrojet debisine bağlı olarak % 5 - % 40 arasında azaltmıştır. Kanchi vd. [7] tarafından yürütülen başka bir çalışmada ise, iki farklı geometrideki yanma odasında mikrojet desteği ile yanma gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgulara göre, 45°'lik açı ile yerleştirilen mikrojet girişi ısı salınımını % 140'a kadar önemli ölçüde arttırmıştır.

Yukarıda bahsi geçen çalışmalar değerlendirildiğinde, mikrojet olarak genellikle hava kullanıldığı anlaşılmaktadır. Ayrıca, mikrojet desteğinin hava ile sağlandığı çalışmalardaki ana hedefin alev kararlılığı olduğu, önemli bir yanma sonu ürünü olan NOX üzerine olan etkileri üzerinde çok durulmadığı da görülmektedir. Bu çalışmada, yanma sonu ürünlerinden olan NOX kirletici emisyonunun azaltılmasına için bu seyrelticilerin etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır. CO₂, N₂ ve su buharı, literatürde yapılan bir çalışmada [2] kullanılan yanma odasına benzer bir yanma odası için mikrojet şeklinde yanma odasına beslenmiş ve bu seyrelticilerin yanma sonu NOX emisyonlarına olan etkileri sayısal olarak araştırılmıştır.

2. MODELİN ve SINIR ŞARTLARININ TANIMLANMASI (DESCRIPTION of MODEL and BOUNDARY CONDITIONS)

Bu çalışmada, Chouaieb vd. [2] tarafından gerçekleştirilen modellemede kullanılan yanma odası geometrisi referans geometri ve sınır şartları (metan ve hava için) olarak da Brookes ve Moss [8] tarafından gerçekleştirilen deneysel çalışmadaki veriler (modelin doğrulanması için) alınmış olup kullanılan yanma odasına ilişkin detaylar Şekil 1'de gösterilmiştir. Modellemeler 2-boyutlu ve eksenel simetrik olarak gerçekleştirildiği için yanma odası 2-boyutlu olarak gösterilmiştir. Şekil 1'de gösterilen yanma odasının uzunluğu 1m, çapı 155 mm, yakıtın çapı 4 mm'dir. Mikrojet girişinin çapı ise 1 mm şeklindedir.



Şekil 1. Yanma Odası (The Combustion Chamber)

Yanmanın modellenmesinde kullanılan hava ve yakıtın debileri, Chouaieb vd. tarafından gerçekleştirilen modellemelerde kullanılan debilerle aynı seçilmiştir. Bu değerler, sayısal modellemenin doğrulanabilmesi için Chouaieb vd. tarafından da Brookes ve Moss [8] tarafından yürütülen deneysel çalışma ile aynı seçilmiş olup sırasıyla, hava için 118×10^{-4} kg/s ve yakıt için $1,72 \times 10^{-4}$ kg/s'dir. Mikrojet olarak beslenen CO₂, N₂ ve su buharı için 3 farklı Re sayısı için (10, 100, 1000) mikrojet olarak besleme gerçekleştirilmiştir. Yakıt ve hava sıcaklıkları 293 K ve seyrelticilerin sıcaklıkları da 393 K olarak belirlenmiştir.

3. SAYISAL MODELLEME (NUMERICAL MODELLING)

Gaz karışımı yakıt yakma işlemi için tanımlanan matematiksel modeller, kararlı durum koşulu, üç-boyutlu olarak süreklilik, momentum, enerji ve tür denklemlerine dayanmaktadır. Taşıma denkleminin genel formu şöyledir [9]:

$$\frac{\partial(\rho\Phi)}{\partial x} + \text{div}(\rho\Phi u) = \text{div}(\Gamma \text{grad}\Phi) + S_\Phi \quad (1)$$

Burada Φ bağımlı değişkenleri temsil eder. Γ , Φ değişkeni için taşıma katsayısını, S_Φ ise Φ için taşıma denkleminin kaynak terimini belirtir.

Bu çalışmada, yanma modeli olarak Mixture Fraction / PDF Modeli kullanılmıştır. Bu yanma modelinde, her bir tür için taşıma denklemleri çözülmez. Onun yerine ilgili her bir türün konsantrasyonu, tahmin edilen karışım oranı alanlarından türetilir. Türbülans ve kimyanın etkileşimi, olasılıklı yoğunluk fonksiyonuyla (PDF) hesaplanır [1].

PDF model yaklaşımı, özellikle türbülanslı difüzyon alevlerinin simülasyonu için geliştirilmiştir. Yakıt/Oksitleyici sistemi için, karışım oranı f , yerel yakıt kütlesi oranı olarak şöyle ifade edilebilir:

$$f = \frac{m_F}{m_F + m_O} \quad (2)$$

Burada m_F ve m_O , yakıt ve oksitleyici kütle oranlarını göstermektedir.

Karışım oranı f , akış alanındaki her noktadaki değeri, türbülanslı akış alanının ortalama zaman değeri için aşağıdaki koruma denkleminin çözümü ile hesaplanan ve korunan bir miktardır [1].

$$\frac{\partial(\rho\bar{f})}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i \bar{f})}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\mu_t}{\sigma_t} \frac{\partial \bar{f}}{\partial x_i} \right) + S_m \quad (3)$$

Burada S_m , yalnızca kütlenin, sıvı yakıt damlacıklarından gaz fazına transferi ile ilgili bir kaynak terimidir.

Ortalama karışım oranı için çözüme ek olarak, karışım oranı değişkeni için bir koruma denklemi çözülür. \bar{f}^2 , türbülans-kimya etkileşimlerini tanımlayan kapanma modelinde kullanılır.

$$\frac{\partial(\rho\bar{f}^2)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i \bar{f}^2)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{\mu_t}{\sigma_t} \frac{\partial \bar{f}^2}{\partial x_i} \right) + C_g \mu_t \left(\frac{\partial \bar{f}^2}{\partial x_i} \right)^2 - C_d \rho \frac{\epsilon}{k} \bar{f}^2 \quad (4)$$

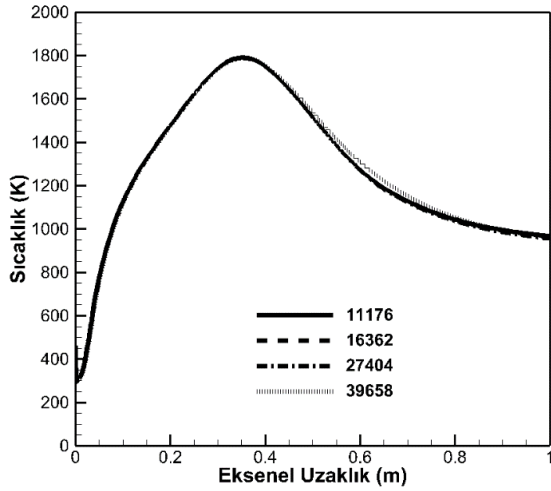
burada σ_t , C_g ve C_d Mixture Fraction/PDF modelinde kullanılan sabitlerdir.

Radyasyonla ısı transferi genellikle yüksek sıcaklıklarda gerçekleşir. Yanma odalarındaki alev sıcaklığı, stokiyometrik yanma koşullarında genellikle yüksektir (1000-1600°C). Bundan dolayı, yanma modellemelerinde radyasyon modelinin dahil edilmesi sıcaklık dağılımlarının daha doğru ve iyi tahmin edilebilmesine olanak sağlamaktadır [1]. P-1 modeli, daha genel P-N modelinin en basit örneğidir ve diğer radyasyon modellerine göre bazı avantajları vardır. Örneğin; P-1 modeli ile daha az bilgisayar işlemi ile daha etkin sonuçlar elde edilebilir. P-1 modeli, eğrisel koordinatlar içeren karmaşık geometrilere kolayca uygulanabilir [10]. Bu nedenle, bu çalışmada metan gazının sayısal modellenmesi ile yapılan sıcaklık ve emisyon tahmininin daha doğru sonuç vermesi için P-1 radyasyon modeli tercih edilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA (CONCLUSIONS and DISCUSSION)

4.1. Ağ Yapısından Bağımsızlaştırma (Mesh Independence)

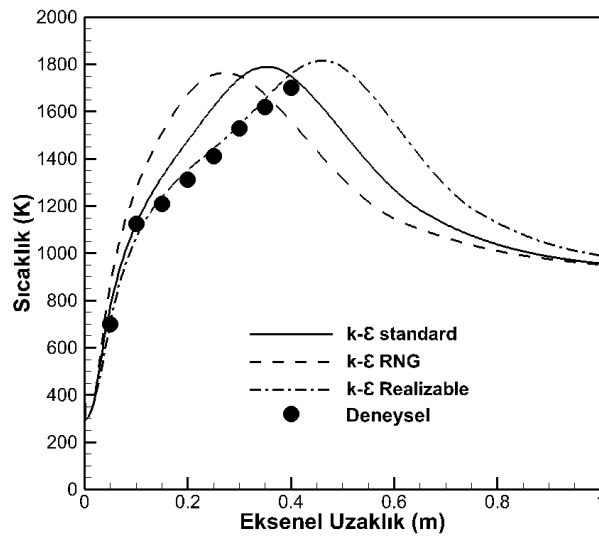
Sayısal çözümler yapılırken bilgisayar yetersizliği, fazla zaman problemi vb. bazı sorunlardan kaçınmak için kullanılan ağ yapısındaki hücre sayısından bağımsızlaştırma yapılması bilinen bir yöntemdir. Bu nedenle, bu çalışmada da hücre sayısından bağımsızlaştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Ağ yapısından bağımsızlaştırma yapılırken mikrojet desteği yapılmamıştır. Eksenel sıcaklık dağılımına göre doğru hücre sayısının seçilmesine ilişkin şekil, Şekil 2'de gösterilmiştir. 11176, 16362, 27404 ve 39658 adet hücre sayısının bulunduğu 4 farklı ağ yapısı ile gerçekleştirilen modellemeler neticesinde elde edilen eksenel sıcaklık dağılımları arasında ciddi farklılıklar olmadığı Şekil 2'den anlaşılmaktadır. Sonraki modellemelerde mikrojet desteğinin kullanılacak olması da göz önünde bulundurularak 27404 adet hücre içeren ağ yapısı uygun ap yağı olarak seçilmiş ve bundan sonraki modellemelerde bu ağ yapısı kullanılmıştır.



Şekil 2. Farklı ağ yapıları için eksenel sıcaklık dağılımları (Axial temperature distributions for different mesh structure)

4.2. Modelin Doğrulanması ve Türbülans Modelinin Etkisi (Model Validation and Effect of Turbulence Model)

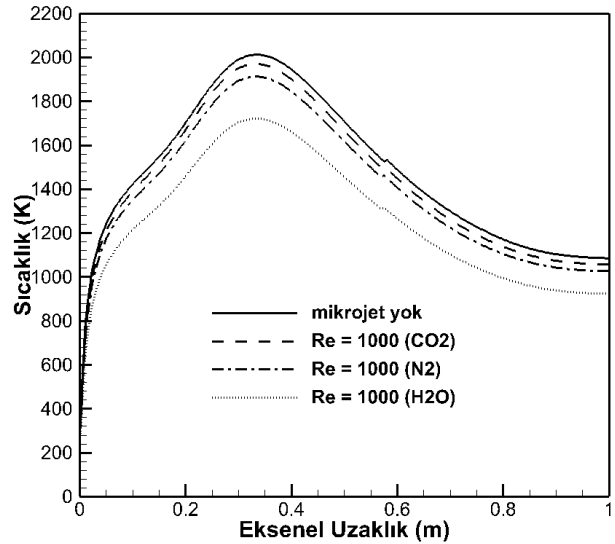
Yanma modellerine geçilmeden önce, ilgili çalışma, literatürde bulunan deneysel bir çalışma ile doğrulanmıştır [8]. Bu doğrulama işleminde kullanılan yakıt metandır ve bahsi geçen çalışmadaki yanma şartları esas alınarak eksenel yöndeki sıcaklık dağılımlarına göre doğrulama işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu doğrulama işlemi yapılırken aynı zamanda, bu çalışmaya da esas teşkil edecek olan türbülans modeli de seçilmiştir. Karşılaştırmaya ilişkin grafik Şekil 3'te gösterilmiştir. Yapılan doğrulamalar neticesinde deneysel verilerle en iyi uyum gösteren türbülans modelinin k- ϵ Realizable türbülans modeli olduğu belirlenmiş olup bundan sonraki modellemelerde de türbülans modeli olarak bu model kullanılmıştır.



Şekil 3. Modelin doğrulanması ve türbülans modelinin belirlenmesi (Model validation and determination of turbulence model)

4.3. Seyrelticinin Etkisi (Effect of Diluent)

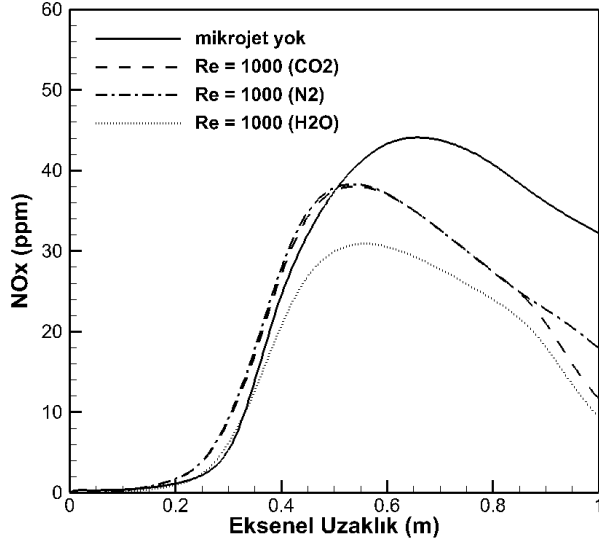
Çalışmanın bu bölümünde, kullanılan 3 farklı seyrelticinin sıcaklık ve NOX dağılımları üzerine olan etkilerini gösteren Şekil 4 ve Şekil 5 sunulmuştur. İlk olarak Şekil 4'te mikrojet olarak kullanılan seyrelticilerin eksenel sıcaklık dağılımlarına olan etkileri gösterilmiştir. Mikrojet şeklinde yanma odası merkezinden seyreltici gönderilmesi durumunda tüm seyrelticiler için en yüksek sıcaklık değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir. Yanma odasının eksen boyunca da bu durumun devam ettiği anlaşılmaktadır. Seyrelticilerin birbirleriyle karşılaştırılması durumunda, en yüksek sıcaklık düşüşünün su buharı ile yapılan seyreltme ile başarıldığı, ardından ise N₂'nin sıcaklık düşüşünde etkin bir rol oynadığı anlaşılmaktadır. Bu durum, kullanılan seyrelticilerin özgül ısılarının farklı olması ile açıklanabilir. Literatürde yapılan benzer çalışmalarda, mikrojet kullanımının yanma odasının girişinde yeni bir sıcaklık bölgesi oluşturduğu da bilinmektedir. Bu çalışma için değerlendirilecek olursa, mikrojet olarak seyreltici gönderiminin yanma performansını bir miktar azalttığı Şekil 4'ten anlaşılmaktadır.



Şekil 4. Mikrojet olarak kullanılan seyrelticilerin eksenel sıcaklık dağılımlarına olan etkisi (Effect of diluents used as microjet on axial temperature distributions)

Şekil 5'te gösterilen NOX dağılımları incelenecek olursa, mikrojet olarak seyreltici gönderiminin NOX oluşumlarını tüm seyrelticiler için bir miktar azalttığı görülmektedir. Mikrojetin olmadığı durumda, yanma odası içerisindeki NOX seviyeleri 40 ppm'nin üzerine çıkarırken, CO₂ ve N₂ ile yapılan mikrojet desteği neticesinde en yüksek NOX seviyelerinin 40 ppm'i aşmadığı, su buharı ile yapılan mikrojet destekli seyreltme durumunda ise bu miktarların yanma odası boyunca en yüksek 30 ppm civarında olduğu yapılan modellemeler neticesinde belirlenmiştir. Bilindiği gibi, NOX oluşumlarında en etkin rolü ısı NOX mekanizması oynamaktadır. Bu mekanizmaya göre de yüksek sıcaklık bölgelerinde NOX emisyonları daha yüksek olmaktadır. Elde edilen bulgular bilinen bu durumu da desteklemektedir. Bu sonuçlar

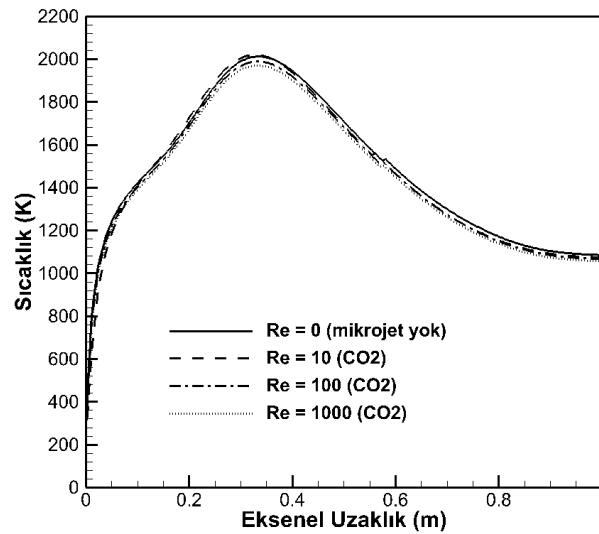
doğrultusunda, mikrojet desteği ile en etkin seyreltmenin su buharı ile sağlandığı sonucuna varılmıştır. Benzer bir bulguya Lee vd. [11] tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada da rastlanmıştır. Lee vd. tarafından yürütülen deneysel çalışmada, yakıtı uygulanan seyreltmeler neticesinde (ancak bu seyreltme işlemi mikrojet olarak yapılmamıştır), su buharı ile % 95'e kadar NOX emisyonu bastırılabilmiştir.



Şekil 5. Mikrojet olarak kullanılan seyrelticilerin aksel NO_x dağılımlarına olan etkisi (Effect of diluents used as microjet on axial NO_x distributions)

4.4. Re Sayısının Etkisi (Effect of Re number)

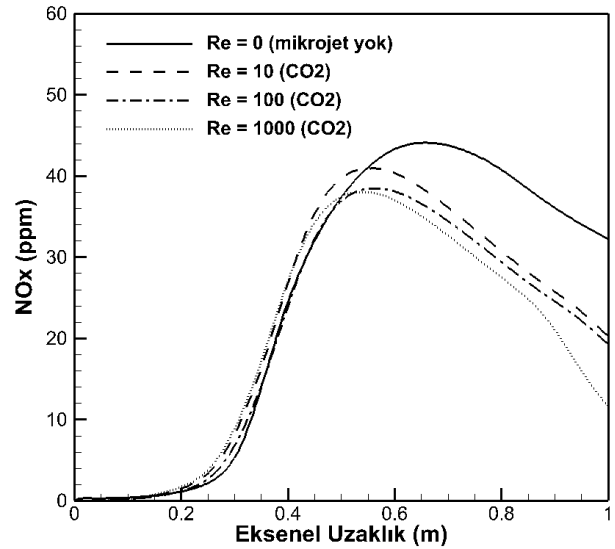
Farklı Re sayıları ile beslenen CO₂ seyrelticisinin aksel sıcaklık dağılımı üzerine olan etkisi Şekil 6'da sunulmuştur. Şekil 6'dan da anlaşılacağı üzere, mikrojet olarak farklı Re sayılarında seyreltici beslenmesinin sıcaklık seviyelerini bir miktar değiştirdiği, Re sayısı arttırıldıkça sıcaklık seviyelerinin bir miktar azaldığı, yapılan modellemeler neticesinde belirlenmiştir.



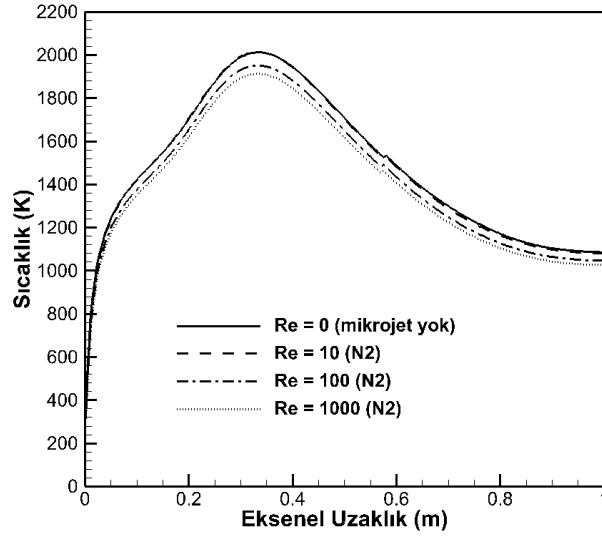
Şekil 6. Farklı Re sayıları için kullanılan CO₂ mikrojetinin aksel sıcaklık dağılımları üzerine etkisi (Effect of CO₂ microjet used for different Re numbers on axial temperature distributions)

Şekil 7'de ise, farklı Re sayıları ile mikrojet olarak yanma odasına gönderilen CO₂ seyrelticisinin NOX emisyonları üzerine olan etkileri gösterilmiştir. Re sayısı arttırıldıkça, en yüksek NOX seviyelerinin bir miktar yer değiştirdiği ve kaydadeğer şekilde azalma gösterdiği Şekil 7'den anlaşılmaktadır. Re = 10 sınır şartı için yapılan modelleme neticesinde en yüksek NOX seviyesi 40 ppm'e gerilerken, Re = 100 ve Re = 1000 sınır şartları için bu değer yaklaşık 38 ppm dolaylarında kalmıştır. Sonuç olarak, mikrojetin Re sayısının arttırılması, bir miktar da olsa NOX seviyesinin azaltılmasına katkı sağladığı sonucuna ulaşılmıştır.

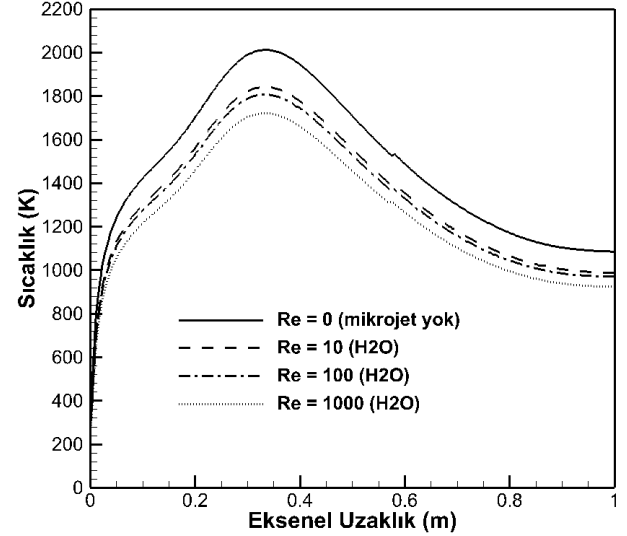
Farklı Re sayıları ile beslenen N₂ seyrelticisinin aksel sıcaklık dağılımı üzerine olan etkisi de Şekil 8'de gösterilmiştir. Şekil 8'den, mikrojet olarak beslenen N₂'nin miktarı arttırıldıkça sıcaklık seviyelerinin bir miktar azaldığı tespit edilmiştir. Şekil 9'da ise farklı Re sayıları ile mikrojet olarak yanma odasına gönderilen N₂ seyrelticisinin NOX emisyonları üzerine olan etkileri gösterilmiştir. Re sayısı arttırıldıkça, en yüksek NOX seviyelerinin bir miktar yer değiştirdiği ve kaydadeğer şekilde azalma gösterdiği Şekil 9'dan anlaşılmaktadır.



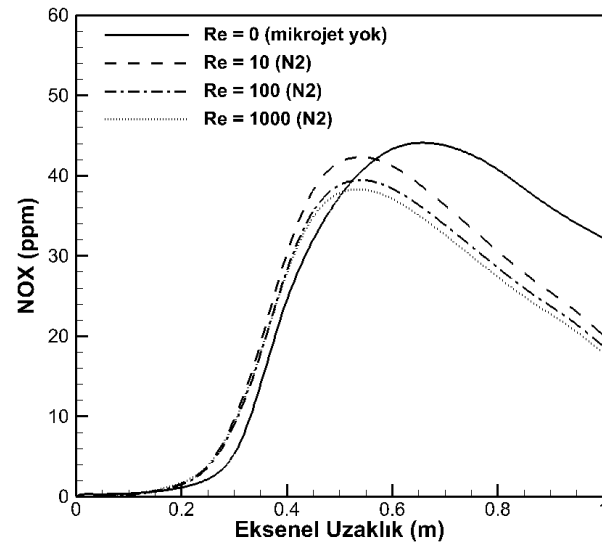
Şekil 7. Farklı Re sayıları için kullanılan CO₂ mikrojetinin aksel NO_x dağılımlarına olan etkisi (Effect of CO₂ microjet used for different Re numbers on axial NO_x distributions)



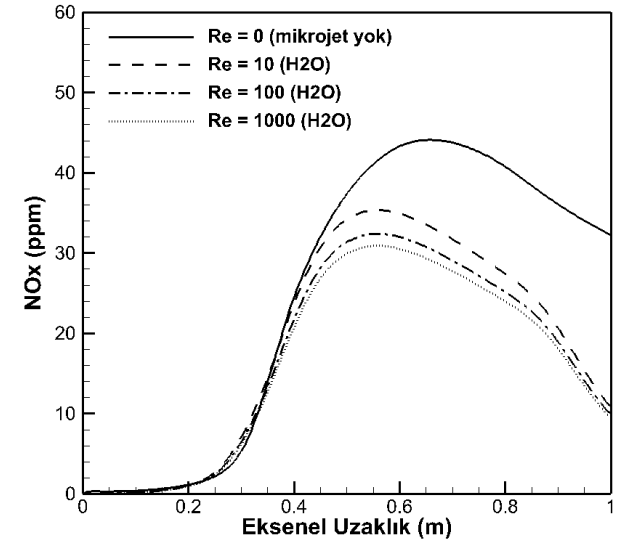
Şekil 8. Farklı Re sayıları için kullanılan N_2 mikrojetinin eksenel sıcaklık dağılımlarına olan etkisi (Effect of N_2 microjet used for different Re numbers on axial temperature distributions)



Şekil 10. Farklı Re sayıları için kullanılan H_2O mikrojetinin eksenel sıcaklık dağılımlarına olan etkisi (Effect of H_2O microjet used for different Re numbers on axial temperature distributions)



Şekil 9. Farklı Re sayıları için kullanılan N_2 mikrojetinin eksenel NO_x dağılımlarına olan etkisi (Effect of N_2 microjet used for different Re numbers on axial NO_x distributions)



Şekil 11. Farklı Re sayıları için kullanılan H_2O mikrojetinin eksenel NO_x dağılımlarına olan etkisi (Effect of H_2O microjet used for different Re numbers on axial NO_x distributions)

Farklı Re sayıları için seyreltici olarak kullanılan H_2O için tahmin edilen eksenel sıcaklık dağılımları Şekil 10'da gösterilmiştir. Şekil 10'dan, mikrojet olarak beslenen H_2O 'nın miktarı arttırıldıkça sıcaklık seviyelerinin önemli derecede azaldığı belirlenmiştir. Şekil 11'de ise farklı Re sayıları ile mikrojet olarak yanma odasına gönderilen H_2O seyrelticisinin NO_x emisyonları üzerine olan etkileri sunulmuştur. Re sayısı arttırıldıkça, en yüksek NO_x seviyelerinin önemli derecede azalma gösterdiği belirlenmiştir.

5. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu sayısal çalışmada, yanma odası merkezinden ön-karışimsız bir şekilde CO_2 , N_2 ve su buharı, mikrojet şeklinde seyreltici olarak metan-hava alevinin içerisine püskürtülmüş ve bu seyrelticilerin NO_x emisyonlarına olan etkileri araştırılmıştır. Yapılan sayısal çalışma neticesinde elde edilen bazı bulgular şöyledir:

- Mikrojet olarak seyreltici beslenmesi, en yüksek sıcaklık değerlerinin bir miktar düşürülmesine neden olmuştur.

- Mikrojet olarak seyreltici beslenmesi, NOX emisyonlarının önemli derecede azaltılmasına katkıda bulunmuştur. Çalışma neticesinde, aynı Re sayısı ile seyreltici beslenmesi durumunda en iyi seyreltici su buharı olduğu sonucuna varılmıştır.

- Su buharı, diğer seyrelticiler ile karşılaştırıldığında su buharının ısı kapasitesinin daha yüksek olduğu, bu durumun da sıcaklık seviyesinin azaltılmasına katkı sağladığı, böylece de ısı NOX'un en iyi su buharı ile bastırılabilirdiği sonucunu ortaya çıkarmıştır.

- Su buharının mikrojet olarak beslenmesi ile yapılan seyreltme neticesinde yanma odası içerisindeki en yüksek NOX seviyeleri yaklaşık 45 ppm dolaylarında iken $Re = 1000$ için yapılan tahminlerde bu değer yaklaşık 30 ppm'e düştüğü, bu azalmanın da çalışma kapsamında gerçekleştirilen en iyi sonuç olduğu ortaya konulmuştur.

- Mikrojet şeklinde seyreltici beslenmesinde Re sayısının değiştirilmesinin aksel sıcaklık dağılımını da önemli ölçüde etkilediği belirlenmiştir.

- Re sayısı arttırıldıkça, seyreltici NOX emisyonlarını azaltmaya yönelik etkisinin de kaydadeğer şekilde arttığı belirlenmiştir.

Tüm bu bulgular ışığında, metan alevlerindeki NOX emisyonlarının, mikrojet şeklinde seyreltici beslenmesi yoluyla da azaltılabileceği, bu durumda da seyreltici olarak su buharının kullanılmasının daha faydalı olacağı, bu işlem neticesinde de yanma performansında önemli sayılabilecek ölçüde kayıp olmayacağı sonucuna varılmıştır. Bundan sonra yapılabilecek çalışmalar gözönüne alındığında mikrojet olarak yapılan seyreltici beslenmesinin farklı yakıtlar için de uygulanabileceği öneri olarak sunulabilir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Yazarlar, Ansys R18.0. akademik bilgisayar yazılımının kullanımından dolayı Gazi Üniversitesi'ne teşekkür ederler.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Ilbas M., "Studies of Ultra Low NO_x Burners", *PhD Thesis*, University of Cardiff, 1997.
- [2] Chouaieb S., Kriaa W., Mhiri H. and Bournot. P., "A parametric study of microjet assisted methane/air turbulent flames", *Energy Conversion and Management*, 140: 121-132, (2017).
- [3] Chouaieb S., Kriaa W., Mhiri H. and Bournot. P., "Presumed PDF modeling of microjet assisted CH₄-H₂/air turbulent flames", *Energy Conversion and Management*, 120: 412-421, (2016).
- [4] Ganguly R. and Puri I. K., "Nonpremixed flame control with microjets", *Experiments in Fluids*, 36: 635-641, (2004).
- [5] Sinha A., Ganguly R. and Puri I. K., "Control of confined nonpremixed flames using a microjet", *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 26: 431-439, (2005).
- [6] Yuchun C., Jinxing W., Jianchun M. and Yu Z., "Flame Structure of a Jet Flame with Penetration of Side Microjets", *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 16: 861-866, (2008).
- [7] Kanchi H., Russell K., Anderson M. J., Beard S. P., Strykowski P. J. and Mashayek F., "Fluidic control with microjets in dump combustors", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 54: 5395-5405, (2011).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>

Güneş enerjisi destekli düz ve hapsedici yüzeyli kurutma fırınlarının performanslarının kivi kurutarak karşılaştırılması

Comparison of performances of solar energy assisted drying ovens with flat and incarcerating surface for kiwi drying

Yazar(lar) (Author(s)): Halil İbrahim VARIYENLİ

ORCID: 0000-0001-6313-1786

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz(To cite to this article): Variyenli H. İ., “Güneş enerjisi destekli düz ve hapsedici yüzeyli kurutma fırınlarının performanslarının kivi kurutarak karşılaştırılması”, *Politeknik Dergisi*, 21(3): 723-729, (2018).

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

DOI: 10.2339/politeknik.428011

Güneş Enerjisi Destekli Düz Ve Hapsedici Yüzeyle Kurutma Fırınlarının Performanslarının Kivi Kurutarak Karşılaştırılması

Araştırma Makalesi / Research Article

Halil İbrahim VARIYENLİ

Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, 06500, Teknikokullar, Ankara, TÜRKİYE

(Geliş/Received : 29.01.2018 ; Kabul/Accepted : 12.05.2018)

ÖZ

Bu çalışmada, düz ve hapsedici yüzeyle emici plakalı kurutma fırınları tasarlanmış, imal edilmiş ve performansları deneysel olarak karşılaştırılmıştır. Deneylerde kivi kurutulmuştur. Kiviler, kabukları soyulduktan sonra 4 - 6 mm kalınlığında dilimlenerek 100 g olacak şekilde deneye hazırlanmıştır. Kurutma sisteminde kiviler başlangıç nem miktarından (0.83 g su/g yaş madde) son nem miktarına (0.056 g su/g yaş madde) kadar kurutulmuştur. Deneyler, 2.5 – 3.0 ve 3.5 m/s hava hızlarında gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneylerde; düz yüzeyle kurutma fırınının kurutma odası ortalama sıcaklığı 41.6 °C iken hapsedici yüzeyle kurutma fırınının kurutma odası ortalama sıcaklığı 44.1 °C olarak tespit edilmiştir. Üç farklı hız ile yapılan deneylerde; düz yüzeyle kurutma fırınında kurutma süresi 390 dakika sürer iken hapsedici yüzeyle kurutma fırını ile yapılan deneylerde; 2.5 m/s’de kurutma süresi 390 dakika, 3.0 m/s’de kurutma süresi 360 dakika ve 3.5 m/s’de kurutma süresi 330 dakika sürmüştür. Hapsedici yüzeyle kurutma fırını, düz yüzeyle kurutma fırınına göre ortalama 30 dakika daha kısa sürede kurutma işlemini gerçekleştirdiği sonucuna varılmıştır.

Anahtar kelimeler: Güneş enerjisi, düz ve hapsedici yüzey, kurutma fırını, performans.

Comparison Of Performances Of Solar Energy Assisted Drying Ovens With Flat And Incarcerating Surface For Kiwi Drying

ABSTRACT

In this study, drying ovens including absorbent plates with flat and repulsive surfaces were designed, manufactured and their performances were compared experimentally. Kiwi was dried in experiments. The kiwi were prepared for the experiment after their shells were stripped and then sliced to a thickness of 4 to 6 mm, as it will be 100 g. In the drying system, the kiwi was dried from the initial moisture content (0.83 g water / g wet matter) to the final moisture content (0.056 g water / g wet matter). Experiments were performed at air velocities of 2.5 - 3.0 and 3.5 m / s. In the experiments, the average temperature of the drying chamber of the flat surface drying oven was 41.6 °C, while the drying chamber of the incarcerating surface drying oven was 44.1 °C. In experiments conducted at three different velocities; the drying time in the flat surface drying oven was 390 minutes. However, in the experiments made with the incarcerating surface drying oven, drying time at 2.5 m / s, 3.0 m / s and 3.5 m / s air velocities were measured as 390, 360 and 330 minutes, respectively. It is concluded that the incarcerating surface drying oven performed an average of 30 minutes less drying time than the flat surface drying oven.

Keywords: Solar energy, flat and incarcerating surface, drying oven, performance

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Tarım ürünlerinin kurutularak muhafaza yöntemi, insanın doğadan öğrendiği ve bu yüzden de ilk çağlardan beri uygulanmakta olan en eski muhafaza yöntemidir. Bu yöntem çoğu zaman kendi kendine gerçekleşmektedir. Doğada kurutma güneş ışığı ile gerçekleşmekte olduğundan, kurutmanın her yerde ve her zaman bu yolla sağlanması imkânsızdır. Kurutma, kısaca bir maddenin bünyesindeki suyun alınması olarak tanımlanır. Tarım kesimindeki ve gıda sanayindeki uygulamalarda uygun

bir yöntem ile ürünün bünyesinde taşıdığı suyun alınmasına, çıkarılmasına veya buharlaştırılmasına, böylece nem oranının düşürülmesine kurutma (dehidrasyon, evaporasyon) denir [1]. Belli bir süreçte ürünün kurutma değerlerine gelmesini sağlayan ve değişik birimlerden oluşan (ısıtma, nem alma) ünitelerin bütününe kurutma sistemi denir [2]. Endüstriyel bir iş olan kurutma işlemi kimya, tekstil, seramik, inşaat malzemeleri, kereste, kâğıt, gıda ve tarımsal ürünlerin kurutulması gibi birçok alanda oldukça geniş bir kullanım alanı bulmaktadır. Kurutma işlemini gerçekleştirmek için çok değişik tasarımlarda kurutucular endüstriyel alanda kullanılmaktadır [3].

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

Literatürde meyve ve sebzelerin kurutulması sırasında hava sıcaklığı, nem ve akış hızı gibi parametrelerin ve kurutulan materyale ait özelliklerin kuruma karakteristiklerine etkilerinin incelendiği çalışmalar mevcuttur. Doğan ve Tuncer [4]; kırmızı- biberin, Vagenas ve Marinou [5]; kayısının, Kachru ve Singh [6]; yeşil fasulyenin, Madamba ve ark.[7]; sarımsağın, Sarsavadia ve ark. [8]; beyaz soğanın kuruma karakteristiklerini kurutma havasının farklı koşullarında incelemişlerdir. Maskan [9]; kivi meyvesinin sıcak hava ve mikrodalga ile kurutulması esnasındaki renk değişimini incelemiştir. Akpınar ve Biçer [10]; kabağın kuruma davranışını siklon tipi bir kurutucuda deneysel olarak incelemişlerdir. Velic, Planinic, Tomas ve Bilic [11]; tasarladıkları deney seti ile konveksiyon tipi bir kurutucuda kurutma havası hızının elmanın kurutulmasına etkisini araştırmışlardır. Kaya, Aydın ve Dinçer [12]; yaptıkları çalışmada kivi meyvesinin kuruma anındaki kütle ve ısı transferini incelemişlerdir. Darıcı ve Şen [13]; kurutma havası hızının kurumaya olan etkisini incelemek amacıyla 4 mm ve 6 mm kalınlığındaki kivi dilimlerini 60°C kurutma havası sıcaklığı ve %10 bağıl nemde 0,5, 1, 1,5 ve 2 m/s hava hızlarında kurutmuşlardır. Kurutma havası hızının 1 m/s'ye kadar olan değerlerinde kuruma süresinin artan hız ile azaldığı, 1 m/s'den daha büyük değerlerinde ise, kuruma süresinde önemli bir değişimin olmadığını belirlemişlerdir. Orikasa ve diğerleri [14]; sıcak hava ile kurutma sırasında kivi meyvesinin kuruma karakteristiklerini belirlemişlerdir. 10 mm kalınlığında dilimlenmiş kivileri 40, 50, 60 ve 70 °C sıcaklıklarda kurularak L-askorbik asit değişimini incelemişlerdir. Sıcak hava ile kivi kurutulurken ayrışma için aktivasyon enerjisi 38,6 kJ/mol olarak belirlenmiştir. Aktaş ve Kara [15]; Güneş enerjili ve ısı pompalı bir kurutucu tasarlamış, imal etmiş ve kurutucuda dilimlenmiş kivi kurularak deneysel analizini yapmışlardır. Aynı zamanda, dalgalı kanatçıklı havalı güneş kolektörünün ortalama verimini % 56,7 olarak hesaplamışlardır. Bu deneysel çalışma ile kivi kurutulması için uygun kurutma havası sıcaklık değeri 50 °C olarak belirlenmiştir. Aktaş [16], güneş enerjisi ve ısı pompası destekli bir kurutucuda kırmızıbiber kurutulmasını deneysel olarak incelemiştir. Kurutma sisteminde kırmızıbiberler başlangıç nem miktarından (0,914 g su/g yaş madde) son nem miktarına (0,11 g su/g yaş madde) kadar kurutulmuştur. PID (oransal, integral ve türevsel) kontrollü kurutucuda güneş kolektörünü ön ısıtıcı olarak kullanmıştır. Deney sonuçlarına göre tüm sistem için ortalama ısıtma tesir katsayısı (COP_{wh}) 2,1, tüm sistem için özgül nem çekme oranı (SMER_{ws}) 0,18 kg/kWh olarak hesaplanmıştır.

Bu çalışmada ise, farklı emici plaka yüzeyli güneş enerjisi destekli kurutucuların kivi kurutmasındaki performansları incelenmektedir. Ayrıca, farklı kurutma havası hızlarında kurutulan kivi meyvesinin kuruma davranışları incelenmektedir.

2. TEORİK ANALİZ (THEORETICAL ANALYSIS)

2.1. Kuru Ağırlığın Belirlenmesi (Dry Weight Determination)

Deneye başlamadan önce kiviler kuru ağırlığı belirlenmek üzere hazırlanmıştır. Kivilerin kabukları soyulduktan sonra elde edilen kısım ortalama 4 – 6 mm kalınlığında dilimlenmiştir.

Etüv fırınında 30 dakikalık kurutma periyodları sırasında ağırlık değişimi 30 dakikada bir takip edilerek, en son iki ölçüm arasındaki fark % 1' den daha az olana kadar kurutma işlemine devam edilmiştir. Ağırlık değişimleri 30 dakikada bir takip edilerek, değerler kaydedilmiştir. Ölçümler Mettler Toledo marka dijital ağırlık ölçüm cihazı ile yapılmıştır. İki ölçüm arasındaki fark %1'den daha az olduğu durumda kiviler kuru kabul edilmiştir.

Kivilerin kuru esasa göre başlangıç nem miktarı Eş. 1'den ortalama olarak düz ve hapsedici yüzeyli kurutma fırınlarında 4,88 g su/g kuru madde olarak belirlenmiştir.

$$MC_{KA} = \frac{M_t - M_e}{M_e} \quad (1)$$

Kivilerdeki yaş esasa göre hesaplanan nem miktarı için Eş. 2 kullanılır.

$$MC_{YA} = \frac{M_t - M_e}{M_t} \quad (2)$$

Kivilerdeki nem oranının hesaplanması için de Eş. 3 kullanılır [17].

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} \quad (3)$$

2.2. İlk Nem Belirlenmesi (Determination of First Moisture)

Deney örneklerinden alınan yaklaşık 100 ±2 g ağırlığındaki kivi dilimleri nem tayin cihazına konularak 105 °C sıcaklıkta kurutulmuştur [19-21]. Kurutma işlemi boyunca üründeki ağırlık değişimleri yarım saat ara ile kaydedilmiştir. Son iki ölçüm arasındaki fark % 1'den daha az oluncaya kadar kurutma yapılmıştır. Kurutma işlemi üç kez tekrar edilmiş ve ürünlerin ilk nem değerleri belirlenerek ortalaması alınmıştır. Deneylerde yapılan ölçümler sonunda kivi meyvesinin ilk nemi yaş bazda % 83, kuru bazda 4,88 g su / g kuru madde olarak belirlenmiştir.

2.3. Belirsizlik Analizi (Uncertainty Analysis)

Deneyler sırasında ölçülen verilerinin doğruluğu önemlidir. Deneyler sırasında kullanılan her ölçüm cihazı belli hassasiyetlere sahiptir. Ölçüm esnasında, cihazların ölçüm hassasiyetlerinden kaynaklanan belirsizliklerin hesaplanması gerekmektedir. Bu çalışmada kullanılan ölçüm cihazlarının hassasiyeti ve belirsizliği Çizelge 1'de verilmiştir. Belirsizlik analizi aşağıdaki Eş. 4 kullanılarak yapılmıştır [18].

$$W = [(x_1)^2 + (x_2)^2 + \dots + (x_n)^2]^{1/2} \quad (4)$$

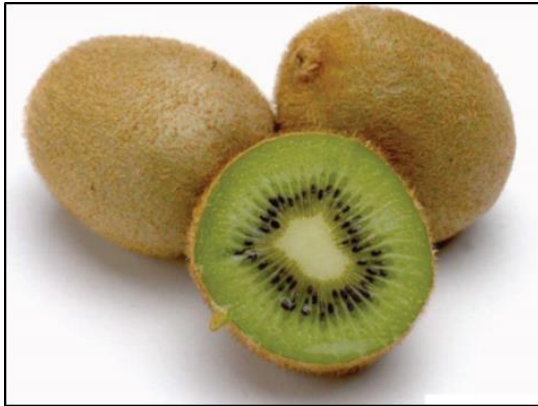
Çizelge 1. Ölçü aletlerinin hassasiyeti ve belirsizliği (Sensitivity and uncertainty of measurement devices)

Ölçülen özellikler	Marka	Hassasiyet	Belirsizlik
Sıcaklık	Elimko	$\pm 1^\circ\text{C}$	$\pm 0.91^\circ\text{C}$
Dijital Terazi	Mettler Toledo	$\pm 0.01\text{ g.}$	$\pm 0.52\text{ g}$
Hava hızı	Testo	$\pm 0.01\text{ m/s}$	$\pm 0.03\text{ m/s}$

3. MATERYAL VE METOD (MATERIALS AND METHODS)

3.1. Deneylerde Kullanılan Ürün (Product Used in Experiments)

Deneylerde latince adı “Actinidia chinensis” olan ve Türkiye’de son yıllarda Artvin, Yalova, Adapazarı, Rize, Antalya civarında yetiştirilen kivi meyvesi kullanılmıştır. Kivinin yapısı Şekil 1’de görülmektedir. Kivi oldukça fazla potasyum, lif ve E vitamini içermektedir. A ve C vitaminleri ile potasyum açısından çok zengin bir meyve olan kivi, ayrıca kalsiyum, demir ve magnezyum gibi mineraller açısından da zengindir [18]. Besleyici değeri yüksek olan kivinin bir tanesi ile günlük A ve C vitamini ihtiyacı karşılanabilmektedir.



Şekil 1. Deneylerde kullanılan kivi (Kiwi used in experiments)

3.2. Kurutma Sistemi (Drying System)

İmalatı yapılan düz ve hapsedici yüzeyli kurutma fırınları; fan, hassas terazi, termokupl, fan hızı ayarlayıcı ve sıcaklık ölçüm cihazından oluşmaktadır. Deney setleri Şekil 2’de görülmektedir.



Şekil 2. Düz ve hapsedici yüzeyli kurutma fırınları (Straight and incarceration surface drying ovens)

Kurutma fırınlarının imalatında kullanılan ekipmanların özellikleri Çizelge 2’de verilmiştir. Deney setlerinde düz ve hapsedici yüzeyli emici plakalı güneş kolektörleri kullanılmış olup kurutma havası güneş kolektörlerinden geçirilerek ısıtılma işlemi gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 2. Düz ve hapsedici yüzeyli kurutma sisteminde kullanılan malzeme ve cihazlar ve özellikleri (Materials and devices used in plain and repellent surface drying systems and their properties)

Kullanılan Malzeme ve Cihazlar	Özellikleri
Düz yüzeyli emici plaka	0.5 mm et kalınlığında yüzeyi mat siyah boyalı düz yüzeyli bakır emici plaka
Hapsedici yüzeyli emici plaka	0.5 mm et kalınlığında yüzeyi mat siyah boyalı güneş ışınlarını hapsedici yüzeyli bakır emici plaka
Termokupl	E-0.5T2KTTEA K Tipi NiCr-Ni 2x0.5mm ² Tekli Teflon + Teflon + Eleman Teli 3m
Fan	57 W, 126 m ³ /h, 2750 rpm, 50 Hz, 220 V
Sıcaklık Ölçüm Cihazı	E-680, Tip K, -200°C – 1300 °C
Dijital Terazi	Mettler Toledo, Excellence XS6002Smodel, en yüksek ölçülebilecek miktar 6100 g, ölçüm hassasiyeti 0.01 g.
Hava hızı ve sıcaklık ölçüm cihazı	Testo, sıcaklık -20,+70 °C, hız 0-20 m/s, ölçüm hassasiyeti 0.01 m/s, 0.1°C, heatedwire, NTC sensör

3.3. Deneysel Yöntem (Experimental Method)

Deneylerde kullanılacak kiviler satın alındıktan sonra en az 24 saat boyunca + 9 °C’deki buzdolabında saklanmıştır. Daha sonra buzdolabından alınan meyveler ortam sıcaklığına gelene kadar yaklaşık 2 saat boyunca laboratuarda bekletilmiş ve ortamla ısıl dengeye gelmeleri sağlanmıştır. Böylece her deneyden önce kivi örnekleri için aynı başlangıç şartları gerçekleştirilmiştir. Kiviler özel bir mekanik kesici ile soyulmuş, daha sonra 4 – 6 mm kalınlıklarında dilimlenerek kurutma odasındaki tepsilere dizilmiştir. Şekil 3’te deney örneklerinin kurutulmadan önceki görünüşleri verilmiştir.



Şekil 3. Kivilerin deneye hazırlanışı (Preparing the kiwi for experiment)

İmalatı yapılan düz ve hapsedici yüzeyli kurutma fırınlarının performans deneyleri 2.5 – 3.0 – 3.5 m/s hava hızlarında ve aynı koşullarda yapılmıştır.

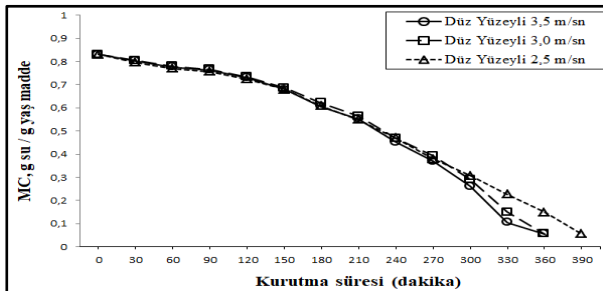
Kurutma işlemi esnasında aşağıda verilen kurutma sistemine ait etkenler her yarım saatte bir kaydedilmiştir.

- ✓ Dış hava sıcaklığı (°C)
- ✓ Emici plaka yüzey sıcaklığı (°C)
- ✓ Ürün ağırlığı (g)
- ✓ Kurutma odasında ölçülen hava sıcaklığı (°C)
- ✓ Kurutma odasındaki havanın hızı (m/s)
- ✓ Kollektör çıkış sıcaklığı (°C)

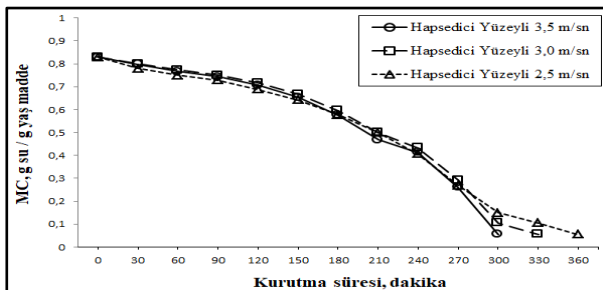
Kurutma işlemi sırasında kivi'deki ağırlık değişimi her yarım saatte bir ölçülmüş ve kaydedilmiştir.

4. DENEY SONUÇLARI (EXPERIMENT RESULTS)

Yapılan deneylerin sonucunda kurutma işlemine başlamadan önce belirlenmiş olan kivilerin tam kuru madde miktarına göre düz ve hapsedici yüzeyli kurutma fırınlarında kurutulan kivilerin nem değişimi Eşitlik 2'den hesaplanarak Şekil 4 ve Şekil 5'te gösterilmiştir. Aynı başlangıç nemindeki kiviler düz ve hapsedici yüzeyli kurutma fırınlarında 3 farklı hızda kurutma işlemine tabii tutulmuştur.

