



Araştırma Makaleleri / Research Articles	Sıra No
İlknur KARS DURUKAN, Mustafa Kemal ÖZTÜRK, Süleyman ÖZÇELİK, Ekme ÖzBAY Crystal Size and Stress Account in Reciprocal Space Map Ters Örgü Uzunluğunda Kristal Boyutu ve Stres Hesabı	1-9
Mustafa GÖKTAŞ, Faruk KILIÇ Savonius Rüzgâr Türbini Çevresindeki Hava Akışının Hesaplanabilir Akışkanlar Dinamiği Yöntemi ile Analizi Analysis of The Airflow Around The Savonius Wind Turbine Using Computable Fluid Dynamics Method	11-16
Rasim TEMÜR, Cihan ÖSTER Düşey Yük Etkisi Altındaki Kazık Gruplarının Bozkurt Optimizasyon Algoritması ile Optimizasyonu Optimization of Pile Groups Under Vertical Loads Using Grey Wolf Optimizer	19-32
A.Kürşat BİLİGİLİ, Ömer AKPINAR, Gürkan KURTULUŞ, M.Kemal ÖZTÜRK, Süleyman ÖZÇELİK, Ekme ÖzBAY Lattice Parameters A-, C-, Strain-Stress Analysis and Thermal Expansion Coefficient of Ingan/Gan Solar Cell Structures Grown by MOCVD MOCVD ile Büyütülen Ingan/Gan Güneş Hücresi Yapısının A-, C- Örgü Parametreleri, Zorlama-Gerilme Analizi ve Termal Genleşme Katsayısı	33-39
Cüneyt UYSAL, Mehmet Erdi KORKMAZ Estimation of Entropy Generation for Ag-Mgo/Water Hybrid Nanofluid Flow Through Rectangular Minichannel by Using Artificial Neural Network Dikdörtgen Kesitli Minikanalda Ag-Mgo/Su Hibrit Nanoakışkan Akışının Entropi Üretiminin Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Tahmin Edilmesi	41-51
Oğuz TURGUT, Ahmet Cem ÖZCAN, Hasmet TURKOGLU Laminar Forced Convection Over an Inclined Flat Plate With Unheated Starting Length Isıtılmamış Baslangıç Uzunluğuna Sahip Bir Eğik Düz Plaka Üzerindeki Laminar Zorlanmış Konveksiyon	53-62
Hasan Hüseyin GÜLLÜ, Dilber Esra YILDIZ Frequency Dependent Dielectric Properties Of Znc/P-Si Diode Znc/P-Si Diyotunun Frekans Bağımlı Dielektrik Özellikleri	63-67
Levent UĞUR, Selami KARADENİZ, Arif ÖZKAN, Alper GÜLTEKİN Klavikula Kırıklarında Plak Uygulamasının Yerleşim Konumuna Göre Yorulma Davranışının Sonlu Elemanlar Yöntemi ile İncelenmesi Investigation of Fatigue Behaviour of Plate Applications in Clavicle Fractures by Finite Element Method According to the Plate Replacement Position	69-74
Serkan DERELİ, Raşit KÖKER, İsmail ÖYLEK, Mikrem AY A Comprehensive Research on the Use of Swarm Algorithms in the Inverse Kinematics Solution Süri Algoritmalarının Ters Kinematik Çözümde Kullanımı Üzerine Kapsamlı Bir Araştırma	75-79
İlhal ŞİMŞEK, Musa YILDIRIM, Dursun ÖZYÜREK, Doğan ŞİMŞEK Basıncız İnfiltrasyon Yöntemiyle Üretilen SiO2 Takviyeli Alüminyum Kompozitlerin Aşınma Davranışlarının İncelenmesi Investigation of Wear Behaviors of SiO2 Reinforced Aluminium Composites Produced By Pressureless Infiltration Method	81-85
Mehmet BAĞCI CE/PE ve KE/EP Kompozitler Üzerine FBB Metodu Kullanarak Zm Kaplama Malzemesinin Katı Partikül Erozyonuna Etkileri The Effects of Solid Particle Erosion of Zm Coating Material on GF/EP And CF/EP Composites By Using PVD Method	87-93
Mehmet Murat TOPAÇ, Berk ÖZMEN, Uğur DERVAL, Orhun SELBES Özel Tip Bir Yan Römorek için Bağımsız Süspansiyon Sistemi Tasarımı: Kavramsal Tasarım Çalışmaları Design of An Independent Suspension for A Special Type Semi-Trailer: Conceptual Design Studies	95-102
Eda CİNAROĞLU, Osman UNUTULMAZ A Data Mining Application of Local Weather Forecast For Kayseri Erkillet Airport	103-113
Mehmet Murat TOPAÇ, İlker BAHAR Bir Askeri Hizmet Taahhütünde Kullanılan Parabolik Yaprak Yayın Yay Karakteristiğinin Doğrusal Olmayan Sonlu Elemanlar Analizi Yardımıyla Belirlenmesi Determination of the Spring Characteristic of A Parabolic Leaf Spring Used In A Military Vehicle by Using Non-Linear Finite Element Analysis	115-120
Engin ÖZBAS Experimental Study of Thermal Performance and Pressure Differences of Different Working Fluids In Two-Phase Closed Thermosyphons Using Solar Energy	121-128
Menderes KAM, Hamit SARILAN Kriyojenik İşlem Uygulanmış Millerin Yuvarlanmalı ve Kaymalı Yataklarda Deneysel Titreşim Analizi Experimental Vibration Analysis of Cryogenic Treated Shafts Supported by Journal and Rolling Element Bearings	129-134
Murat ALTIN Çarpışma Kuttularının Üzerine Açılan Oyukların Çarpışma Performansı Üzerine Etkisinin İncelenmesi Investigation of The Effect of Corrugated on Crash Performance in Crash Boxes	135-139
Murat ALTIN, H. Serdar YÜCESU Farklı Geometrik Yapılardaki Çarpışma Kuttularının İcerisine Yerleştirilen Alüminyum Köpük Malzemenin Enerji Sönümlenme Kapasitesi Üzerine Etkisinin İncelenmesi The Effect of Aluminium Foam Material on the Energy Absorption Capacity of Different Geometric Structure Crash Boxes	141-148
Bahadır ERDOĞAN, Ali Bekir YILDIZ Pasif Filtre Kullanılarak Elektronik Balastlı Floresan Lambanın Harmoniklerinin Azaltılması ve Simülasyonu Simulation and Harmonics Reduction of Electronic Ballast Fluorescent Lamp by Using Passive Filter	149-155
Mahmut ALERMEYDAN, Eylem DİZMAN TOMAK, Zeynep NurKARTAL Wood Property Improvement of Siberian Pine by Combination of Boric Acid Impregnation and In-Situ Polymerization of E-Caprolactone	157-161
Ataollah KHANLARI, İlker AY A Numerical Study on Determination of the Optimal Hole Diameter and Pitch Value For the Unglazed Transpired Solar Collectors	163-168
Mustafa BARIŞ Tunçay ŞİMŞEK, Adnan AKKURT Co.B Nanopartikülleri ile Kaplanmış S235JRC Karbon Çelik Malzemelerin Farklı Kesme Yöntemleri ile İşlenebilirlik Özelliklerinin Araştırılması Investigation of the Machinability Properties of Co.B Nanoparticles Coated S235JRC Carbon Steel Materials With Different Cutting Methods	169-177
Hakan KÖSENLİ, Ali Bekir YILDIZ Geri Dönüştürülmüş DC-DC Dönüştürücüsünün Genelleştirilmiş Dögüm Denklemleri ile Analizi Analysis of Flyback DC-DC Converter by Modified Nodal Equations	179-184
Himmet Erdi TANÜRÜN, Adem ACIR Modifiye Edilmiş NACA-0015 Kanat Yapısında Tüberkül Etkisinin Sayısal Analizi The Numeric Analysis of Tubercle Effect on Modified NACA-0015 Airfoil	185-195
Mustafa ERTÜRK, Zehra OKTAY, Can ÇOKSUN, Ali Kemal ÖZBAS, Yusuf CAN, Abdurrahman MİR Konut Isıtma Enerji ve Emisyon Değişiminin Küresel Isıtma Bağlamında Düzce İli Üzeline İncelenmesi Investigation of Energy And Emission Change For House Heating With Context of Global Warming in Düzce/Turkey	197-202
Hüseyin PELİT, Mustafa KORKMAZ Kayın (Fagus Orientalis Lipsky) Odununun Yüzey Özelliklerine Nano-Grafen Katkılı Su Bazlı Verniklerin Etkisi Effect of Water Based Varnishes Added Nano-Graphene on the Surface Properties of Beech (Fagus Orientalis Lipsky) Wood	203-212
Semih ÖZDEN, Mahir DURSUN, Ahmet AKSOZ, Ali Saygın Prediction And Modelling of Energy Consumption on Temperature Control For Greenhouses	213-217
Eyüp YETER Investigation of Ballistic Impact Response of Aluminium Alloys Hybridized With Kevlar/Epoxy Composites Kevlar/ Epoksi Kompozitleri ile Hybrid Yapılan Alüminyum Alaşımlarının Balistik Darbe Tepkilerinin Araştırılması	219-227
İlyada KOÇ, Kıvanç BAŞARAN PVT Tabanlı Bir Sistemde MATLAB Simulink Kullanılarak Yapılan Performans Analizi Performance Analysis of A PVT Based System by Using MATLAB Simulink	229-236
Mehmet ALTUĞ Investigation of Hardox 400 Steel exposed to heat treatment processes in WEDM	237-244
Umut Önder SU, Adnan SÖZEN, Tayfun MENLİK İsi Borulu Güneş Kolektörlerinde Nano Çözelti ile Performansın İyileştirilmesi Heat Pipe Evacuated Tubular Solar Collector Performance Improvement by Applications of Nanofluid	245-257

Journal of Polytechnic

POLİTEKNİK DERGİSİ

VOLUME / CİLT 22 NUMBER / SAYI 1 MARCH / MART 2019



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, University of Johannesburg
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 ÖZÇİFÇİ , 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 : 22	Sayı / Issue : 1	Mart/ March : 2019
<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 22 SAYI 1) KATKI VEREN HAKEMLER (REVIEWERS)	
Abdullah YILDIZ	İsmail ŞAHİN
Adem ACIR	Kıvanç BAŞARAN
Afşın CERİT	Kurtuluş BORAN
Ahmet ÖZDEMİR	M. Tolga ÖZKAN
Ahmet YALINKILIÇ	Mahmut İZÇİLER
Akın KAPRI	Mehmet DOĞRU
Ali ÇETİN	Mehmet ÖZKAYMAK
Ali KILIÇARSLAN	Muammer NALBANT
Ayhan AYTİN	Murat DİLMEÇ
Ayhan ONAT	Murat OLGUN
Bora LİŞESİVDİN (2 kez)	Murat ÖZALP
Burhanettin TUNÇALP	Murat YÜCEL
Bülent BOSTAN	Musa ATAR
Cemal YILMAZ	Mustafa BOZDEMİR
Cenk SAYIN	Mustafa BURUNKAYA
Erhan PULAT	Müjde ALTIN
Erol ŞADOĞLU	Necmettin KAYA
Ertan ALPTEKİN	Nusret KURALAY
Faruk KILIÇ	Oktay YILMAZOĞLU
Fatih Emre BORAN	Osman METE
Fulya ASLAY (2 kez)	Ömer DÖNMEZ
Gürsel ŞEFKAT	Ömer KAYNAKLI
Hakan ALTUNAY	Recep EKİCİ
Hakan KÖYLÜ	Serhat KARYEYEN (2 kez)
Halil ATALAY	Tayfun FINDIK
Halil İbrahim VARIYENLİ	Tayfun MENLİK
Hüdayim BAŞAK	Ümit ÜNVER
İbrahim ÇİFTÇİ	Volkan ALTINTAŞ
İhsan KORKUT	Yasin KİŞİOĞLU
İhsan TOKTAŞ (2 kez)	Yunus ÇERÇİ

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**

e - ISSN : 2147-9429



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

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



Crystal size and stress account in reciprocal space map

Ters örgü uzayında kristal boyutu ve stres hesabı

Yazar(lar) (Author(s)): İlknur KARS DURUKAN^{1}, Mustafa Kemal ÖZTÜRK², Süleyman ÖZÇELİK³, Ekmel ÖZBAY⁴*

ORCID¹: 0000-0001-5697-0530

ORCID²: 0000-0002-8508-5714

ORCID³: 0000-0002-3761-3711

ORCID⁴: 0000-0003-2953-1828

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Kars Durukan İ., Öztürk M. K. , Özçelik S ve Ozbay E, “Crystal size and stress account in reciprocal space map”, *Politeknik Dergisi*, 22(1): 1-9, (2019).

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

DOI: 10.2339/politeknik.417752

Crystal Size and Stress Account in Reciprocal Space Map

Araştırma Makalesi / Research Article

İlknur KARS DURUKAN^{1*}, Mustafa Kemal ÖZTÜRK^{2,3}, Süleyman ÖZÇELİK^{2,3}, Ekmel ÖZBAY⁴

¹Department of Physics, Faculty of Sciences, Gazi University, Ankara, Turkey

²Photonics Research Center, Gazi University, Ankara, Turkey

³Department of Physics, Bilkent University, Bilkent, Ankara

(Geliş/Received : 24.10.2017 ; Kabul/Accepted : 08.02.2018)

ABSTRACT

In this study, five periodic InGaN / GaN LED (light emitting diode) structures grown by the Metal Organic Vapor Deposition (MOCVD) at different active layer growth temperatures were studied. These structures were grown as InGaN / GaN multiple quantum wells (MQW) between c-oriented sapphire substrate and n-GaN and p-AlGaIn + GaN contacts. These constructions were characterized by the high-resolution X-ray diffraction (HR-XRD) system. HRXRD patterns obtained by X-ray diffraction and Reciprocal space maps were performed from the same data. One of the most effective ways of studying the crystal lattice is reciprocal space mapping with HR-XRD technique. This technique does not damage the sample. Information can be obtained from the internal system of the sample or from the intermediate layer including substrate. Using the FWHM (β_{hkl}) values and the elastic coefficients of the structures obtained for each of the three samples separately with the inverse mesh technique, D (nm) particle size, σ (GPa) uniform stress, ϵ strain, u (kJm^{-3}) anisotropic energy density parameters were calculated. These calculations were done in a Scherrer method and Uniform Deformation Model (UDM) which is the Williamson Hall method, modified uniform Williamson stresses model (USDM) and Uniform Deformation Energy Density Model (UDEDM). The results show that the stretching in the crystal size is very little. Line expansion in HR-XRD is due to small crystal size and lattice strain. UDEDM, one of the W-H methods, has emerged as the most suitable model for stretching.

Keywords: : Strain, particle size, Williamson-Hall, reciprocal space mapping.

Ters Örgü Uzayında Kristal Boyutu ve Stres Hesabı

ÖZ

Bu çalışmada, farklı aktif tabaka büyütme sıcaklıklarında MOCVD yöntemi ile büyütülen beş periyotlu InGaN/GaN LED yapıları çalışıldı. Bu yapılar c-yönelimli safir alttaş üzerine n-GaN ve p-AlGaIn+GaN kontak arasında olacak şekilde, InGaN/GaN çoklu kuantum kuyu (MQW) olarak büyütüldü. Bu yapılar, HR-XRD sistemi ile karakterize edildi. X-Işını kırınımı ile elde edilen HR-XRD desenleri ve aynı verilerden, Ters Örgü Uzayı Haritalaması yapıldı. Kristal örgüsünün incelenmesinde en etkili yollardan bir tanesi Yüksek çözünürlüklü XRD (HR-XRD) tekniğiyle ters örgü haritalamasıdır. Örneğin iç sistemlerinden veya alttaş dahil arakatman tabakalardan bilgi alınabilir. Ters örgü uzayı tekniği ile her üç numune için ayrı ayrı elde edilen tabakalara ait FWHM (β_{hkl}) değerleri ve yapıların elastik katsayıları kullanılarak; D (nm) parçacık boyutu, σ (GPa) uniform stress, ϵ strain, u (kJm^{-3}) anisotropic enerji yoğunluğu parametreleri hesaplandı. Bu hesaplamalar; Scherrer yöntemi ve Williamson Hall yöntemi olan Uniform Deformation Model (UDM), modifiye Williamson Hall yöntemleri olan Uniform stress deformation model (USDM) ve Uniform Deformation Energy Density Model (UDEDM) kullanılarak yapıldı. Sonuçlar göstermiştir ki kristal boyutunda gerilme çok az etkilidir. HR-XRD'deki çizgi genişlemesi küçük kristal boyutu ve örgü gerilmesi kaynaklıdır. W-H yöntemlerinden biri olan UDEDM'nin gerilme için en uygun model olduğu ortaya çıkmıştır.

Anahtar kelimeler: Strain, parçacık boyutu, Williamson-Hall, ters örgü uzayı haritası.

1. INTRODUCTION

Nitrogen containing optoelectronic devices, a member of the III-V group of semiconducting compounds, have a profound effect on nanotechnology. The direct band energy ranges of Indium Nitride (InN), gallium nitride (GaN) and Aluminum Nitride (AlN) are 0.7 eV, 3.4 eV and 6.2 eV, respectively. These energy band spacings are very wide ranging from the near infra-red region to the ultraviolet (UV) region of the electromagnetic spectrum [1]. Group III nitrides, especially GaN-based, are important materials in LED structures. Indium gallium

nitride (InGaIn) LEDs are made resistant to high temperature, pressure and frequency conditions. These materials are traditionally grown on a substrate such as sapphire (Al_2O_3) or silicon (Si). This enlargement results in a high level of non-conformity, which causes the cracks to disintegrate, and the dislocations caused by this discrepancy are in the range of 10^7 - 10^{11} cm^{-2} [2,3]. The GaN buffer layer is grown between the InGaIn / GaN active quantum well layer and the Al_2O_3 substrate to remove the structural defects (one-dimensional and two-dimensional, linear and volumetric defects) common to such structures. This reduces lattice mismatch to be transmitted to the InGaIn layer, but cannot completely remove the lattice mismatch. Due to the incompatibility

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

between the Al_2O_3 and GaN layer, it is inevitable to transmit disturbing dislocations (TD) of 1×10^8 to $1 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ to the InGaN active layer. Despite all of these drawbacks, it is seen that the performance of optoelectronic devices produced from such nitrile-based semiconductors is better than conventional semiconductors [2-5]. The development of the properties of nitrile-based semiconductors and the work to be done to increase their performance will further improve the performance of these devices and the systems that are integrated with them. The purpose of this study is; In the MOCVD system, the growth characteristics of the $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N} / \text{GaN}$ multi-quantum well LED structure are reproduced by increasing the InGaN, GaN and aluminum gallium nitride (AlGaN) the result is to investigate the effect on performance of such devices.

In particular, stress, strain and deformation energy density parameters were calculated semi-experimentally using William-Hall technique.

2. EXPERIMENTAL CONDITIONS

InGaN / GaN LED structure were grown by MOCVD on c-oriented (00.1) Al_2O_3 substrate and given in the Figure 1. The same LED samples were used for stress measurements in our study [7], Here, the growth steps are briefly mentioned. Before the epitaxial growth process was started, the Al_2O_3 substrate was heat treated at 1100°C for 10 minutes in a nitrogen atmosphere to remove the oxides from the surface. Following chemical reactions of Trimethylgallium (TmGa), Trimethylaluminum (TmAl), TmIn (Trimethylindium) and NH_3 (ammonia) compounds, Ga, Al, In and N sources were obtained, respectively. On Al_2O_3 substrate under constant pressure at 200 mbar; GaN core layer at 500°C , GaN buffer layer at 1020°C grown. Subsequently, n-type GaN contact layers; 23 sccm TmGa constant current and at 1030°C ; the first layer was grown for 35 minutes and the second layer for 20 minutes. Then, at flow rates of 140 sccm TmGa and TmIn; The InGaN active layer of samples A, B, and C was formed as five layers at temperatures of 650°C , 667°C and 700°C for 90 (InGaN layer) and then 390 (GaN layer) seconds, respectively. The GaN cap layer was grown for 390 seconds at 730°C in a current of 140 sccm TmGa on active layers. Magnesium (Mg) doped p-contact AlGaIn layer using 9 sccm TmGa, 15 sccm TmAl and 90 sccm Cp_2Mg flux ratio; 1085°C and 50 mbar pressure for 65 seconds. The growth of the p-GaN layer was performed at a flow rate of 14 sccm TmGa and a flow rate of 100 sccm Cp_2Mg ; 1010°C and 200 mbar pressure for 720 seconds. NH_3 flux ratio; 1300 sccm for the GaN and AlGaIn layers, and 5200 sccm for the InGaN / GaN active layer. The grown conditions of the other layers are the same for all samples.

The characterization of the samples were analyzed by the HR-XRD technique using a Bruker D8 system, delivering a $\text{CuK}\alpha 1$

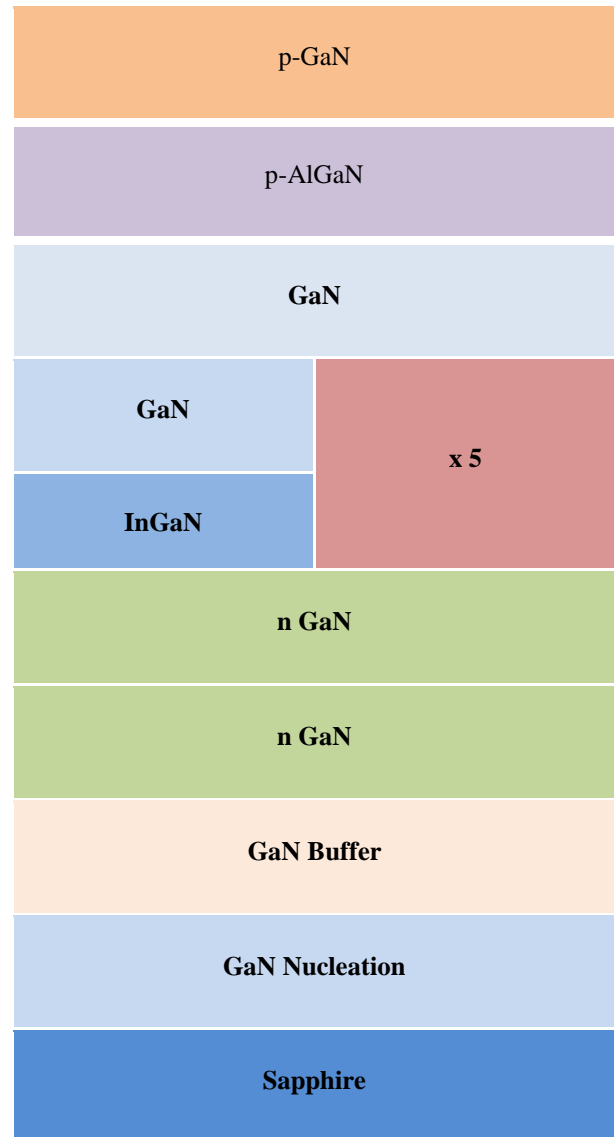
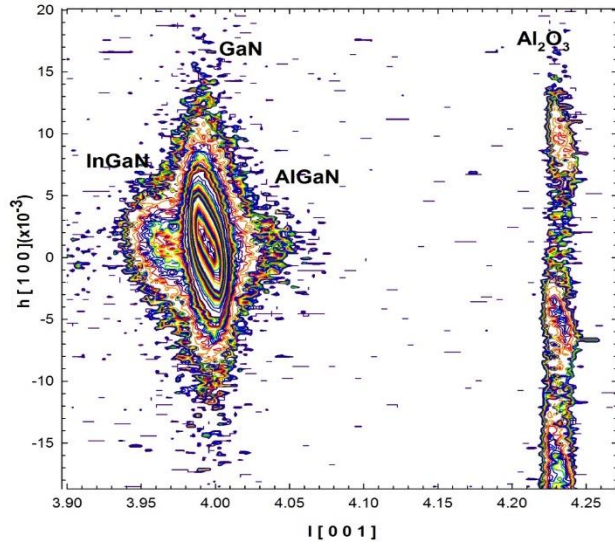


Figure 1. General schematic structure of InGaN / GaN LED structure

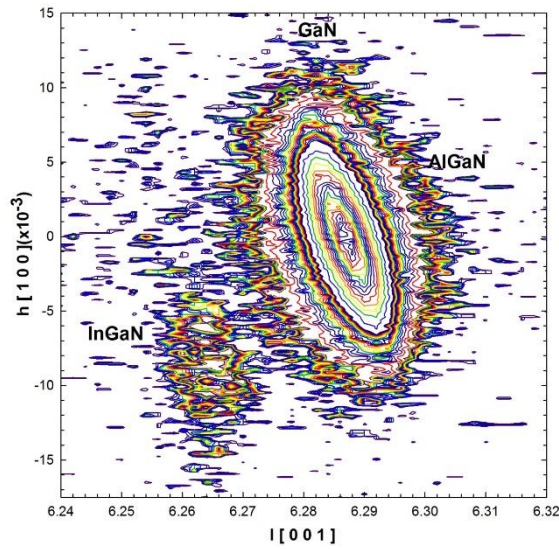
3. RESULTS AND DISCUSSION

The Reciprocal space maps obtained by the HR-XRD technique was used to calculate D (nm) particle size, σ (GPa) uniform stress, ϵ strain, u (kJm^{-3}) anisotropic energy density parameters.

The patterns obtained with the mapping of the reciprocal space provide a more detailed and clearer representation than the classically obtained HR-XRD peaks [6]. The presence of the peaks of the GaN, InGaN and AlGaIn layers can be more clearly understood by this mapping. For comparison, the classical HR-XRD pattern for the symmetrical plane of sample B (004) is given in Figure 1 in our study [7] and the reciprocal space pattern for the same shot is given in Figure 3-a. In our study, unlike the other study, the stress study was performed with the William Hall method. The our study of the mapping of the reciprocal space of (004) and (106) planes of the samples is given in detail.



(a)

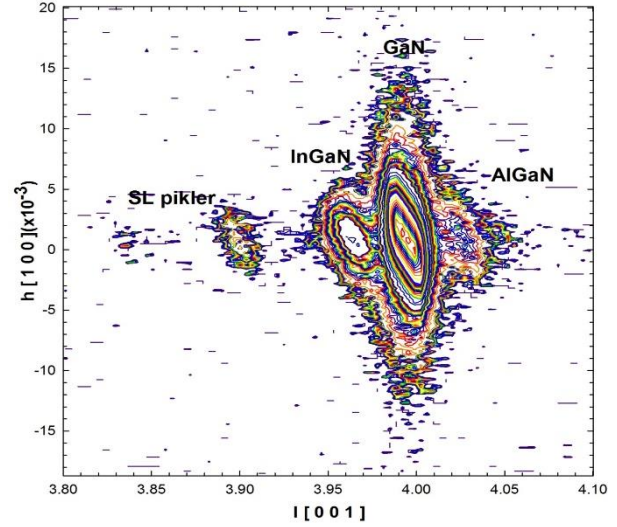


(b)

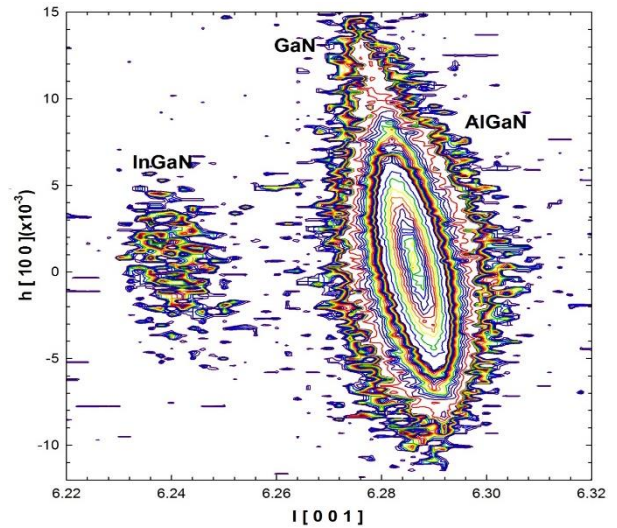
Figure 2. HR-XRD reciprocal space mapping of a) (004) and b) (106) Miller reflection plane of sample A

When examined in detail in Figure 1[7] in our study, the AlGaN peak, which is not fully separated to the right of the GaN peak, appears to the right of the GaN peak in Figure 3-a. The InGaN peak appears clearly visible and more understandable on the left side of the GaN peak. In addition, SL satellite peaks could be detected quite successfully in the reciprocal space pattern. The HR-XRD reciprocal mesh space pattern of the symmetric Miller reflection plane (004) of sample A is given in Figure 2-a. As shown in the figure, it is seen that the Al₂O₃ peak which is used as a substrate on the far right and the peaks of InGaN and AlGaN layers are embedded in the peak of the GaN layer. In Figure 3-b, the reciprocal space mapping pattern of HR-XRD asymmetric plane (106) of sample A is seen. When the pattern is examined, peaks of InGaN partially separated from the GaN peak and peaks of the AlGaN layer not fully decomposed are

observed. HR-XRD reciprocal space mapping pattern of the symmetric Miller reflection plane (004) of sample B is given in Figure 3-a.



(a)



(b)

Figure 3. HR-XRD reciprocal space mapping pattern of the symmetric Miller reflection plane a) (004) and b) (106) of sample B

SL-2 and SL-1 satellite peaks are seen from the left of the figure. In addition, the InGaN and AlGaN peaks are found somewhat more separated than sample A. Here, symmetric peaks are more intense in the plane of (004). The intensities of incoming reflections of the density of GaN and InGaN layers constitute satellite peaks. These satellite peaks are related to crystal quality and surface roughness between layers. Satellite peaks are used to find the thickness of multiple quantum wells. From these satellite peaks, the thickness calculation can be done simply by using the formula [1].

$$T = \lambda / (2 * \Delta\theta * \cos\theta) \quad (1)$$

Here, λ is the wavelength of the X-ray source, $\Delta\theta$ is the satellite peak separation, and θ is the Bragg angle of the plane. A, B and C samples of quantum well thickness are 13.87 nm, 12.58 nm and 10.39 nm, respectively [7]. The quantum well thickness relates to the thickness of GaN and InGaN layers. The two layers have different thicknesses and for this reason X-rays create interference. A quantum well thickness calculation is made from the peak differences of these interference peaks. In other thicknesses, the thicknesses of these layers cannot be determined because density difference and critical thickness are not provided. It was observed that the quantum well thickness decreased with temperature increase. Due to the increased stresses in the structure and the random variation in crystal dimensions, the thickness is affected. The In contents of samples A, B and C with different quantum well thickness are 10.87, 9.01, 7.51, respectively [7]. As the defect density in the structure increases, it decreases the Indium ratio.

The Reciprocal space mapping pattern of the asymmetric reflection planes (106) of sample B, are given in Figure 3-b. it is seen that the AlGaN layer is not fully decomposed while the InGaN layer is distinctly separated from the GaN layer.

Reciprocal space mapping pattern of symmetrical and asymmetric planes of sample C are shown in Fig. 4. When the pattern of symmetric (004) planes is examined, it is seen that the SL-2 and SL-1 peaks are distinctly separated from the left, the InGaN layer has less peaks but the AlGaN layer is more distinct.

are distinct but the peaks of the AlGaN layer are not distinct. Also, It is seen that the peak formations of the GaN core layer are partially formed.

Looking again at Figure 2-a, Figure 3-a and Figure 4-a, The SL peaks are not seen for the A sample, and for the B and C samples, the SL-1 and SL-2 satellite peaks are distinguished from each other and more visible. Because of the increase in roughness between layers, roughness-induced HR-XRD interferences are deteriorating. The absence of the SL-2 satellite peak in sample A shows the roughness between the layers. Therefore, this indicates low crystal quality. The satellite peaks of B and C are more clearly distinguished from each other. The finger peaks between the satellite peaks are weak and it has a less rough layer surface and therefore higher crystal quality than sample A. As a result, the grown temperatures at 667 and 700 °C have allowed better crystal quality. In addition, in Fig. 2-a for sample A, the peaks of InGaN to the left of the GaN peak and the AlGaN layer to the right are not fully separated. For sample B, the peaks of InGaN to the left of the GaN peak and the AlGaN layer to the right are more clearly seen in Fig. 3-a. The peak of the InGaN layer on the left side of the GaN peak is partially separated while the peak of the AlGaN layer on the right side is more distinct and separated in sample C. The more pronounced dissociation of the InGaN peak for sample B is due to the increase of the In ratio in the composition, while the more pronounced dissociation of the AlGaN peak in sample C is attributed to the higher Al content in the composition than the sample B [7]. This is related to microstructural

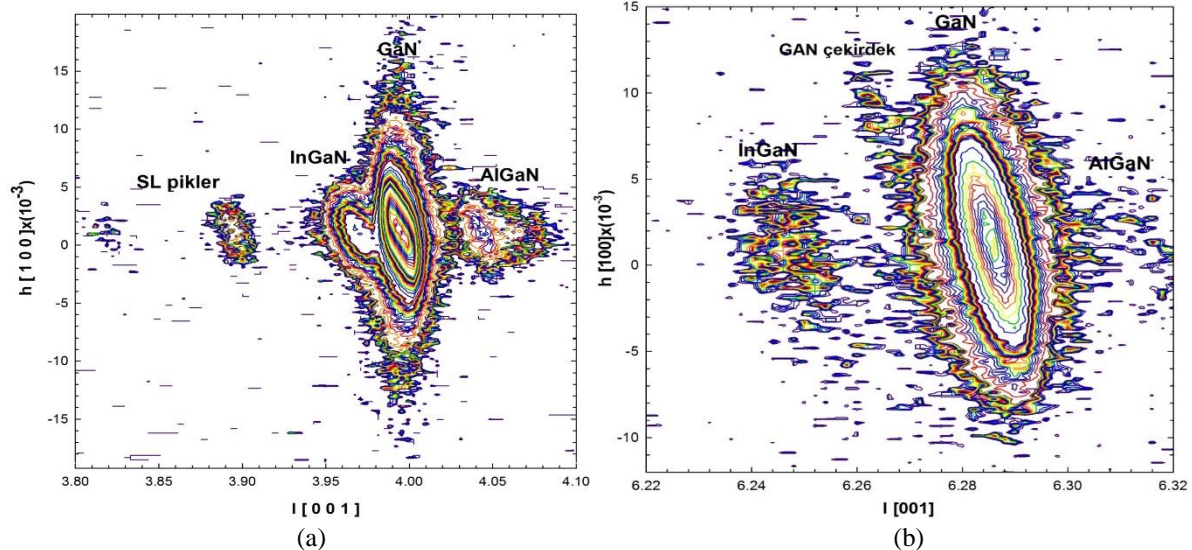


Figure 4. HR-XRD reciprocal space mapping pattern of the symmetric miller reflection plane a)(004) and b)(106) of sample C

When the pattern of symmetrical (004) planes is examined, it is seen that the SL-2 and SL-1 peaks are distinctly separated from the left side, the InGaN layer has less peaks but the AlGaN layer is more distinct. (106) is asymmetric plane pattern is similar to that of the symmetric planes, it is seen that the InGaN layer peaks

imperfections in the complete dissociation of these HR-XRD peaks of the InGaN and AlGaN layers [8-14].

3.1 Crystal Size Account According to Scherrer Method

In order for the Scherrer method to be applied in a healthy way, it is very important to calculate the exact value of

β_{hkl} accurately [15]. Bragg peak patterns obtained by HR-XRD analyzes are dependent on both device and sample effects. The device-corrected enhancement (β_{hkl}) corresponding to each diffraction peak of InGaN is giveby Equation (2) below.

$$\beta_D^2 = [(\beta^2)_{numune} - (\beta^2)_{cihaz}] \quad (2)$$

The crystal size D, perpendicular to the reflective planes, can be obtained by Equation 3.

$$D = \frac{k\lambda}{\beta_{hkl} \cos \theta} \rightarrow \cos \theta = \frac{k\lambda}{D} \left(\frac{1}{\beta_{hkl}} \right) \quad (3)$$

Here, k is a coefficient; λ , X-ray wavelength; θ is the Bragg angle. By fitting the data, the crystal size D is found from the slope of the fit line. Using the FWHM results calculated from the Reciprocal space maps obtained from the HR-XRD patterns, the Scherrer graph expressing $\cos(\theta)$ versus $1 / \beta_{hkl}$ is plotted in Figure 5 for the InGaN, AlGaN and GaN layer. The D crystal size (nm) was calculated from the slope of the fit. The crystal sizes of the InGaN, AlGaN and GaN layers were 35.895, 21.773 and 51.326 nm, respectively. The R^2 compliance value of the graphs varies between 0.1-0.7.

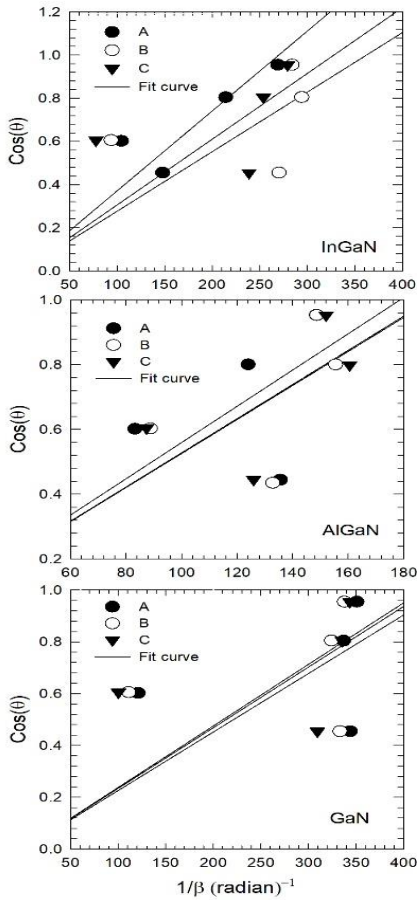


Figure 5. Scherrer chart for InGaN,AlGaN and GaN layer

The Scherrer method is widely used in dust samples. Dust samples are made up of small particles. The peaks must be sufficiently intense to be able to perform the Scherrer analysis. For amorphous materials, there is a limit in the Scherrer equation. We find the planes of semiconductors, and in the case of dust we see the corresponding planes at a certain rate. The W-H equation is a combination of the Scherrer equation and the strain equation. It is widely used in semiconductors. Because of the high level of dislocations in the crystallized layer, mosaic blocks similar to the shape of large radius grains. In this case the parameters(strain, young module, elastic constants) are more stable, it is more accurate to get clear results. Due to the GaN point defects, the FWHM values of the pixels are unstable.

3.2 Crystal Size Account According to W-H Method

In reality, not all materials are perfect crystal. There are absolutely deformations. Strain is a defect that occurs as a result of the crystal being not perfect or lattice force and given by $\varepsilon \approx \beta s / 4 \tan \theta$. Peak displacement in the diffraction pattern causes the half-width to change. For the strain calculation, $\tan \theta$ curves are plotted against β_{hkl} as a linear equation as in particle size calculation. The calculated strain value is not a realistic result as it is in the calculation of the particle size. However, the W-H technique is a very useful technique that distinguishes these two effects from each other. Here, we can talk about three models as W-H.

W-H analyzes in our studies; Uniform Deformation Model (UDM), Uniform Stress Deformation Model (USDm) and Uniform Deformation Energy Density Model (UEDDM). The W-H model is not dependent on $1 / \cos \theta$ as in the Scherrer model but varies with $\tan \theta$. This main difference distinguishes between the coexistent microstrain and the reflection expansion [16]. Strain occurs without the crystal being perfect and without separation, and can be calculated by Equation 4 [15]. ε is the square root (RMS) value of the square mean of the micro strain.

$$\varepsilon = \frac{\beta_{hkl}}{4 \tan \theta} \quad (4)$$

The sum of the strain values of the InGaN and GaN layers is lower than that of the AlGaN layer. This is why the InGaN and GaN layers are better optimized when grown. The AlGaN layer has high dislocation. For this reason, the strain in the AlGaN layer is larger than the quantum well layer.