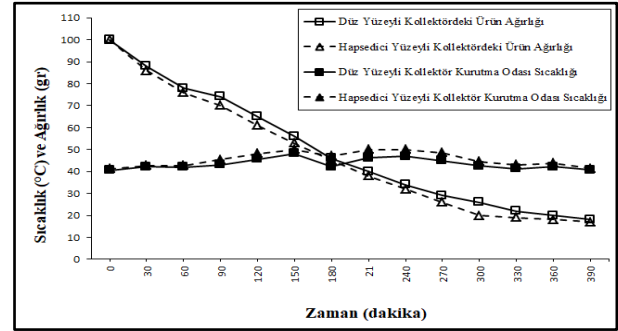


Şekil 4. Düz yüzeyli kurutma fırınında kivi'deki nem miktarının kurutma süresine bağlı olarak değişimi (Change in the amount of moisture in the kiwi depending on drying time in a flat surface drying oven)



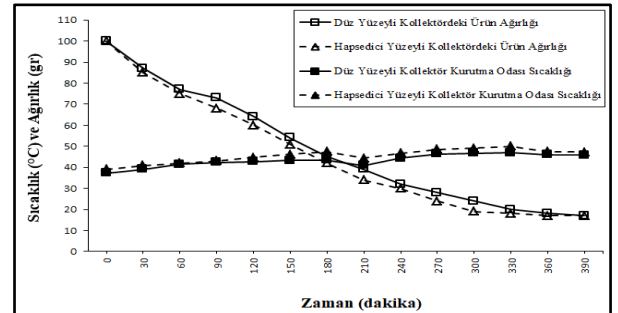
Şekil 5. Hapsedici yüzeyli kurutma fırınında kivi'deki nem miktarının kurutma süresine bağlı olarak değişimi (Change in the amount of moisture in the kiwi depending on the drying time in the drying oven with a incarcerating surface)

Düz ve hapsedici yüzeyli kurutma fırınlarında kurutma işlemi sonunda 2.5, 3.0, ve 3.5 m/s hızlarda yapılan deneylerde 0.056 g su / g yaş madde nem miktarına inilmiştir. Düz yüzeyli kurutma fırınında 2.5, 3.0 ve 3.5 m/s hızlarında kurutma süresi 390 dakika sürmüştür. Hapsedici yüzeyli kurutma fırınında ise 2.5 m/s hızda kurutma süresi 390 dakika, 3.0 m/s hızda 360 dakika ve 3.5 m/s hızda yapılan deneyde kurutma süresi 330 dakika sürmüştür.



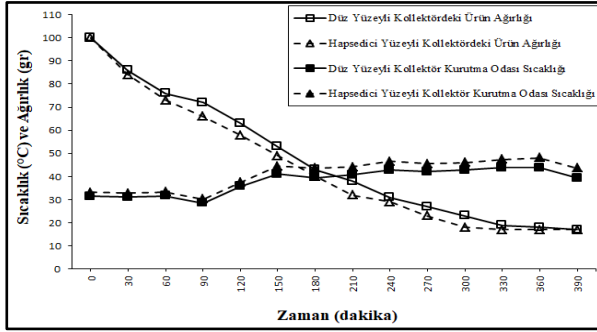
Şekil 6. 2.5 m/s hava hızında kivi'nin sıcaklık ve ağırlık - zaman grafiği (Temperature and weight - time graph of the kiwi at 2.5 m/s air velocity)

Şekil 6'da 2.5 m/s hava hızında yapılan deneylerde hapsedici yüzeyli kurutma fırınında saat 14.00'da kurutma odası sıcaklığı 50 °C ve ürün ağırlığı 32 g ölçülür iken düz yüzeyli kurutma fırınında kurutma odası sıcaklığı 46.9 °C ve ürün ağırlığı 34 g ölçülmüştür. Saat 16.30'da hapsedici yüzeyli kurutma fırınında ürün ağırlığı 17 g, düz yüzeyli kurutma fırınında ürün ağırlığı 18 g ölçülmüş ve deney sonlandırılmıştır.



Şekil 7. 3.0 m/s hava hızında kivi'nin sıcaklık ve ağırlık - zaman grafiği (Temperature and weight - time graph of kiwi at an air velocity of 3.0 m/s)

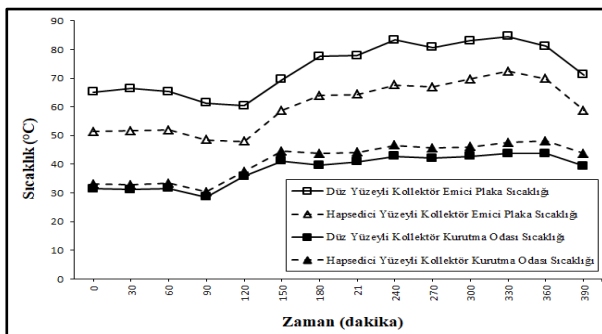
Şekil 7'de 3.0 m/s hava hızında yapılan deneylerde saat 14.00'de hapsedici yüzeyli kurutma fırınında kurutma odası sıcaklığı 46.7 °C ve ürün ağırlığı 30 g ölçülür iken düz yüzeyli kurutma fırınında kurutma odası sıcaklığı 44.3 °C ve ürün ağırlığı 32 g ölçülmüştür. Ürün ağırlığı hapsedici yüzeyli kurutma fırınında Saat 16.00'da 17 g iken düz yüzeyli kurutma fırınında saat 16:30'da 17 g ölçülmüş ve deney sonlandırılmıştır.



Şekil 8. 3.5 m/s hava hızında kivinin sıcaklık ve ağırlık – zaman grafiği (Temperature and weight - time graph of kiwi at 3.5 m/s air velocity)

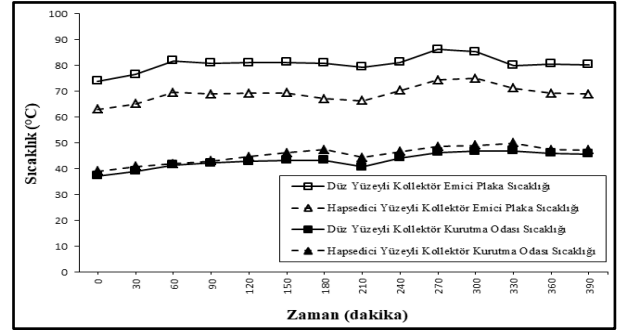
Şekil 8’de 3.5 m/s hava hızında yapılan deneylerde ise saat 14.00’de hapsedici yüzeyli kurutma fırınında kurutma odası sıcaklığı 46.6 °C ve ürün ağırlığı 29 g ölçülmüş iken düz yüzeyli kurutma fırınında kurutma odası sıcaklığı 42.8 °C ve ürün ağırlığı 31 g ölçülmüştür. Ürün ağırlığı hapsedici yüzeyli kurutma fırınında Saat 15.30’da 17 g iken düz yüzeyli kurutma fırınında saat 16:30’da 17 g ölçülmüş ve deney sonlandırılmıştır.

Hapsedici yüzeyli kurutma fırını ile üç farklı hızda yapılan deneyler sonucunda ürün ağırlığı 17 g’a düşürüldüğünde kurutma odası sıcaklık ortalaması 43.8 °C’dir. Düz yüzeyli kurutma fırını ile üç farklı hızda yapılan deneyler sonucunda ise ürün ağırlığı 17 g’a düşürüldüğünde kurutma odası sıcaklık ortalaması 41.6 °C olarak belirlenmiştir. Kurutma odası ortalama sıcaklıkları karşılaştırıldığında yaklaşık 2.2 °C sıcaklık farkı oluşmaktadır. Kivilerin ağırlığı 17 g’a hapsedici yüzeyli kurutma fırınında sırasıyla saat 15:30, 16.00 ve 16:30’da, düz yüzeyli kurutma fırınında ise üç hava hızında da 16.30’da düşürüldüğü tespit edilmiştir. 2.2 °C sıcaklık farkının 30 dakika zaman kazancına neden olduğu tespit edilmiştir.



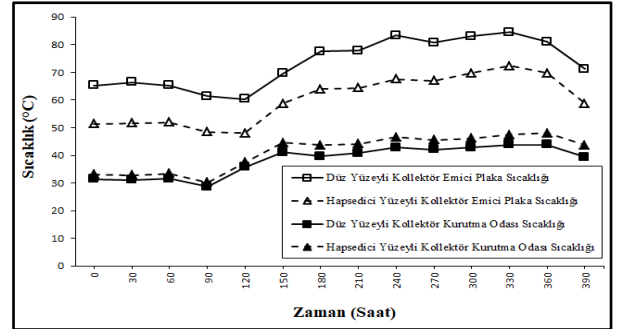
Şekil 9. 2.5 m/s hava hızında kivinin sıcaklık – zaman grafiği (Temperature-time graph of kiwi at 2.5 m / s air velocity)

Şekil 9’da 2.5 m/s hava hızıyla yapılan deneyde en yüksek emici plaka yüzey sıcaklığı saat 13.30’da ölçülmüştür. Hapsedici yüzeyli kurutma fırınında emici plaka yüzey sıcaklığı 70.7 °C iken kurutma odası sıcaklığı 50 °C ve düz yüzeyli kurutma fırınında ise emici plaka yüzey sıcaklığı 91.4 °C iken 46.2 °C ölçülmüştür.



Şekil 10. 3.0 m/s hava hızında kivinin sıcaklık – zaman grafiği (Temperature-time graph of kiwi at an air velocity of 3.0 m / s)

Şekil 10’da 3.0 m/s hava hızıyla yapılan deneyde en yüksek emici plaka yüzey sıcaklığı saat 14.30’da ölçülmüştür. Hapsedici yüzeyli kurutma fırınında emici plaka yüzey sıcaklığı 74.5°C iken kurutma odası sıcaklığı 48.6 °C ve düz yüzeyli kurutma fırınında ise emici plaka yüzey sıcaklığı 86.2 °C iken 46.4 °C ölçülmüştür.



Şekil 11. 3.5 m/s hava hızında kivinin sıcaklık – zaman grafiği (Temperature-time graph of kiwi at 3.5 m / s air velocity)

Şekil 11’de 3.5 m/s hava hızıyla yapılan deneyde en yüksek emici plaka yüzey sıcaklığı saat 15:30’da ölçülmüştür. Hapsedici yüzeyli kurutma fırınında emici plaka yüzey sıcaklığı 72.4°C iken kurutma odası sıcaklığı 47.5 °C ve düz yüzeyli kurutma fırınında ise emici plaka yüzey sıcaklığı 84.5 °C iken 43.8 °C ölçülmüştür.

Hapsedici yüzeyli kurutma fırını ile üç farklı hızda yapılan deneyler sonucunda maksimum emici plaka yüzey sıcaklık ortalaması 74.3 °C iken kurutma odası sıcaklık ortalaması 49.4 °C’dir. Düz yüzeyli kurutma fırını ile üç farklı hızda yapılan deneyler sonucunda ise maksimum emici plaka yüzey sıcaklık ortalaması 87.4 °C iken kurutma odası sıcaklık ortalaması 46.3 °C olarak belirlenmiştir. Hapsedici yüzeyli kurutma fırınının ortalama emici plaka yüzey sıcaklığı ile ortalama kurutma odası sıcaklık farkı 24.9 °C iken düz yüzeyli kurutma fırınının ortalama emici plaka yüzey sıcaklığı ile ortalama kurutma odası sıcaklık farkı 41.1 °C olduğu tespit edilmiştir. Düz yüzeyli kurutma fırınının emici plaka yüzey sıcaklığı hapsedici yüzeyli kurutma fırınının emici plaka yüzey sıcaklığından daha fazla olmasına rağmen kurutma odası sıcaklığı hapsedici yüzeyli

kurutma fırınından daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Şekil 12’de kiviinin kurutulmadan önceki ve kurutulduktan sonraki görüntüsü görülmektedir.



Şekil 12. Kiviinin kurutulmadan önceki ve kurutulduktan sonraki görüntüsü (Image of kiwi before and after drying)

5. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS)

Tasarlanan, imal edilen ve deneysel olarak analizi yapılan, düz ve hapsedici yüzeyli kurutma fırınlarında kivi kurutulmuş ve yapılan deneyler sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Kurutma sisteminde kiviler başlangıç nem miktarından (0.83 g su/g yaş madde) son nem miktarına (0.056 g su/g yaş madde) kadar kurutulmuştur. Deneyler, 2.5 – 3.0 ve 3.5 m/s hava hızlarında gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneylerde; düz yüzeyli kurutma fırınının kurutma odası ortalama sıcaklığı 41.6 °C iken hapsedici yüzeyli kurutma fırınının kurutma odası ortalama sıcaklığı 44.1 °C olarak tespit edilmiştir. Üç farklı hız ile yapılan deneylerde; düz yüzeyli kurutma fırınında kurutma süresi 390 dakika sürer iken hapsedici yüzeyli kurutma fırını ile yapılan deneylerde; 2.5 m/s’de kurutma süresi 390 dakika, 3.0 m/s’de kurutma süresi 360 dakika ve 3.5 m/s’de kurutma süresi 330 dakika sürmüştür. Hapsedici yüzeyli kurutma fırını, düz yüzeyli kurutma fırınına göre ortalama 30 dakika daha kısa sürede kurutma işlemini gerçekleştirdiği sonucuna varılmıştır.

Üç farklı hızda yapılan deneyler sonucunda, hapsedici yüzeyli kurutma fırınının emici plaka yüzey sıcaklık ortalaması 65.2 °C, kurutma odası sıcaklık ortalaması ise 43.8 °C’dir. Düz yüzeyli kurutma fırının emici plaka yüzey sıcaklık ortalaması 78.9 °C, kurutma odası sıcaklık ortalaması ise 41.7 °C olarak belirlenmiştir. Hapsedici yüzeyli kurutma fırınının ortalama emici plaka yüzey sıcaklığı ile ortalama kurutma odası sıcaklık farkı 21.4 °C, düz yüzeyli kurutma fırınının ortalama emici plaka yüzey sıcaklığı ile ortalama kurutma odası sıcaklık farkı 37.2 °C olduğu tespit edilmiştir. Düz yüzeyli kurutma fırınının ortalama emici plaka yüzey sıcaklığı hapsedici yüzeyli kurutma fırınının ortalama emici plaka yüzey sıcaklığından 13.7 °C daha fazla olmasına rağmen ortalama kurutma odası sıcaklığının hapsedici yüzeyli kurutma fırınından 2.1 °C daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.

- ✓ Tasarımı ve imalatı yapılan kurutma fırınlarında hava, güneş kolektöründe ısıtılarak kiviinin bağıl nemini düşürmüş ve böylece bünyesine nem alma kabiliyeti artırılmıştır. Bu da kurutma süresini kısaltmıştır.
- ✓ Yapılan duyu analizler sonucunda, her bir kurutma havası sıcaklığında kurutulmuş ürünlerin kurutma sonrası tadında ve renginde bir fark olmadığı görülmüştür.
- ✓ Soğuk hava depolarında saklanan yaş kivilerin teknik metotlar kullanılarak kurutulması ile soğuk hava depolarındaki enerji giderleri azalacak ve yer sorunu çözülebilecektir.
- ✓ Bundan sonraki yapılacak olan çalışmalarda kurutma havasının sirkülasyonu için fanın harcamış olduğu enerji de güneş enerjisinden sağlanabilir.
- ✓ Sistemde kurutma havası ürün üzerinden geçirildikten sonra egzoz edilmiştir. Bu atık havanın ısısı ile sisteme alınan taze hava ısıtılarak sistemde ısı verim artırılabilir.
- ✓ Güneş enerjisi destekli kurutma fırınlarının performansını artırabilmek için güneşi takip sistemli yapılmalı ve takip sistemi için gerekli olan enerji de yine güneş enerjisinden sağlanmalıdır.

6. TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENT)

Bu çalışma, 07/2012-13 kodlu proje kapsamında Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir.

7. SEMBOLLER (SYMBOLS)

- MC_{YA}**: Yaş maddeye göre ürün içerisindeki su miktarı [g su/g yaş madde]
MC_{KA}: Kuru maddeye göre ürün içerisindeki su miktarı [g su/g kuru madde]
Mt: Kurutmadan önce numune kütlesi, [g]
Me: Kurutmadan sonra numune kütlesi, [g]
Mo: Numunenin başlangıç kütlesi [g]
MR: Nem oranı [%]

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Kadayıfçılar, S., Gıda Teknolojisi Makineleri, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Ders Notu, Ankara, 143-153, 1982.
- [2] Ceylan, İ., Doğan, H., Nem Kontrollü Kondenzasyonlu Kereste Kurutma Fırını, *II. Ulusal Ege Enerji Sempozyumu ve Sergisi*, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, 155-166, 2004.
- [3] Mujumdar, A.S., *Handbook of Industrial Drying*, MarcelDekkerInc., New York, USA, 28-32, 1987.
- [4] Doğan, Z.S., Tuncer, K., “Kahramanmaraş Kırmızı Biberinin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri Saptanarak Doğal Koşullarda ve Plastik Örtü Altı Güneş Toplayıcılarıyla Kurutulması Üzerine Bir Araştırma”,

- Ç.Ü. Fen ve Mühendislik Fakültesi Dergisi**, 1-18, Adana, 1988.
- [5] Vagenas, G., Marinou-Kouris, D., "Drying Kinetics of Apricots", *Drying Technology*, 9: 735 – 752, 1991.
- [6] Kachru, R., Singh, K., "Drying Characteristics of Pretreated Green Gram (Phaseolus Aureus) Drying", *Proceeding of the 9th International Drying Symposium*, B: 10931104, 1994.
- [7] Madamba, P.S., Driscoll, R.H., Buckle, K.A., "The Thin-Layer Drying Characteristics of Garlic Slices", *Journal of Food Engineering*, 29: 75 – 97, 1996.
- [8] Sarsavadia, P.N., Sawhney, R.L., Pangavhane, D.R., Singh, S.P., "Drying Behaviour of Brined Onion Slices", *Journal of Food Engineering*, 40: 219-226, 1999.
- [9] Maskan, M., "Kinetics of Colour Change of Kiwi Fruits During Hot Air and Microwave Drying", *Journal of Food Engineering*, 48: 169175, 2001.
- [10] Akpınar, E.K., Biçer Y., "Siklon Tipi Bir Kurutucuda Kabağın Kuruma Davranışının İncelenmesi", *G. Ü. Fen Bilimleri Dergisi*, 16: 159-169, 2003.
- [11] Velic, D., Planinic, M., Tomas, S., Bilic, M., "Influence of Airflow Velocity on Kinetics of Convection Apple Drying", *Journal of Food Engineering*, 64: 97–102, 2004.
- [12] Kaya, A., Aydın, O., Dinçer, İ., "Experimental and Numerical Investigation of Heat and Mass Transfer During Drying of Hayward Kiwi Fruits (Actinidia Deliciosa Planch)", *Journal of Food Engineering*, 88: 323–330, 2008.
- [13] Darıcı, S., Şen, S., "Kivi meyvesinin kurutulmasında kurutma havası hızının kurumaya etkisinin incelenmesi" *X. Ulusal Tesisat Müh. Kongresi*, İzmir, 13-16 Nisan 2011.
- [14] Oríkasa, T., Wu, L., Shiina, T., Tagawa A., "Drying Characteristics of Kiwifruit During Hot Air Drying", *J. of Food Eng.*, 85: 303-308, 2008.
- [15] Aktaş, M., Kara M.Ç., "Güneş Enerjisi ve Isı Pompalı Kurutucuda Dilimlenmiş Kivi Kurutulması", *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 28(4): 733-741, 2013.
- [16] Aktaş, M., "Güneş Enerjisi ve Isı Pompası Destekli Bir Kurutucuda Kırmızıbiber Kurutulmasının Deneysel İncelenmesi", *Politeknik Dergisi*, 13(1): 1-6, 2010.
- [17] Ashrae Temel El Kitabı Bölüm 10, "Tarım ürünlerinin kurutulmasında ve depolanmasında göz önüne alınacak fizyolojik etkenler", *Tesisat Mühendisleri Derneği Teknik Yayınlar*, 10: 5, (1993).
- [18] ÖZDEMİR, M.B., ÖZKAYA, M.G., "Ankara İli Şartlarında Düşey Tip Toprak Kaynaklı Isı Pompası Sisteminin Enerji ve Ekserji Analizi", *Politeknik Dergisi*, 18(4): 269-280, 2015.
- [19] Yağcıoğlu, A., "Tarım Ürünleri Kurutma Tekniği", *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları*, No: 536, İzmir, 1999.
- [20] AOAC, "Official Methods of Analysis of The Association of Official Analytical Chemists", 14th Ed., Arlington: Virginia, USA, 1984.
- [21] Ochoa, M.R., Kessler, A.G., Pirone, B.N., Marquez, C.A., DE Michelis, A., "Shrinkage During Convective Drying of Whole Rose Hip (Rosa Rubiginosa L.) Fruits", *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*, 35: 400–406, 2002.



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)
URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>

Recovering multimedia files from a memory image

Geçici bellek yansımasından çoklu ortam dosyalarının kurtarılması

Yazar(lar) (Author(s)): Ahmet Ali SÜZEN¹, Kubilay TAŞDELEN²

ORCID¹: 0000-0002-5871-1652

ORCID²: 0000-0002-2845-5643

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz(To cite to this article): Süzen A. A. ve Taşdelen K., “recovering multimedia files from a memory image”, *Politeknik Dergisi*, 21(3): 731-737, (2018).

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

DOI: 10.2339/politeknik.417767

Recovering Multimedia Files from a Memory Image

Araştırma Makalesi / Research Article

Ahmet Ali SÜZEN^{1*}, Kubilay TAŞDELEN²

¹Department of Information Security Technology, Uluborlu Vocational School, Süleyman Demirel University, Isparta, Turkey

²Department of Electrical & Electronics Engineering, Faculty of Technology, Süleyman Demirel University, Isparta, Turkey

(Geliş/Received: 19.02.2018; Kabul/Accepted: 20.03.2018)

ABSTRACT

The widespread use of digital technologies increases the size of data stored in digital media. The increased amount of stored data also brings along data security risks. One of the most important risks in personal data security is the unauthorized or accidental data deletion. There are file recovery and carving software for recovering deleted files from the storage devices. Files must be loaded into RAM to be used in the operating system. These files are stored in RAM for a certain amount of time by the memory manager. Therefore, a file opened or deleted by the user in the operating system can be found in the RAM. File carving techniques must be applied to RAM to access these files.

In this study, the file carving and the performance values of the multimedia files carved by using different signature structures with file carving software from the RAM image were compared. In the study, carving has been performed with the header and footer signatures of the used and terminated multimedia files (JPG, PNG, GIF, BMP) used in Windows 10 operating system. In the carving process, file carving durations and carving success rates are extracted using different signature structures of the same file type. In the light of these results, the performance data of multimedia file types are evaluated according to the signature structures used. The RAM image retrieval and file carving software used in the study has been developed by us as a part of the Ph.D. project.

Keywords: Data recovery, file carving, multimedia files, RAM image.

Geçici Bellek Yansımasından Çoklu Ortam Dosyalarının Kurtarılması

ÖZ

Dijital teknolojilerin kullanımının yaygınlaşması, dijital ortamlarda saklanan veri boyutunu artırmaktadır. Depolanan verilerin büyümesi beraberinde veri güvenliği risklerini de getirmektedir. Kişisel verilerin güvenliğindeki en önemli risklerden biri verinin izinsiz veya yanlışlıkla silinmesidir. Depolama aygıtlarında silinmiş dosyaların kurtarılması için dosya kurtarma ve kazıma yazılımları bulunmaktadır. İşletim sisteminde dosyaların kullanılması için RAM'e yüklenmesi gerekmektedir. Bu dosyalar bellek yöneticisi tarafından belirli bir süre RAM'de saklanmaktadır. Bundan dolayı işletim sisteminde kullanıcı tarafından, açılmış veya silinmiş bir dosya RAM'de bulunabilmektedir. Bu dosyalara erişim için RAM'e dosya kazıma tekniklerinin uygulanması gerekmektedir.

Bu çalışmada geliştirilen dosya kazıma yazılımı ile farklı imza yapıları kullanılarak multimedya dosyalarının RAM imajından kazanmasına ve performans değerlerinin karşılaştırılması gerçekleştirilmiştir. Çalışmada Windows 10 işletim sisteminde kullanılmış ve sonlandırılmış multimedya dosyalarına (jpg, png, gif, bmp) ait header ve footer imzaları ile kazıma işlemi yapılmıştır. Kazıma işleminde aynı dosya türüne ait farklı imza yapıları kullanılarak, dosya kazıma süreleri ve kazıma başarı oranları çıkartılmıştır. Bu sonuçlar doğrultusunda multimedya dosya türlerinin, kullanılan imza yapısına göre performans verileri değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında kullanılan RAM imajı alma ve dosya kazıma yazılımları doktora projesi kapsamında tarafımızdan geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Dosya kazıma, çoklu ortam dosyaları, ram imajı, veri kurtarma

1. INTRODUCTION

Along with the improvement of the digital technology, users now store their data in digital media. Therefore, the size of the stored data has been rapidly increasing [1].

The increase in the amount of the stored data also creates the risks of personal data security. The most important of these risks is the unauthorized or accidental deletion of

the data [2]. There are file recovery and carving software for recovering deleted files from the storage devices [3].

When the user wants to open a file, the operating system first loads the file into RAM before opening it. The requested file is displayed to the user via RAM [4]. These files are stored in RAM for a certain amount of time. Therefore, a file opened or deleted by the user in the operating system can be found in the RAM [5]. To access these files, file carving techniques are utilized on RAM. In order to perform file carving on the RAM, firstly, a

*Sorumlu yazar (Corresponding Author)
e-mail: ahmetsuzen@sdu.edu.tr

copy of the file must be taken. Carving process is carried out on this copy.