Figure 6 show $\tan \theta$ graphs for β_{hkl} of the InGaN, AlGaN and GaN layers, for all three samples. The R^2 compliance value of the graphs varies between 0.1-0.45. The values appearing in this range are consistent with the article results. If $R^2 = 1$, the fit value is perfect compliance value. The values appearing in this range are consistent with the article results. Systematic faults resulting from the system are few, since the angle is calibrated to 0.0005

precision. Low level, the flaws in the sample are more oppressive because they are purely experimental results.

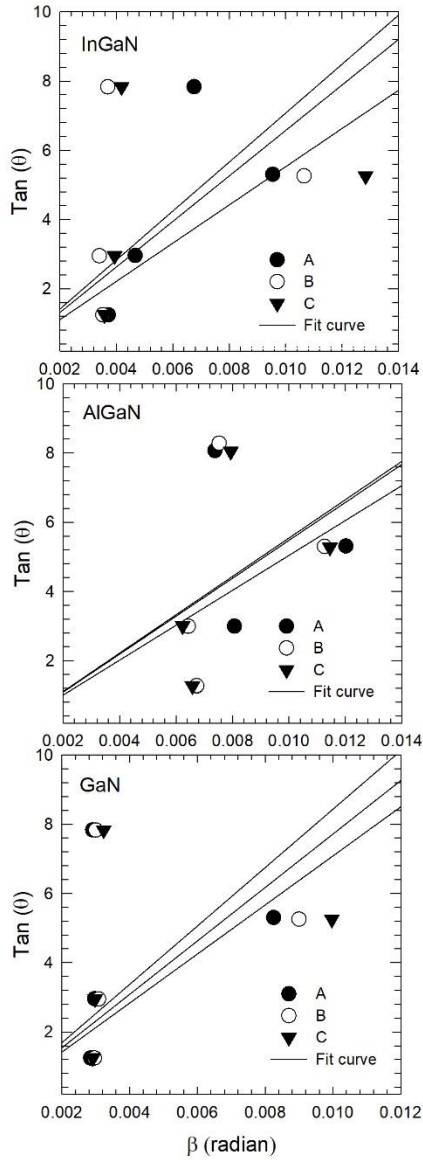


Figure 6. Graphs of $\tan(\theta)$ versus β_{hkl} of the InGaN, AlGaN and GaN layer

Strain and particle size are not linearly independent of one another. Thus the peak width of the Bragg reflections is given by the equations below as the sum of the two influencing peak widths.

$$\beta_{hkl} = \beta_1 + \beta_\epsilon = [K\lambda / t \cos \theta_{hkl}] + [4\epsilon \tan \theta_{hkl}] \quad (5)$$

$$\beta_{hkl} \cos \theta_{hkl} = \beta_1 + \beta_\epsilon = [K\lambda / t] + [4\epsilon \sin \theta_{hkl}] \quad (6)$$

This equation is known as the classical W-H equation or the uniform deformation model (UDM). In this equation, the crystal strain is crystallographically the same in all directions. Therefore, the crystal is considered as isotropic. When the graph is plotted against $4\sin\theta_{hkl}$ versus $\beta_{hkl} \cos\theta_{hkl}$ using the planes with the permissible crystal planes, the microstrain is calculated from the slope [15]. Graphs for all three samples were given in

Figures 7. The R^2 compliance value of the graphs varies between 0.1-0.23. The values appearing in this range are consistent with the article results. Similar results were obtained for the R^2 values in a study conducted with the W- H technique [17].

The crystal size is also calculated from the y-axis cutting point. Calculated values are given in Tables 3.

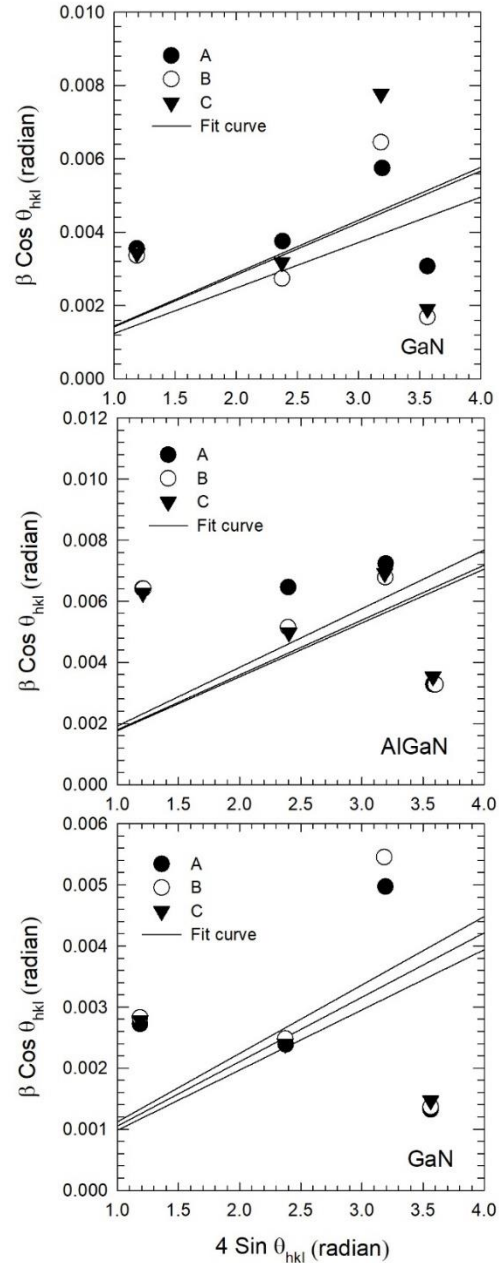


Figure 7. Graph of InGaN, AlGaN and GaN layer according to the UDM model

Due to the high pressure produced in this direction, the diffraction line widens considerably and shifts to a higher d range. This shows the pressure on the lattice of InGaN. The positive value obtained from the graph supports the presence of pressure. In many cases the acceptance of homogeneity and isotropic. Thus, the USDM and UDEDM methods are more realistic as they account for

the anisotropic structure of the Young modules of crystals [18].

According to USDM method, the cause of anisotropic micro tension (ϵ_{hkl}) is (σ) smooth deformation pressure. Hooke's law expresses the correct proportion ($\sigma = \epsilon E_{hkl}$) between pressure and strain and adding this approach to the account, the W-H equation can be written as Equation 7 [15].

$$\beta_{hkl} = \left(\frac{k\lambda}{D} \right) + \left(\frac{4\sigma \sin \theta}{E_{hkl}} \right) \quad (7)$$

E_{hkl} shows the Young's modulus perpendicular to the hkl planes, and if the stress is known from the slope of the graph of the $4\sin \theta / E_{hkl}$ versus $\beta_{hkl} \cos \theta$ and the E_{hkl} is known, the crystal size; can be found from the cut point of the fit line [15].

Universal elastic parameters of InGaN, InN and GaN are given in Table 1

Elastic constants of InGaN are 0.109; 0.090 and 0.080 as calculated by the law of Vegard for sample A, B and C, respectively [6,11].

$$c_0(\text{InGaN}) = x c_0(\text{InN}) + (1-x) c_0(\text{GaN}) \quad (8)$$

Table 1. Universal elastic constants of InN and GaN, InGaN

	InGaN		InGaN		
	InN	GaN	A	B	C
C_{11}	190	390	368.26	371.98	374.98
C_{12}	104	145	140.54	141.31	141.92
C_{13}	121	106	107.63	107.35	107.13
C_{33}	182	398	374.52	378.54	381.78
C_{44}	10	105	94.67	96.44	97.87

For a sample in the hexagonal crystal phase, the Young's modulus is given by Equation 9 [19-21].

$$E_{hkl} = \left(h^2 + \frac{(h+2k)^2}{3} + \left(\frac{al}{c} \right)^2 \right)^2 \times \left[s_{11} \left(h^2 + \frac{(h+2k)^2}{3} \right) + s_{33} \left(\frac{al}{c} \right)^2 + (2s_{13} + s_{44}) \left(\left(h^2 + \frac{(h+2k)^2}{3} \right) \left(\frac{al}{c} \right)^2 \right)^{1/2} \right]^{-1} \quad (9)$$

s_{11} , s_{12} , s_{13} , s_{33} , s_{44} are the elasticity coefficients of InGaN and AlGaN and these calculated values are given in Table 2.

Table 2. Calculated elasticity coefficients for the InGaN and AlGaN layers for all three samples

(GPa ⁻¹)	A		B		C	
	InGaN	AlGaN	InGaN	AlGaN	InGaN	AlGaN
S_{11}	0.0033	0.0030	0.0033	0.0030	0.0032	0.0030
S_{12}	0.0011	0.0010	0.0011	0.0010	0.0011	0.0010
S_{13}	0.0006	0.0005	0.0006	0.0005	0.0006	0.0005
S_{33}	0.0030	0.0028	0.0030	0.0028	0.0030	0.0028
S_{44}	0.0106	0.0086	0.0104	0.0087	0.0102	0.0086

Figure 8; The W-H method shows a graph of InGaN, AlGaN and GaN layers for all three samples according to the USDM model. The R^2 compliance value of the graphs varies between 0.1-0.3. The values appearing in this range are consistent with the article results.

If values are to be fitted in these graphs, the anisotropic energy density (u) is found from the slope of the fit lines. The crystal size (D) is also found at the y-axis cutting point. Deformation stress and deformation energy density obtained from USDM and UDEDM models can be related to $u = \sigma^2 / 2E_{hkl}$ expression [15]. Both Equation 8 and Equation 9 are different because they assume that the elasticity constant is anisotropic.

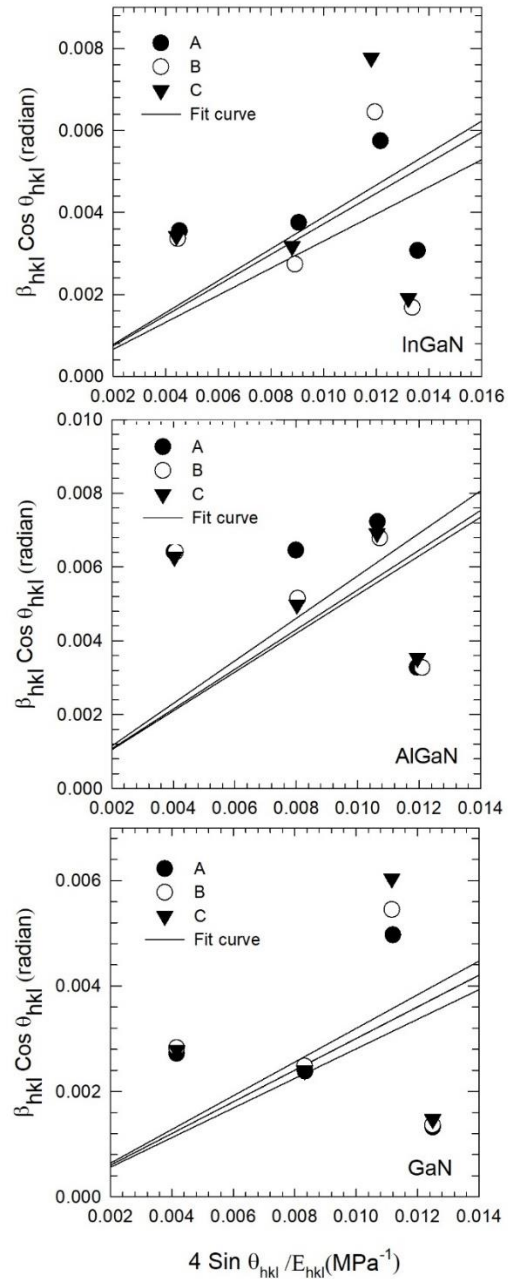


Figure 8. Graph of InGaN, AlGaN and GaN layer according to the USDM model

Because in Equation 8, deformation stress has the same value in all directions and this makes u anisotropic. In Equation 9, deformation energy is assumed to be uniform in all directions. Here, deformation stress σ is anisotropic.

Figure 9; The W-H method shows a graph of of InGaN, AlGaN and GaN layers for all three samples according to the UDEDM model. The R^2 compliance value of the graphs varies between 0.1-0.23. The values appearing in this range are consistent with the article results.

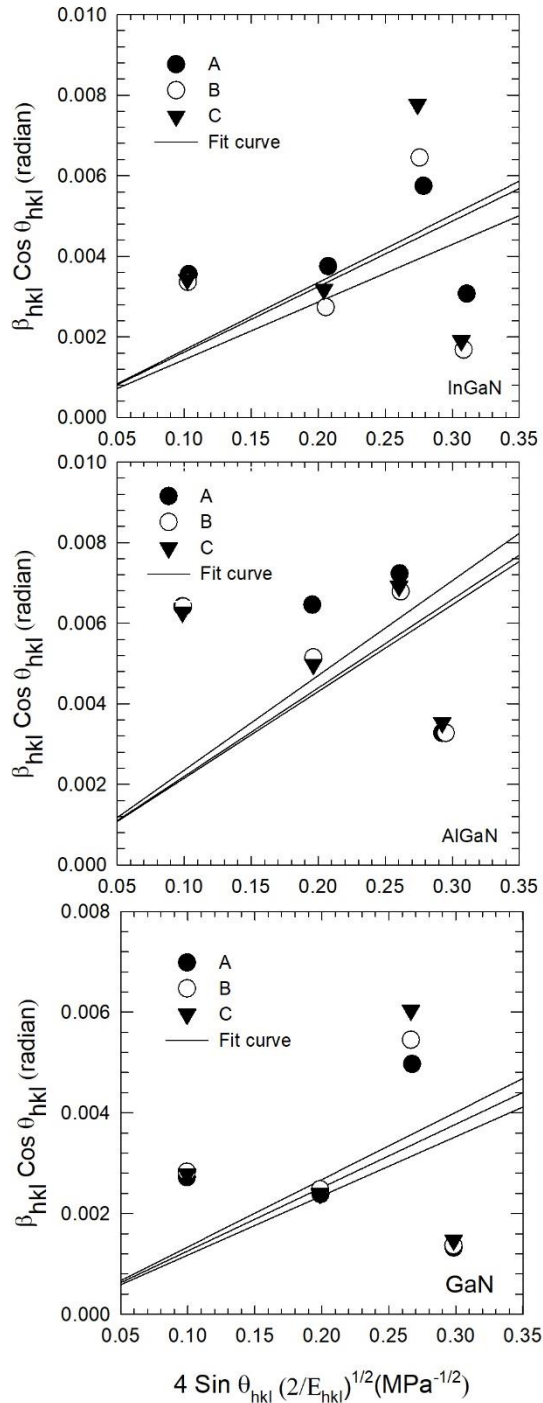


Figure 9. Graph of InGaN, AlGaN and GaN layer according to the UDEDM model

All samples; The results obtained from the Scherrer, UDM, USDM and UDEDM methods are given in Tables 3 for InGaN, AlGaN and GaN layers.

Table 3. Physical parameters calculated for USD, USDM and UDEDM models for all three layers of sample A, B and C

		Sample A			Sample B			Sample C			
		InGaN	AlGaN	GaN	InGaN	AlGaN	GaN	InGaN	AlGaN	GaN	
SCHERRER	D(nm)	36.087	7.366	61.232	48.362	6.319	58.651	43.723	5.468	55.718	
	cos θ										
	D(nm) / sin θ	35.895	21.773	51.326	41.134	21.780	49.270	38.965	21.899	48.625	
WH	UDM	D(nm)	47.542	14.031	57.597	48.947	15.019	56.266	51.325	15.414	62.418
		σ (GPa)	0.250	2.997	0.021	0.104	2.815	0.066	0.361	2.723	0.230
	USDM	D(nm)	47.542	14.031	57.597	48.947	15.019	56.266	51.325	15.414	62.418
		σ (GPa)	0.066	0.900	0.006	0.028	0.838	0.019	0.097	0.816	0.066
	UDEDM	D(nm)	47.542	14.031	57.597	48.947	15.019	56.266	51.325	15.414	62.418
		σ (GPa)	0.008	1.348	0.000	0.001	1.180	0.001	0.018	1.112	0.008
		σ (GPa)	0.066	0.900	0.006	0.028	0.838	0.019	0.097	0.816	0.066
			0.250	2.997	0.021	0.104	2.815	0.066	0.361	2.723	0.230

The results show that the strain is very little effect on the crystal size. The crystal sizes obtained from W-H and Scherrer can be compared. In addition, the W-H methods UDM, UDEDM and USDM gave very consistent and similar results. The enlargement of the pikes increases the strain at the large angles and the crystal size decreases accordingly. This is caused by an increase in the reflection angles.

4. CONCLUSION (SONUÇ)

In this study, three five-period InGaN / GaN LED structures were grown by MOCVD at 650, 667 and 700 oC active layer growth temperatures. These structures were characterized by the HR-XRD system. Unlike classical HR-XRD analysis methods, reciprocal space mapping was performed. It can be seen that more detailed and clear results can be obtained with the reciprocal space mapping. Two different methods were used in mosaic structure calculations. William Hall method is common technique for semiconductors and σ (GPa) uniform stress, ϵ strain, u (kJm^{-3}) anisotropic energy density parameters are calculated. It is important to use XRD by semi-experimental methods instead of expensive and difficult methods such as TEM to analyze defects properties.

Uniform stress (σ) is; with the stain parameter, exhibited exactly the same behavior for all three layers. The anisotropic energy density (u) follows the same regime as the other parameters, exhibiting a decrease and increase then with increasing temperature for the InGaN layer and a continuously decreasing for the AlGaN layer, as opposed to the AlGaN layer, which exhibited increased behavior.

In addition, according to the Scherrer method, for the InGaN layer of sample A, the particle size in the calculations made according to $\sin\theta$ is 0.5% less than \cos

θ , while 15% in case B and 11% in case C are calculated. Similar behavior to the InGaN layer was observed in the GaN layer, which was up to three to four times larger for the AlGaIn layer, and this increase was directly proportional to the growth temperature. The line expansion in the HR-XRD was attributed to the small crystal size and lattice strain.

The results showed that; the results obtained with the calculations made are quite consistent with the literature. Both the Scherrer and W-H methods are close to each other, and the W-H methods UDM, USDM and UDEDM are very consistent with each other. Among these methods, the UDEDM method is a suitable metric for the calculation of strain and other parameters..

REFERENCES

- [1]. Morkoç, H., “*Hand book of Nitride Semiconductors and Devices*”, Wiley-VCH, 16. Berlin, (2008).
- [2]. Kapolnek, D., Wu, X. H., Heying, B., Keller, S., Keller, B. P., Mishra, U. K., Den Baars, S. P. and Speck, J. S. “Structural evolution in epitaxial metalorganic chemical vapor deposition grown GaN films on sapphire”, *Applied Physics Letters*, 67(11): 1541-1543, (1995).
- [3]. Ponce, F. A., Krusor, B. S., Jr, J. S. M., Plano, W. E. and Welch, J. “Microstructure of GaN epitaxy on SiC using AlN buffer layers”, *Applied Physics Letters*, 67(3): 410-412, (1995).
- [4]. Chichibu, S., Azuhata, T., Sota, T., Nakamura, S. “Spontaneous emission of localized excitons in InGaIn single and multi-quantum well structures”, *Applied Physics Letters*, 69(27): 4188-4190, (1996).
- [5]. Lester, S. D., Ponce, F. A., Crawford, M. G., Steigerwald, D. A. “High Dislocation Densities in High-Efficiency GaN-Based Light-Emitting-Diodes”, *Applied Physics Letters*, 66(10): 1249-1251, (1995).
- [6]. Baş, Y. “In_xGa_{1-x}N (x= 0,075; 0,090; 0,100) “Mavi LED’lerin Mikroyapısal Kusurlarının Ters Örgü Uzay Haritası İle İncelenmesi”, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (2015).
- [7]. Baş, Y., Demirel, P., Akın, N., Başköse, C., Özen, Y., Kınacı B., Öztürk, M.K., Özçelik, S., Özbay, E. “Microstructural defect properties of InGaIn/GaN blue light emitting diode structures”, *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 25(9): 3924-393, (2014).
- [8]. Moram, M. A., Vickers, M. E. “X-ray diffraction of III-nitrides”, *Reports on Progress in Physics*, 72(3): 036502-036541, (2009).
- [9]. Öztürk, M. K., Yu, H., Sarıkavak, B., Korçak, S., Özçelik, S., Özbay, E. “Structural analysis of an InGaIn/GaN based light emitting diode by X-ray diffraction”, *Journal of Materials Science: Materials in Electronic*, 21(2): 185-191, (2010).
- [10]. Öztürk, M. K., Altuntaş, H., Çörekçi, S., Hongbo, Y., Özçelik, S. and Özbay E. “Strain-Stress analysis of AlGaIn/GaN heterostructures with and without an AlN suffer and Interlayer”, *Strain*, 47(2): 19-27, (2011).
- [11]. Kisielowski, C. “Strain in GaN thin films and heterostructures”, *Semiconductors and Semimetals*, 57(GaN II): 275-317, (1999).
- [12]. Çetin, S. S., Öztürk, M. K., Özçelik, S., Özbay, E. “Strain analysis of InGaIn/GaN multi quantum well LED structures”, *Crystal Research and Technology*, 47(8): 824-833, (2012).
- [13]. Yıldız, A., Öztürk, M. K., Bosi, M., Özçelik, S., Kasap, M. “Structural, electrical and optical characterization of InGaIn layers grown by MOVPE”, *Chinese Physics B*, 18(9): 4007-4012, (2009).
- [14]. Öztürk, M. K., Çörekçi, S., Tamer, M., Çetin, S. Ş., Özçelik, S., Özbay E. “Microstructural properties of InGaIn/GaN light-emitting diode structures with different In content grown by MOCVD”, *Applied Physics A-Materials Science&Processing*, 114(4): 1215-1221, (2014).
- [15]. Singla, G., Singh, K., Pandey, O. P. “Williamson–Hall study on synthesized nanocrystalline tungsten carbide (WC)”, *Applied Physics A*, 113(1): 237–242, (2013).
- [16]. Khorsand Zak, A., Majid, W.H.A., Abrishami, M.E., Yousefi, R. “X-ray analysis of ZnO nanoparticles by Williamson-Hall and size-strain plot methods”, *Solid State Sci.*, 13: 251, (2011).
- [17]. Prabhu, Y. T., Rao, K. V., Kumar, V. S. S., Bandla Siva Kumari, “X-Ray Analysis by Williamson-Hall and Size-Strain Plot Methods of ZnO Nanoparticles with Fuel Variation”, *World Journal of Nano Science and Engineering*, 4: 21-28, (2014).
- [18]. Rosenberg, Y., Machavariant, V.S., Voronel, A., Garber, S., Rubshtein, A., Frenkel, A.I., Stern, E.A. “Strain energy density in the x-ray powder diffraction from mixed crystals and alloys”, *J. Phys. Condens. Matter*, 12: 8081, (2000).
- [19]. Warren, B.E., Averbach, B.L.” The Effect of Cold-Work Distortion on X-Ray Patterns”, *J. Appl. Phys.*, 21: 595, (1950).
- [20]. Zang, J., Zhang, Y., Xu, K.W., Ji, V. “General compliance transformation relation and applications for anisotropic hexagonal metals”, *Solid State Commun.*, 139: 87, (2006).
- [21]. Balzar, D., Ledbetter, H. J. “Voigt-function modeling in Fourier analysis of size- and strain-broadened X-ray diffraction peaks”, *Appl. Crystallogr.*, 26: 97,(1993).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

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



Savonius rüzgâr türbini çevresindeki hava akışının hesaplanabilir akışkanlar dinamiği yöntemi ile analizi

Analysis of the airflow around the savonius wind turbine using computable fluid dynamics method

Yazar(lar) (Author(s)): Mustafa GÖKTAŞ¹, Faruk KILIÇ²

ORCID¹: 0000-0001-8742-9114

ORCID²: 0000-0002-9978-1972

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Gökteş M., Kılıç F., “Savonius rüzgâr türbini çevresindeki hava akışının hesaplanabilir akışkanlar dinamiği yöntemi ile analizi”, *Politeknik Dergisi*, 22(1): 11-17, (2019).

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

DOI: 10.2339/politeknik.417753

Savonius Rüzgâr Türbini Çevresindeki Hava Akışının Hesaplanabilir Akışkanlar Dinamiği Yöntemi ile Analizi

Araştırma Makalesi / Research Article

Mustafa GÖKTAŞ, Faruk KILIÇ*

Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Makine Bölümü, Gazi Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 09.10.2017 ; Kabul/Accepted : 15.02.2018)

ÖZ

Bu çalışmada, savonius tipi dikey rüzgâr türbini tasarlanmış ve çevresindeki havanın hız ve basınç dağılımı sayısal olarak incelenmiştir. Türbinin 0°, 45°, 90° ve 135° olmak üzere dört farklı açıda konumlandırılmıştır. Her açısal konum için 3 m/s, 6 m/s ve 9 m/s rüzgâr hızı ve basınç dağılımı grafikleri elde edilmiştir. En büyük hava hızı 9 m/s (0°) için kanat çevresinde en fazla hız 21,33 m/s olarak elde edilmiştir. Tüm basınç grafikleri için en yüksek basınç 0° ve 45° de 86,36 Pa olarak tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Rüzgâr enerjisi, savonius rüzgar türbini, hesaplamalı akışkanlar dinamiği.

Analysis of The Airflow Around The Savonius Wind Turbine Using Computable Fluid Dynamics Method

ABSTRACT

In this paper, savonius type vertical wind turbine designed. Velocity and pressure distributions of the surrounding air are investigated numerically. The turbine is positioned at four different angles: 0°, 45°, 90° and 135°. For each angular position, velocity and pressure distribution graphs were obtained at wind speeds of 3 m/s, 6 m/s and 9 m/s. The maximum air velocity was 21.33 m/s for 9 m/s (0°). For all pressure plots the maximum pressure was determined to be 86.36 Pa at 0° and 45°.

Keywords: Wind energy, savonius wind turbine, computational fluid dynamics.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Son yıllarda, küresel ısınma ve çevre kirliliğine sebep olan yer altı kaynaklarının azalması ve sınırlılığının fark edilmesi ile sürdürülebilir ve yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi artmıştır. Savonius rüzgâr türbinleri elektrik üretimi ve mekanik güç elde etmek için rüzgârın kinetik enerjisini kullanan makinelerdir [1]. Rüzgâr türbini gurubunda geniş kullanım oranına sahip olan yatay eksenli rüzgâr türbinleri gittikçe yaygınlaşmaktadır. Rüzgâr türbinlerinin çok fazla çeşidi bulunmaktadır. Rotor eksenlerine göre yapılan sınıflandırmada yatay eksenli rüzgâr türbinleri ve dikey eksenli rüzgâr türbinleri olarak sınıflandırılmıştır [2]. Geleneksel rüzgâr türbinlerinin birçoğunun performans değeri Wilson tarafından uygulamalı olarak çalışılmıştır [3]. Rüzgâr türbinleri hız katsayısı ve güç katsayısına bağlı performans eğrisine göre değerlendirilirler.

Performans tüm makinelerde olduğu gibi rüzgâr türbinlerinde de en önemli faktördür. Üç kanatlı yatay eksenli rüzgâr türbinleri en yüksek verime sahiptir. Savonius rüzgâr türbinleri diğer tipteki türbinlere nazaran daha düşük rüzgâr hızlarında da dönmeye başlayabilmektedir [4]. Buna ek olarak düşük açı sal

hızları ve düşük rüzgâr hızına bağlı olarak teorik tahminleri zor olan aerodinamik davranışa sahiptir [5]. Yatay eksenli rüzgâr türbinlerine göre daha yavaş çalışan rüzgâr türbinleri değişken rüzgâr hızına bağlı olarak elde edilen elektriğin dağıtım şebekesine aktarılması ve düşük güç katsayısından dolayı düşük performans gibi dezavantaja sahiptir [6]. Fakat bu dezavantajlara rağmen birçok önemli üstünlüklere de sahiptir. İlk olarak basit makineler olmasından dolayı kolay inşa edilebilirler. Ayrıca üç ve iki kanatlı yatay eksenli rüzgâr türbinlerinin çalışmayacağı kadar düşük rüzgâr hızlarında bile çalışabilmektedir [7, 8]. Son olarak da diğer rüzgâr türbinlerine göre düşük bakım maliyetine sahiptir.

Kılıç savonius rüzgâr türbini kanatçığını helezonik şekilde üretip deneysel olarak da incelemiştir [9, 10]. Mahmoud (2012) savonius rüzgâr türbinlerinin performansı üzerine deneysel çalışmalar yapmış ve en-boy oranı üzerine de incelemeler yapmıştır [11]. Mahmoud yaptığı bu çalışmada en-boy oranının yükselmesiyle güç katsayısında bir artış olduğu sonucuna varmıştır.

Literatürde savonius rüzgâr türbinlerinin en-boy oranı, kanat kalınlığı, dönmeye başladığı en düşük rüzgâr hızı ve performansı etkileyen faktörlerin tespiti gibi birçok parametre incelenmiş ve iyileştirme yapılmıştır.

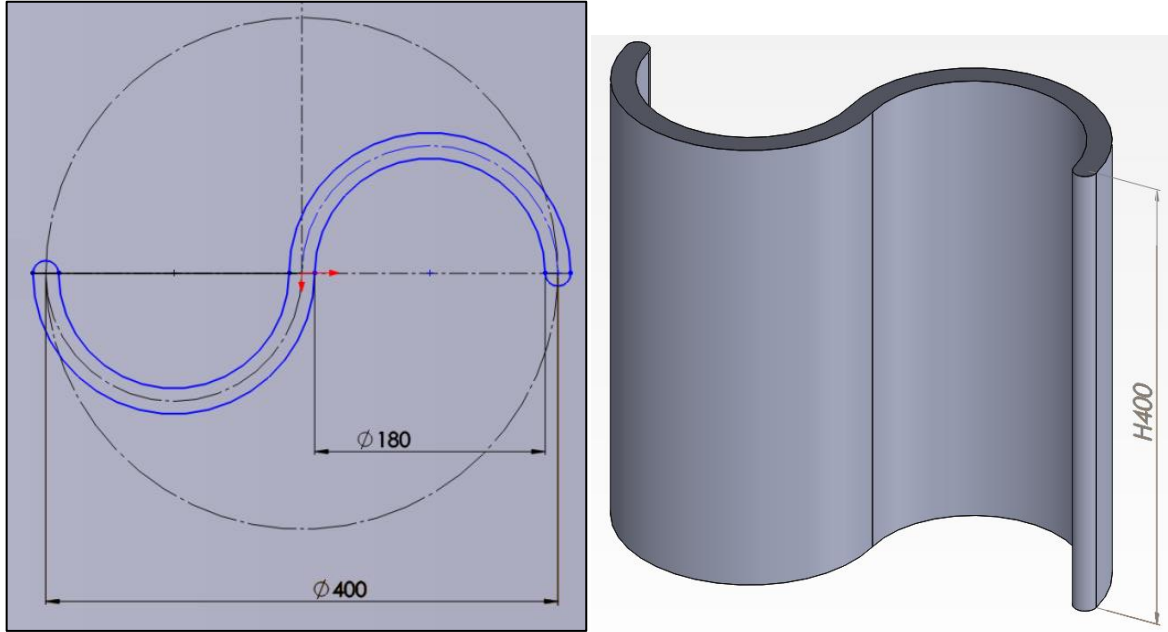
*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : farukkilic@gazi.edu.tr

Savonius rüzgâr türbinlerinin etrafındaki akış hakkında Mohamed [12] tarafından yapılan çalışmada sadece 0° lik kanat açısı için önünde engel kullanarak ikili ve üçlü kanat karşılaştırılmıştır.

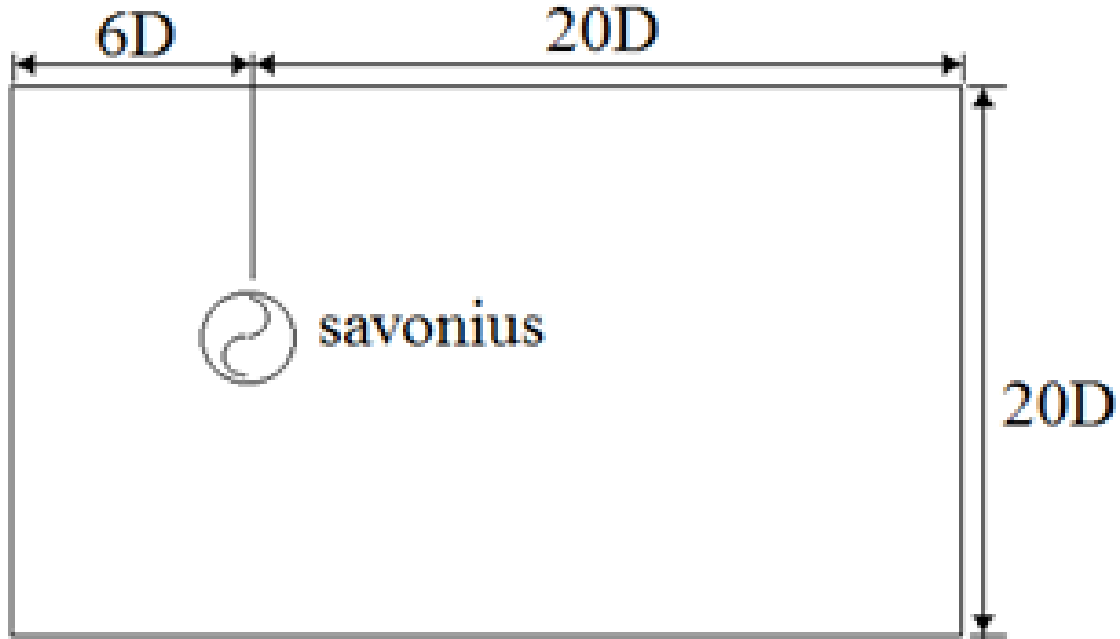
2018 yılında savonius rüzgar türbini ile ilgili bir çalışmada Realizable $k-\epsilon$ türbülans modelini kullanmışlardır. Yapılan diğer bir çalışmada momentum

iyileştirmesi için yapılan bir çalışmada farklı türbülans modelleri değerlendirilmiştir [14].

Yaptığımız çalışmanın amacı az rüzgârlı kentsel bölgelerde rüzgârın savonius rüzgâr türbini etrafındaki hız ve basıncını tespit edip daha sonra yapılacak çalışmalarda ve imalatı düşünülen savonius kanadının tasarımında dikkate alınacak sayısal veri elde etmektir.



Şekil 1. Savonius rüzgâr türbini kanat boyutları (Savonius wind turbine dimensions)



Şekil 2. Savonius türbininin akış alanındaki pozisyonu [15] (The position of the savonius turbine)

denklemleri, x, y, z hız bileşenleri, türbülanslı kinetik enerji ve türbülanslı kinetik enerjinin spesifik dağılım oranı gibi değişkenler, CFD Fluent yazılımı kullanılarak hesaplanmıştır [13]. Savonius türbini üzerine performans

Bu sebepten sabit olarak yerleştirilmiş savonius rüzgâr türbini etrafında farklı hızlarda ki hava akışkanının hız ve basınç gibi termodinamik özellikleri tespit edilmiştir.

2. SAYISAL ANALİZ (NUMERICAL ANALYSIS)

Bu çalışmada, sabit olarak yerleştirilmiş savonius kanadı etrafındaki akış Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yöntemiyle Ansys Fluent (R16.1) yazılımı kullanılarak hesaplanmıştır. Fluent kanat hacminin etrafındaki basınç ve hız değişimlerini farklı geometriler için sonlu hacimler metodu ile çözümleyebilen bir yazılımdır. Savonius kanadının fiziksel tasarımı Solidworks çizim programı kullanılarak tasarlanmıştır (Şekil 1).

Kanat çapı (D) 420 mm olarak belirlendi. Akış ortamı giriş-çıkış ağızları kanat çapının 20 katı, hava girişi ve kanat arası mesafede kanat çapının altı katı olarak belirlenmiştir (Şekil 2). En uygun mesafe Gad (2014) tarafından yapılan çalışmada verilen metot ile belirlenmiştir [15].

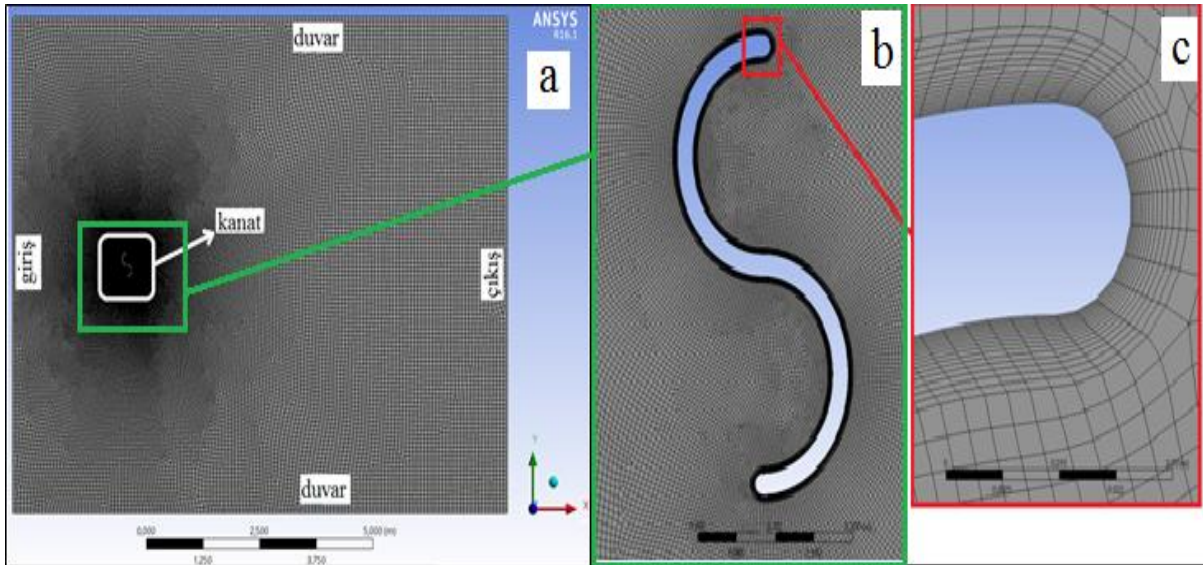
Akış analizi yapılmadan önce akış alanının görülmesi istenilen bölgeler daha küçük çözüm ağı (mesh) yapısı ile tasarlandı (Çizelge 1). Mesh yapısında quadrilateral (dört kenarlı) eleman tipi, daha hassas sonuç verdiği, daha kısa sürede yakınsadığı ve çarpıklık 1'e daha yakın olduğu için kullanılmıştır.

Çizelge 1. Çözüm ağı (mesh) yapısı sayısal değerleri (Mesh structure numerical values)

Inflation	
Maksimum Layer	15
Growth Rate	1,1
Edge Sizing	
Element Size	0,003m
Growth Rate	1,02
Face Size	
Element Size	0,008
Min. Size	0,002
Max. Face size	0,4
Max. size	0,5

Hava akış modeli olarak türbülans modeli kullanılmıştır. Sınır şartları, iterasyon sayısı ve yakınsama değeri tanımlandı. Kütle ve momentum denklemleri Fluent programı ile çözüldü.