In order to acquire RAM image used in the study, Kernel Mode RAM software is utilized. Kernel Mode image acquisition software provides the image of RAM in Windows 8, 8.1, and 10 operating systems. The fact that the size of the memory acquisition in RAM is low prevents the data losses caused by address conflicts in RAM. This is why Kernel Mode RAM image acquisition software, which occupies 156 KB of RAM, has been preferred. The software used has been developed as a part of the Ph.D. project.

In this study, the comparison of the performance values of the carving software used to scrape multimedia files from a RAM image of 14GB is performed. In the carving process, file carving durations and recovery success measurements are conducted using different signature structures of the same file type. At the same time, the carving durations of different multimedia files are compared. With these results, multimedia file types and carving durations to be obtained from RAM have been presented.

2. RELATED WORK

Various data such as user passwords, images, documents, installed programs, and web addresses that have been visited can be acquired from the RAM by a RAM image analysis [5-7]. String searching, signature scanning, file carving, and data structure analysis methods are used to recover data from the RAM image [7-8]. KnTTools, which was developed in 2005, is understood to be the first RAM image acquisition from the operating system and analysis application. The search analysis for running processes and threads was carried out in the RAM image by using KnTTools [8]. The most comprehensive analysis of RAM images can be carried out with Volatility, an open source software. Data about the registry files, the running process, network, and malware detection can be accessed within the image at the end of image analysis by using Volatility [9].

3. BACKGROUND

3.1. File Carving

The file carving is known as the process of searching and extracting the files loaded into RAM by the operating system to the disk. In the Windows operating system, the files are stored between the header and the footer signatures when they are loaded to RAM [10]. Therefore, the header and footer signatures are used to carve the files in the RAM. There can be different header and footer signatures depending on the versions of the file types used by the operating system [11]. All the signatures of the requested file need to be known in order to perform the carving process. Sample header and footer signatures of different file types are shown in Table 1 [12].

Table 1. Signature samples for PNG, JPG and GIF files

File	Header	Footer
PNG	89 50 4E 47 0D 0A 1A 0A	49 45 4E 44
JPG	FF D8 FF	FF D9
GIF	00 00 3B	47 49 46 38 39 61

It is necessary to know the structures of the RAM in order to extract the multimedia files from the image with the file scraping technique. File size information is written along with signature labels when visual elements are loaded into RAM in the operating system. This size information is used to identify the last addresses of files that are not footer-signed or deleted in RAM. Figure 1 shows the structural view of JPG file in RAM.

```
000037B00h C0 42 31 FF C8 21 B3 CA 50 42 2E FF D8 21 B3 CE D0 02
000037B2Ch 48 65 33 8A 30 06 BF BB 68 67 12 8B CF F9 20 44 D7 9E
000037B58h 6F 97 56 B2 C2 F0 98 D9 80 F8 C9 45 3D 4F 75 A3 80 F8
000037B84h AD 0F D6 21 37 7D 58 C0 AD 1F D6 B1 15 75 7A 63 CD 1A
000037BB0h F7 15 18 E8 EF 76 14 B9 48 EA A6 D7 54 81 2B 6B 13 97
000037BDCh 3B 92 33 A1 94 77 65 F3 44 35 DE 66 97 7F F4 F3 C5 35
000037C08h 3B 25 E0 0C D4 98 86 52 3B 66 7F 0C D4 48 86 D2 04 8A
000037C34h D6 5C C4 17 86 1E CC 3E 6D A3 3B AE B2 22 45 FC 3E 13
000037C60h BA 31 4C EF 36 00 8B D7 B8 31 4E EF 35 04 89 B7 B8 31
000037C8Ch 7C 8F 1D 6A C7 51 4E C5 3C 0E 1C 22 7C AF 90 3B F3 73
000037CB8h 56 8D 53 19 09 51 A4 F4 E4 87 18 E4 1A ED BF F9 C5 86
000037CE4h 1B 58 8E E8 E5 27 71 75 3B 5C 9E C0 9C 27 20 35 2A DC
000037D10h C6 61 21 EE 9A 6B FF D9 AC 01 B2 4E 9A 0B EA 29 04 61
```



Figure 1. Structure in RAM of JPG files

3.2. File Carving Software

The file carving software is a digital forensics software developed to recover files from RAM images by string search and data extraction techniques in Windows operating systems. In order for this software to perform the carving process, a binary-format image file obtained from RAM is used. The format of this image file has the extension of "raw". The file carving software has been developed by us as a part of our Ph.D. study.

Windows operating system does not provide access to the terminated file. The Windows memory manager needs to be stopped in order to erase the finished file. Therefore, it is necessary to take an image of RAM for scraping and scanning. The developed software installs a RAM driver on the system to acquisition the RAM image. The driver provides access to all addresses of the RAM. Image acquisition software copies the entire contents of RAM to disk via this driver. All the addresses and addresses in the image file are bit-for-bit scanned. Blocks matching the header and footer tags of the multimedia files in the signature database are inserted into the temporary memory. After the carving process is finished, the data blocks stored in the memory are converted to file formats and recorded in a disk. Figure 2 shows the model of RAM image taking and scratching process in Windows operating system.

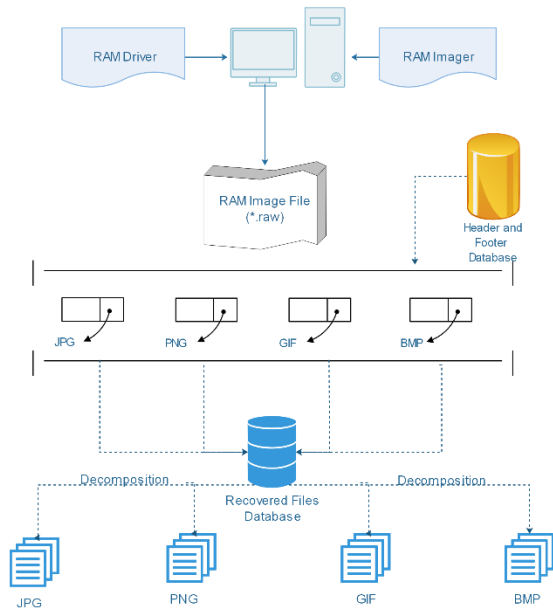


Figure 2. A process modeling of file carving

4. IMPLEMENTING FILE CARVING PROCESS

4.1. Defining the Carving Parameters

To start the process with the file carving software, the image file to be to be scraped should be obtained. The image file used in the study is obtained from the system whose specifications are given in Table 2. The size of the obtained image file is 14 GB. The RAM image was taken from the computer that was actively used for about 2 hours.

Table 2. The information of the system where the image was obtained.

System Used	
OS System	Windows 10 (64 Bit) Version 1709
RAM	12 GB
Pagefile.sys	2 GB
CPU	Intel i7 7300U 2.90 Ghz

Header and footer signatures of the multimedia files used in the carving process are given in Table 2. It is mandatory to have a header tag in the signatures of multimedia files. However, not all the files have footer signatures. In such cases, the estimated size value is entered according to the file type by using the header address as the beginning point. The end of the footer address of the file is estimated according to the defined size. In the study, the size of 3 MB was taken in the files without footer signatures in the carving process.

In the carving process, as shown in Table 3, 5 different signature structures are used for the files with "PNG, JPG, and BMP" extensions, and 4 different signature structures are used for the files with "GIF" extension.

Table 3. Signatures used in file carving

Dosya	Header	Footer
PNG	(1) 89 50 4E 47 0D 0A	49 45 4E 44
	(2) 1A 0A	-
	(3) 89 50 4E 47	-
	(4) 89 50 4E 47 0D 0A 1A 0A 00 00 00 0D	-
	(5) 49 48 44 52	-
JPG	(1) FF D8 FF	FF D9
	(2) FF D8 FF E0	FF D9
	(3) FF D8 FF E0 00 10	
	(4) FF D8 FF E1 4E D8	
	(5) 45 78 69 66 00 00 49 49	
GIF	(1) 00 00 3B	47 49 46 38 39 61
	(2) 47 49 46 38	00 3B
	(3) 47 49 46 38 39 61	00 00 3B
	(4) 47 49 46	-
BMP	(1) 42 4D	-
	(2) FF FF 00 01 64 00	-
	(3) 00 00 03 00	-
	(4) 02 00 00 00	-
	(5) 42 41	-

4.2. Files Carving

The image file and the signature database must be entered as parameters for the file carving software to start the scraping process with the signature structures. The required sequence for the scraping software to run through the command line is given in the number 1 notation.

filecarving.exe /-test.raw /-database.a2s (1)

The process of extracting multimedia files from the image as shown in Figure 3; Reading the contents of the image file, finding the addresses of files based on the signature ranges, copying the data within the addresses and extracting them according to the extension of the files. However, in order to shorten the period of carving; each file type is executed synchronous on separate threads.

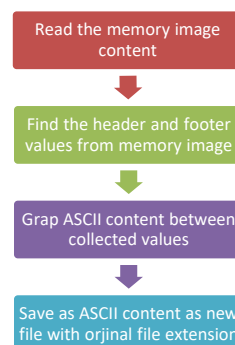


Figure 3. Processing model of file carving software

File carving software scans the image file in memory for each header signature. The addresses that correspond to the signature are kept in generic according to the formula shown in Equation 2 for the footer scan. File types with the footer signature are identified by the file address range, which is mapped to header addresses and added to the queue. For file types with no footer signature, a closing address is made with a 3MB displacement over the header address reference. At the last stage, the data between all the address ranges in the queue is scraped from the image file.

$$\forall x \in [0, l] \rightarrow y = y_0 + x \tag{2}$$

l = the total image file length.

x = the file offset.

y_0 = coordinate.

4.3. Extracting Multimedia Files

The carving process is performed after the entry of the parameters required for running the software. The carving software is used on the system given in Table 2. 532 multimedia files were accessed at the end of carving process for various file types within the 14 GB image file by using the file carving software in 38.23 minutes. Carving to determine carving times according to file types; performed synchronous with 4 threads. The sample files that are carved are shown in Figure 4.

Ad	Tarih	Tür	Boyut	Etiketler
00001127.png	1.02.2018 00:52	PNG Dosyası	2,360 KB	
00001147.png	1.02.2018 00:52	PNG Dosyası	2,295 KB	
00001075.png	1.02.2018 00:52	PNG Dosyası	2,211 KB	
00001143.png	1.02.2018 00:52	PNG Dosyası	1,736 KB	
00001012.png	1.02.2018 00:52	PNG Dosyası	3 KB	
00001244.png	1.02.2018 00:52	PNG Dosyası	1 KB	
00001224.png	1.02.2018 00:52	PNG Dosyası	1 KB	
00001164.png	1.02.2018 00:52	PNG Dosyası	1 KB	
00001096.png	1.02.2018 00:52	PNG Dosyası	1 KB	
00001161.png	1.02.2018 00:52	PNG Dosyası	1 KB	
00001226.png	1.02.2018 00:52	PNG Dosyası	1 KB	
00001239.png	1.02.2018 00:52	PNG Dosyası	1 KB	
00001151.png	1.02.2018 00:52	PNG Dosyası	1 KB	
00001144.png	1.02.2018 00:52	PNG Dosyası	1 KB	
00001123.png	1.02.2018 00:52	PNG Dosyası	1 KB	
00001125.png	1.02.2018 00:52	PNG Dosyası	1 KB	
00001053.png	1.02.2018 00:52	PNG Dosyası	254 KB	
00001001.png	1.02.2018 00:52	PNG Dosyası	133 KB	

Figure 4. Files acquired at the end of carving process

4.4. Evaluation of Carving Results

It is observed that the different signature structures used for multimedia file types do not affect the carving duration. The carving times obtained during the carving process for the different signature types of the multimedia files are given in Table 4.

Table 4. Carved files according to signature types

	Used Signature Types					Total
	1	2	3	4	5	
JPG	78	2	16	24	0	120
PNG	1	3	14	0	0	18
GIF	127	122	78	11	---	338
BMP	12	24	1	8	11	56
Σ Total						532

At the same time, the carving by using different signature structures different to the file in the carving process increases the result as seen in Table 5. In the carving process, the last number of threads in T3 is ended. The end time of thread T3 is 38.23 min. During this time, the software provides the total carving time. Because of the difference in the sizes of the files obtained through carving, the carving times also differentiate. Increasing the carving period positively affects the increase of the number of carved files and the file size.

Table 5. Carving durations according to signature types

	ID	Used Signature Types					Σ m
		1	2	3	4	5	
JPG	P1	14,12	2,33	3,45	8,66	0,40	28,96
PNG	P2	0.20	0.4	10	0,36	0,37	10.73
GIF	P3	14,54	15,22	5,01	3,46	---	38,23
BMP	P4	6,02	14,11	0,18	3,51	2,48	26,30

In the study, 10 PNG, JPG, GIF, and BMP files were taken as samples from 532 files in order to determine the recovery success rate of files carved from the RAM image. The sample files were selected among the multimedia files whose original files were detected. The success rates for accessing PNG files from the image file are given in Table 6. Accordingly, an average of 98% success rate has been achieved in PNG files. As shown in Table 7, a 95% success rate has been achieved for JPG files. Since the GIF files are usually small in size within the operating system, it resulted in 99% success rate as shown in Table 8. Finally, the success rate of BMP files is 95% as given in Table 9. As a result, the overall success rate of the multimedia files is 96.99%.

5. CONCLUSION

In the study, carving by using a file carving software and assessment of carving performance for various multimedia files have been performed. JPG, PNG, GIF, and BMP files, which are more commonly used by the users in Windows operating system, have been selected. The carving results have been compared by using different signature structures of these multimedia files. In total, 532 files were extracted from the RAM image in 38.23 minutes. The following conclusions have been drawn from the data obtained from this study. Each multimedia file is carved on average 4.31 second from the 14 GB image file.

- Using different signature structures for each file increases the total number of carved files.
- Different signature types do not affect the file carving duration.
- Increasing the estimated size of the files that do not have footer signatures affects the recovery rate of files positively.

- Different signatures of file types do not affect the success rate of file recovery.
- The total carving time can be reduced by increasing the number of simultaneous operations in the carving software.

The number of carving obtained from the developed software is compared with the commercial software's used in the field of computer forensics. Comparison of software is made using their signature files and the same image file. The resulting carving numbers are given in Table 10.

Table 10. Comparison of file carving counts

Used Software	Image Size	Carved Files	Rates (%)
Forensic Explorer	14 GB	610	98.34
Carving Software	14 GB	532	96.99
EnCase	14 GB	497	95.09
X-Ways Forensics	14 GB	451	87.27

To increase the success rate obtained from file carving software; Smart carving, Bifragment Gap carving, Encrypted Volume carving methods must be implemented. To increase the number of files that are excavated, the signatures used for multimedia files need to be increased. In the next study, the implementation of methods and techniques to improve the performance of the software will occur. Thus, the developed software is intended to demonstrate the same performance as commercial software.

ACKNOWLEDGMENTS

I would like to express my greatest gratitude to Süleyman Demirel University Scientific Research Projects Coordination Unit Board of Management, who supported this study with the project numbered 5035-D1-17.

REFERENCES

- [1] Law, Frank Y.W., K.P. Chow, Michael Y.K. Kwan, and Pierre K.Y. Lai., "Consistency Issue on Live Systems Forensics", *IEEE Future Generation Communication and Networking (FGCN)*: 136-40, (2007).
- [2] (KJ) Kuchta and Kelly J., "Forensic Methodologies: A Computer Forensic Professional's Compass!", *Information Systems Security* 10(6): 42-49, (2002).
- [3] Zanoni, M., Perin, F., Fontana, F. A., and Viscusi, G., "Pattern detection for conceptual schema recovery in data-intensive systems", *Journal of Software: Evolution and Process*, 26(12), 1172-1192, (2014).
- [4] Povar, D., and Bhadrans, V. K., "Forensic data carving. In Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, *Social-Informatics and Telecommunications Engineering*, 53:137-148, (2011). https://doi.org/10.1007/978-3-642-19513-6_12
- [5] Al-sharif Z. A, Bagci H and Asad A., "Towards the Memory Forensics of MS Word Documents", *Information Technology - New Generations*, 558: 179-85, (2018). doi:10.1007/978-3-319-54978-1.
- [6] Burdach, M., "Digital forensics of the physical memory" *Journal of the National Cancer Institute. Monographs*, 2013(47): (2013). <https://doi.org/10.1093/jncimonographs/igt036>
- [7] Hejazi, S. M., Talhi, C., and Debbabi, M., "Extraction of forensically sensitive information from windows physical memory", *Digital Investigation*, 6(SUPPL.), (2009). <https://doi.org/10.1016/j.diin.2009.06.003>
- [8] Quina GN, Diaz J, Park SGY and Piccirilli D., "Data restoration and file carving [Restauración de datos y el File Carving]" *Iber Conf Inf Syst Technol Cist*, (2017). doi:10.23919/CISTI.2017.7976035.XXX
- [9] Vömel, S., and Freiling, F. C., "A survey of main memory acquisition and analysis techniques for the windows operating system" *Digital Investigation*, 8:3-22,(2011). <https://doi.org/10.1016/j.diin.2011.06.002>
- [10] Bui, S., Enyeart, M., and Luong, J., "Issues in Computer Forensics", *Santa Clara University Computer* Retrieved from [http://www.cse.scu.edu/~jholiday/COEN150sp03/projects/Forensic Investigation.pdf](http://www.cse.scu.edu/~jholiday/COEN150sp03/projects/Forensic%20Investigation.pdf), (2003).
- [11] van Baar, R. B., Alink, W., and van Ballegooij, A. R., "Forensic memory analysis: Files mapped in memory", *Digital Investigation*, 5(SUPPL.), 5:S52-S57, (2008). <https://doi.org/10.1016/j.diin.2008.05.014>
- [12] Garcia, G. L., "Forensic physical memory analysis: an overview of tools and techniques", *In TKK T-110.5290 Seminar on Network Security*, 207:305-320, (2007).

APPENDIX

Table 6. Recovery success rates of PNG files

	File Carving Software			Commercial Software		
	Original Files (KB)	Carving Files (KB)	Rates (%)	Forensic Explorer	EnCase	X-Ways
PNG 1	2.360	2.359	99,95762712	97,23	92	70,44
PNG 2	2.295	2.290	99,78213508	98,12	94,13	75,75
PNG 3	2.211	2.001	90,50203528	98,65	98,11	90,12
PNG 4	1.736	1.700	97,92626728	98,11	92,73	86,08
PNG 7	254	254	100	96,96	89,23	86,66
PNG 8	135	133	98,51851852	94,74	98,1	93,4
PNG 5	3	3	100	98	97,22	95
PNG 6	1	1	100	100	97,19	87
PNG 9	1	1	100	100	96,13	90
PNG 10	1	1	100	100	97,17	91
		AVG	98,66865833	98,181	95,201	86,545

Table 7. Recovery success rates of JPG files

	File Carving Software			Commercial Software		
	Original Files (KB)	Carving Files (KB)	Rates (%)	Forensic Explorer	EnCase	X-Ways
JPG 1	1.251	1.200	95,92326139	99,23	91,5	68,12
JPG 2	1.100	1.000	90,90909091	100	93	69,23
JPG 3	980	900	91,83673469	96,65	98,11	71,34
JPG 4	950	920	96,84210526	98,01	92,73	86,08
JPG 5	125	120	96	97,65	88,1	90
JPG 6	90	89	98,88888889	100	97,1	96,19
JPG 7	50	47	94	100	96,62	96,09
JPG 8	10	10	100	100	95,16	86,67
JPG 9	5	4,89	97,8	100	96,3	90,16
JPG 10	5	4	80	100	95,12	90,68
		AVG	94,22000811	99,154	94,374	84,456

Table 8. Recovery success rates of GIF files

	File Carving Software			Commercial Software		
	Original Files (KB)	Carving Files (KB)	Rates (%)	Forensic Explorer	EnCase	X-Ways
GIF 1	10	10	100	91,23	92	87,45
GIF 2	8	7,8	97,5	98,12	94,13	86,33
GIF 3	8	7,6	95	100	96,15	87,21
GIF 4	7	7	100	93,01	92,73	87,43
GIF 5	6	6	100	96,76	89,23	89,34
GIF 6	6	6	100	97,34	98,1	87,43
GIF 7	5	5	100	100	95,96	95,1
GIF 8	1	1	100	100	98,12	90,18
GIF 9	1	1	100	100	98,11	86,9
GIF 10	1	1	100	100	97,17	91,9
		AVG	99,25	97,646	95,17	88,927

Table 9. Recovery success rates of PNG files

	File Carving Software			Commercial Software		
	Original Files (KB)	Carving Files (KB)	Rates (%)	Forensic Explorer	EnCase	X-Ways
BMP 1	2.370	2.360	99,57805907	94,23	96,65	90,12
BMP 2	2.337	2.290	97,98887463	98,12	94,13	87,34
BMP 3	229	220	96,069869	100	97,67	90,5
BMP 4	175	173	98,85714286	98,06	90,12	80,68
BMP 5	144	140	97,22222222	97,06	92,65	86
BMP 6	135	133	98,51851852	96,34	98,1	90,12
BMP 7	12	10	83,33333333	100	96,56	96
BMP 8	11	10	90,90909091	100	97,19	88,28
BMP 9	10	10	100	100	96,13	92,65
BMP 10	10	9,6	96	100	97,17	90
		AVG	95,84771105	98,381	95,637	89,169



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>

Mobil tasarsız ağlar için acil durum ve kurtarma senaryolarına yönelik bir protokol: E-AODV

E-AODV: A protocol devoted to emergency and rescue scenarios for mobile adhoc networks

Yazar(lar) (Author(s)): Fırat ÇETİNKAYA¹, İbrahim Alper DOĞRU², Murat DÖRTERLER³, Ramazan KOCAOĞLU⁴

ORCID¹: 0000-0001-7691-7710

ORCID²: 0000-0001-9324-7157

ORCID³: 0000-0003-1127-515X

ORCID⁴: 0000-0002-6554-3335

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Çetinkaya F., Doğru İ. A., Dörterler M. ve Kocaoğlu R., “Mobil tasarsız ağlar için acil durum ve kurtarma senaryolarına yönelik bir protokol: E-AODV”, *Politeknik Dergisi*, 21(3): 739-751, (2018).

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

DOI: 10.2339/politeknik.417768

Mobil Tasarsız Ağlar için Acil Durum ve Kurtarma Senaryolarına Yönelik bir Protokol: E-AODV

Araştırma Makalesi / Research Article

Fırat ÇETİNKAYA¹, İbrahim Alper DOĞRU^{2*}, Murat DÖRTERLER³, Ramazan KOCAOĞLU⁴

¹Bilişim Enstitüsü, Bilgisayar Eğitimi A.B.D., Gazi Üniversitesi, Türkiye

²Teknoloji Fakültesi, Bilgisayar Müh. Bölümü, Gazi Üniversitesi, Türkiye

³Teknoloji Fakültesi, Bilgisayar Müh. Bölümü, Gazi Üniversitesi, Türkiye

⁴Rakort Bilgi ve İletişim Teknolojileri, Türkiye

(Geliş/Received : 22.02.2018 ; Kabul/Accepted : 10.04.2018)

ÖZ

Mobil tasarsız ağlar (MTA), önceden tanımlı bir sabit altyapı olmadan birbirleriyle iletişim kuran mobil cihazlardan oluşmaktadır. Bu özelliğinden dolayı mobil tasarsız ağların acil durumlarda kullanılması önemli faydalar sağlamaktadır. Dinamik ve değişken bağlantılardan dolayı acil durum ve kurtarma senaryolarında veri iletiminde uçtan uca gecikme, bant genişliğinde tıkanıklık, paket iletiminde azalma gibi çeşitli aksaklıklar meydana gelmektedir. Bu çalışmada, Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) protokolünün kuyruk yapısı değiştirilerek, TCP paketlerine öncelik veren Emergency AODV (E-AODV) protokolü geliştirilmiştir. E-AODV ile verilerin daha düşük uçtan uca gecikme süresinde iletilmesinin yanı sıra paket dağıtım oranının ve throughput değerlerinin artırılması amaçlanmıştır. Önerilen protokolün başarımı iki farklı senaryo kullanılarak sınanmış ve sonuçlar literatürdeki benzer çalışmalarla kıyaslanmıştır. E-AODV, uçtan uca gecikme, paket dağıtım oranını ve throughput değerleri açısından her iki senaryoda da daha başarılı sonuçlar vermiştir.

Anahtar Kelimeler: Mobil tasarsız ağlarda acil durum, MTA, AODV, E-AODV, uçtan uca gecikme.

E-AODV: a Protocol Devoted to Emergency and Rescue Scenarios for Mobile Adhoc Networks

ABSTRACT

Mobile ad hoc networks (MANETs) consist of mobile devices that communicate with each other without a predefined fixed infrastructure. Using of MANETs provides significant benefits in emergencies thanks to this feature. Various malfunctions such as end to end delay, bandwidth congestion and, reduction in the packet transmission ratio occur in data transmissions due to dynamic and variable connections in emergency and rescue scenarios. In this study, Emergency Ad hoc On-Demand Distance Vector (E-AODV) protocol, giving priority to TCP packets, was developed by modifying the queue structure of the AODV protocol. It is aimed transmitting data within less end to end delay time along with increasing packet transmission ratio and throughput, through E-AODV. The performance of proposed protocol was investigated on two different scenarios in a simulation environment and compared with similar studies in literature. E-AODV gave more successful results in terms of the packet delivery ratio, end to end delay and, throughput for the both scenarios.