Süreklilik denklemi



Şekil 3. Kanat çevresi çözüm ağı (mesh structure around the blade)

Çizelge 2. Farklı noktalardaki basınç değerleri (Pa) (Pressure values at different points)

Eleman Sayısı	Basınç noktası 1	Basınç noktası 2	Basınç noktası 3	Basınç noktası 4	Basınç noktası 5
10060	-331,369	-348,166	-365,106	-382,218	-399,468
15361	-1,05366	-0,985826	-0,917852	-0,835059	-0,75602
70267	-0,227219	-0,187646	-0,143582	-0,0963447	-0,046017
448800	-0,355111	-0,334949	-0,312868	-0,284975	-0,253899
676617	-0,386243	-0,370244	-0,349675	-0,323226	-0,294135

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_j) = 0 \quad (1)$$

Momentum denklemi

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_j - \tau_{ij}) = \frac{\partial p}{\partial x_j} + s_i \quad (2)$$

Bu iki eşitlikte

x_j = kartezyen kordinat ($j= 1, 2, 3$)

S (piezometrik basınç) = $-\rho_0 g x_m$

u_i = x_i yönündeki mutlak hız bileşenleri

P_s = statik basınç,

ρ_0 = referans yoğunluk

$x_m = \rho_0$ ' nun tanımlandığı yerdeki koordinat

g = yerçekim ivmesi

τ_{ij} = gerilme tensörünün (stress tensor) bileşenleri

Türbülanslı akış çözümü için uygulaması kolay, çabuk yakınsama, bir çok akış türü için tahmin kolaylığından dolayı standart k-ε türbülans modeli kullanılmıştır. Momentum denklemi, hızın x ve y bileşenleri, türbülansın kinetik enerjisi (k) ve türbülans dağılım oranı (ε) fluent tarafından çözülmüştür. Çözümlenen senaryoların güvenilirliği ikincil interpolasyon ve iterasyon metodu kullanılarak yüksek tutulmuştur. Şekil 3 çözüm ağı sıklığının daha iyi anlaşılabilmesi için verilmiştir.

Şekil 3a da kanat çevresindeki çözüm ağı sıklığı görülmektedir. Kanat çevresi sıklığının daha net görülmesi için Şekil 3a daki kanat çevresi daha yakınsatırılıp Şekil 3b verilmiştir. Şekil 3b deki kanat sınır tabakasındaki çözüm ağı yapısı net görülemediği için Şekil 3c verilmiştir.

Sayısal çözümün sayısal ağdan bağımsız hale getirilebilmesi için eleman sayısı 10060, 15361, 70267,

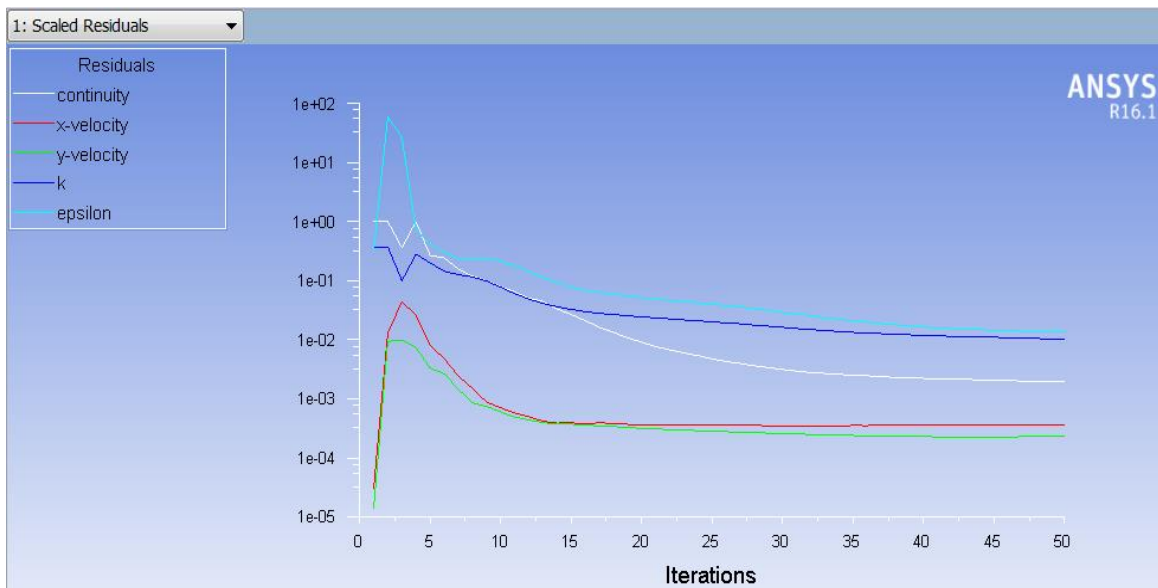
448800 ve 676617 adet olan sayısal ağlar ile çözüm yapılmıştır. Yapılan çözümlerden sonra kanat civarındaki beş farklı noktada basınç değerleri incelenmiştir. Elde edilen basınç değerleri Çizelge 2 de görülmektedir. 70267 adet eleman bulunan ağdan sonra yapılan sıklaştırma işlemlerinde elde edilen sayısal çözüm değerlerinin yaklaşık olarak sabit kaldığı görülmüştür. Bu sayede yapılan sayısal çözüm sayısal ağdan bağımsız hale getirilmiştir.

Şekil 4'de iterasyonlar arasındaki farkın değişimini gösteren yakınsama grafiği gösterilmiştir. Yakınsamada kriter, iterasyonlar arasındaki farkın sabitlenmesidir. Grafikten de 40.-50. iterasyon aralığında iterasyon değerinin sabitlendiği görülmektedir.

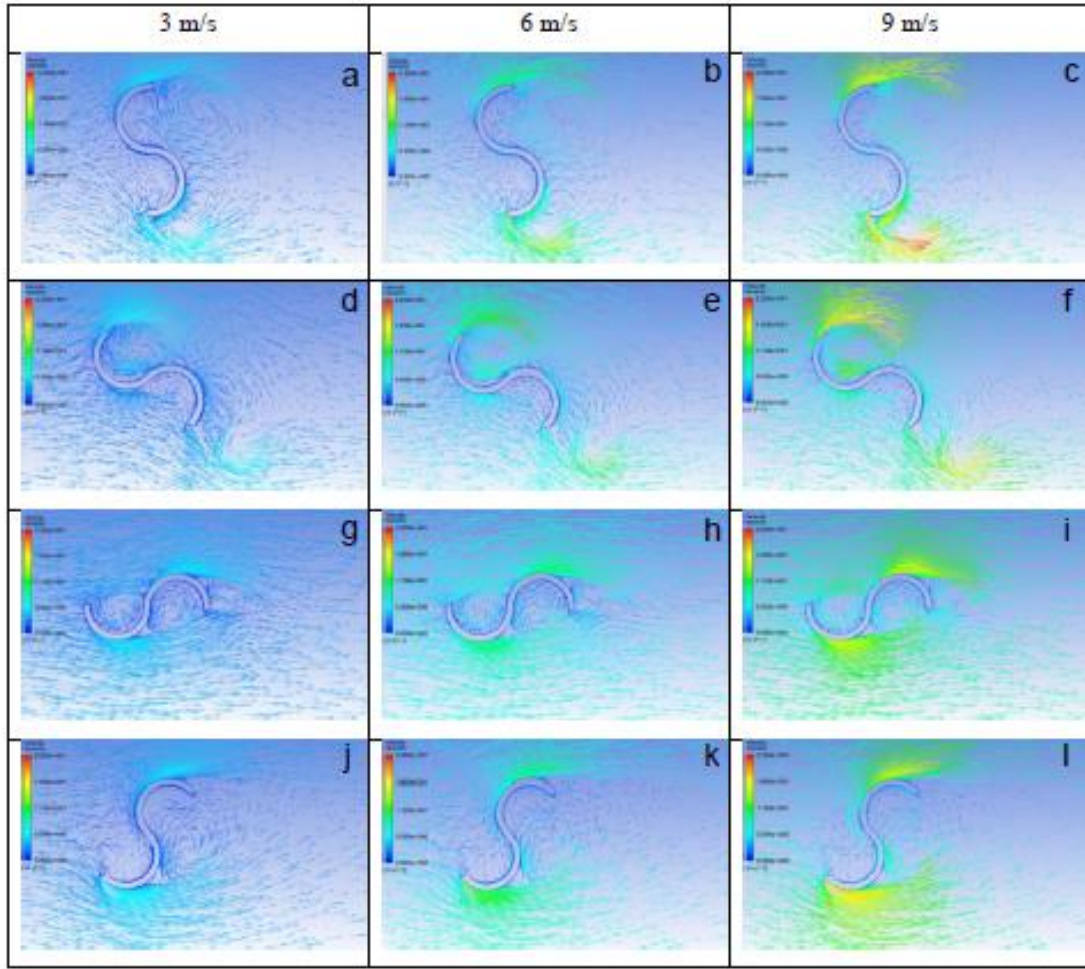
3. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULT AND DISCUSSION)

Bu çalışmada dikey eksenli savonius rüzgâr türbini kanat performansı sayısal olarak incelenmiştir. Akış alanında üç farklı rüzgâr hızı ve dört farklı kanat açısı için çözümleme yapılmıştır. Geleneksel savonius rüzgâr türbini kanatçığının etrafındaki vektörel hız (Şekil 5) ve basınç (Şekil 6) görüntüleri alınmıştır. Kanat yüzey alanı hava akış yönüne dik alanı en yüksek olan 0° de kanat arkasında en uzun kuyruk akıntısı oluşmuştur. Kanat açısının 90° olduğu durum kuyruk akıntısının en kısa olduğu andır (Şekil 5a). Hava akış yönünü (Şekil 4a soldan sağa) baz alındığında kanat ardında dönerik çevrinti yaptığı nokta görülmektedir. Aynı kanat bölgesinin arka yüzeylerinde hava hızının sıfıra yaklaştığı görülmektedir.

Hava giriş hızı 3 m/s iken kanat çevresi ve gerisinde en fazla rüzgâr hızı 5 m/s civarında olduğu görülmektedir. İç bükey kanat bölgesinin uç kısmında (saat 4 yönünde) 13,8 m/s rüzgâr hızı oluşmuştur ve kanat üst bölgesinde en yüksek rüzgâr hızı 11,5 m/s'dir (Şekil 5d). Kanat gerisinde düşük hızlı rüzgâr (kuyruk şeklinde) oluşumu



Şekil 4. Yakınsama grafiği (Convergence graphic)



Şekil 5. Kanat etrafındaki hız dağılımı (Velocity distribution around the blade)

giderek azalmış ve 90° de en kısa hale gelmiştir (Şekil 5g).

Yapılan literatür araştırmalarından sonra yaptığımız bu çalışmanın Mohamed tarafından yapılan çalışmaya yakın olduğu ancak çalışmamızda dört farklı kanat açısı ve üç farklı rüzgar hızı incelenerek daha önce yapılan bilimsel çalışmalara katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Genel olarak kanat önünde arka bölgeye göre daha yüksek basınç görülmektedir. Bu basınç farkları arttıkça kanada aktarılan enerji artacak ve bu da kanat milinden alınan torkun büyüklüğünü artıracaktır.

Atmosfer basıncına ek $28,7$ Pa basınç oluşmuş ve kanat önü basınç artışına ek olarak kanat arkalarında düşük basınç noktaları oluştuğu gözlenmiştir. Düşük basınç bölgelerindeki değerlerin atmosfer basıncının yaklaşık 140 Pa aşağısında oluştuğu tespit edilmiştir (Şekil 6b-e-h-k).

Rüzgâr hızı 9 m/s olduğunda basınç dağılımı atmosfer basıncına (101325 Pa) ek $86,36$ Pa basınç oluşmuş ve kanat önü basınç artışına ek olarak kanat arkalarında oluşan düşük basınç noktaları gözlenmiştir (Şekil 6c-f).

Bu düşük basınç bölgelerindeki değerlerin atmosfer basıncının yaklaşık 350 Pa aşağısında oluştuğu, en

yüksek ve en düşük basınç değerleri arasındaki farkın $436,86$ Pa olduğu tespit edilmiştir.

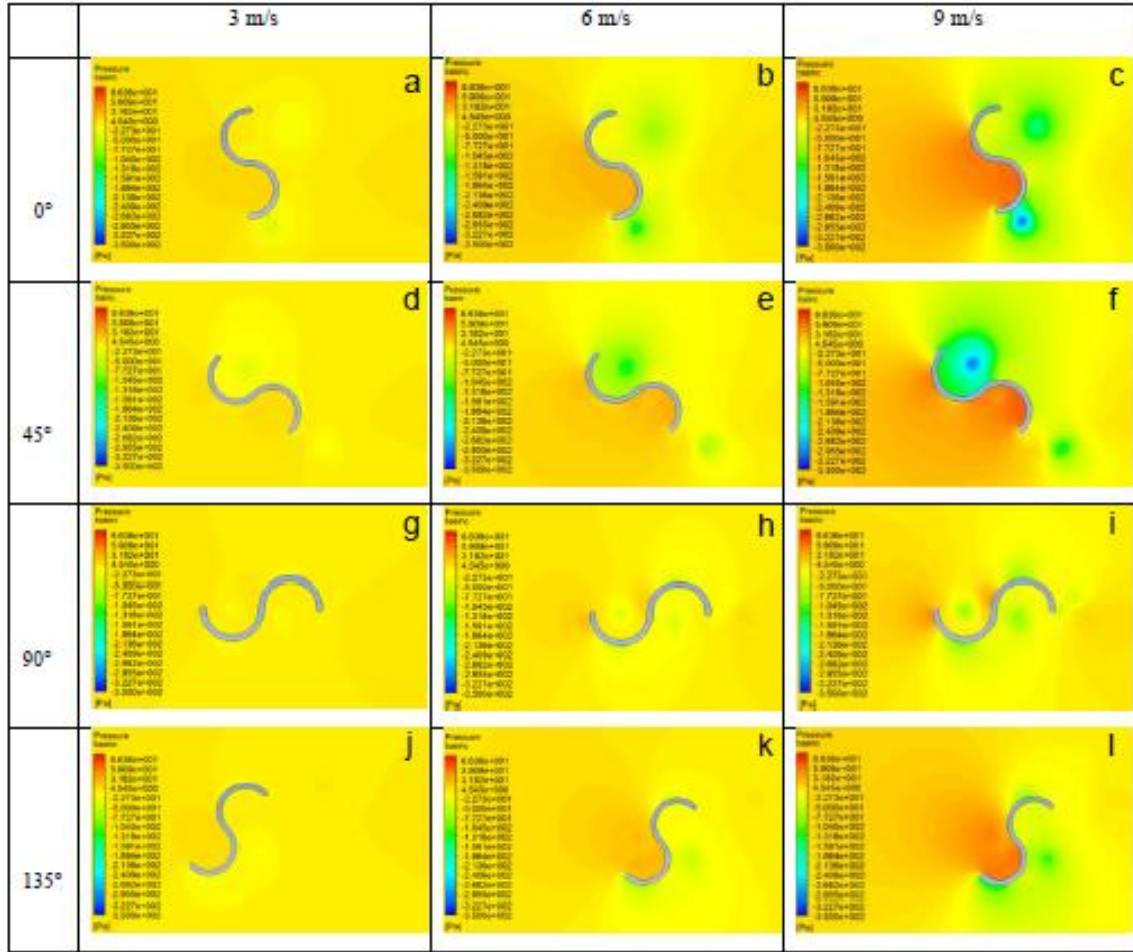
4. SONUÇ (CONCLUSION)

Solidworks yazılımı kullanılarak tasarımı yapılan savonius türbin için Ansys programının Fluent bölümünde sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak çözümlenmeler yapılmıştır. Dört farklı açıda ve üç farklı rüzgâr hızı girilerek toplam on iki senaryo için kanat etrafındaki hız ve basınç dağılımı elde edilmiştir. En büyük hava hızı 9 m/s için $21,33$ m/s olarak elde edilmiştir. Tüm basınç grafikleri için en yüksek basınç 0° ve 45° de $86,36$ Pa olarak tespit edilmiştir.

Bu çalışmada tanıtilen savonius tipi türbinler, Türkiye rüzgar haritası baz alınarak 3 m/s, 6 m/s ve 9 m/s düşük rüzgar hızının olduğu bölgelerde, evsel rüzgar türbiniyle elektrik üretimi ile ekonomiye katkı sağlayacaktır. Yapılan bu çalışmada kanat ön ve arka bölgesinde oluşan basınç farkından dolayı tork üretecektir.

Bundan sonra yapılacak çalışmalar için aşağıdaki önerilere dikkat edilmesinde fayda görülmektedir.

- Sayısal analizi yapıp yorumlanan savonius rüzgâr türbini farklı aerodinamik tasarımlarla iyileştirilebilir.



Şekil 6. Kanat etrafındaki basınç dağılımı (Pressure distribution around the blade)

- Kanat kalınlığının rotor torkuna olan etkisi çalışılabilir.
- Üç boyutlu tasarımlar yapılarak 2 boyutlu modelin doğrulaması yapılabilir.
- Kanatlar arası boşluğun verime etkisi incelenebilir.
- Helezonik kanat incelenebilir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Saeed M., Kim M. -H., "Airborne wind turbine shell behavior prediction under various wind conditions using strongly coupled fluid structure interaction formulation", *Energy Conversion and Management*, 120(Supplement C): 217-228, (2016).
- [2] Çakır B., Helvacı E., "Rüzgar Türbini Kanat Tasarımı ve Analizi", *Bitirme Tezi*, Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mekatronik Mühendisliği, Karabük, (2016).
- [3] Wilson R.E., Lissaman P.B.S., "Applied Aerodynamics of Wind Power Machines", Oregon State University Press, Oregon, (1974).
- [4] Savonius S.J., "The S- rotor and its applications", *Mechanical Engineering*, 53 (5), 333-338, (1931).
- [5] Hutter U., "Optimum Wind-Energy Conversion Systems" *Annual Review of Fluid Mechanics*, 9(1): 399-419, (1977).
- [6] Menet J.L. "A double-step Savonius rotor for local production of electricity: a design study", *Renewable Energy*, 29(11): 1843-1862, (2004)
- [7] Mohamed M.H., et al. "Optimal blade shape of a modified Savonius turbine using an obstacle shielding the returning blade", *Energy Conversion and Management*, 52(1): 236-242, (2011)
- [8] Altan B.D. and Atilgan, M. "The use of a curtain design to increase the performance level of a Savonius wind rotors", *Renewable Energy*, 35(4): 821-829, (2010)
- [9] Kılıç F. "Helezonik Savonius Rüzgar Türbini İmalatı ve Denenmesi", *Yüksek Lisans*, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Bölümü, Karabük, (2009)
- [10] Kılıç F., Çay Y., "Helezonik Savonius Türbini İmalatı ve Deneysel Olarak İncelenmesi", *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 8(1): 79-85, (2011).
- [11] Mahmoud N.H., El-Haroun A.A., Wahba E., Nasef M.H., "An experimental study on improvement of Savonius rotor performance" *Alexandria Engineering Journal*, 51(1): 19-25, (2012).

- [12] Mohamed M.H., Janiga G., Pap E., Thévenin D., “Optimization of Savonius turbines using an obstacle shielding the returning blade” *Renewable Energy*, 35(11): 2618-2626, (2010).
- [13] Mercado-Colmenero J.M., AngelRubio-Paramio M.A., Guerrero-Villarb F., Martin-Doñatea C., “A numerical and experimental study of a new Savonius wind rotor adaptation based on product design requirements” *Energy Conversion and Management*, 158: 210-234, (2018).
- [14] Sharma, S., Sharma R.K., “Performance improvement of Savonius rotor using multiple quarter blades–A CFD investigation”, *Energy Conversion and Management*, 127: 43-54, (2016).
- [15] Nasef, M.H., “A New Design of Savonius Wind Turbine:Numerical Study”, *CFD Letters*, 6(4): 144-158, (2014)



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

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



Düşey yük etkisi altındaki kazık gruplarının bozkurt optimizasyon algoritması ile optimizasyonu

Optimization of pile groups under vertical loads using grey wolf optimizer

Yazar(lar) (Author(s)): Rasim TEMÜR¹, Cihan ÖSER²

ORCID¹: 0000-0001-7154-2286

ORCID²: 0000-0002-5057-0920

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Temür R. ve Öser C., “Düşey yük etkisi altındaki kazık gruplarının bozkurt optimizasyon algoritması ile optimizasyonu”, *Politeknik Dergisi*, 22(1): 19-32, (2019).