Keywords: Emergency in mobil ad-hoc networks, MANET, AODV, E-AODV, end to end delay

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Mobil tasarsız ağlar, sabit altyapı ve merkezi idari yönetim olmadan, geçici ve kendini dinamik olarak yapılandırabilen kablosuz ağlardır. Bu ağlar, paylaşılan bilginin önemli olduğu ve en kısa sürede veri iletiminin gerçekleşmesi gerektiği acil durum ve felaket senaryoları için idealdir [1, 2]. Tüm düğümler hem yönlendirici görevi görmekte hem de diğer düğümlerle serbest olarak iletişim kurmaktadır [3, 4]. Yani herbir düğüm verinin hem kaynağı, hem hedefi, hem de köprüsü olabilmektedir. MTA'lar ilk olarak iletişim altyapısının hiç olmadığı ya da zarar gördüğü askeri ortamlarda, acil durum ve kurtarma senaryolarında kullanılmaya

başlanmıştır. Daha sonraları ticari amaçlarla ofis ağları ve ev ağları gibi yerel alanlarda, robot ağlarında, kişisel alan ağlarında vb. birçok yerde kullanılmıştır [5, 6, 7].

MTA, asgari ek yük ile kendini konfigüre etmesi, hareketliliğin bağımsız ve esnek olması, sabit altyapı gerektirmemesi gibi nedenlerden dolayı tercih edilmektedir. Acil durumların ne zaman vuku bulacağı bilinmemektedir ve planlı değildir. Bu olaylar, çoğu durumda kaçınılmazdır ve çok sayıda insanı etkileyebilmektedir. Mevcut altyapı-tabanlı iletişim olanakları deprem, sel gibi doğal afetler ve savaşlardan dolayı tahrip olabilmektedir. Bu gibi durumlarda acilen tasarsız kablosuz ağların kullanımı, kurtarma faaliyetlerini koordine etmek için iyi bir çözüm sunmaktadır. Bu durumlarda kullanılan tasarsız kablosuz

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta : iadogru@gazi.edu.tr

ağlar dağıttık ve birçok düğüm için ölçeklenebilir olmalıdır [8].

Acil durum ve kurtarma durumlarında sabit ve hücresele şebekeler işlev dışı kalabilmektedir. Bu durumun başlıca sebepleri yaşanan felaketten dolayı fiziki alt yapının tahrip olması ya da insanların birbirleriyle iletişim kurma çabalarından dolayı aşırı yüklenmeleridir. Böyle zamanlarda MTA haberleşme sağlanması için önemli bir seçenektir. Yine de, felaket durumlarında anlık aşırı kullanımdan dolayı veri iletiminde yoğunluk yaşanması olasıdır. Bant genişliğinin sınırlı olduğu bu ağlarda, yaşanan yoğunluk veri iletiminde uçtan uca gecikmeye ve paket iletiminde tıkanıklığa sebep olabilecektir. Ayrıca, aşırı yükleme batarya ömrünün de çabuk tükenmesine dolayısıyla iletişimin kısa sürede kesilmesine neden olmaktadır. Bu sebeplerden dolayı MTA'larda verilerin hızlı ve güvenilir bir şekilde iletilmesi önemlidir. Bu kapsamda belirtilen ihtiyaçlar göze alınarak, AODV yönlendirme protokolünde [9] değişiklikler yapılmıştır. E-AODV ile TCP paketlerin iletimine öncelik sağlanarak, uçtan uca gecikme süresinin azaltılması ve paket iletim oranının artırılması yönünde bir çözüm sunulmuştur.

Çalışma, beş bölümden oluşmaktadır. İkinci bölümünde, MTA yönlendirme protokolleri ve acil durum ve kurtarma senaryolarıyla ilgili çalışmalardan bahsedilmiştir. Üçüncü bölümde, geliştirilen E-AODV protokolü detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Dördüncü bölümde, geliştirilen E-AODV protokolünün performansı benzetim çalışmaları vasıtasıyla ölçülerek benzer çalışmalarla kıyaslanmıştır. Beşinci bölümde, yapılan çalışmanın sonuçları değerlendirilmiş ve sonraki çalışmalar için öneriler sunulmuştur.

2. BENZER ÇALIŞMALAR (RELATED STUDIES)

Acil durum ve kurtarma senaryolarında MTA'nın kullanımında yönlendirme protokolleri kilit öneme sahiptir. Bu kapsamda yapılan çalışmalarda, mevcut protokollerde değişiklikler yapıldığı gibi yeni protokoller ve modeller de önerilmiştir.

2.1. MTA için Yönlendirme Protokolleri (Routing Protocols for MANET)

MTA'larda yönlendirme protokolleri proaktif, reaktif ve hibrid olarak 3 ana kategoride sınıflandırılabilir [12].

Proaktif yönlendirme protokolleri ağ boyunca tüm rotaları gerekli olmasa bile muhafaza etmektedir. Bu nedenle her bir düğüm ağdaki diğer tüm düğümlerin rotasını kaydetmektedir. Bu protokoller, düzenli olarak ağdaki her bir düğüm için güncellenen rotaların tutulduğu düğümler arasında kontrol bilgilerini değiştirmektedir. Proaktif yönlendirmenin amacı önceden hesaplanmış tüm olası yollar için bilgiyi periyodik olarak ağ boyunca dağıtmaktır. Bu nedenle, acil ve kurtarma senaryolarında, düğümler arasındaki rotaların sürekli değerlendirilmesi etkilenen alanda bulunan insanları tahliye etmek için çok önemlidir.

Ancak, bu eylemlerin birçoğu da enerji verimliliği ve bant genişliğini direkt olarak etkileyen aşırı yüklemeye sebep olabilmektedir. Statik bir topolojide bu yönlendirme şeması düzgün çalışabilmesine karşın geniş ve aşırı dinamik ağlarda ölçeklendirme iyi yönetilememektedir [1, 13].

Reaktif yönlendirme protokolleri isteğe bağlı olarak yönlendirme tablolarının güncellenmesini sağlamaktadır. Kaynak düğüm, belirli bir hedefle iletişim kurmak istediğinde rota keşfetme süreci başlatmakta ve düğümlerin hareketliliğinden kaynaklanan yol hatalarını yönetmek için de rota onarım sürecini başlatmaktadır. Hedef düğüm için yol bulunduğu ya da herhangi rota bulunmadan tüm alternatifler arandığında rota keşfetme sonlanmaktadır. Bu protokollerin olumsuz yönleri, iletişimi başlatmak için geçen sürenin uzunluğu ve topoloji değişikliklerine yavaş tepki göstermeleridir. Olumlu yönleri ise, acil ve kurtarma senaryolarında, iletişim süresine enerji tasarrufu sağlamasıdır. Sürekli ağ güncellemesi olmaması, tahliye bölgesi adresi için iletişim bağlantısı bekleyen insanların mobil cihazlarının enerji tasarrufunu artırmaktadır [1, 13].

Hibrid yönlendirme protokolü, ağı kümeler olarak adlandırılan öbeklere bölmektedir. Grup içerisinde oluşturulan bilgiyi toplamak ve dağıtmak için bir küme başı düğümü kullanılmaktadır [1, 2, 13]. Eğer düğüm iletişim kuracağı düğümlerle aynı yönlendirme alanı içerisindeyse proaktif yönlendirme yaklaşımını, farklı yönlendirme alanlarındaysa reaktif yönlendirme yaklaşımını kullanmaktadır [8].

2.1.1. Ad hoc On-demand Distance Vector (AODV)

AODV rotaları bulmak için isteğe bağlı yaklaşım sunan reaktif bir yönlendirme protokolüdür [14]. Rotalar, veri paketleri iletilmeden önce ihtiyaç halinde kaynak düğüm tarafından kurulmaktadır. İsteğe bağlı yönlendirme protokolünde, istenen hedef için uygun rota olmadığına kaynak düğüm ağa "Rota İstek" (RouteRequest) paketi göndermektedir. Paket, hedef ya da isteğe cevap verecek bir ara düğüme kadar ağ boyunca iletilmektedir. İlgili düğüm, hedefe ulaşmak için gerekli sekme sayılarını içeren bir cevabı kaynak düğüme göndermektedir. Bu yolla tek bir rota istek paketiyle, farklı hedefler için birden çok rota elde edilebilmektedir. AODV'nin öne çıkan farklılığı, hedef için güncel bir yol belirlerken hedef sıra numarası (DestSeqNum) kullanmasıdır. Bir düğümün yol bilgisini güncellemesi için mevcut paketin hedef sıra numarasının düğümden depolanan son hedef sıra numarasından daha büyük olması gerekmektedir [2, 3, 8, 9, 15].

2.1.2. Destination-Sequenced Distance Vector (DSDV)

DSDV proaktif sınıfında, tasarsız kablosuz ağlar için geliştirilmiş ilk protokollerden biridir. Ağdaki her düğüm, hedef için ağdaki en kısa mesafeyi ve hedef düğüm tarafından atanan sıra numarasıyla en kısa yolun ilk düğüm bilgisini içeren bir yönlendirme tablosu tutmaktadır. Eski rotaları yenilerinden ayırt etmek için sıra numarası kullanılmaktadır. Düğümler periyodik

olarak yönlendirme tablolarını birincil komşularına iletmektedir. Düğüm, gönderilen son güncellemede önemli bir değişiklik meydana geldiği durumlarda yönlendirme tablosuna o değişikliği de eklemektedir. Bu nedenle, güncelleme hem zaman-tetiklemeli hem de olay-tetiklemelidir [1, 8, 16].

2.1.3. Dynamic Source Routing (DSR)

DSR, özellikle mobil düğümlerin periyodik tablo güncelleme mesajını ortadan kaldırarak kontrol paketleri tarafından tüketilen bant genişliğini sınırlandırmak için geliştirilmiş reaktif bir yönlendirme protokolüdür [12, 17]. Her bir veri paketi başlığında, paketin geçeceği düğümlerin listesi bulunur. Bu liste sayesinde ara düğümler güncel yönlendirme bilgisine ihtiyaç duymamakta ve yönlendirme döngüz olarak gerçekleşmektedir. Veri paketlerine rotanın dâhil edilmesiyle, paketi ileten ya da tesadüfen duyan düğümler ileride kullanmak üzere rotayı önbelleğine alabilmektedir [3, 8, 11, 17].

2.2. MTA ve Acil Durum ve Kurtarma Senaryoları (MANETs and Emergency and Rescue Scenarios)

Acil durumlarda iletişimin sürmesi ve müdahalenin sağlanabilmesi için MTA'lara yönelik çeşitli çalışmalar yapılagelmektedir. Bu kısımda MTA'larda acil durum ve kurtarma senaryolarıyla ilgili son yıllarda yapılan çalışmalardan bahsedilmiştir.

Fujiwara ve Watanabe [18], bir felaket anında zarar değerlendirme bilgisini hızlı ve istikrarlı bir şekilde toplamak amacıyla Enhanced communication scheme combining centralized and Ad hoc network (ECCA) adlı bir hibrid ağ ve yönlendirme protokolü tasarlamışlardır. Bu yaklaşımda merkezi bir ağın ve tasarsız ağların avantajlarından yararlanarak bir hücre içerisinde veri toplamak için birçok düğüm ve bir baz istasyonu bir arada kullanılmıştır. Bu yönlendirme protokolü, rota istek paketini yayınlamak yerine, komşu düğümlerin iletişimlerini izleyerek bir rota keşfetmekte ve kurmaktadır. Deneyler sonucunda düğümlerin sadece %20'sinin baz istasyonuna direkt olarak erişmesine rağmen, düğümlerin yaklaşık %90'ının çoklu erişimle 3 atlama ile baz istasyonuna erişebilmekte olduğunu göstermiştir. Sonuçlar, ayrıca ağın baz istasyonuna paketin iletimini kısa bir gecikme süresinde gönderebildiğini göstermiştir. Ancak, erişilebilirlik iki ya da üç sekmeyle yeterince artarken, throughput değeri yeterli düzeyde olmamıştır. Dolayısıyla, ağın hasar değerlendirme bilgilerini toplamak ve acil trafiği hızlı ve istikrarlı bir şekilde iletmek için verileri küçük boyutlarla sınırlandırmanın daha uygun olduğu belirtilmiştir.

Quispe ve diğerleri [19], acil durum ve kurtarma operasyonları için mobil tasarsız ağlarda proaktif, reaktif ve hiyerarşik tasarsız yönlendirme stratejilerini kıyaslamak için Ekvator'un Loja şehrindeki gerçek bir alanı dikkate alarak benzetim oluşturmuşlardır. Cluster Based Routing Protocol (CBRP), AODV ve DSDV protokollerinin performansları Network Simulator version 2 (NS-2) [20] benzetim ortamında karşılaştırılmıştır. Benzetim sonucunda CBRP'nin

gönderilen ve alınan paket oranları açısından daha istikrarlı olduğu ve yönlendirme için sadece birkaç paket kaybettiğini belirtmişlerdir. Ayrıca ortalama dalgalanma ve gecikme değerlerinin de diğer iki protokole göre çok daha düşük olduğunu benzetim sonuçlarına göre açıklamışlardır. Sonuç olarak yazarlar, afet alanlarındaki insanların CBRP protokolünü kullanarak belirlenen acil toplanma noktalarıyla daha etkili bir şekilde tahliye edilebileceklerini belirtmişlerdir.

Kumar ve diğerleri [21], AODV, DSDV ve DSR yönlendirme protokollerini kullanılarak felaket kurtarma senaryosu için bir tasarsız ağ modeli geliştirmişler ve bu protokollerin de performanslarını karşılaştırmışlardır. Bütün düğümlerin birbirlerinin konumlarını bulmak ve birbirlerine afet bölgesinin yerini bildirmek için iletişim kurabileceği hareketli bir ağ senaryosu oluşturmuşlardır. Benzetim sonuçlarına göre, uçtan uca gecikme açısından proaktif protokollerin performansının sabit/kararlı ağlar için reaktif protokollerden daha iyi olduğunu belirtmişlerdir. Ancak hareketlilik arttıkça, reaktif protokollerin proaktif protokollerden daha iyi performans sergilediği sonucuna varmışlardır. Yönlendirme protokollerinin kapsamlı karşılaştırması sonucunda, yolların bir kaç sekme ile sınırlı olduğu ve düşük kontrol yükü gereken bir senaryo için DSR'nin dikkate alınması gerektiği belirtilmiştir.

Ramesh ve diğerleri [22], çalışmalarında, afet bölgelerindeki iletişim ağını canlandırmak için hareket algılama yaklaşımıyla bütünleşik bir MTA mimarisini önermişlerdir. Çalışmalarında, acil durum senaryosunda bir mobil düğümün mesaj iletmek için iletişim alanında her zaman bir komşu düğüm bulamayacağından yola çıkarak her bir düğüm için tampon bellek önermişlerdir. Böylece alınan mesaj, çevresindeki yeterli sayıda düğüme ulaşana kadar arabellekte geçici olarak saklanmaktadır. Geliştirdikleri algoritma ile MTA'da reaktif olarak AODV protokolünün ve proaktif olarak Optimized Link State Routing (OLSR) protokolünün performanslarını QualNet benzetim aracı kullanarak değerlendirmişlerdir. Benzetim çalışmaları sonucunda önerilen mimarinin sergilediği düşük paket kaybı seviyesiyle acil senaryolar için uygun olduğu belirtilmektedir. Ayrıca mobil senaryolarda kablosuz bağlantıların dinamik niteliği göz önüne alındığında, isteğe bağlı bir yönlendirme protokolü olan AODV'nin OLSR'den daha başarılı sonuçlar ürettiği vurgulanmıştır.

Raffelsberger ve Hellwagner [23], bir afet alanı hareketlilik modelinin yanı sıra kablosuz gölgeleme/izleme modeli kullanarak bir kimyasal tesiste yaşanan patlamadan sonra felaket müdahale operasyonunu temsil eden gerçekçi bir acil durum müdahale senaryosu ortaya koymuşlardır. AODV, DYnamic Manet On-demand Routing (DYMO), Better Approach to Mobile Ad-hoc Network (BATMAN) ve OLSR yönlendirme protokolleri bu senaryo için OMNet++ benzetim aracı ile karşılaştırılmıştır. Performans değerlendirmesinde paket dağıtım oranı, uçtan uca gecikme ve sekme sayısı metrikleri kullanılmıştır. Benzetim sonuçlarına göre, paket dağıtım

oranlarının, hareketliliğin normal olduğu alanlarda yüksek; hareketliliğin fazla olduğu alanlarda ise aralıklı bağlantılardan dolayı çok düşük seviyelerde kaldığı tespit edilmiştir. Paket dağıtım oranında AODV protokolünün diğer yönlendirme protokollerine göre daha başarılı sonuçlar verdiği belirtilmiştir. Sonuç olarak MTA yönlendirme protokollerinin kaynak ve hedef arasında uçtan uca direkt bir yol olduğunu varsaydıklarından dolayı tipik acil müdahale operasyonları için çok doğru olmadığını belirtmişlerdir.

Torres ve diğerleri [2], MTA'ların yönetimini geliştirmek amacıyla Yüksek Kullanılabilirlik Yönetimi Tasarsız Ağlar (High Availability Management Ad Hoc Networks - HAMAN) adlı, katmanlar üzerine temellendirilmiş bir yönetim modeli geliştirmişlerdir. Önerilen modelde yönetim sürecinde azami kullanılabilirliği elde etmek amacıyla hiyerarşik yönlendirmenin yanısıra tasarsız ağ kullanımının alt katman sürecini geliştirmeye odaklanılmıştır. HAMAN ile düğümlerdeki bilgi değişiminin nasıl uygulanacağı ve nasıl ilişkilendirileceğini belirlemek için model seviyelere bölünerek soyutlanmıştır. Çalışmada ayrıca Backup Cluster Head Protocol'ünü (BCHP) geliştirmişlerdir ve modelin bir parçası olarak kullanmışlardır. HAMAN yönetim modeli uygulanarak BCHP, CBRP ve AODV yönlendirme protokollerini aşırı yük, paket kaybı, ortalama gecikme ve paket ya da jitter'in gecikme değişimi metrikleriyle karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak BCHP'nin AODV ve CBRP protokollerine göre ağın yakınsamasını ve kullanılabilirliğini geliştirdiği belirtilmiştir.

Torres ve diğerleri [24], ağın olabildiğince uzun süre aktif olması ve ağdaki düğümler arasındaki iletişimin verimli olması gerektiğini savunmuşlardır. Tasarsız bir ağı çalışması, yaşam süresi ve kullanılabilirliği düğümlerin çalışma sürelerini arttırmak amacıyla Geliştirilmiş Yedek Küme Başlı Protokolünü (Enhanced Backup Cluster Head Protocol - EBCHP) önermişlerdir. Bu protokol yine yazarlar tarafından geliştirilen BCHP [2]'nin ağı yaşam süresi açısından iyileştirilmiş sürümüdür. Acil durum ve kurtarma hizmetleri için Ekvator'da Loja şehri ele alınarak hazırlanan senaryonun NS-2 ile benzetimi gerçekleştirilmiştir. Başarım değerlendirmesi için aşırı yük, ortalama uçtan uca gecikme ve paket gecikme değişimi metrikleri seçilmiştir. Sonuç olarak, EBCHP'nin, selefi BCHP'ye kıyasla ağ ömrünü ve yakınsamasını iyileştirme hedeflerini gerçekleştirdiğini belirtmişlerdir.

Wister ve diğerleri [25], çalışmalarında kent içi felaket durumlarında kurtarma operasyonları için AODV ve DYMO protokollerinin performanslarını karşılaştırmışlardır. Protokoller, paket dağıtım oranı, throughput, kontrol mesaj ek yükü ve enerji tüketimi metrikleri açısından NS2 benzetim ortamında değerlendirilmiştir. Sonuç olarak DYMO'nun AODV'den daha iyi bir performansla sahip olduğu belirtilmiştir. DYMO'nun bilgi işlem mimarisi üzerinden çalışan felaket durumlarında, kurtarma görevleri sırasında iş yükünü destekleyebileceğini, operasyonların

sürekliliğini ve iletişimin sürdürülmesini sağlayabileceğini ileri sürmüşlerdir.

Quispe ve Galan'ın yaptıkları çalışmada [1], proaktif, reaktif ve hiyerarşik tasarsız yönlendirme stratejilerinin acil durum ve kurtarma senaryolarındaki performansları değerlendirilmiştir. Hazırlanan acil durum ve kurtarma senaryoları için AODV, DSDV ve CBRP yönlendirme protokollerinin performansları NS-2 benzetim programı kullanarak test edilmiştir. Benzetim sonuçlarına göre CBRP protokolünün en iyi performansı sergilediği belirtilmektedir.

Abed ve diğerleri [26], DSR, DSDV ve AODV protokollerini Random Waypoint Mobility Model (RWPM), Random Point Group Mobility Model (RPGM), Gauss Markov Mobility Model (GMM) ve Manhattan Grid Mobility Model (MGM) hareketlilik modelleri altında karşılaştırmışlardır. Bu hareketlilik modelleri altında protokollerin performansları, paket dağıtım oranı, ortalama uçtan uca gecikme ve standart yönlendirme yükü metrikleri kullanılarak NS-2 benzetim programında değerlendirilmiştir. Hareketlilik modelleri ve yönlendirme protokollerinin birbirlerine kıyasla belirgin bir üstünlük göstermediği belirtilmiştir. Yönlendirme protokollerinin kullanım amaçlarına ve kullanılacağı ortamlara göre hareketlilik modelinin seçilmesinin başarımı artıracak çıkarımı yapılmıştır.

Tundjungsari ve Sabiq [27], MTA kullanarak çalışan bir Android tabanlı uygulama prototipi geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri prototip ile acil durum senaryolarında, arama ve kurtarma operasyonları için iletişimi sağlamayı ve gerekli bilgiyi elde etmeyi amaçlamışlardır. Geliştirdikleri mobil uygulamalar, arama kurtarma ekiplerinin konumlarının belirlenmesine ve ekiplerin kendi aralarında iletişim kurmasına olanak sağlamaktadır. Bu uygulamalarının tasarımı eşler arası ağ iletişimi mantığıyla tasarlanmıştır. Böylelikle MTA'da yer alan tüm mobil cihazlar ağ içerisinde eşit olarak yer almıştır. Belirlenen konum ağdaki tüm cihazlara broadcast olarak gönderilmektedir. Çalışma sonucunda 50 m. çapında bir alanda cihazların etkin iletişim sağladığı belirtilmiştir.

3. E-AODV: ÖNERİLEN ACİL DURUM YÖNLENDİRME PROTOKOLÜ (E-AODV: THE PROPOSED EMERGENCY ROUTING PROTOCOL)

Bu çalışmada, TCP paketlere öncelik verilerek, uçtan uca gecikmenin azaltılıp sınırlı bant genişliğinde paket iletiminin de daha verimli olması amacıyla AODV kuyruk yapısında değişiklik yapılmıştır. Yapılan çalışmada AODV'nin rota keşfi ve rota kurma aşamalarında herhangi bir değişiklik yapılmamıştır. Çalışmanın amacı kaynak ve hedef arasında rota oluşturulduktan sonra AODV protokolünde kuyruk yönetimidir.

AODV, taşıma (transport) katmanında 64 paketlik gönderme arabelleği tutmaktadır. Bu arabellek, rota keşfi başlatan ancak henüz yanıt almamış olan düğümlerin veri paketlerini içermektedir. Yönlendirme katmanı tarafından gönderilen tüm veri ve yönlendirme paketleri, ortama erişim kontrol (Media Access Control-MAC) katmanı onları iletene kadar arayüz kuyruğunda sıraya alınmaktadır. Arayüz katmanı maksimum 50 paket boyutuna sahiptir. İlk giren ilk çıkar mantığında, yönlendirme ve veri paketlerinin önceliklendirildiği iki öncelik sırasına göre çalışır. Yönlendirme paketleri, veri paketlerinden daha yüksek önceliğe sahiptir [28].

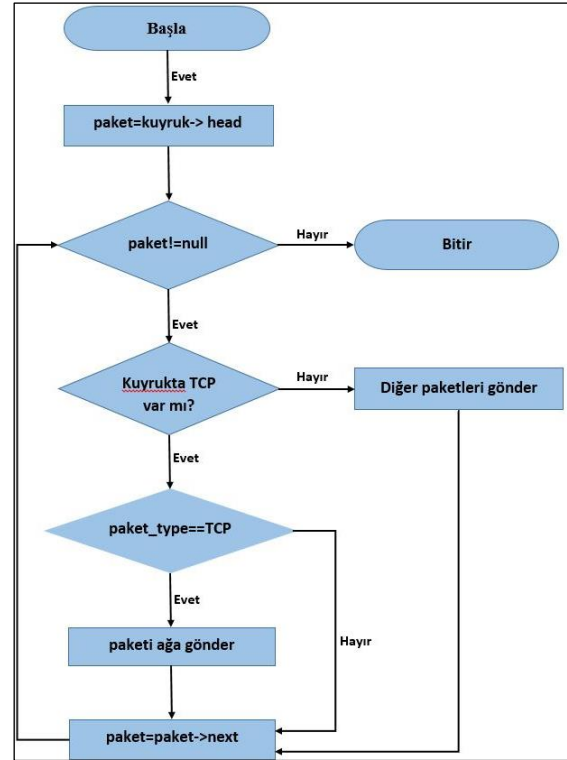
Yapılan bu çalışmayla, kuyruğa giren TCP paketlere öncelik tanınmıştır. Böylece acil durum ve kurtarma senaryolarında kaynak düğüm ile hedef düğüm arasında rota kurulduktan sonra TCP paketlerine arayüz kuyruğunda öncelik tanınacağı için iletilen veri paketlerinin daha düşük bir uçtan uca gecikme süresine sahip olması amaçlanmıştır. Ayrıca uçtan uca gecikme süresinin azalması sonucunda AODV protokolüne göre daha yüksek paket dağıtım oranı ve throughput değerlerinin görülmesiyle birlikte yönlendirme paketlerinin de iletiminde sıkıntı yaşanmaması amaçlanmıştır. AODV’de kuyruk kontrolü hedef düğümün ip adresine göre sağlanmaktadır. Yapılan bu çalışmada ise paket türüne göre kuyruk kontrolü yapılmaktadır ve TCP paketlerine öncelik verilmektedir. Çalışmada yapılan değişikliğin temel algoritması ve akış diyagramı Algoritma 1. ve Şekil 1.’de gösterilmektedir.

```

1. Başla
2. paket ← queue.head;
3. while(paket != null)
4.   if (isExistinQueue(PT_TCP) && paket.type == PT_TCP)
5.     sendToNetwork(paket);
6.   else if (! isExistinQueue(PT_TCP)){
7.     sendToNetwork(paket);
8.   end if
9.   paket ← paket.next;
10. end while
11. Bitir;
    
```

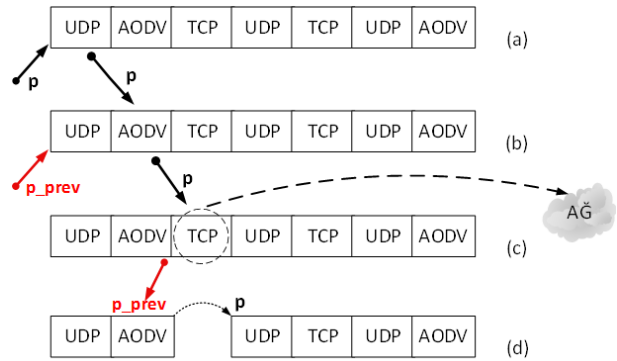
Algoritma 1. Yapılan değişikliğin temel algoritması (The basic algorithm of the made modification)

Kaynak ve hedef arasında rota kurulduktan sonra kuyruğun doluluk durumu denetlenmektedir. Kuyruk boş değil ise TCP paketlerinin varlığı sınamaktadır. TCP paketleri öncelikli olarak kuyruktan çıkartılmakta ve ağa gönderilmektedir. Bu esnada TCP olmayan paketler atlanarak kuyruğa ilerlemeye devam etmekte ve sonraki paketlere bakılmaktadır. Kuyruktaki TCP paketleri ağa gönderildikten sonra TCP olmayan paketler ağa gönderilmektedir. Bu durum AODV protokolü için belirtilen çalışma süresi içerisinde kuyruktaki paket olduğu müddetçe devam etmektedir.



Şekil 1. Akış diyagramı (Flow diagram)

Aşağıdaki örnek üzerinden algoritmanın işleyişi daha açıklayıcı şekilde anlatılmaktadır. Şekil 2’deki örnekte TCP paketlerin 3. ve 5. sırada oldukları varsayılmıştır. İlk aşamada kuyruktaki paket olup olmadığı ve kuyruktaki paket varsa bu paketlerin yaşam sürelerinin (time-to-live) dolup dolmadığı kontrol edilmektedir. Bu ilk aşamadan sonra p işaretçisi kuyruktaki paket varsa kuyruğun başına gitmekte ve ilk paketi kontrol etmektedir.



Şekil 2. Algoritmanın işleyiş örneği (Process example of algorithm)

Şekil 2(a)’da görüldüğü üzere ilk paket TCP olmadığı için işaretçi bir sonraki paketi kontrol etmek için ilerlemektedir. Şekil 2(b)’de p işaretçisinin ilerlediği ve bıraktığı sıraya da p_prev işaretçisinin geldiği görülmektedir. Şekil 2(c)’de p işaretçisi paket türünü kontrol ettiğinde paketin TCP olduğunu tespit etmektedir. Bu durumda TCP paket kuyruktan çıkarılmakta ve hedef düğüme iletilmesi için ağa gönderilmektedir. p işaretçisi sonraki paketleri kontrol

etmek için kuyrukta ilerlemeye devam edmektedir. Bu şekilde tüm TCP paketler belirlenen süre içerisinde kuyrukta bulunarak ağa gönderilmektedir.

Kuyrukta bulunan TCP paketler ağa gönderildikten sonra geliştirilen algoritma devreden çıkmaktadır. Kuyruk yapısı diğer paketler için ilk giren ilk çıkar mantığına göre çalışmaya devam etmektedir. Bu şekilde kuyrukta bulunan diğer paketler de ağa gönderilmektedir. TCP paketlerin bulunup ağa gönderilmesi çok kısa sürelerde olduğu için diğer paketlerin yaşam sürelerini tam olarak olumsuz etkilememektedir. Alınan benzetim sonuçlarında da paket kayıplarının azaldığı görülmüştür.

4. DENEYSSEL ÇALIŞMALAR VE DEĞERLENDİRMELER (EXPERIMENTAL STUDIES AND EVALUATIONS)

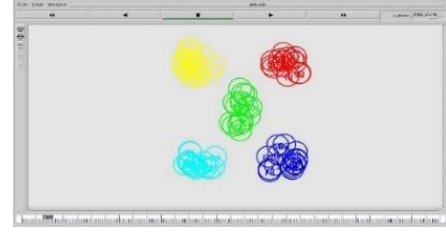
Performans metrikleri, gereken Servis Kalitesine (QoS) erişmek için yönlendirme algoritması tarafından büyük ölçüde etkilenen ağı karakterize etmeye yardımcı olmaktadır [3]. Bu çalışmada, yönlendirme protokollerini analiz etmek için farklı düğüm sayılarında, farklı duraklama sürelerinde, farklı bağlantı ve bağlantı sayılarında; oluşturulan toplam paket sayısı, alınan toplam paket sayısı, oluşturulan toplam TCP paket sayısı, alınan TCP paket sayısı, oluşturulan toplam UDP paket sayısı, alınan UDP paket sayısı, throughput, paket dağıtım oranı ve uçtan uca gecikme değerlerine bakılmıştır. Önerilen protokolün başarımını ölçmek üzere NS-2 programının 2.35 sürümü kullanılmıştır.

4.1. Senaryoların Oluşturulması (Creating of scenarios)

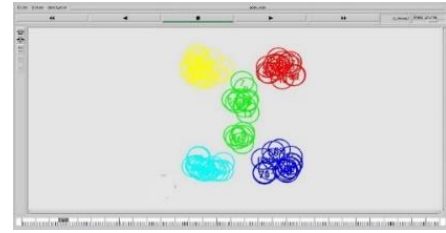
Acil durumlarda belirli bir alan içerisindeki düğüm sayısı değişkenlik gösterebilmektedir. Bu nedenle oluşturulan senaryo bir alanda bulunan 5 farklı gruptan oluşmaktadır. Her grup en az 15, 20 ve 30 düğümden oluşturulmuştur. Toplam düğüm sayıları 75, 100 ve 150 olarak tasarlanmıştır. Bu gruplar birbirlerine yakın alanlarda çalışan insanlardan oluşmaktadır. Her grup eşit sayıda düğümden oluşmaktadır. Acil durum ve kurtarma alanlarında bu gruplar için daha önce belirlenmiş olan iki adet tahliye noktası bulunmaktadır. Tüm grupların birbirleriyle iletişim kurarak bu tahliye noktalarına ulaşmaları ve alanı terk etmeleri öngörülmüştür. Benzetim süresince tüm düğümler hareketlidir. Resim 1'de benzetim süresi ilerledikçe düğümlerin de hareket durumu ve tahliye alanlarında toplandıkları görülmektedir.

Resim 1(a)'da benzetimin ilk aşamasında grupların başlangıç konumları görülmektedir. Eşit düğüm sayısına sahip 5 grup belirlenen senaryo gereği acil durum ve felaket alanlarında birbirleriyle iletişim kurabilecekleri menzil dahilinde yerleştirilmiştir. Resim 1(b)'de senaryo gereği acil bir durumun başladığı ve düğümlerin birbirleriyle iletişim kurarak tahliye noktalarına yönelmeye başladıkları görülmektedir. Resim 1(c)'de ise senaryonun son aşamasında tüm düğümlerin daha

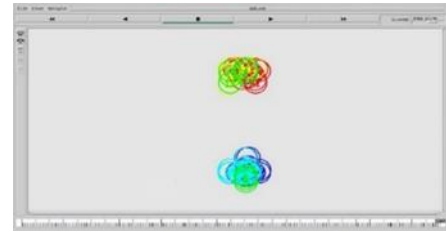
önceden belirlenen tahliye noktalarına hareket ettikleri ve orada toplandıkları görülmektedir.



Resim 1. (a) Düğümlerin başlangıç durumu (Initial state of the nodes)



Resim 1. (b) Düğümlerin tahliye noktalarına hareketi (Movements of the nodes to evacuation points)



Resim 1. (c) Düğümlerin tahliye noktalarına ulaşması ve benzetimin bitişi (Arrival of the nodes to the evacuation points and end of the simulation)

Benzetimin temel çerçevesi oluşturulduktan sonra bağlantı sayısı ve bağlantı türlerinin, paket iletimini, uçtan uca gecikmeyi ve throughput değerlerini nasıl etkilediğini daha detaylı incelemek ve daha tutarlı sonuçlar alabilmek için 2 farklı senaryo tasarlanmıştır.

Yönlendirme protokollerinin performans analizini daha iyi yapabilmek için de benzetim süreleri 60, 120, 180 sn olarak belirlenmiştir. Daha doğru ve güvenilir sonuçlar alabilmek için her bir alt senaryoda benzetim aracı 15 kez çalıştırılmış ve her parametre için çıkan sonuçların aritmetik ortalaması alınmıştır. Senaryo-1 ve senaryo-2 için kullanılan ölçütler Çizelge 1'de görülmektedir.

Senaryo-1'de AODV protokolünün yönlendirme için kullandığı paketlerin yanı sıra düğümler arasında veri iletimini sağlamak amacıyla TCP bağlantılar kullanılmıştır. Bu senaryo altında her bir E-AODV, AODV, DSDV ve DSR protokolleri için 36 farklı alt senaryo uygulanmıştır. Toplamda 144 alt senaryo için 25 ve 50 TCP bağlantısı kurulmuş, farklı düğüm sayıları oluşturulmuş, farklı benzetim süreleri uygulanmıştır. Senaryo-2 için birbirleriyle aynı sayıda hem TCP hem de UDP bağlantılar kullanılmıştır. Bunun nedeni ise

Çizelge 1. Senaryo-1 ve senaryo-2 için kullanılan değerler (Used values for scenario-1 and scenario-2)

	Senaryo-1	Senaryo-2
Protokol	E-AODV, AODV, DSDV, DSR	E-AODV, AODV, DSDV, DSR
Düğüm sayısı	75, 100, 150	75, 100, 150
Bağlantı sayısı	25, 50	50, 100
Bağlantı türü	TCP	TCP, UDP
Süre	60, 120, 180 sn	60, 120, 180 sn
Alan	400*400 m	400*400 m
Kanal	Kablosuz Kanal (Wireless Channel)	Kablosuz Kanal (Wireless Channel)
Kullanılan metrikler	Uçtan uca gecikme, paket dağıtım oranı, throughput	Uçtan uca gecikme, paket dağıtım oranı, throughput

çalışmanın amacında belirttiğimiz AODV protokolünün kuyruk yapısında yapılan değişikliğin TCP paketlerin yanı sıra farklı paketler kullanıldığında başarıya ulaşım sağlayamayacağını test etmek ve çalışmanın güvenilirliğini arttırmaktır. Her bir grup için 25 TCP ve 25 UDP olmak üzere 50 bağlantı ile 50 TCP ve 50 UDP olacak şekilde 100 bağlantı kurulmuştur. Örneğin, 100 düğüm 50 bağlantıda, 25 TCP ve 25 UDP bağlantı oluşturulurken, 100 düğüm 100 bağlantıda ise 50 TCP ve 50 UDP bağlantı oluşturulmuştur. Hem bağlantı sayısı artmış hem de yeni bağlantı türü eklenmiş şekilde senaryo-1 ile benzer şekilde farklı düğüm sayılarında ve farklı benzetim sürelerinde toplam 144 adet alt senaryo oluşturulmuştur.

Acil durum ve kurtarma durumları için oluşturulan senaryo-1 ve senaryo-2'de protokollerin performansları NS-2 benzetim aracı ile değerlendirilmiş ve yorumlanmıştır. Bu çalışmada kullanılan senaryolar için geliştirilen E-AODV'nin performansı her düğüm ve bağlantı sayısında, her duraklama süresi için AODV, DSDV ve DSR protokollerinin performanslarıyla karşılaştırılmıştır. Ancak DSR protokolü belirlenen benzetim süresinden çok daha kısa sürede benzetimi tamamladığı için oluşturulan senaryolar açısından tutarsız sonuçlar vermiştir. Bu nedenle DSR protokolünün performansının karşılaştırılması anlamlı olmayacağı için değerlendirmeye alınmamıştır.

4.2. Performans Değerlendirmesi (The Performance Evaluations)

Benzetim çalışmalarının sonuçlarına göre E-AODV, AODV ve DSDV'nin performansları her iki senaryo için tüm düğüm ve bağlantılarda uçtan uca gecikme, throughput ve paket dağıtım oranları karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Protokollerin performansları her bir metrik için 75, 100 ve 150 düğümlerde, 50 ve 100 bağlantı için tüm duraklama sürelerinde karşılaştırılmıştır.

4.2.1 Protokollerin throughput karşılaştırması (The throughput comparison of the protocols)

Her iki senaryonun benzetim sonuçlarına göre karşılaştırmalı throughput değerleri Çizelge 2'de sunulmuştur.

Senaryo 1 için Throughput değerlendirilmesi:

75D25B (75 Düğüm 25 Bağlantı) için E-AODV, AODV'ye göre tüm duraklama sürelerinde daha iyi sonuçlar almıştır. 60s duraklama süresinde DSDV'de daha yüksek sonuçlar alınmasına karşın duraklama süresinin artmasıyla DSDV protokolünde throughput değeri için azalma görülmektedir. Uçtan uca gecikme süreleri de göz önüne alındığında E-AODV'nin AODV ve DSDV'ye göre 75 düğüm 25 bağlantı için daha başarılı olduğu görülmektedir. 75D50B (75 Düğüm 50 Bağlantı) için DSDV protokolünün throughput değerlerinin 60s ve 120s benzetim süresinde genel olarak daha iyi sonuçlar aldığı görülmektedir. Ancak duraklama süresinin artmasıyla E-AODV'de throughput değerleri artış gösterirken, DSDV'de ise azalmıştır. Uçtan uca gecikme süreleriyle birlikte değerlendirildiğinde DSDV protokolünde çok fazla uçtan uca gecikme yaşanmıştır. Tablolarda throughput değerinin yanı sıra uçtan uca gecikme süreleri de karşılaştırıldığında E-AODV'nin 75D50B için de daha uygun olduğu görülmektedir.

100D25B (100 Düğüm 25 Bağlantı) için E-AODV'nin tüm duraklama sürelerinde daha başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir. DSDV'de duraklama süresinin artmasıyla birlikte throughput değerleri önemli ölçüde azalmıştır. Buna karşın E-AODV ve AODV'de ise artış gözlemlenmiştir. E-AODV'nin 100D25B için de başarılı sonuçlar verdiği ve oluşturulan senaryo için daha uygun olduğu görülmüştür. 75D50B'da olduğu gibi 100D50B (100 Düğüm 50 Bağlantı)'da da 60s duraklama süresi için DSDV'nin daha iyi throughput değerine sahip olduğu görülmektedir. Ancak duraklama süresinin artmasıyla E-AODV diğer protokollere göre daha yüksek throughput değerine sahip olmuştur. Bağlantı sayısının artması hem 75 düğüm hem de 100 düğüm için tüm protokollerde throughput değerinin azalmasına neden olmuştur. DSDV'nin hem 75 düğüm hem de 100 düğüm için 60s duraklama süresinde throughput değerinde başarılı olduğu görülmektedir. Ancak acil durum ve kurtarma senaryoları için throughput değerinin yanı sıra paketlerin daha az gecikmeyle iletilmesi ve bu gecikmenin daha uzun duraklama sürelerinde de daha düşük seviyelerde olması önemlidir. Bu nedenle E-AODV'nin, DSDV'ye göre throughput değerleri için daha istikrarlı sonuçlar verdiği görülmektedir. Uçtan uca gecikme değerinin daha iyi olduğu da göz önüne

alındığında E-AODV'nin 100D50B için de uygun olabileceği görülmektedir.

DSDV'nin throughput değerleri azalma göstermiştir. E-AODV ve AODV'nin throughput değerleri duraklama süresinin artmasıyla artış göstermiştir.

Çizelge 2. Protokollerin throughput değerleri (Protocols' throughput values)

Düğüm Sayısı	Bağlantı Sayısı/Süre	Senaryo-1			Senaryo-2		
		E-AODV	AODV	DSDV	E-AODV	AODV	DSDV
75 DÜĞÜM	25B/60s	508,05	491,88	532,99	450,6	417,68	460,5
	25B/120s	551,59	516,48	523,11	477,02	435,89	444,43
	25B/180s	565,97	526,58	503,35	478,70	454,13	426,55
	50B/60s	411,67	380,76	502,03	267,76	172,62	368,26
	50B/120s	465,53	413,5	491,03	301,29	218,96	350,96
	50B/180s	491,12	425,82	479,3	327,17	229,42	330,73
100 DÜĞÜM	25B/60s	521,66	459,09	476,47	429,39	384,87	411,69
	25B/120s	535,07	496,94	462,07	468,84	412,56	383,85
	25B/180s	558,78	519,31	435,32	472,26	430,33	362,28
	50B/60s	376,68	334,77	457,12	243,23	130,88	319,24
	50B/120s	449,62	377,67	434,91	276,61	142,95	295,37
	50B/180s	472,62	391,31	404,56	292,58	126,09	270,6
150 DÜĞÜM	25B/60s	516,41	471,94	328,42	435,74	406,16	274,81
	25B/120s	538,03	512,71	N/A	466,39	428,56	N/A
	25B/180s	573,46	518,3	N/A	497,37	436,8	N/A
	50B/60s	379,29	330,83	304,84	242,51	107,07	216,21
	50B/120s	463,61	358,76	N/A	289,37	88,92	N/A
	50B/180s	490,76	386,09	N/A	293,56	93,97	N/A

150 düğümde DSDV'de 120s ve 180s benzetim sürelerinde benzetim sonuçlanmamıştır. Bu nedenle DSDV protokolü için 150 düğümde 120s ve 180s'lerde sonuç alınamamıştır. DSDV'nin yüksek düğüm sayısında çalışması protokolün yapısından dolayı uygun değildir, bu benzetimde de DSDV'nin yüksek düğüm sayısında iyi performans sergileyemediği görülmüştür. 150D25B (150 Düğüm 25 Bağlantı)'da duraklama süresinin artmasıyla E-AODV ve AODV'de throughput değerinin arttığı görülmektedir. E-AODV tüm duraklama sürelerinde AODV'den daha başarılı sonuçlar vermiştir. 150D25B için E-AODV'nin daha başarılı olduğu görülmektedir. 150D50B (150 Düğüm 50 Bağlantı)'da duraklama süresinin artmasıyla E-AODV ve AODV için throughput değerlerinde artış görülmüştür. Duraklama süresinin artmasıyla E-AODV ve AODV'de throughput değerleri de düzenli olarak artış göstermiş ve E-AODV daha yüksek sonuçlar almıştır.

Senaryo-1'in throughput değerleri genel olarak değerlendirildiğinde düğüm sayısındaki artışın E-AODV ve AODV'nin throughput değerlerinde belirgin bir etkiye neden olmadığı görülmektedir. Düğüm sayısının artması sonucunda alınan değerler birbirlerine yakın olmuştur. Ancak bağlantı sayısının artması throughput değerinin belirgin ölçüde azalmasına neden olmuştur. DSDV'de ise düğüm sayısındaki artış throughput değerinin azalmasına neden olmuştur.

Senaryo 2 için Throughput değerlendirmesi:

75D50B'da senaryo-2'ye göre throughput değerlerine bakıldığında geliştirilen E-AODV'nin, AODV'ye göre tüm duraklama sürelerinde daha iyi sonuçlar aldığı görülmektedir. Duraklama süresinin artmasıyla

75D100B (75 Düğüm 100 Bağlantı)'da E-AODV, AODV'ye göre tüm duraklama sürelerinde çok daha başarılı throughput değerlerine sahip olmuştur. Ancak DSDV protokolü tüm duraklama sürelerinde diğer protokollerden daha başarılıdır. Duraklama süresinin artmasıyla DSDV protokolünde throughput değeri azalmıştır. Buna karşın E-AODV ve AODV'de artış görülmüştür. 180s duraklama süresinde E-AODV ve DSDV protokollerinde alınan değerler birbirlerine çok yakındır. E-AODV'nin 75 düğüm için, tüm duraklama sürelerinde her iki bağlantıda da AODV'den daha iyi sonuçlar aldığı gözlemlenmiştir.

Senaryo-2'de 100D50B için E-AODV'nin diğer protokollere göre daha yüksek sonuçlar aldığı görülmektedir. Düğüm sayısının artması DSDV'de throughput değerinin belirgin ölçüde azalmasına neden olmuştur. Duraklama süresinin artmasıyla E-AODV ve AODV'de throughput değerleri yükselirken, DSDV'de düşmektedir. Bağlantı sayısının artmasıyla tüm protokollerin throughput değerleri azalmıştır. Ancak DSDV'nin, 100D100B (100 Düğüm 100 Bağlantı)'da 120s duraklama süresine kadar diğerlerinden daha yüksek throughput değerlerine sahip olduğu görülmektedir. E-AODV, AODV'ye göre 100D100B için çok büyük ölçüde başarı göstermiştir. Duraklama süresinin artması E-AODV'nin DSDV'ye karşı başarısını arttırmıştır.

150D50B'da E-AODV, tüm duraklama sürelerinde AODV'den daha iyi sonuçlar almıştır. Duraklama süresinin artmasıyla E-AODV ve AODV'de throughput değerleri artmıştır. E-AODV 180s duraklama süresinde tüm düğüm ve bağlantı sayılarındaki en yüksek değerine

ulaşmıştır. DSDV'nin ise karakteristik yapısından dolayı yüksek düğüm sayısında başarılı olamadığı görülmüştür. 150D100B (150 Düğüm 100 Bağlantı)'da duraklama süresinin artmasıyla E-AODV'de artış gözlemlenirken, AODV'de azalma olmuştur. Bağlantı sayısının artması ise tüm protokollerin throughput değerlerinde azalmaya neden olmuştur. Artan bağlantı sayısı ve aynı düğümlerden hem TCP hem UDP paketlerin oluşturulması AODV protokolünde çok düşük sonuçlar alınmasına neden olmuştur. Geliştirilen E-AODV'de, AODV protokolüne göre çok daha yüksek throughput değerleri alınmıştır.

Throughput değerlerine bakılarak genel bir değerlendirme yapılacak olursa E-AODV, AODV'ye oranla tüm düğüm sayıları, tüm bağlantılar ve tüm duraklama sürelerinde daha başarılı olmuştur. Throughput değeri için değerlendirildiğinde, yaptığımız değişiklik başarıya ulaşmıştır. DSDV'nin de karakteristik yapısından dolayı daha az düğüm sayısında, daha düşük duraklama sürelerinde diğer protokollere göre yüksek sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. 75 düğümde bağlantı sayısının artmasıyla DSDV daha başarılı olmuştur. Ancak düğüm sayısının artması DSDV başarısını olumsuz etkilemiştir.

4.2.2. Protokollerin uçtan uca gecikme süresi karşılaştırması (The end to end delay time comparison of the protocols)

Çizelge 3'te E-AODV, AODV ve DSDV protokollerinin uçtan uca gecikme değerleri sunulmuştur. Protokollerin uçtan uca gecikme performansları her iki senaryo için bu çizelge üzerinden değerlendirilmiştir.

Senaryo 1 için uçtan uca gecikme değerlendirmesi:

75D25B'da DSDV protokolünde diğer protokollere göre çok daha yüksek gecikme yaşandığı görülmektedir. E-

AODV ve AODV'de uçtan uca gecikme, duraklama süresinin artmasıyla birlikte artarken DSDV'de azalmasına karşın tüm duraklama sürelerinde en iyi sonuçlar E-AODV protokolü için alınmıştır. E-AODV ve AODV'de throughput değeri duraklama süresinin artışına bağlı olarak arttığı için uçtan uca gecikme değerinde de düzenli artış görülmüştür, DSDV'de ise duraklama süresinin artmasıyla throughput değerinde azalma görülmüştür. Bu nedenle DSDV protokolünün uçtan uca gecikme değeri duraklama süresinin artmasıyla azalma göstermektedir. 75D25B için geliştirilen E-AODV'nin uçtan uca gecikmeyi azalttığı görülmektedir.

75D50B'da uçtan uca gecikme 25 bağlantıya göre artış göstermiştir. Bu artışın en fazla DSDV protokolünde yaşandığı görülmektedir. DSDV'nin 50 bağlantı için daha iyi throughput değerine sahip olması DSDV'nin yüksek uçtan uca gecikme süresine neden olmuştur. E-AODV ve AODV'nin throughput değerleriyle DSDV'nin değerleri arasında çok yüksek fark olmamasına karşın uçtan uca gecikme süreleri arasında çok yüksek farklılıklar görülmektedir. E-AODV'de 25 bağlantıya göre 50 bağlantıda uçtan uca gecikme çok fazla artmamıştır. AODV'de ise E-AODV'ye göre artış biraz daha fazla olmuştur. 50 bağlantıda duraklama süresinin artmasıyla uçtan uca gecikme E-AODV ve AODV'de artmıştır ve DSDV'de azalmıştır. Ancak yine de DSDV'de bu azalmalardan sonra bile diğer protokollere göre gecikme çok fazladır. 75D50B için uçtan uca gecikme E-AODV'de belirgin ölçüde diğer protokollere göre daha iyi sonuç vermiştir.