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

DOI: 10.2339/politeknik.417754

Düşey Yük Etkisi Altındaki Kazık Gruplarının Bozkurt Optimizasyon Algoritması ile Optimizasyonu

Araştırma Makalesi / Research Article

Rasim TEMÜR*, Cihan ÖSER

Mühendislik Fakültesi, İnşaat Müh. Bölümü, İstanbul Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 11.10.2017 ; Kabul/Accepted : 06.04.2018)

ÖZ

Yumuşak/gevşek zeminler üzerine inşa edilecek temeller, geoteknik mühendisliği açısından büyük sorunlara neden olmaktadır. Temelden aktarılan düşey yükler, yumuşak/gevşek zeminde göçmeye ve/veya aşırı oturmalara neden olabilmektedir. Bu tür problemlerin önlenmesi için ilave geoteknik tedbirlerin alınması zorunlu olmaktadır. Temel altı kazık imalatı, günümüzde sıklıkla kullanılan tedbirlerden biridir. Kazıklar, sağlam zemin içindeki soket boylarına bağlı olarak, uç kazığı veya sürtünme kazığı olarak tanımlanmaktadır. Genellikle, temellerin altında meydana gelecek farklı oturmaların ve dış merkezlik etkisinin azaltılması için temel altında birden fazla kazık imal edilmektedir. Bu kazıkların birbirleriyle etkileşimi “grup etkisi” olarak tanımlanmaktadır ve bu etkileşim kazıkların yük taşıma kapasitelerinde azalmaya neden olmaktadır. Güvenli ve ekonomik bir tasarım için, tek bir kazığın taşıma kapasitesinin hesaplanması ve kazık grubundaki optimum kazık sayısının belirlenmesinde optimizasyon yapılması gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında, Bozkurt Optimizasyon algoritmasının düşey yük etkisi altındaki kazık gruplarının optimizasyon problemleri için geçerliliğinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla karşılaştırma yapılabilmesi için Parçacık Sürüşü Optimizasyon algoritması ve Geliştirilmiş Harmoni Arama algoritması kullanılmıştır. İncelenen yöntemlerin, düşey yük altındaki kazık grupları için hızlı, güvenli ve ekonomik tasarımlar yapılması konusunda mühendislere yardımcı olması amaçlanmaktadır. Yumuşak/gevşek zeminler içinde imal edilecek fore kazıkların taşıma kapasiteleri ve optimizasyonu ele alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: Grup kazıklar, optimizasyon, metasezgisel algoritmalar, kazık tasarımı.

Optimization of Pile Groups Under Vertical Loads Using Grey Wolf Optimizer

ABSTRACT

Construction of foundations or embankments on a soft/loose soil deposit causes major problems in terms of geotechnical engineering. The vertical loads transferred from the foundation can cause failure and/or extreme settlements in the soft/loose soil. Additional geotechnical precautions must be taken in order to prevent such problems. Construction of piles under foundations is a widely used method. Piles are defined as point bearing piles or friction piles depending on the embedded length of the pile in the stiff layer or rock. Generally it is preferred to construct pile groups under the foundations to reduce the effects of differential settlements and eccentricity. The interaction of a pile with the others in a group is defined as “group efficiency” and this interaction causes reduction in the load-bearing capacities of the piles. It is necessary to calculate the bearing capacity of a single pile correctly and estimate the optimum number of piles in the group to make a safe and economical design. In this paper, it is aimed to investigate the robustness of Grey Wolf optimization algorithm for optimization problems of pile groups under vertical loads. In order to compare the validity of Grey Wolf Optimization algorithm, Particle Swarm Optimization algorithm and Improved Harmony Search algorithm are used. The proposed methods are intended to help engineers to make fast, safe and economical designs for pile groups. In this study, only the bearing capacities and optimization of bored pile groups are discussed.

Keywords: Group piles, optimization, meta-heuristic algorithms, pile design.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Geoteknik mühendisliğinde karşılaşılan en önemli problemlerden birisi, yumuşak/gevşek zemin profili üzerine inşa edilen temellerdir. Temel zemininin - yumuşak/gevşek olması, yüksek sıkışabilir özellikte olması ve düşey yükleri taşıyamayacak kadar zayıf olması durumunda ilave tedbirlerin alınması zorunlu olmaktadır. Gerekli tedbirlerin alınmaması durumunda taşıma gücü göçmeleri ve/veya aşırı oturma problemleri meydana gelmektedir. Yumuşak/gevşek zeminin daha

yüksek mukavemetli bir malzeme ile değiştirilmesi, mevcut zeminin mukavemet özelliklerinin sıkıştırılarak iyileştirilmesi (vibro kompaksiyon, taş kolonlar, dinamik kompaksiyon, vb.), zemin içinde çimento enjeksiyonu ve bazı kimyasal bağlayıcılar yardımıyla kolonlar oluşturulması (jetgrout, derin karıştırma, vb.), çakma veya fore kazıkların imal edilmesi en çok kullanılan zemin iyileştirme yöntemleri olarak sayılabilir.

Üst yapı yüklerinin güvenli şekilde taşınabilmesi için ülkemizde en sık kullanılan yöntemlerden biri temel altı kazıklarının imal edilmesidir. Yumuşak/gevşek zemin tabakasının derinliğinin fazla olması durumunda

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : temur@istanbul.edu.tr

kazıkların sağlam zemin tabakasına soketlenmesi mümkün olmamaktadır. Bu gibi durumlarda kazıklar sürtünme kazığı olarak tasarlanmalıdır. Eğer kazıkların sağlam zemin tabakasına yeteri kadar soketlenmesi mümkün ise, bu durumda kazıklar uç kazığı olarak tanımlanmaktadır. Hem uç kazıklarının, hem de sürtünme kazıklarının nihai ve emniyetli taşıma kapasitelerinin hesaplanması Das [1] ve Bowles [2]'un çalışmalarında detaylı olarak anlatılmaktadır. Kazıklar, zeminde neden olabilecekleri deplasman miktarlarına bağlı olarak aşağıdaki şekilde sınıflandırılırlar :

1. Zeminde çok yer değiştirmeye neden olan kazıklar (çakma kazıklar)
2. Zeminde az yer değiştirmeye neden olan kazıklar (H kesitli, ucu açık çelik tüp kazıklar)
3. Zeminde yer değiştirmeye neden olmayan kazıklar (fore kazıklar)

Fore kazık uygulaması, Türkiye’de en fazla kullanılan yöntemlerden biri olduğundan bu çalışma kapsamında fore kazıkların optimizasyonu tercih edilmiştir.

Temellerdeki farklı oturmaların engellenmesi ve dış merkezlik etkisinin azaltılması için genellikle temellerin altına birden fazla kazık imal edilir. Sürtünme kazıklarından oluşan kazık grubu içindeki tek bir kazığın davranışı, grup içindeki diğer kazıklardan etkilenmektedir. Grup içindeki kazıklar arasındaki etkileşim “grup etkisi” olarak adlandırılmaktadır. Kazıkların birbirlerine çok yakın olması durumunda kazıklarda etkili olan gerilmeler kesişir. Bu sebepten dolayı, kazık grubunun taşıyabileceği toplam yük, grup içindeki her bir kazığın taşıyabileceği yüklerin toplamından daha az olmaktadır.

Güvenli ve ekonomik bir tasarım yapabilmek ve gruptaki yeterli ve uygun kazık sayısını doğru şekilde belirleyebilmek için optimizasyon yapılması önem arz etmektedir. Literatürde kazık gruplarının optimizasyonu konusunda yapılan çalışmalar bulunmaktadır. Hurd ve Truman tarafından yapılan çalışmada [3] en iyileme kriteri yöntemi kullanılarak çelik kazıkların boyut optimizasyonu incelenmiştir. Chan vd. tarafından yapılan çalışmada [4] kazık gruplarının malzeme hacmi, kazık çapı ve sayısı genetik algoritma tabanlı bir yöntemle optimize edilmiştir. Hwang vd. [5] kazık sayısı belli olan

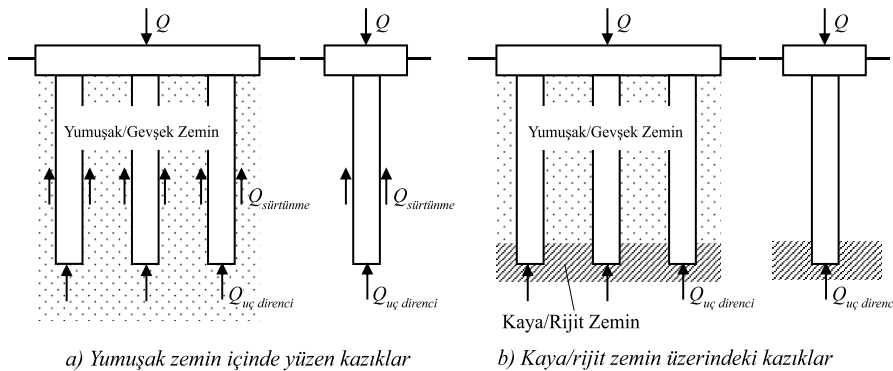
kazık gruplarında kazık çapı ve boyunun yanı sıra kazık başlığı kalınlığının optimizasyonunu genetik algoritma tabanlı bir yöntemle incelemiştir. Liu vd. [6] Çin mevzuatına uygun olarak kazık çapı, boyu ve sayısını genetik algoritma tabanlı bir yöntem kullanarak incelemiştir. Bengtlars vd. [7] tarafından genetik algoritma ve doğrudan arama yöntemleri kullanılarak kazıkların koordinatları, eğimi ve sayısı optimize edilmiştir. Bu çalışmada, tek bir kazığın ve bir kazık grubunun taşıma kapasitesi, geoteknik mühendisliğinde uygulanan geleneksel yöntemler kullanılarak hesaplanmıştır. Literatürde yapılan kazık gruplarının optimizasyonu çalışmalarından farklı olarak bu çalışma kapsamında; Parçacık Sürüşü Optimizasyonu [8], Geliştirilmiş Harmoni Arama Algoritması [9] ve Bozkurt Optimizasyon Algoritması [10] kullanılmıştır.

2. PROBLEM FORMULASYONU (PROBLEM FORMULATION)

Bir kazık grubunun nihai ve emniyetli taşıma kapasitesinin belirlenebilmesi için gruptaki her bir kazığın taşıma gücünün doğru şekilde hesaplanması gerekmektedir.

2.1. Düşey Yükler Altındaki Fore Kazıkların Taşıma Kapasitesi (Bearing Capacity of Bored Piles under Vertical Loads)

Bilindiği üzere temel altı kazıkları, üst yapı yüklerini zeminin derin tabakalarına aktarmak için kullanılan yapısal elemanlardır. Bu yük aktarımı, kazık shaftı yüzey alanı boyunca olabileceği gibi direk olarak kazık ucu tarafından da olabilmektedir. Bazı durumlarda sağlam zemin tabakasının yüzeyden oldukça derin olması nedeniyle kazık uçlarının sağlam tabakaya soketlenmesi mümkün olmamaktadır. Bu gibi durumlarda kazıkların tamamı yumuşak/gevşek zemin içinde kalmaktadır. Bu tür kazıklar düşey yük etkisi altında deplase olurlar ve üst yapı yükleri kazık shaftı boyunca oluşan sürtünme etkisi ve kazık ucundaki uç direnci tarafından taşınır (Şekil 1a). Kazık uçlarının sağlam zemine soketlenmesi durumlarında ise kazıklardaki deplasman miktarı çok düşük olduğundan kazık shaftı boyunca çevre sürtünmesi oluşmaz ve üst yapı yükleri yalnızca kazık uç direnci tarafından taşınır (Şekil 1b).



Şekil 1. Rijit zemin tabakasının derinliğine bağlı olarak kazıkların kullanımı (Conditions for use of pile foundations depending on depth of stiff soil layer)

Şekil 1a'da görüldüğü gibi uygun derinlikte kaya veya rijit zemin tabakanın olmaması durumunda kazıklar yumuşak/gevşek zemin içinde imal edilirler ve bu tür kazıklar "sürtünme kazığı" olarak tanımlanır. Sürtünme kazıklarının taşıma gücü Denklem 1'de görüldüğü gibidir.

$$Q = Q_{\text{sürtünme}} + Q_{\text{uç direnci}} \quad (1)$$

Şekil 1b'deki gibi kazık uçlarının kayaya veya sağlam zemin tabakasına soketlenmesi durumunda bu tür kazıklar "uç kazığı" olarak tanımlanmaktadır ve uç kazıklarının taşıma gücü Denklem 2'deki gibidir.

$$Q = Q_{\text{uç direnci}} \quad (2)$$

2.1.1. Fore kazıkların uç taşıma kapasitesi (Point bearing capacity of bored piles)

Geoteknik mühendisliğinde kazıklar derin temeller olarak tanımlanır ve yüzeysel temellere nazaran çok daha derinde imal edilirler. Kazıklı temellerin taban göçme davranışı, yüzeysel temellerin göçme davranışı ile aynı prensiplere sahiptir. Yüzeysel temellerin taşıma kapasiteleri Denklem 3'teki gibi hesaplanmaktadır.

$$q_p = c \cdot N_c^* + q' \cdot N_q^* + \gamma \cdot D \cdot N_\gamma^* \quad (3)$$

Yüzeysel temellerden farklı olarak, derin temellerde temel genişliği (kazık çapı, D) temel derinliğinden oldukça küçük olmaktadır ve bu nedenle Denklem 3'teki $\gamma \cdot D \cdot N_\gamma^*$ terimi ihmal edilerek kazıkların nihai uç taşıma gücü (Q_p) Denklem 5'teki gibi hesaplanmaktadır.

$$q_p = c \cdot N_c^* + q' \cdot N_q^* \quad (4)$$

$$Q_p = q_p \cdot A_p \quad (5)$$

Denklem 3 ve 5'te:

c : kazık ucunun içinde bulunduğu zemin tabakasının kohezyonunu

q_p : birim uç direncini (örn. kN/m^2)

q' : temel tabanı seviyesinde efektif düşey gerilmeyi (örn. kN/m^2)

N_c^*, N_q^*, N_γ^* : taşıma kapasitesi faktörlerini

A_p : kazık taban alanını

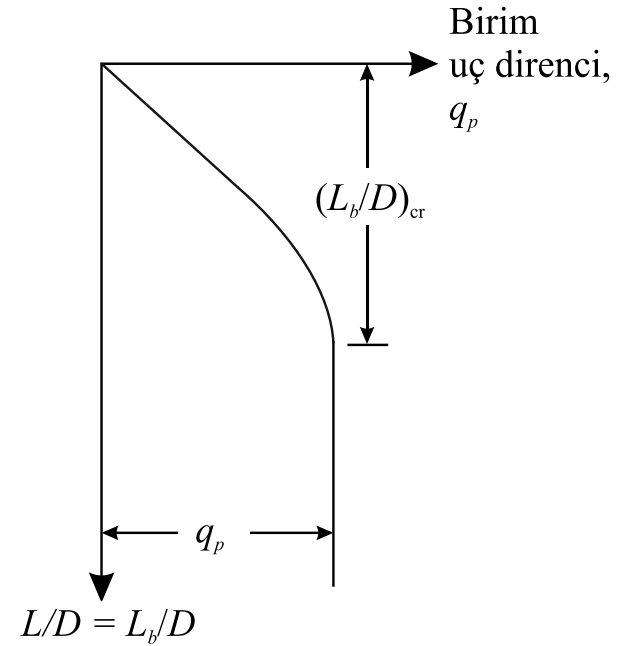
simgelemektedir. Denklem 4'te görüldüğü üzere taşıma gücü hesaplamaları hem kohezyon (c) değerine, hem de kayma mukavemeti açısına (ϕ) bağlı olmaktadır. Bu nedenle kazıklarda uç taşıma kapasitesi, kazık ucunun granüler veya kohezyonlu zemin içinde bulunması durumları için ayrı ayrı hesaplanmaktadır.

2.1.1.1. Granüler zeminlerde kazık uç taşıma kapasitesi (Point Bearing Capacity in Granular Soils)

Granüler zeminlerdeki kazıkların uç taşıma gücünün (Q_p) hesaplanmasında birkaç farklı yöntem kullanılmaktadır [11-13]. Bu çalışma kapsamında, hesaplamalarda en sık kullanılan Meyerhof Yöntemi [11] ele alınmıştır.

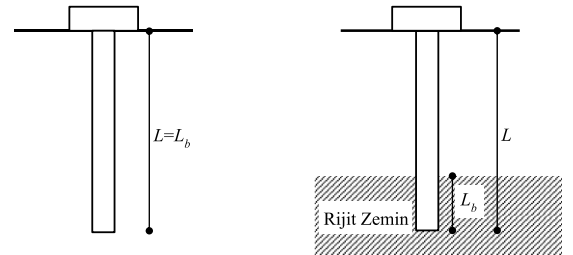
Meyerhof'un çalışmasında [11] anlatıldığı üzere, kumlu granüler zeminlerde bir kazığın uç taşıma kapasitesi, derinliğe bağlı olarak artmakta ve "kazık soket boyu/kazık çapı" oranının (L_b/D) belli bir değere ulaşmasından sonra Şekil 2'de görüldüğü gibi sabit

kalmaktadır. Zemin tabakalanmasının Şekil 3a'daki gibi homojen olması durumunda kazık soket boyu, kazık boyuna eşit olmaktadır ($L_b=L$). Ancak kazığın Şekil 3b'de görüldüğü gibi sağlam zemin tabakasına soketlenmesi durumunda kazık soket boyu L_b olmaktadır.



Şekil 2. Homojen kumlarda birim uç direncin değişimi (Variation of unit point resistance in homogenous sand)

Meyerhof yönteminde, taşıma gücü faktörlerinin (N_c^* ve N_q^*), L_b/D oranı ile arttığı ve $0.5(L_b/D)$ değerinde maksimum değere ulaşarak sabit kaldığı belirtilmektedir.



a) Homojen zemin tabakası içinde tek bir kazık b) Rijit zemin tabakasına soketlenen tek bir kazık

Şekil 3. Tek bir kazığın soket boyu (Embedment length of a single pile)

Granüler zeminlerde kohezyon değerinin sıfır olması nedeniyle ($c=0$) Denklem 4 sadeleştirilerek Denklem 6'ya dönüşmektedir.

$$q_p = q' \cdot N_q^* \quad (6)$$

Meyerhof'a göre uç taşıma direnci belli bir derinlikten sonra sabit kalacaktır ve Denklem 7'de hesaplanan değer limit uç taşıma direnci olmaktadır.

$$q_p(\text{limit}) (kN/m^2) = 50 \cdot N_q^* \cdot \tan(\phi) \quad (7)$$

Taşıma gücü faktörü (N_q^*) değerleri Çizelge 1'de verilmiştir [1].

2.1.1.2. Kohezyonlu zeminlerde kazık uç taşıma kapasitesi (Point Bearing Capacity in Cohesive Soils)

Kohezyonlu zeminlerdeki kazıkların uç taşıma kapasitesi (Q_p), granüler zeminlerde olduğu gibi birkaç farklı yöntem ile hesaplanmaktadır. Bu çalışma kapsamında, hesaplamalarda en sık kullanılan Meyerhof Yöntemi tercih edilmiştir.

Suya doymuş kohezyonlu zeminlerde kayma mukavemeti açısı değeri sıfır olmaktadır ($\phi=0$) ve kazıkların uç taşıma gücü Denklem 8'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$q_p = c_u \cdot N_c^* = c_u \cdot 9 \quad (8)$$

Burada c_u , kohezyonlu zeminin drenajsız kayma mukavemetini temsil etmektedir.

Çizelge 1. Taşıma gücü faktörü (N_q^*) değerleri (Interpolated values of N_q^*)

İçsel sürtünme açısı, ϕ (°)	N_q^*	İçsel sürtünme açısı, ϕ (°)	N_q^*
20	12.4	33	96.0
21	13.8	34	115.0
22	15.5	35	143.0
23	17.9	36	168.0
24	21.4	37	194.0
25	26.0	38	231.0
26	29.5	39	276.0
27	34.0	40	346.0
28	39.7	41	420.0
29	46.5	42	525.0
30	56.7	43	650.0
31	68.2	44	780.0
32	81.0	45	930.0

2.1.2. Fore kazıkların sürtünme direnci (Frictional Resistance of Bored Piles)

Kazık shaftı boyunca oluşan çevre sürtünmesi (Q_f) Denklem 9'daki gibi hesaplanmaktadır.

$$Q_f = \sum(p \cdot \Delta L \cdot f) \quad (9)$$

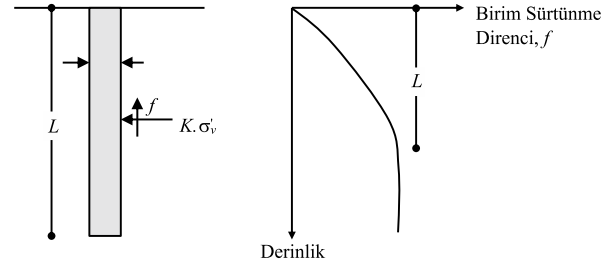
Denklem 9'da:

f : ilgili zemin tabakası için birim sürtünme direncini

ΔL : ilgili zemin tabakasının kalınlığını

p : kazık shaftının çevresini

simgelemektedir. Kazık shaftı boyunca oluşan sürtünme direnci, kazık gövdesinin içinde bulunduğu her zemin tabakası için zemin türüne bağlı olarak (granüler, kohezyonlu) ayrı ayrı hesaplanmaktadır.



Şekil 4. Granüler zeminlerde kazık shaftı boyunca oluşan birim sürtünme direnci (Unit frictional resistance along pile shaft in granular soils)

2.1.2.1. Granüler zeminlerde sürtünme direnci (Frictional Resistance in Granular Soils)

Günümüze kadar yapılan çalışmalara ve gözlemlere göre, birim sürtünme direncinin derinlikle birlikte arttığı ve belirli bir L' derinliğinden itibaren sabit kaldığı bilinmektedir. Kritik L' derinliği, kazık çapı olan D 'nin 15-20 katı kadar olabilmektedir. Birim sürtünme direncinin derinliğe bağlı olarak değişimi Şekil 4'te görülmektedir.

Granüler zeminler için sürtünme direnci (f), Denklem 10'da görüldüğü gibi elde edilmektedir.

$$f = K \cdot \sigma_v' \cdot \tan(\delta) \quad (10)$$

Denklem 10'da;

K : ilgili zemin tabakası için efektif yanal toprak basıncı katsayısını

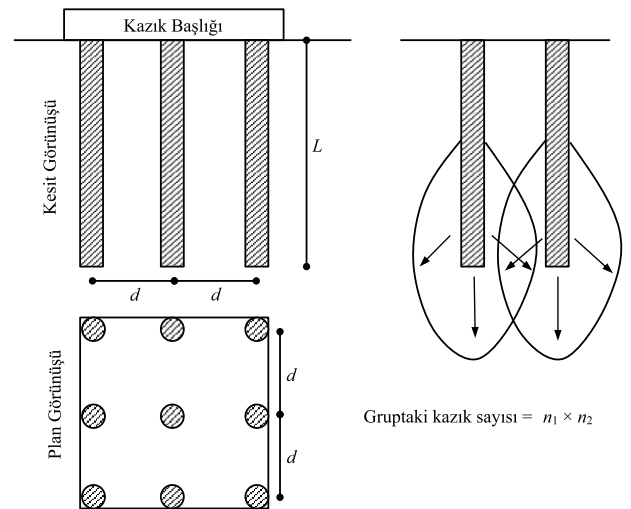
σ_v' : ilgili zemin tabakası için ortalama düşey efektif gerilmeyi

δ : zemin-kazık arası sürtünme açısını

simgelemektedir. Daha önce de belirtildiği gibi, sürtünme direnci belirli bir L' derinliğinden itibaren sabit kalmaktadır. Buna bağlı olarak, kritik derinlik olan L' ile kazık uç noktası olan L arasındaki bölümde;

$$f = f_{z=L'} \quad (11)$$

Denklem 10'da verilen toprak basıncı katsayısı (K) fore kazık için 0.7 ve zemin-kazık sürtünme açısı (δ) beton için $\frac{3}{4}\phi$ olarak kullanılmaktadır [14].



Şekil 5. Kazık grupları ve zemin gerilmelerinin üst üste çakışması [1] (Pile groups and overlap of soil pressures)

2.1.2.2. Kohezyonlu zeminlerde sürtünme direnci (Frictional Resistance in Cohesive Soils)

Kohezyonlu zeminlerde sürtünme direncinin hesaplanmasında sıklıkla kullanılan yöntemlerden ikisi: α yöntemi ve λ yöntemidir. Bu çalışma kapsamında kohezyonlu zeminlerde sürtünme direncinin hesaplanmasında α yöntemi tercih edilmiştir.

α yöntemine göre birim sürtünme direnci (f) Denklem 12'de görüldüğü gibi hesaplanmaktadır.

$$f = \alpha \cdot c_u \quad (12)$$

Denklem 12'de α , ampirik adezyon katsayısını simgelemektedir ve drenajsız kayma mukavemeti (c_u) değerine bağlı olarak Terzaghi [15] tarafından yayımlanan tablodan elde edilmektedir.

2.2. Kazık Gruplarında Grup Etkisi (Group Efficiency in Pile Groups)

Kazık gruplarının taşıma kapasitesinin hesaplanması karmaşık bir konudur. Bir kazık grubunda bir veya daha fazla kazığın birbirine yakın olarak imal edilmesi durumunda, çevre sürtünmesi ve/veya uç taşıma gücü nedeniyle oluşan zemin gerilmelerinin üst üste çakışacağı ve kazıkların toplam taşıma gücünde azalma meydana geleceği kabul edilmektedir. Bir kazık grubundaki zemin gerilmelerinin çakışması Şekil 5'teki gibi gösterilmektedir. Grup içindeki kazıkların yoğunluğunun fazla olması ve kazıkların birbirine fazla yakın olması durumunda kazıklar bir bütün olarak göçmeye uğrar ve/veya aşırı oturmalar meydana gelir.

Çeşitli yönetmeliklere göre önerilen kazık merkezleri arasındaki olması gereken minimum mesafeler Çizelge 2'de verilmektedir.

Çizelge 2. Kazık merkezleri arasındaki olması gereken minimum mesafeler (Minimum center to center pile spacings)

Kazık Türü	Yönetmelik		
	BOCA [16]	NBC [17]	CBC [18]
Sürtünme Kazıkları	2D* veya 1.75H** \geq 760mm	2D veya 1.75H \geq 760mm	2D veya 2H \geq 760mm
Uç Kazıkları	2D veya 1.75H \geq 610mm	2D veya 1.75H \geq 610mm	

D* Kazık çapı

H** Dikdörtgen kesitli kazıkların diyagonal uzunluğu

Bir gruptaki kazıklar ve çevresindeki zemin arasındaki etkileşim çok karmaşık olup, grubun nihai taşıma kapasitesi sürtünme kazıkları için tek bir kazığın nihai taşıma kapasitesi ile kazık sayısının çarpımına eşit olmamaktadır. Kazıklar arasındaki bu etkileşimlerin tesiri "Grup Etkisi" olarak adlandırılmaktadır. Bir kazık grubunun yük taşıma kapasitesi Denklem 13'te görüldüğü gibi hesaplanmaktadır.

$$Q_{u(grup)} = Q_{u(kazık)} \cdot \eta \cdot n \quad (13)$$

Grup etkinlik katsayısının hesaplanmasında Denklem 14-16'da verilen formüller [1] kullanılmaktadır.

Converse-Labarre denklemi:

$$\eta = 1 - \left[\frac{(n_1-1) \cdot n_2 + (n_2-1) \cdot n_1}{90 \cdot n_1 \cdot n_2} \right] \cdot \tan^{-1} \left(\frac{D}{d} \right) \quad (14)$$

Los Angeles Grup Etkinlik denklemi:

$$\eta = 1 - \frac{D}{\pi d \cdot n_1 \cdot n_2} \left[n_1 \cdot (n_2 - 1) + n_2 \cdot (n_1 - 1) + \sqrt{2} \cdot (n_1 - 1) \cdot (n_2 - 1) \right] \quad (15)$$

Seiler-Keeny denklemi:

$$\eta = \left(1 - \left[\frac{11d}{7(d^2-1)} \right] \cdot \left[\frac{n_1+n_2-2}{n_1+n_2-1} \right] \right) + \frac{0,3}{n_1+n_2} \quad (16)$$

Denklem 13-16'da;

η : grup etkinlik katsayısı

$Q_{u(grup)}$: kazık grubunun nihai yük taşıma kapasitesi

$Q_{u(kazık)}$: tek bir kazığın nihai yük taşıma kapasitesi

n : gruptaki kazık sayısı

n_1, n_2 : kazık grubunun iki yönündeki kazık sayıları

D : kazık çapı

d : kazık merkezleri arasındaki mesafe

olarak tanımlanmaktadır.

3. OPTİMİZASYON ALGORİTMALARI (OPTIMIZATION ALGORITHMS)

Bu çalışmada, düşey yük altındaki kazık gruplarının optimum tasarımını incelemek amacıyla üç farklı optimizasyon algoritması kullanılmıştır. Bu algoritmalarından ikisi literatürde çok sayıda problemin çözümünde başarı ile uygulanan Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (PSO) algoritması ve Harmoni Arama algoritmasının geliştirilmiş sürümü olan Geliştirilmiş Harmoni Arama (GHA) algoritmasıdır. Üçüncü algoritma ise Mirjalili vd. [10] tarafından geliştirilen Bozkurt Optimizasyonu (BO) Algoritması'dır. Bu algoritmaların çalışma prensipleri, takip eden alt başlıklarda açıklanmıştır.

3.1. Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (Particle Swarm Optimization)

Kennedy ve Eberhart [8] tarafından, kuşların ve balıkların sürü davranışlarından ilham alınarak geliştirilen Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (PSO) algoritması, kullanım alanı en geniş algoritmalarından birisidir. PSO algoritmasında, diğer metasezgisel algoritmalarda olduğu gibi öncelikle, tanımlanmış limit değerler arasında yer alan rastgele değerler seçilerek bir başlangıç çözüm matrisi oluşturulur ve amaç fonksiyonu değerleri hesaplanır. Elde edilen amaç fonksiyonu değerleri kullanılarak yeni bir çözüm kümesi üretilir. Üretilen yeni çözüm kümesinin eski çözüm kümesinden daha iyi bir amaç fonksiyonu değerine sahip olması durumunda, eski çözüm kümesi matristen çıkartılır ve

yerine yeni çözüm kümesi eklenir. Bu işlem durdurma kriteri sağlanıncaya kadar devam eder.

PSO algoritmasında yeni çözüm kümesinin elemanlarını üretmek için bir hız vektörü üretilir ve bu hız değerleri, eski çözüm kümesi değerlerine eklenir. Bu işlemlerin denklemleri aşağıdaki gibi yazılır:

$$V_i^{t+1} = V_i^t + C_1 \cdot r_1^{t+1} \cdot (X_{lbest} - X_i^t) + C_2 \cdot r_2^{t+1} \cdot (X_{gbest} - X_i^t) \quad (17a)$$

$$X_i^{t+1} = X_i^t + V_i^{t+1} \quad (17b)$$

Denklem 17'de t iterasyon numarasını, V_i^{t+1} parçacığın hızını, V_i^t parçacığın önceki hızını, C_1 ve C_2 ivme sabitlerini, r_1^{t+1} ve r_2^{t+1} [0, 1] arasında düzgün dağılımlı rastgele sayıları, X_{lbest} parçacığın geçmişteki en iyi konumunu, X_{gbest} en iyi amaç fonksiyonu değerine sahip çözüm kümesindeki parçacığın konumunu, X_i^{t+1} parçacığın yeni konumunu ve X_i^t ise parçacığın önceki konumunu simgelemektedir.

Shi ve Eberhart [19], atalet ağırlığı olarak adlandırılan ve w ile simgelenen bir katsayıyı hız denklemine ekleyerek, algoritmanın başarımını artırmayı amaçlamışlardır. Atalet ağırlığının eklenmesiyle yeni çözüm kümesi elemanlarını üretmek için kullanılan hız denklemleri

$$V_i^{t+1} = w \cdot V_i^t + C_1 \cdot r_1^{t+1} \cdot (X_{lbest} - X_i^t) + C_2 \cdot r_2^{t+1} \cdot (X_{gbest} - X_i^t) \quad (18)$$

olarak değiştirilmiştir. Bu çalışmada, literatürde yaygın olarak kullanılması sebebiyle atalet ağırlığının yer aldığı hız denklemi tercih edilmiştir.

3.2. Geliştirilmiş Harmoni Arama (Improved Harmony Search)

Harmoni Arama (HA) Geem vd. [9] tarafından geliştirilen bir metasezgisel algoritmadır. HA üç adet algoritmaya özgü parametreye ihtiyaç duymaktadır. Bu parametreler; harmoni belleğini dikkate alma oranı (HMCR), ton ayarlama oranı (PAR) ve bant genişliğidir (bw).

HA algoritmasında, yeni bir çözüm kümesinin değerleri Denklem 19 kullanılarak üretilir:

$$X'_i \leftarrow \begin{cases} X'_i \in \{X_i^1, X_i^2, \dots, X_i^{HMS}\} & \text{olasılık HMCR} \\ X'_i \in x_i & \text{olasılık (1 - HMCR)} \end{cases} \quad (19a)$$

$$\text{Ton ayarlama kararı } X'_i \leftarrow \begin{cases} \text{Evet} & \text{olasılık PAR} \\ \text{Hayır} & \text{olasılık (1 - PAR)} \end{cases} \quad (19b)$$

Bu denklemde; i numaralı değişkenin değeri X'_i , popülasyon sayısı HMS , i numaralı değişkenin bellekteki değerleri $\{X_i^1, X_i^2, \dots, X_i^{HMS}\}$, i numaralı değişkene ait arama aralığı x_i ile gösterilmiştir. PAR olasılığının gerçekleşmesi durumunda, X'_i aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$X'_i = X'_i \pm \text{rand}() \cdot bw \quad (20)$$

Bu işlemlerin sonucunda üretilen yeni çözüm kümesinin amaç fonksiyonu değerinin, bellekteki en kötü değere sahip olan çözüm kümesinden daha iyi olması durumunda, bellekteki en kötü değere sahip olan çözüm kümesi bellekten silinir ve yeni çözüm kümesi belleğe eklenir. Bu işlem, durdurma kriteri sağlanıncaya kadar devam eder.

Mahdavi vd. [20] "Geliştirilmiş Harmoni Arama (GHA)" adını verdikleri yeni bir HA türevi yayımlamışlardır. Buna göre, optimizasyon işlemi süresince iterasyon sayısına bağlı olarak PAR değeri doğrusal, bw değeri ise üstel olarak değişmektedir. Bu parametrelerin değişimi aşağıdaki denklemlerle hesaplanmaktadır:

$$PAR(gn) = PAR_{min} + \frac{(PAR_{max} - PAR_{min})}{NI} \times gn \quad (21a)$$

$$bw(gn) = bw_{max} \cdot \exp(c \cdot gn); c = \frac{\ln(\frac{bw_{min}}{bw_{max}})}{NI} \quad (21b)$$

Bu denklemlerde, $PAR(gn)$ bir iterasyondaki ton ayarlama oranını, PAR_{min} ve PAR_{max} ton ayarlama oranının en düşük ve en yüksek değerlerini, NI optimizasyon işleminde yapılacak maksimum iterasyon sayısını, gn iterasyon numarasını, $bw(gn)$ bir iterasyondaki bant genişliği değerini, bw_{max} ve bw_{min} ise bant genişliğinin alabileceği en büyük ve en küçük değerleri temsil etmektedir.

3.3. Bozkurt Optimizasyon Algoritması (Grey Wolf Optimizer)

Mirjalili vd. [10] tarafından, bozkurtların (İngilizce: Grey Wolf, Latince: *Canis lupus*) avlanma davranışlarından ilham alınarak geliştirilmiştir. Buna göre; başlangıç çözüm kümeleri, amaç fonksiyonu değerlerine göre sıralanır ve en iyi değere sahip ilk üç çözüm kümesi sırasıyla alfa (α), beta (β) ve delta (δ) kümesi olarak tanımlanır. Belirlenen bu kümelerdeki değerler Denklem 22-24'te kullanılarak üç yeni değer üretilir.

$$X_1 = X_\alpha - A_1 \cdot |C_1 \cdot X_\alpha - X| \quad (22)$$

$$X_2 = X_\beta - A_2 \cdot |C_2 \cdot X_\beta - X| \quad (23)$$

$$X_3 = X_\delta - A_3 \cdot |C_3 \cdot X_\delta - X| \quad (24)$$

Bu denklemlerde X_α , X_β ve X_δ terimleri sırasıyla α , β ve δ kümelerindeki değişken değerlerini, X mevcut çözüm kümeleri içindeki bir değeri simgelemektedir. Denklemde bulunan A ve C değerleri ise değişken katsayısı olup Denklem 25-26 ile hesaplanırlar.

$$A = 2 \cdot a \cdot r_1 - a \quad (25)$$

$$C = 2 \cdot r_2 \quad (26)$$

Bu denklemlerde r_1 ve r_2 [0,1] arasında düzgün dağılımlı iki farklı rastgele sayıdır. a ise iterasyon sayısına bağlı olarak 2'den 0'a doğru azalan bir katsayıdır.

α , β ve δ kümeleri için ayrı ayrı hesaplanan üç değer aritmetik ortalaması, yeni çözüm kümesinin değerini vermektedir (Denklem 27).

$$X_{yeni} = \frac{X_1 + X_2 + X_3}{3} \quad (27)$$

Bu işlemler sonucunda üretilen yeni çözüm kümeleri, önceki çözüm kümelerinin yerine geçer. Amaç fonksiyonu değerleri alfa (α), beta (β) ve delta (δ) kümelerinin amaç fonksiyonu değerlerinden daha iyi değerlere sahipse, bu kümeler yeni kümelerin değerleriyle güncellenir ve iterasyon işlemine durdurma kriteri sağlanıncaya kadar devam edilir.

4. AMAÇ FONKSİYONU (OBJECTIVE FUNCTION)

Bu çalışmada, kazık çapları, kazık boyları ve aralıkları optimizasyon değişkeni olarak tanımlanmıştır. Amaç fonksiyonu ise delgi, donatı, beton, nakliye ve işçilik maliyetlerinin tamamını içeren en düşük toplam maliyet olarak tanımlanmıştır. Kazıklar için maliyet optimizasyonunun amaç fonksiyonu

$$\min f(X) = n_1 \cdot n_2 \cdot C_p \quad (28)$$

şeklinde yazılabilir. Bu denklemde, n_1 ve n_2 iki yöndeki kazık sayılarını, C_p ise kazık birim maliyetini temsil etmektedir.

5. SAYISAL ÖRNEKLER (NUMERICAL EXAMPLES)

Bu çalışma kapsamında üç farklı sayısal örnek ele alınmıştır. Bütün örnekler için temel boyutları $20\text{ m} \times 30\text{ m}$, toplam sürşarj yükü 100000 kN , kazık aralıkları için alt ve üst değerler ise sırasıyla $2.5D$ ve $4D$ olarak tanımlanmıştır. Kazık çapı ve birim maliyet değerleri ise Çizelge 3'te sunulmuştur.

Çizelge 3. Kazık çapları ve birim maliyetleri (Diameters and unit costs for pile)

Kazık çapı (m)	Birim Maliyet (₺/m)	
	Kazık boyu < 18 m	Kazık boyu > 18 m
0.30	69.50	69.50
0.45	92.74	92.74
0.65	158.20	170.05
0.80	209.85	229.60
1.00	318.85	354.78
1.20	440.81	492.14
1.65	739.79	842.44

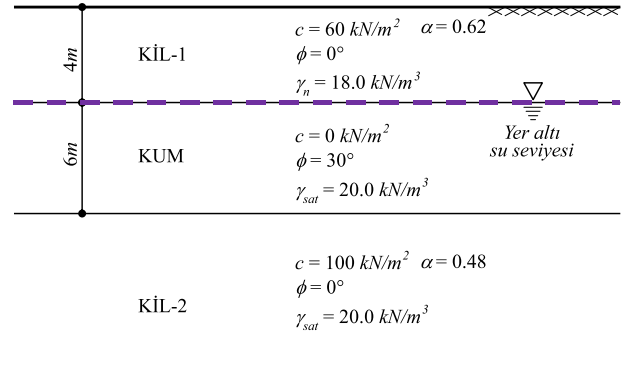
Optimizasyon işlemi sırasında türetilen farklı kazık boylarının uç kazık davranışına sebep olmaması ve kazıkların sadece sürtünmeli kazık olarak davranabilmesi için kullanılan örneklerdeki en alt zemin tabakasının derinliği sonsuz kabul edilmiştir. Analizlerde kazık gruplarının taşıma kapasitesi limit durum (*Güvenlik katsayısı* = 1) için belirlenmiştir.