Düğüm sayısının artmasıyla tüm protokoller için aynı duraklama sürelerinde uçtan uca gecikmenin azaldığı görülmektedir. 100D25B için E-AODV'nin gecikme süresinin AODV ve DSDV'ye oranla tüm duraklama sürelerinde çok düşük olduğu görülmektedir. DSDV

Çizelge 3. Protokollerin uçtan uca gecikme süreleri (Protocols' end-to-end delay)

Düğüm Sayısı	Bağlantı Sayısı/Süre	Senaryo-1			Senaryo-2		
		E-AODV	AODV	DSDV	E-AODV	AODV	DSDV
75 DÜĞÜM	25B/60s	362,42	540,78	761,87	369,61	500,4	453,19
	25B/120s	447,56	601,48	728,78	420,53	542,27	569,85
	25B/180s	496,22	639,44	739,85	439,08	560,35	582,24
	50B/60s	428,47	634	1078,56	325,63	507,12	584,82
	50B/120s	459,91	651,52	926,48	350,21	491,33	709,63
	50B/180s	513,09	666,36	934,82	357,24	468,06	730,61
100 DÜĞÜM	25B/60s	341,43	514,07	712,77	319,77	399,51	393,63
	25B/120s	412,75	534,42	688,89	386,07	485,96	494,98
	25B/180s	433,27	574,96	631,31	412,52	494,48	491,61
	50B/60s	373,22	647	1014,65	241,36	407,31	535,09
	50B/120s	405,84	611,07	981,76	301,12	389,96	671,58
	50B/180s	473,39	594,71	819,8	326,09	383,08	735,65
150 DÜĞÜM	25B/60s	325,35	439,96	688,06	314,36	378,02	311,82
	25B/120s	423,41	515,22	N/A	376,76	442,99	N/A
	25B/180s	424,53	547,42	N/A	410,98	477,99	N/A
	50B/60s	379,55	603,18	1059,58	272,85	344,22	497,71
	50B/120s	417,48	597,26	N/A	284,03	380,59	N/A
	50B/180s	458,8	570,36	N/A	292,72	365,74	N/A

protokolü için gecikme diğer protokollere göre çok fazladır. 100D50B’da DSDV protokolünün throughput

farklıdır. Senaryo-1’de DSDV için gecikme, duraklama süresinin artmasıyla düşüş gösterirken, UDP

Çizelge 3. Protokollerin uçtan uca gecikme süreleri (Protocols’ end-to-end delay)

Düğüm Sayısı	Bağlantı Sayısı/Süre	Senaryo-1			Senaryo-2		
		E-AODV	AODV	DSDV	E-AODV	AODV	DSDV
75 DÜĞÜM	25B/60s	362,42	540,78	761,87	369,61	500,4	453,19
	25B/120s	447,56	601,48	728,78	420,53	542,27	569,85
	25B/180s	496,22	639,44	739,85	439,08	560,35	582,24
	50B/60s	428,47	634	1078,56	325,63	507,12	584,82
	50B/120s	459,91	651,52	926,48	350,21	491,33	709,63
	50B/180s	513,09	666,36	934,82	357,24	468,06	730,61
100 DÜĞÜM	25B/60s	341,43	514,07	712,77	319,77	399,51	393,63
	25B/120s	412,75	534,42	688,89	386,07	485,96	494,98
	25B/180s	433,27	574,96	631,31	412,52	494,48	491,61
	50B/60s	373,22	647	1014,65	241,36	407,31	535,09
	50B/120s	405,84	611,07	981,76	301,12	389,96	671,58
	50B/180s	473,39	594,71	819,8	326,09	383,08	735,65
150 DÜĞÜM	25B/60s	325,35	439,96	688,06	314,36	378,02	311,82
	25B/120s	423,41	515,22	N/A	376,76	442,99	N/A
	25B/180s	424,53	547,42	N/A	410,98	477,99	N/A
	50B/60s	379,55	603,18	1059,58	272,85	344,22	497,71
	50B/120s	417,48	597,26	N/A	284,03	380,59	N/A
	50B/180s	458,8	570,36	N/A	292,72	365,74	N/A

değerinin 60s duraklama süresi için diğer protokollere göre daha iyi sonuç vermesine rağmen çok yüksek uçtan uca gecikme süresine sahip olduğu görülmektedir. Ancak duraklama süresinin artmasıyla E-AODV ve AODV’de throughput değerlerindeki artış DSDV’de olduğu gibi uçtan uca gecikme süresini çok fazla olumsuz etkilememiştir. Geliştirilen E-AODV throughput ve uçtan uca gecikme süreleri açısından değerlendirildiğinde tutarlı sonuçlar vermiştir. AODV’ye göre değerlendirildiğinde throughput değerlerinde artış sağlarken uçtan uca gecikmeyi anlamlı ölçüde azaltmıştır.

Hem 150D25B hem de 150D50B için de geliştirilen E-AODV, AODV’ye göre uçtan uca gecikme süresini önemli ölçüde azaltmıştır. Duraklama süresinin artmasıyla uçtan uca gecikme süreleri de artış göstermiştir.

Uçtan uca gecikme süresi duraklama süreleri göz önüne alınarak genel olarak değerlendirildiğinde tüm protokollerde genel bir azalma sözkonusudur. E-AODV protokolünün AODV’ye göre throughput değerini yaklaşık %17 arttırırken, uçtan uca gecikme süresini yaklaşık %28 oranında azalttığı gözlemlenmektedir. E-AODV ile amaçlanan uçtan uca gecikmenin azaltılması senaryo-1’de tüm düğüm ve bağlantılar için başarılmıştır.

Senaryo 2 için uçtan uca gecikme değerlendirmesi:

75D50B için senaryo-2’de duraklama süresinin artmasıyla uçtan uca gecikme tüm protokollerde artış göstermiştir. E-AODV, tüm duraklama sürelerinde daha düşük gecikme değerlerine sahip olmuştur. Throughput değerleri için 25 bağlantılı senaryo-1 ile benzer karakteristikler gösterirken, uçtan uca gecikmede durum

bağlantıların eklenmesi sonucunda senaryo-2’de artış göstermiştir ve senaryo-1’deki gibi çok yüksek değerler almamıştır. Hatta 60s duraklama süresi için DSDV’nin, AODV’den net bir şekilde daha başarılı olduğu görülmektedir. Hem throughput hem de uçtan uca gecikme değerleri birlikte değerlendirildiğinde E-AODV’nin her iki protokole göre daha başarılı olduğu görülmektedir.

75D100B için de E-AODV’nin diğer protokollere göre çok düşük uçtan uca gecikme sürelerine sahip olduğu görülmektedir. Duraklama süresinin artmasıyla E-AODV ve DSDV’de gecikme artarken, AODV’de azalmıştır. Throughput değerleri de göz önüne alınırsa 100 bağlantı için DSDV’nin, AODV’den daha başarılı olduğu söylenebilmektedir. Ancak 60s duraklama süresi için E-AODV ve DSDV arasında kesin bir yargıya varılamamaktadır. Ama 120s ve 180s duraklama sürelerinde E-AODV’nin, DSDV’ye göre yakın throughput değerlerine karşın çok daha düşük uçtan uca gecikmeye sahip olmasından dolayı daha başarılı olduğu görülmektedir.

100D50B’de senaryo-2 için E-AODV’nin tüm duraklama sürelerinde daha düşük uçtan uca gecikmeye sahip olduğu görülmektedir. Throughput değerleri de göz önüne alındığında E-AODV’nin diğer protokollere göre çok daha başarılı olduğu görülmektedir. AODV ve DSDV ise birbirlerine yakın başarı göstermişlerdir.

100D100B için E-AODV protokolü, AODV ve DSDV’ye göre tüm duraklama sürelerinde belirgin ölçüde daha düşük uçtan uca gecikmeye sahiptir. Duraklama süresinin artmasıyla DSDV’deki artış oranı çok fazla yaşanırken, E-AODV’de artış oranı daha düşüktür. AODV’de ise duraklama süresinin artmasıyla

daha düşük throughput değerleri almasından dolayı uçtan uca gecikme süresinde azalma olmuştur. Ancak yine de uçtan uca gecikme süresi E-AODV'den daha fazladır.

150D50B'da 60s duraklama süresinde DSDV'nin, E-AODV'den çok daha düşük throughput değerine sahip olmasına rağmen E-AODV'yle benzer gecikme sürelerine sahip olduğu görülmektedir. AODV ise daha yüksek gecikme süresine sahiptir. DSDV için sonuç alınamayan diğer duraklama sürelerinde de E-AODV,

artmasından dolayıdır. Bağlantı sayısının artmasına rağmen geliştirilen yeni algoritma ile amaçlanan uçtan uca gecikmenin azaltılması senaryo-2'de de belirgin ölçüde başarılı olmuştur.

4.2.3. Protokollerin paket dağıtım oranı karşılaştırması (The packet delivery rate comparison of the protocols)

E-AODV, AODV ve DSDV protokollerinin paket dağıtım oranları Çizelge 4'te 75, 100 ve 150 düğümlerde

Çizelge 4. Protokollerin paket dağıtım oranları (Protocols' packet delivery rates)

Düğüm Sayısı	Bağlantı Sayısı/Süre	Senaryo-1			Senaryo-2		
		E-AODV	AODV	DSDV	E-AODV	AODV	DSDV
75 DÜĞÜM	25B/60s	94,29%	92,93%	77,22%	91,7%	89,95%	75,94%
	25B/120s	95,8%	93,56%	79,16%	94,24%	91,68%	77,81%
	25B/180s	96,30%	94,17%	78,96%	95,43%	92,22%	77,16%
	50B/60s	89,44%	87,25%	72,46%	81,96%	73,4%	69,28%
	50B/120s	91,97%	88,71%	75,70%	87,56%	81,52%	73,29%
	50B/180s	93,16%	89,44%	76,48%	90,24%	82,13%	72,16%
100 DÜĞÜM	25B/60s	94,76%	92,59%	65,03%	91,57%	89,06%	65,13%
	25B/120s	95,91%	93,98%	69,14%	93,98%	91,02%	65,96%
	25B/180s	96,61%	94,08%	65,19%	95,41%	91,73%	65,61%
	50B/60s	88,86%	86,33%	64,13%	78,66%	63,38%	58,10%
	50B/120s	92,33%	88,44%	65,5%	86,43%	69,14%	60,96%
	50B/180s	93,3%	88,9%	60,97%	89,01%	61,43%	61,56%
150 DÜĞÜM	25B/60s	94,63%	92,84%	36,21%	91,05%	89,04%	32,47%
	25B/120s	96,08%	94,25%	N/A	94,30%	90,85%	N/A
	25B/180s	96,7%	94,15%	N/A	95,36%	91,56%	N/A
	50B/60s	89,19%	86,49%	33,08%	76,09%	45,78%	31,23%
	50B/120s	92,89%	87,99%	N/A	85,31%	44,23%	N/A
	50B/180s	93,60%	88,87%	N/A	87,78%	46,19%	N/A

AODV'ye göre daha düşük gecikme sürelerine sahip olmuştur. Duraklama süresinin artmasıyla uçtan uca gecikme de artmıştır. 150D50B için uçtan uca gecikme, throughput değerleriyle birlikte değerlendirilecek olursa E-AODV'nin belirgin bir şekilde diğer protokollerden başarılı olduğu görülmektedir.

150D100B'da da E-AODV'nin, AODV ve DSDV'ye göre daha düşük uçtan uca gecikme sürelerine sahip olduğu görülmektedir. 50 bağlantıda E-AODV ve DSDV birbirlerine çok yakın sonuçlar alırken, throughput değerlerinin de yakın olmasına karşın 100 bağlantı için E-AODV çok daha düşük uçtan uca gecikme süresine sahiptir. Duraklama süresinin artmasıyla E-AODV'de genel olarak artış gözlemlenirken, AODV'de dalgalanmalar yaşanmıştır.

Senaryo-2 için uçtan uca gecikme süresi, duraklama süreleri göz önüne alınarak genel olarak değerlendirildiğinde, düğüm sayısının artmasıyla birlikte tüm protokollerde genel olarak azalma görülmektedir. E-AODV protokolünün AODV'ye göre throughput değeri TCP paketlerin yanında UDP paketlerinde olmasından dolayı senaryo-1'den daha yüksek olmuştur ve yaklaşık %31 artmıştır. Geliştirilen E-AODV protokolü AODV protokolüne göre uçtan uca gecikme süresini %23 oranında azaltmıştır. Senaryo-1'e göre senaryo-2'de oranın azalmasının nedeni throughput değerinin

25 ve 50 bağlantı için 60s, 120s ve 180s duraklama sürelerinde karşılaştırılmaktadır.

Paket dağıtım oranları açısından E-AODV ve AODV protokollerinin değerleri tüm düğüm sayılarında belirgin ölçüde değişiklik göstermediği için tablo uçtan uca gecikme ve throughput değerlerinde olduğu gibi düğüm bazında değerlendirmek yerine genel olarak değerlendirilmiştir.

Senaryo 1 için paket dağıtım oranı değerlendirmesi:

Düğüm sayısının artmasıyla duraklama süreleri temel alındığında E-AODV ve AODV protokollerinin paket dağıtım oranlarında belirgin değişiklikler olmamasına karşın DSDV'de oranlar giderek azalmıştır. Bağlantı sayısının artması sonucunda paket dağıtım oranları doğal olarak azalma göstermiştir. Geliştirilen E-AODV protokolü 50 bağlantılı düğümlerde ilk 60s duraklama süresi hariç diğer duraklama sürelerinde %90 üzerinde paket dağıtım oranlarını yakalayarak AODV ve DSDV'ye göre başarılı sonuçlar vermiştir. DSDV oluşturulan acil durum ve kurtarma benzetimi için paket dağıtım oranı açısından diğer protokollere göre çok düşük değerler almıştır. E-AODV'nin tüm düğüm ve bağlantı sayılarında tüm duraklama sürelerinde daha iyi sonuçlar aldığı ve başarılı olduğu görülmektedir. Senaryo-1 genel olarak değerlendirildiğinde E-AODV protokolünün uçtan uca gecikmeyi azaltırken throughput

değerlerini ve paket dağıtım oranlarını arttırma hedefi senaryo-1 için başarılı olmuştur.

Senaryo 2 için paket dağıtım oranı değerlendirilmesi:

Senaryo-2 için paket dağıtım oranları açısından protokollerin aldıkları değerler Çizelge 7’de verilmiştir. Senaryo-2 paket dağıtım oranları açısından incelendiğinde 50 bağlantılı düğümlerde tüm protokollerin daha yüksek değerler aldığı görülmektedir. Düğüm sayısının artmasıyla duraklama süreleri baz alınarak incelendiğinde E-AODV’nin istikrarlı olarak birbirine yakın sonuçlar aldığı görülmektedir. AODV ise düğüm sayısının artmasıyla 50 bağlantı için istikrarlı olarak benzer sonuçlar almasına karşın, 100 bağlantı için düğüm sayısının artmasıyla belirgin ölçüde paket dağıtım oranında azalma yaşamıştır. Özellikle 150D100B için AODV protokolü E-AODV protokolüne göre çok başarısız olmuştur. DSDV protokolü senaryo-1’de de olduğu üzere E-AODV ve AODV protokollerinden belirgin ölçüde daha düşük değerler almıştır ve artan düğüm sayısı ile paket dağıtım oranında azalma olmuştur. E-AODV protokolü tüm düğüm ve bağlantı sayısı ile tüm duraklama sürelerinde diğer protokollere göre daha başarılı olmuştur. Senaryo-1’de E-AODV protokolü, AODV’ye göre paket dağıtım oranını genel olarak %3 oranında arttırırken, senaryo-2’de bu oran %16’ya çıkmıştır.

Senaryo-2 için throughput, uçtan uca gecikme ve paket dağıtım oranı birlikte değerlendirildiğinde geliştirilen E-AODV’nin, AODV ve DSDV’ye göre daha başarılı ve daha tutarlı sonuçlar verdiği anlaşılmaktadır. Senaryo-1’de olduğu gibi senaryo-2’de de çalışmanın amacında belirtilen AODV üzerinde yapılan değişiklik sonucunda geliştirilen E-AODV protokolü ile uçtan uca gecikme azaltılırken throughput ve paket dağıtım oranları da anlamlı ölçüde arttırılmıştır.

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSIONS)

Bu çalışma kapsamında, uçtan uca gecikme süresini azaltırken paket iletim oranını ve throughput verilerini arttırmak amacıyla AODV protokolünde değişiklikler yapılarak acil durumlara yönelik E-AODV protokolü geliştirilmiştir. Kaynak ve hedef arasında rota kurulmasıyla birlikte çalışmaya başlayan algoritma kuyrukta dolaşım yaparak TCP paketlerini öncelikli olarak ağa göndermektedir.

Çalışmada geliştirilen protokolün başarımı hazırlanan iki farklı senaryo ile ölçülmüş ve AODV, DSDV, DSR ile kıyaslanmıştır. İlk senaryoda sadece TCP paketler kullanılırken ikinci senaryoda hem TCP hem de UDP paketler kullanılmıştır. Her iki senaryoda da E-AODV’nin, AODV’ye göre daha başarılı sonuçlar vererek uçtan uca gecikmeyi anlamlı ölçüde azalttığı görülmüştür. Bunun yanı sıra AODV protokolüne kıyasla E-AODV paket iletim oranı ve throughput değerlerini önemli ölçüde arttırmıştır. Alınan sonuçlar geliştirilen yeni algoritmanın rota kurulma aşamasından sonra işleme başlamasından dolayı TCP paketlere öncelik

verilmesinin bu aşamadan sonra yönlendirme paketleri üzerinde herhangi bir soruna neden olmadığını göstermiştir. DSR bağlantı ve düğüm sayısının arttığı durumlarda tutarsız sonuçlar vermiştir. DSDV ise daha az düğüm sayısında daha iyi sonuçlar vermiştir. Ancak düğüm sayısının artmasıyla DSDV’nin performansının azaldığı hatta benzetimi sonlandıramadığı görülmüştür.

Sonuç olarak, E-AODV’nin acil durum ve kurtarma senaryolarında yüksek başarımlı sergilediği görülmektedir. E-AODV protokolü ile acil durum ve kurtarma senaryoları için düğümler tahliye noktalarına ulaştırken, protokolün veri iletimini de güvenilir ve hızlı bir şekilde sağlayabileceği görülmüştür. Bundan sonraki çalışmalarda geliştirilen E-AODV’nin gerçek ortamlarda test edilmesi amacıyla mobil cihazlar üzerinde uygulanması gerçekleştirilmelidir. Bu aşamada geçmişte meydana gelen afet ve felaket durumları da göz önüne alınarak gerçek alanlar belirlenerek uygulamalar bu alanlar üzerinde sınanabilir. Ayrıca daha fazla insana ulaşmak amacıyla daha büyük alanlar için E-AODV protokolü hibrid protokollerle birlikte kullanılarak kümeleme yöntemleri içerisinde test edilmelidir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Quispe, L. E. and Galan, L. M., “Behavior of ad hoc routing protocols, analyzed for emergency and rescue scenarios, on a real urban area”, *Expert systems with applications*, 41(5): 2565-2573, (2014)
- [2] Torres, R., Mengual, L., Marban, O., Eibe, S., Menasalvas, E. and Maza, B., “A management ad hoc networks model for rescue and emergency scenarios”, *Expert Systems with Applications*, 39(10): 9554-9563, (2012)
- [3] Mohapatra, S. and Kanungo, P., “Performance analysis of AODV, DSR, OLSR and DSDV routing protocols using NS2 simulator”, *Procedia Engineering*, 30: 69-76, (2012)
- [4] Tony, L. and Nicklas, H., “Routing Protocols in Wireless Ad-hoc Networks—A Simulation Study”, *Master Thesis*, Luleå University of Technology, Stockholm, (1998)
- [5] Cordeiro, C. M. and Agrawal, D. P., “Ad hoc and sensor networks: theory and applications”, 2nd Edition, *World Scientific*, Singapore, (2011)
- [6] Zemlianov, A. and De Veciana, G., “Capacity of ad hoc wireless networks with infrastructure support”, *IEEE Journal on selected areas in Communications*, 23(3): 657-667, (2005)
- [7] Agrawal, D. P. and Zeng, Q. A., “Introduction to wireless and mobile systems”, *Cengage learning*, Stamford, Connecticut, USA, (2015)
- [8] Murthy, C. S. R. And Manoj, B. S., “Ad Hoc Wireless Networks: Architectures and Protocols”, *Prentice Hall PRT*, New Jersey, USA, (2004)
- [9] Perkins, C.E. and Royer, E.M., “Ad-Hoc on-demand distance vector routing”, *Workshop on Mobile Computing Systems and Applications (WMCSA ‘99)*, *IEEE*, New Orleans, USA, 90-100, (1999, Şubat)
- [10] Perkins, C. E. and Bhagwat, P., “Highly dynamic destination-sequenced distance vector routing (DSDV)

- for mobile computers”, *Computer Communication Review*, 24(2): 234-245, (1994)
- [11] Johnson, D. B. and Maltz, D. A., “Dynamic source routing in ad hoc wireless networks”, *Mobile computing*, 153-181, (1996)
- [12] İnternet: Corson, S. and Macker, J., Mobile Ad hoc Networking (MANET): Routing Protocol Performance Issues and Evaluation Considerations. IETF Network Working Group. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Ftools.ietf.org%2Fhtml%2Frfc2501&date=2017-08-17>. Son Erişim Tarihi: 17 Ağustos 2017.
- [13] GG. Gavrilovska, L. and Prasad, R., “Ad hoc networking towards seamless communications”, *Springer*, Netherlands, (2006)
- [14] İnternet: Perkins, C. E., Belding-Royer, E. M. and Das, S. R., Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing. IETF Mobile Ad Hoc Networking Working Group. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Ftools.ietf.org%2Fhtml%2Fdraft-ietf-manet-aodv-13&date=2017-08-17>. Son Erişim Tarihi: 17 Ağustos 2017.
- [15] Doğru İ. A., Şimşek M., ve Akçayol M. A., “Hareketli AdHoc ağlarda bir hareketlilik yönetimi protokolü”, *Politeknik Dergisi*, 4: 313-318, (2008)
- [16] Ade, S. A. and Tijare, P. A., “Performance comparison of AODV, DSDV, OLSR and DSR routing protocols in mobile ad hoc networks”, *International journal of information technology and knowledge management*, 2(2): 545-548, (2010)
- [17] Johnson D. B., Maltz D. A. and Broch J., “DSR: The Dynamic Source Routing Protocol for Multihop Wireless Ad Hoc Networks”, In: Perkins, C. E. (ed), Ad hoc networking, *Pearson*, US, 141-146, (2001)
- [18] Fujiwara, T. and Watanabe, T., “An ad hoc networking scheme in hybrid networks for emergency communications”, *Ad Hoc Networks*, 3(5): 607-620, (2005)
- [19] Quispe, L. E., Tandazo, R. T. and Galan, L. M., “Analysis of ad hoc routing protocols for emergency and rescue scenarios”, *8th International Conference on Web Information Systems and Technologies (WEBIST 2012)*, Porto, Portugal, 781-786, (2012, Nisan)
- [20] İnternet: The Network Simulator. NS-2. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.isi.edu%2Fnsnam%2Fns%2F&date=2017-08-17>. Son Erişim Tarihi: 17 Ağustos 2017.
- [21] Kumar, S., Rathy, R. K. and Pandey, D., “Design of an ad-hoc network model for disaster recovery scenario using various routing protocols”, *In Proceedings of the International Conference on Advances in Computing, Communication and Control, ACM*, Mumbai, India, 100-105, (2009, Ocak)
- [22] Ramesh, M. V., Jacob, A. and Devidas, A. R., “Enhanced Emergency Communication using Mobile Sensing and MANET”, *Proceedings of the 2012 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI'12)*, Chennai, India, 318-324, (2012, Ağustos)
- [23] Raffelsberger, C. and Hellwagner, H., “Evaluation of MANET Routing Protocols in a Realistic Emergency Response Scenario”, *Proceedings of the 10th International Workshop on Intelligent Solutions in Embedded Systems (WISES)*, Klagenfurt, Austria, 88-92, (2012, Temmuz)
- [24] Torres R., Sandoval F.A., Enciso L. and Cueva S., “Improving Lifetime and Availability for Ad Hoc Networks to Emergency and Rescue Scenarios”, In: Rocha A., Correia A., Costanzo S., Reis L. (eds), *New Contributions in Information Systems and Technologies, Advances in Intelligent Systems and Computing*, Springer, Cham, Switzerland, 353: 979-989, (2015)
- [25] Wister, M. A., Pancardo, P., Acosta, F. D. and Arias-Torres, D., “Performance evaluation of AODV and DYMO as a platform for rescue task applications in MANETs”, *Workshops of International and Applications (WAINA), IEEE*, Biopolis, Singapore, 670-675, (2011, Mart)
- [26] Abed, A. K., Oz, G. And Aybay, I., “Influence of mobility models on the performance of data dissemination and routing in wireless mobile ad hoc networks”, *Computers & Electrical Engineering*, 40(2): 319-329, (2014)
- [27] Vitri, T. and Sabiq, A., "Android-based application using mobile adhoc network for search and rescue operation during disaster", *Electrical Engineering and Computer Science (ICECOS), 2017 International Conference, IEEE*, Palembang, Indonesia, 16-21, (2017)
- [28] Wang, H. S. and Liang, C. K., “An ad hoc on-demand routing protocol with alternate routes”, *Proceedings of the 2003 international conference on Parallel and distributed processing and applications*, Aizu-Wakamatsu, Japan, 100-111, (2003, Temmuz)



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>

TlSe ince filminin dalgalı iletkenliği

Alternative conductivity of TlSe thin film

Yazar(lar) (Author(s)): Kemal ULUTAS

ORCID: 0000-0003-1073-4908

Bu makaleye řu şekilde atıfta bulunabilirsiniz(To cite to this article): Ulutas K., "TlSe İnce Filminin Dalgalı İletkenliği", *Politeknik Dergisi*, 21(3): 753-757, (2018).

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

DOI: 10.2339/politeknik.417769

TlSe İnce Filminin Dalgalı İletkenliği

Araştırma Makalesi / Research Article

Kemal ULUTAS

¹ Istanbul University, Science Faculty, Physics Department, Vezneciler, Türkiye
(Geliş/Received : 20.03.2018 ; Kabul/Accepted : 08.04.2018)

ÖZ

TlSe kristallerinin ısı buharlaştırılması ile 900 Å kalınlığında hazırlanmış TlSe ince filminin kapasitans (C) ve dielektrik kayıp faktörü (tan δ) omik özellik gösteren Al elektrotlar kullanılarak ölçülmüştür. Hazırlanan TlSe ince filmlerin dielektrik sabiti (ε'), dielektrik modülün gerçek (M') ve sanal kısımları (M'') ile dalgalı iletkenliği (σ_{ac}), 100 Hz-10⁶ Hz frekans ve 213-393 K sıcaklık aralığında hesaplanmıştır. Cole-Cole eşitliği kullanılarak yapıdaki rahatlama zamanları belirlenmiştir. TlSe ince filmlerinin dielektrik parametrelerinin artan frekansla azaldığı ve artan sıcaklıkla arttığı bulunmuştur. Bu davranış yapıda birden fazla kutuplanma mekanizmasının varlığıyla açıklanabilir. AC iletkenliğin, ω^s ilişkisini (s < 1 olmak üzere) sağladığı belirlendi. Yapıda iki farklı iletkenlik mekanizması belirlenmiştir. Bunlar, düşük frekanslarda küçük polaron tünellemesi ve yüksek frekanslarda klasik hoptama mekanizmalarıdır

Anahtar Kelimeler: TlSe, ince film, ac iletkenlik, dielektrik sabiti, dielektrik modül.

Alternative Conductivity of TlSe Thin Film

ABSTRACT

Capacitance (C) and dielectric loss factor (tan δ) of TlSe thin film with thickness of 900 Å, measured via thermal evaporation of TlSe crystals, have been measured using ohmic Al electrodes. Dielectric constant (ε'), dielectric loss (ε''), real part and imaginary part of dielectric modulus and ac conductivity of the TlSe thin films have been calculated in the frequency range 100 Hz-10⁶ Hz and within the temperature interval 213-393 K. Relaxation times in structure were derived by using Cole-Cole relation. The dielectric parameters of TlSe thin film are found to decrease with increasing frequency and increase with increasing temperature. This behavior can be explained as the multicomponent polarization in the structure. The ac conductivity obeys the ω^s law with s (<1). Two different conductivity mechanisms were determined in the structure. These are small polaron tunnels of the mechanism at low frequencies and classic hopping mechanism at high frequencies.

Keywords: TlSe, thin film, ac conductivity, dielectric constant, dielectric modulus

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Talyum Selenür (Thalium Selenide - TlSe) cisim merkezli tetragonal yapıya (body centered-tetragonal - bct) sahip III-VI grubu bir bileşik olup, yapısı iyonik-kovalent bağlı atomları içeren zincirlerle tarif edilir [1-3]. TlSe kristalinin yasak band aralığı oda sıcaklığında 0,69-1,10 eV olarak belirlenmiştir[2, 3]. Ayrıca oda sıcaklığında Hall hareketliliği [110] ve [001] yönlerinde $\mu_x = 42,66 \text{ m}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ ve $\mu_y = 112,2 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ dir[4- 6]. İnce film halinde TlSe'nin amorf bir yapıda olduğu belirlenmiştir [4]. TlSe, γ -ışın dedektörleri ve basınca hassas dedektörlerde, yakın ve uzak kızılötesi sensör olarak optoelektronik aletlerde kullanılmaktadır [1- 7].

Literatürde geçmişten günümüze TlSe kristalinin yapısal, elektrik, optik, manyetik, elektrodinamik, yapısal özellikleri araştırılmıştır [8-12]. Ancak, ince film halindeki TlSe'nin özellikleri üzerine çalışmalar nadirdir [4, 13]. Bu çalışmada literatürde bulunmayan ince film halindeki TlSe'nin 100 Hz-10⁶ Hz

frekans ve 213-393 K sıcaklık aralığında dielektrik sabiti, dielektrik kaybı, dielektrik modülün gerçek ve sanal kısımları ile dalgalı iletkenliği belirlenmiş olup, yapıdaki mümkün iletkenlik mekanizmaları bulunmuştur.

2.DENEYSEL KISIM (EXPERIMENTAL PART)

TlSe örneği, çok yüksek saflıktaki (99,999%) Tl ve Se kullanılarak Stockbarger-Bridgman tekniği ile büyütüldü [14]. Dielektrik özellikleri incelenecek TlSe filmleri kapasitör formunda hazırlandı. Bunun için öncelikle spiral şeklinde pota kullanılarak, termal buharlaştırma tekniği ile 10⁻⁵ Torr'luk bir vakum altında mikroskop camları üzerine alt elektrod olarak Al kaplandı. Daha sonra, TlSe ince filmi molibdenyum pota kullanılarak ısı buharlaştırma tekniği kullanılarak 10⁻⁵ Torr'luk bir vakum altında daha önceden oluşturulan alüminyum(Al) elektrod üzerine buharlaştırıldı. Son olarak örneğin üzerine tekrar aynı şartlarda Al kaplanarak Al/TlSe/Al paralel plakalı kapasitörler elde edildi. Her aşama için gerekli uygun maskeler kullanıldı. Alt ve üst Al elektrodun kalınlığı 2000 Å, TlSe ince filmin kalınlığı

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : hku@istanbul.edu.tr

900 Å'dur. Film kalınlığı geometrik yöntemle belirlenmiştir. Tekrarlanabilir ölçümler için uygun kalınlık belirlenmiştir. Al elektrod üzerine indiyum ile Bakır teller sabitlenerek elektriksel olarak omik kontaklar sağlandı. Kapasitif örneklerin yüzey ölçümleri hareketli yüzey mikroskobu kullanılarak 6mmx 16 mm olarak belirlendi. Alpha-A High Resolution Dielectric, Conductivity and Impedance Analyzer (Novocontrol Technologies) cihazı kullanılarak, hazırlanan TlSe kapasitörlerin kapasite ve kayıp faktörü değerleri 100 Hz-10⁶ Hz frekans ve 20 K'lık artışlarla 213-393K sıcaklık aralığında ölçüldü.

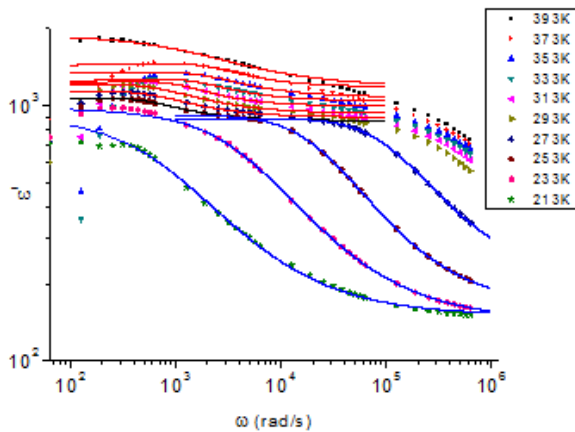
3.BULGULAR (RESULTS)

3.1. Dielektrik sabitinin (ϵ') frekansa ve sıcaklığa bağlılığı (Frequency and temperature dependence of dielectric constant (ϵ'))

Dielektrik spektroskopisi cihazı tarafından yapılan ölçüm sonucunda elde edilen frekansa ve sıcaklığa bağlı kapasite (C) değerlerinden;

$$\epsilon' = \frac{C d}{\epsilon_0 A} \quad (1)$$

eşitliği kullanılarak dielektrik sabit değerleri türetilmiştir. Burada d ince filmin kalınlığı, ϵ_0 boşluğun permitivitesi ($8,85 \times 10^{-12}$ F/m), A ince film örneğin yüzey alanını temsil etmektedir [15]. TlSe ince filmlerinin frekansa ve sıcaklığa bağlı dielektrik sabiti incelendiğinde 100 rad/s ile 10⁶ rad/s frekans aralığında ve incelenen sıcaklık aralığının tamamında bir polarizasyon mekanizması varlığı Şekil 1 de gözlenmektedir. Bu bölge düşük frekans bölgesi olarak adlandırılabilir (kırmızı eğim çizgileri). Düşük frekans bölgesinin davranışının sıcaklık azaldıkça daha düşük frekanslara doğru kaydığı da gözlenmektedir.



Şekil 1. Logaritmik eksenlerde dielektrik sabitin frekansa ve sıcaklığa bağlılığı

Düşük frekans bölgesinde dielektrik sabiti değerleri 393 – 213 K sıcaklıkları arasında 1200 – 870 arasında değişmektedir. Daha önceki çalışmamızda da belirtildiği üzere TlSe iyonik ve kovalent bağlı atomlardan oluşan bir zincir yapısındadır [13]. Bu özelliğinden

faydalanılarak düşük frekans kutuplanma bölgesi zincir yapının dipolar kutuplanmaya atfedilebilir [13]. İkinci bir kutuplanma mekanizması ise 213 – 273 K sıcaklık aralığında ve 100 Hz - 1 MHz frekans aralığında gözlenmektedir. Bu mekanizma yüksek frekans bölgesi olarak adlandırılabilir (mavi eğim çizgileri). Bu bölgede gözlenen dielektrik sabit değerleri 213 -273 K sıcaklıkları arasında 150 – 200 arasında değişmektedir. Yüksek frekans bölgesinde gözlenen dielektrik sabitleri ile düşük frekans bölgesindeki dielektrik sabitleri arasındaki oran, yüksek frekans bölgesindeki kutuplanmanın zincir yapının yan kollarının kutuplanmalarına bağlı olduğu göz önüne alınabilir [13]. Dielektrik sabitin frekansa bağlı davranışı Cole-Cole eşitliği [15-18] kullanılarak eğimi alındığında;

$$\epsilon^*(\omega) = \epsilon' - i\epsilon'' = \epsilon_\infty + \frac{\epsilon_s - \epsilon_\infty}{1 + (i\omega\tau)^{1-\alpha}} \quad (2)$$

Düşük frekans bölgesinde gözlenen rahatlama zamanı 10⁻⁴ s mertebesinde iken yüksek frekans bölgesinde 10⁻⁵ s mertebesinde olduğu görülmüştür. Cole-Cole eşitliğinde ϵ^* kompleks dielektrik fonksiyon, ϵ' dielektrik fonksiyonun gerçek bileşeni yani dielektrik sabiti, ϵ'' dielektrik fonksiyonun sanal bileşeni yani dielektrik kayıp, ϵ_∞ dielektrik sabitin çok yüksek frekanslardaki değeri, ϵ_s dielektrik sabitin çok düşük frekanslardaki değeri, ω açısal frekans, τ rahatlama zamanı ve α rahatlama zamanının frekans aralığına dağılımına ait bir katsayıdır ve 0 ile 1 arasında değişmektedir.

3.2. Elektrik modülün (M'') frekansa ve sıcaklığa bağlılığı (Frequency and temperature dependence of electric modulus (M''))

Dielektrik rahatlamının belirlenmesinde kullanılan parametrelerden biri de elektrik modül (M) dür. Modül yapının ya da yapıyı oluşturan varlıkların uygulanan bir dış etkiye tepkilerinin bir ölçüsüdür. Elektrik modül de yapısal anlamdaki modül kavramlarına benzer bir şekilde elektriksel anlamda yapının tepkisinin bir ölçüdür. Bu tepki rahatlama olarak tanımlanabilir. Elektrik modül;

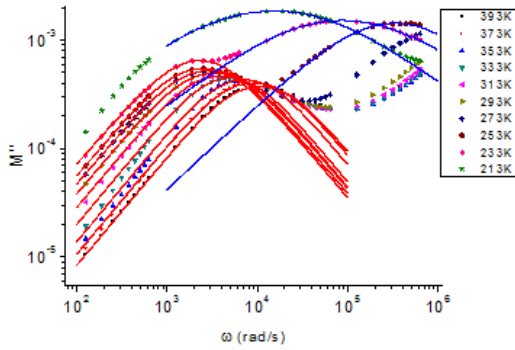
$$M^* = \frac{1}{\epsilon^*} \quad (3)$$

Eşitliğinden yola çıkılarak;

$$M^* = M' + iM'' = \frac{\epsilon'}{(\epsilon'^2 + \epsilon''^2)} + i \frac{\epsilon''}{(\epsilon'^2 + \epsilon''^2)} \quad (4)$$

şeklinde gösterilir [15, 19]. Burada M^* modül fonksiyonu, M' elektrik modülün gerçek bileşeni, M'' elektrik modülün sanal bileşenidir. Dielektrik ölçüm sonuçlarında elektrot kutuplanması olarak adlandırılan ve diğer ölçüm sonuçlarının grafiksel gösterimde tespitini zorlaştıran bir kutuplanma mekanizması vardır. Bu mekanizmanın etkilerinin elimine edilebilmesi için elektrik modül sonuçları kullanılır. Dielektriksel kayıpların gözlenebilmesi için elektrik modülün sanal bileşeni M'' nün frekansa ve sıcaklığa bağlı davranışı Şekil 2 de gösterilmiştir. Frekansa ve sıcaklığa bağlı elektrik modül davranışında dielektrik sabitin

davranışında gözlenen iki kutuplanma bölgesi gözlenmektedir.



Şekil 2. Logaritmik eksenlerde elektrik modülünün sanal kısmının (M'') frekansa ve sıcaklığa bağlılığı

3.3 Dalgali iletkenliğin (σ_{ac}) frekansa ve sıcaklığa bağlılığı (Frequency and temperature dependence of ac conductivity (σ_{ac}))

Dielektrik malzeme üzerine bir dış elektrik alan uygulanması yapıya enerji göndermek olarak da tanımlanabilir. Eğer uygulanan elektrik alan değişken ise, uygulanan enerjinin bir kısmı yapıdaki yüklü varlıkların kutuplanmasına, bir kısmı da yüklü varlıklar kutuplanırken uğrayacakları enerji kaybına harcanır. Kaybedilen enerji bir tür elektriksel akım olarak tasvir edilecek olursa bu akıma karşılık iletkenlik göz önüne alınabilir. Yapıda gözlenen enerji kaybını tanımlayan bu iletkenlik ifadesi dalgali iletkenlik (σ_{ac}) olarak adlandırılır. İletkenlik ifadesine ait davranışı gösteren Şekil 3 te σ_{dc} ifadesi iletkenliğin frekanstan bağımsız davranışı ile σ_{ac} ifadesi frekansa bağlı davranış ile temsil edilmektedir [15, 16, 20-22]. Dalgali iletkenlik;

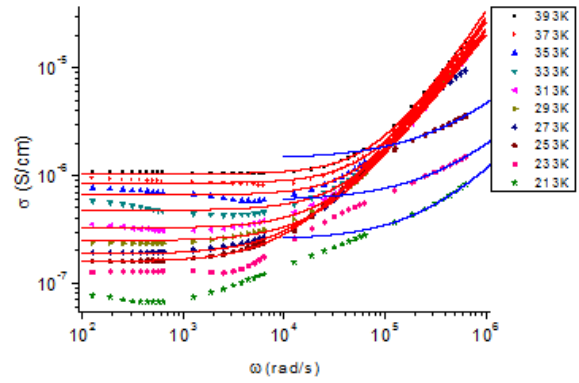
$$\sigma = \sigma_{dc} + \sigma_{ac} \quad (5)$$

ifadesinde olduğu gibi toplam iletkenlik ifadesinin bileşenlerinden biridir. Dalgali iletkenlik ifadesi ise tanımdan da anlaşılacağı üzere dielektrik kayba ait bilgileri içererek;

$$\sigma_{ac} = A\omega^s \quad (6)$$

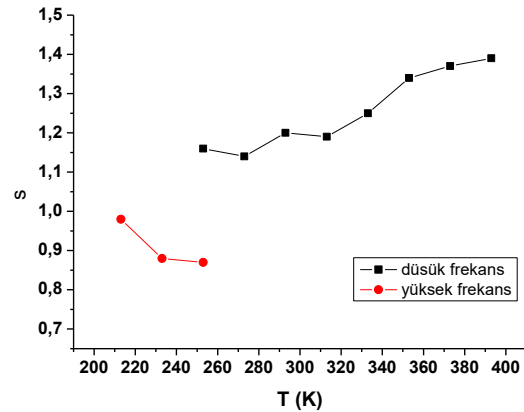
şeklinde gösterilebilir. Burada A bir katsayı ve s iletkenlik mekanizmasının türünü belirlemede kullanılan üstel bir faktördür.

Şekil 3 te de daha önce incelenen dielektrik sabit ve elektrik modül davranışlarında olduğu gibi iki farklı mekanizmanın varlığı gözlenmektedir.



Şekil 3. Logaritmik eksenlerde dalgali iletkenliğin frekansa ve sıcaklığa bağlılığı

Düşük frekans bölgesinde gözlenen iletkenlik davranışı sıcaklığa bağlı olarak $10^{-6} - 10^{-7}$ S/cm mertebeleri arasında σ_{dc} değerlerine sahiptir. Yüksek frekans bölgesinde gözlenen iletkenlik davranışı da 213 - 253 K arasında $10^{-7} - 10^{-5}$ S/cm mertebeleri arasında değişen σ_{ac} değerlerine sahiptir.



Şekil 4. Üstel "s" değerlerinin sıcaklığa bağlılığı

σ_{ac} iletkenliğinin frekansa bağlı davranışı incelendiğinde, sıfırdan büyük "s" değerlerinin olduğu yani frekansa bağlı davranış gözlenmektedir. "s" değerlerinin sıcaklığa bağlılığı Şekil 4 te görülmektedir. Düşük frekans bölgesinden hesaplanan ve 1,15 - 1,39 arasında sıcaklıkla artan değerlere sahip "s" değerlerinin sıcaklığa bağlılığı bu bölgede küçük polaron tünellemesi şeklinde bir iletkenlik mekanizması olabileceğini gösterirken [23], yüksek frekans bölgesinden hesaplanan ve 0,97 - 0,87 arasında değişen değerlere sahip "s" değerlerinin sıcaklığa bağlılığı yüksek frekans bölgesinde gözlenen iletkenliği yapı içerisinde kusurlar arasında yerel yük taşıyıcıların hoptaması yoluyla sağlandığını işaret etmektedir [19].

4.SONUÇ (CONCLUSION)

900 Å kalınlığında TlSe ince filmleri ısı buharlaştırma yöntemi ile hazırlandı. Filmlerin frekansa ve sıcaklığa bağlılığı incelendiğinde özellikle yüksek sıcaklıklarda gözlenen ve düşük frekanslarda belirgin olan bir düşük frekans bölgesi kutuplanması ve özellikle düşük sıcaklıklarda gözlenen ve yüksek frekanslarda belirgin olan bir yüksek frekans kutuplanması gözlenmiştir. Bu iki kutuplanma mekanizmalarının gözlendikleri frekans bölgeleri ve TlSe'nin zincir tipi yapısı göz önüne alındığında dipolar türde kutuplanma mekanizmaları oldukları, farklı bölgelerde gözlenmelerinin nedeni olarak düşük frekanslarda gözlenen mekanizmanın büyük zincir yapının kutuplanması yüksek frekanslarda gözlenen mekanizmanın ana zincirin yan kolların kutuplanması olduğu düşünülmektedir. İletkenlik davranışının frekansa ve sıcaklığa bağlılığı incelendiğinde yapıdaki gözlenen iki kutuplanma mekanizmasına karşılık gelen iletkenlik mekanizmalarından düşük frekanslarda gözlenen mekanizmanın zincir yapısındaki dielektrik cevaplarında da gözlenen küçük polaron tünellemesi olduğu, yüksek frekanslarda ise klasik hoplama modeline uygun bir davranışın varlığı tespit edilmiştir. TlSe ince filminin dielektrik özelliklerinin yapısal özelliklerine de atıflarda bulunularak incelendiği bu çalışma ile literatüre katkı sağlanmış olacaktır.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

2008-3569 numaralı projeye vermiş oldukları destekten dolayı İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne teşekkür ederim.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] J.A.Ketelaar, W.H.t'Hart, M.Moerel and D.Polder, "The crystal structure of TlSe thallos and hallosic selenide". *Z.Kristallogr A*, 101: 396-404, (1939).
- [2] G.Orudzhev, V. Jafarova, S. Schorr, K.Mimura, K.Wakita, Y. Shim, F.Hashimzade, "Phonon Spectra of Chain TlSe and TlInSe₂: Density Functional Theory Based Study". *Japanese Journal of Applied Physics*, 47(10): 8193-8199, (2008).
- [3] N.Mamedov, K.Wakita, G. Orudzhev, Y.Shim, K.Mimura, S.Schorr, N.Yamamoto, "Debye temperatures and Grueneisen parameters of chain TlSe and TlInSe₂". *In Physica status solidi. C, Conferences and critical reviews*, 6: 997-1000, (2009).
- [4] D.I. Ismailov, E.S.Alekperov, F.I. Aliev, "Preparation of single-crystal TlSe films". *Inorganic materials*, 8(1): 1-2 (2002).
- [5] I.E. Barchij, E.Y.Peresh, N.J. Haborets, V.V.Tzigika "The TlSe-TlBr-TlI quasi-ternary system". *Journal of alloys and compounds*, 358(1): 93-97, (2003).
- [6] F.M. Seyidov, E.M.Kerimova, N.Z. Gasanov "Phase diagram of the TlSe-SmSe system and transport properties of TlSmX₂ (X= S, Se, Te)crystals" *Inorganic Materials*, 46(12): 1299-1303, (2010).
- [7] F.M. Seyidov, E.M.Kerimova, N.Z. Gasanov "Phase diagram of the TlSe-SmSe system and transport properties of TlSmX₂ (X= S, Se, Te) crystals". *Inorganic Materials*, 46(12): 1299-1303, (2010).
- [8] Ş. Ellialtıoğlu, E. Mete, R. Shaltaf, K. Allakhverdiev, F. Gashimzade, M. Nizametdinova and G. Orudzhev, "Electronic structure of the chainlike compound TlSe" *Phys. Rev. B*, 70: 195118-1 – 195118-6, (2004).
- [9] G.D.Guseinov, G.B.Abdullayev, S.M.Bidzinova, F.M.Seidov, M.Z.Ismailov, A.M.Pashayev, "On new analogs of TlSe-type semiconductor compounds" *Phys. Lett. A*, 33: 421-422, (1970).
- [10] M. Isik, N.M. Gasanly, "Dielectric functions and interband critical points of anisotropic chain structured TlSe single crystals". *Journal of Applied Physics*, 112: 083526-1 – 083526-4, (2012).
- [11] M.J. Mangalam, K.N.Rao, N.Ranganajan, M.I.A. Siddiqi and C.V.Suryanarayana, "Studies on thin polycrystalline layers of thallium selenide" *Japanese Journal of Applied Physics*, 8: 1258-1261, (1969)
- [12] R.Sardarly, A.Sardarli, F.Salmaov, N.Aliyeva, S.Gahramanova, M.Yusifov," Phase Transition in TlS,TlSe and TlInS₂ crystals caused by nanoscale Defects". *Proceeding of the International Conference of Theoretical and Applied Nanoscience and Nanotechnology*, Toronto, Canada- Agust 23-25 (2017) Doi:10.11159/tan17.116.
- [13] A.Ozel, D. Deger, S.Celik, S.Yakut, B. Karabak, S Akyüz, K.Ulutas, K, "Dielectric and Raman spectroscopy of TlSe thin films". *Physica B: Condensed Matter*, 527: 72-77 (2017)
- [14] S. Karthik, A. Claude, I. Manimaran and A. oiyamozhi, "Crystal Growth of Napthalene (C₁₀ H₈) crystals using bridgmann-stockbarger technique" *Archives of Physics Research*, 3(4): 309-314, (2012).
- [15] B.Bariş, "Ac conductivity and dielectric spectroscopy studies on tin oxide thin films formed by spray deposition technique". *Physica B: Condensed Matter*, 438: 53-59, (2014).
- [16] T. S.Velayutham, B.K.Ng, W.C.Gan, W.A. Majid, R.Hashim, N.I. Zahid, J. Chairapa, J. "Phase sensitive molecular dynamics of self-assembly glycolipid thin films: A dielectric spectroscopy investigation". *The Journal of chemical physics*, 141(8): 613-622, (2014)
- [17] A.Kumar, N.M. Murari, R.S. Katiyar, "Investigation of dielectric and electrical behavior in Pb (Fe_{0.66}W_{0.33})_{0.50} Ti_{0.50}O₃ thin films by impedance spectroscopy". *Journal of Alloys and ompounds*, 469(1-2): 433-440, (2009).
- [18] A.G.Monteduro, Z. Ameer, M. Martino, A.P. Caricato, V.Tasco, I.C. Lekshmi, G. Maruccio, "Dielectric investigation of high-k yttrium copper titanate thin films". *Journal of Materials Chemistry C*, 4(5): 1080 1087, (2016).
- [19] N.Tuğluoğlu, S. Karadeniz, B.Bariş, "Electrical modulus and dielectric spectroscopy behavior of spin coated perylene-monoimide semiconductor films" *Materials Science in Semiconductor Processing*, 27: 891-898 (2014).
- [20] T.Larbi, B. Ouni, A. Boukhachem, K. Boubaker, M. Amlouk, "Investigation of structural, optical, electrical and dielectric properties of catalytic sprayed hausmannite thin film". *Materials Research Bulletin*, 60 457-466, (2014).

- [21] G.Yellaiah, T. Shekharam, K. Hadasa, M. Nagabhushanam, "Low temperature DC conductivity, impedance spectroscopy and dielectric properties of Na doped Cd_{0.8}Zn_{0.2}S semiconductor compounds". *Journal of Alloys and Compounds*, 609: 192-200, (2014).
- [22] Mokni, A. Kahouli, F. Jomni, J.L. Garden, E. Andre, A. Sylvestre, "Dielectric Investigation of Parylene D Thin Films: Relaxation and Conduction Mechanisms". *The Journal of Physical Chemistry A*, 119(35): 9210-9217, (2015).
- [23] A.Ghosh, "Transport properties of vanadium germanate glassy semiconductors". *Physical Review B*, 42(9): 5665-5676, (1990).