PSO algoritması için Pedersen [21] tarafından önerilen algoritma parametreleri kullanılmıştır. Buna göre ivme

sabitleri $C_1 = -0.6485$, $C_2 = 2.6475$ ve atalet ağırlığı $w = -0.6031$ olarak kullanılmıştır. GHA algoritması için ise Yang [22] tarafından önerilen $HMCR = 0.9$, $PAR_{min} = 0.4$, $PAR_{max} = 0.9$, $bw_{min} = 0.0001$, $bw_{max} = 1$ parametreleri kullanılmıştır. Durdurma kriteri olarak belirlenen maksimum iterasyon sayıları, PSO ve BO için [10 20 30 40 50 60 70 80 90 100], GHA için ise [500 600 700 800 900 1000 2000 3000 4000 5000] olarak tanımlanmıştır. Popülasyon sayısının optimizasyon başarımına etkilerini incelemek adına [5 10 15 20 25 30 35 40 45 50] popülasyon sayıları kullanılmıştır. Seçilen popülasyon sayıları ve maksimum iterasyon sayıları kullanıldığında, her bir algoritma için en fazla 5000 amaç fonksiyonu değerlendirmesi yapılmış olacaktır. Örneklerde, her algoritma ve popülasyon sayısı için 100'er defa bağımsız optimizasyon işlemi yapılmıştır. 100 bağımsız optimizasyon sonucunda elde edilen tasarımların kabul edilebilirliği, en düşük ve en yüksek toplam maliyetin birbirine eşit, başka bir deyişle standart sapma değerinin "0" olması olarak tanımlanmıştır.

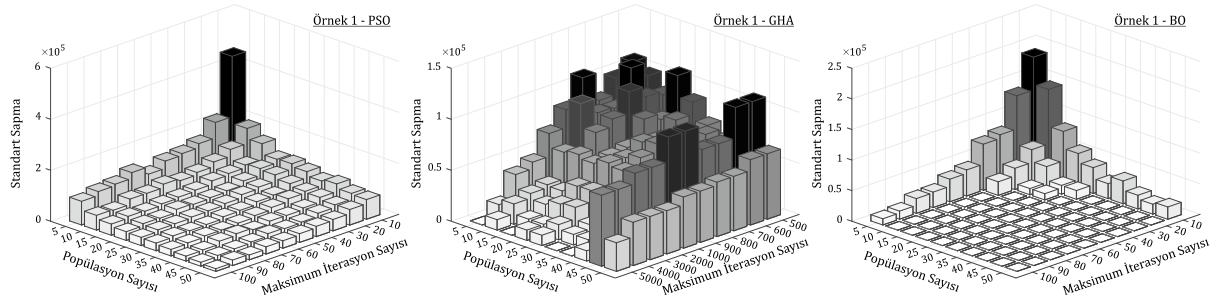
5.1. Örnek-1 (Example-1)

Üç zemin tabakası bulunan bu örnekte, farklı özelliklere sahip iki kil tabakasının arasında bir kum tabakası bulunmaktadır. Yüzeyin hemen altındaki kil tabakasının derinliği 4 m , kum tabakasının derinliği ise 6 m 'dir. Yer altı su seviyesi ise yüzeyin 4 m altında, kil ve kum tabakasının birleştiği yüzeydedir. Zemin tabakalarının detayları ve zeminlerin teknik özellikleri Şekil 6'da sunulmuştur.



Şekil 6. Örnek-1'e ait zemin tabakaları (Soil stratification for Example-1)

Farklı popülasyon ve maksimum iterasyon sayıları kullanılarak yapılan 100'er bağımsız analiz sonucunda elde edilen standart sapma değerlerinin dağılımı Şekil 7'de sunulmuştur. Algoritmaların her popülasyon sayısı için en düşük standart sapma değerini veren maksimum iterasyon sayısı belirlenmiştir. En düşük standart sapma değerini veren birden fazla maksimum iterasyon sayısı olması durumunda, en düşük maksimum iterasyon sayısı seçilmiştir. Seçilen değerlerle elde edilen sonuçlar Çizelge 4'te sunulmuştur.



Şekil 7. Örnek-1 için elde edilen standart sapma değerleri (Standard deviation values for Example-1)

Çizelge 4. Örnek-1 için elde edilen maliyetler ve karşılaştırmaları (The optimum costs and comparison for Example-1)

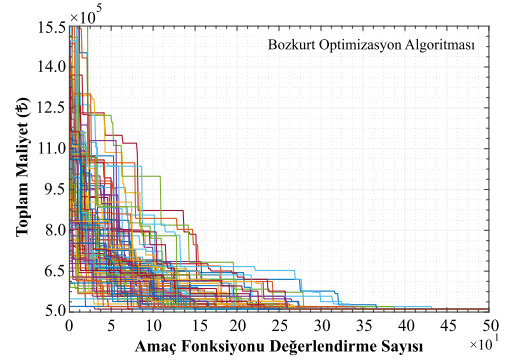
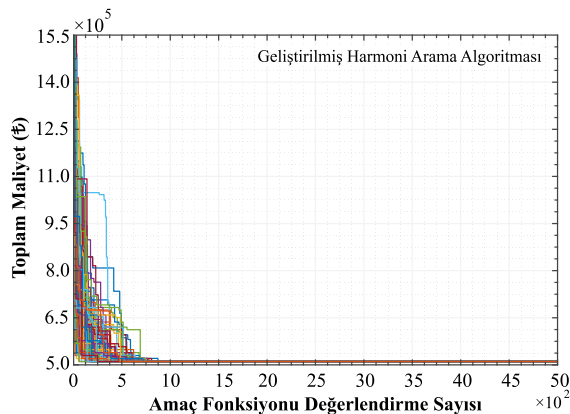
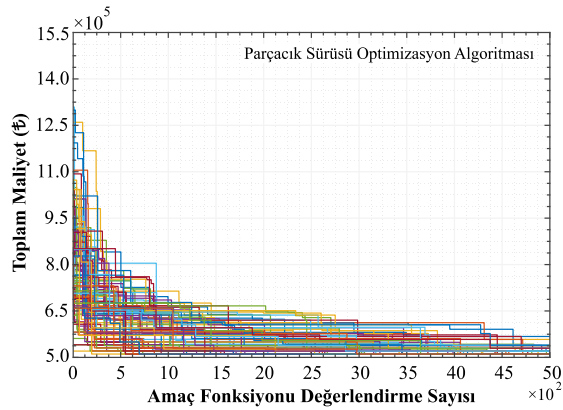
	Populasyon Sayısı	Maksimum İterasyon Sayısı	Amaç Fonksiyonu Değ. Sayısı	En düşük maliyet (₺)	En yüksek maliyet (₺)	Ortalama maliyet (₺)	Standart Sapma
PSO	5	100	500	510812	878467	618451	92770.11
	10	90	900	510812	768583	567501	55116.33
	15	100	1500	510812	685270	550549	44102.31
	20	100	2000	510812	664594	533025	34378.39
	25	100	2500	510812	640741	532664	32257.64
	30	100	3000	510812	624326	528360	30076.34
	35	100	3500	510812	644830	524681	25401.68
	40	100	4000	510812	620288	521299	19318.40
	45	100	4500	510812	584123	518680	15443.18
	50	100	5000	510812	567569	515901	10553.10
GHA	5	5000	5000	510812	510812	510812	0.00
	10	5000	5000	510812	612180	511986	10246.97
	15	5000	5000	510812	510812	510812	0.00
	20	4000	4000	510812	612180	511826	10136.81
	25	5000	5000	510812	612180	511826	10136.81
	30	5000	5000	510812	510812	510812	0.00
	35	5000	5000	510812	510812	510812	0.00
	40	4000	4000	510812	578698	512813	10069.32
	45	5000	5000	510812	612180	511826	10136.81
	50	4000	4000	510812	612180	512299	10473.54
BO	5	100	500	510812	612180	511826	10136.81
	10	50	500	510812	510812	510812	0.00
	15	40	600	510812	510812	510812	0.00
	20	40	800	510812	510812	510812	0.00
	25	30	750	510812	510812	510812	0.00
	30	20	600	510812	510812	510812	0.00
	35	20	700	510812	510812	510812	0.00
	40	20	800	510812	510812	510812	0.00
	45	20	900	510812	510812	510812	0.00
	50	20	1000	510812	510812	510812	0.00

Her algoritma için bulunan en iyi sonuç kalın harflerle gösterilmiştir.

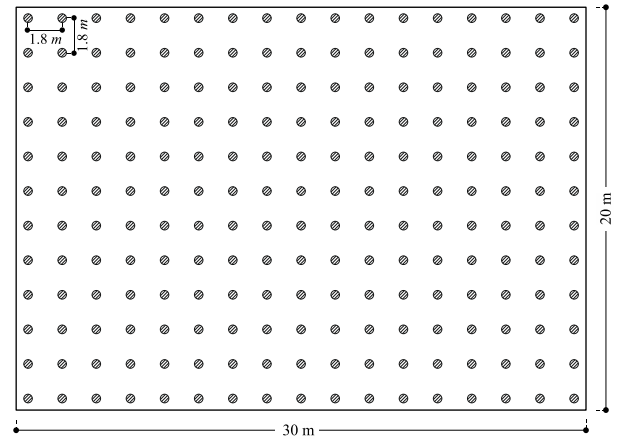
Çizelge 4'te sunulan optimizasyon sonuçlarına göre, bu örnekte en düşük maliyet 510812 ₺ olarak elde edilmiştir ve kullanılan bütün algoritmalar, göz önünde bulundurulmuş bütün popülasyon sayılarında bu maliyete ulaşabilmişlerdir. Ancak, en düşük ve en yüksek maliyetler ile birlikte standart sapma değerleri de incelendiğinde, GHA algoritması 5, 30 ve 35, BO algoritması 10 ve üzeri popülasyon sayılarında kabul edilebilir sonuçlar verirken PSO algoritması göz önünde bulundurulmuş popülasyon sayılarının hiç birinde kabul edilebilir sonuçlar elde edememiştir. Elde edilen maliyet istatistikleri Çizelge 4'te yer almaktadır.

100'er bağımsız analiz sonucunda algoritmaların nihai sonuca ulaştıkları amaç fonksiyonu değerlendirme sayıları incelendiğinde, GHA algoritmasının kabul edilebilir sonuçları elde etmesi için ihtiyaç duyduğu amaç fonksiyonu değerlendirme sayısı 5000 iken, BO algoritmasının 500 değerlendirme sonucu en düşük maliyetli tasarımı elde edebildiği görülmüştür. Algoritmaların Örnek-1 için yaklaşım grafikleri Şekil 8'de sunulmuştur.

Optimizasyon işlemleri sonucunda elde edilen en düşük maliyetli tasarımda kazıkların çapı 0.45 m kazıkların boyu 27 m, kazık aralıkları 1.8 m, her iki yöndeki kazık sayıları n_1 ve n_2 ise 12 ve 17 olarak hesaplanmıştır. Tasarımdaki toplam kazık sayısı ise 204 olmaktadır. Kazıkların yerleşim planı Şekil 9'da sunulmuştur. Kazık tasarımında ve donatı hesabında kazık boyu ile kazık çapı oranına bağlı olarak narinlik incelemesinin de yapılması önem arz etmektedir. Ancak bu çalışma kapsamında narinlik etkisi göz önünde bulundurulmamış ve ihmal edilmiştir.

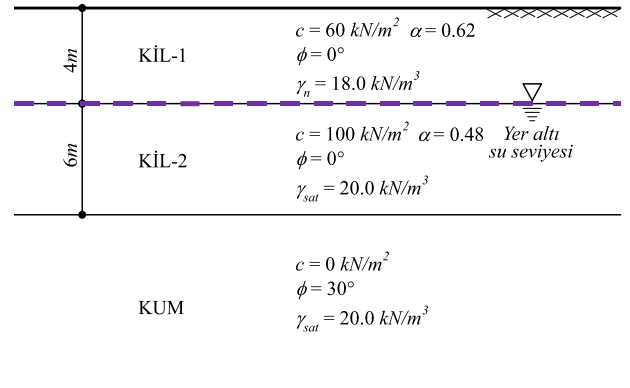


Şekil 8. Örnek-1 için yaklaşım grafikleri (Convergence curves for Example-1)



Şekil 9. Kazık yerleşim planı (The foundation plan)

5.2. Örnek-2 (Example-2)



Şekil 10. Örnek-2'ye ait zemin tabakaları (Soil stratification for Example-2)

Bu örnekte kullanılan zemin özellikleri, tabaka kalınlıkları ve yer altı su seviyesi Örnek-1 ile aynı değerlere sahiptir. İlk örnekten farklı olarak KİL-2 tabakası ile KUM tabakaları yer değiştirmiştir. Bu değişiklik sonucunda kazıkların uç dirençlerinin kum tabakasında oluşmasının maliyete etkisi incelenecektir. Örneğe ait detaylar Şekil 10'da gösterilmiştir.

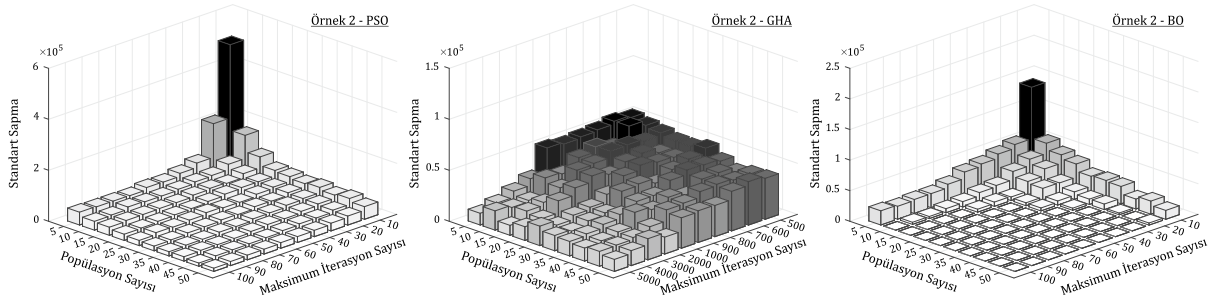
Çalışma kapsamında, kullanılan üç farklı algoritmanın farklı popülasyon sayıları kullanılarak en düşük maliyet 406758 ₺ olarak elde edilmiştir. En düşük maliyetli

tasarımda kazık çapı 0.45 m, kazık boyu 21.5 m ve kazık aralığı 1.8 m olarak hesaplanmıştır.

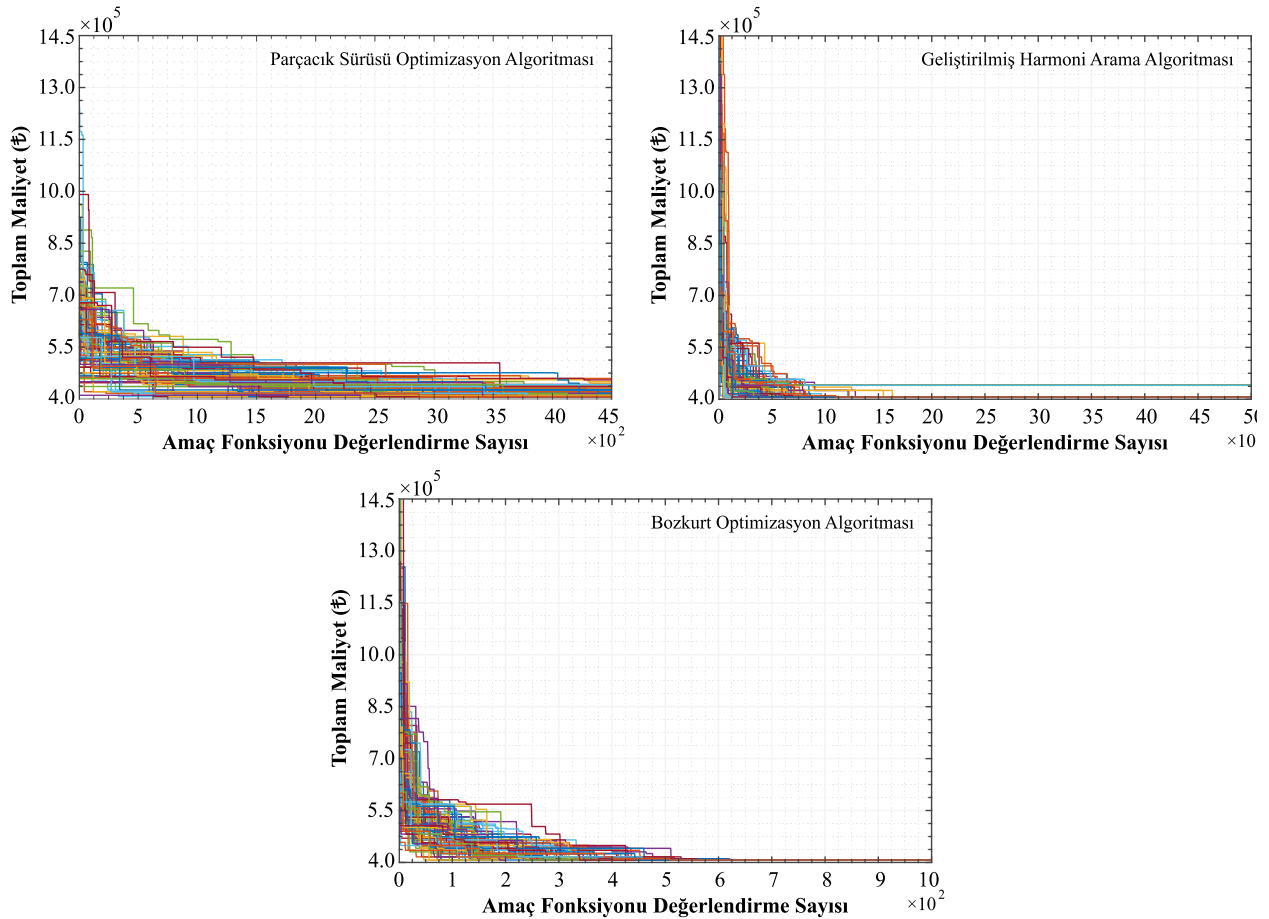
Örnek-1’de olduğu gibi 100’er bağımsız analiz sonucunda elde edilen standart sapma değerlerinin dağılımı incelenmiş ve Şekil 11’de sunulmuştur. Algoritmaların her popülasyon sayısı için en düşük standart sapma değerini veren maksimum iterasyon sayısı belirlenmiştir. Her popülasyon sayısına karşılık en düşük standart sapma değerine sahip olan uygun iterasyon sayısı belirlenmiş ve bu değerlerle elde edilen sonuçlar Çizelge 5’te sunulmuştur.

farklı popülasyon sayılarının tamamında en düşük toplam maliyet değeri elde edilmekle birlikte, standart sapma değerleri göz önünde bulundurulduğunda hiç birinde kabul edilebilir sonuçlar elde edilememiştir. BO algoritmasında ise bütün popülasyon sayılarında en düşük maliyetli tasarım elde edilmekle birlikte, 10 ve üzeri popülasyon sayılarında kabul edilebilir sonuçlar bulunmuştur.

Optimizasyon işlemleri sonucunda, kabul edilebilir nihai çözüme ulaşmak için, BO algoritması için en az 900 amaç fonksiyonu değerlendirmesine ihtiyaç



Şekil 11. Örnek-2 için elde edilen standart sapma değerleri (Standard deviation values for Example-2)



Şekil 12. Örnek-2 için yaklaşım grafikleri (Convergence curves for Example-2)

Çizelge 5’te verilen optimizasyon sonuçları incelendiğinde, PSO ve GHA algoritması kullanılarak yapılan 100’er bağımsız analiz sonucunda, kullanılan

duyulmaktadır. Algoritmaların 100’er bağımsız optimizasyon işlemi sonucunda elde edilen yaklaşım grafikleri Şekil 12’de sunulmuştur.

Çizelge 5. Örnek-2 için elde edilen maliyetler ve karşılaştırmaları (The optimum costs and comparison for Example-2)

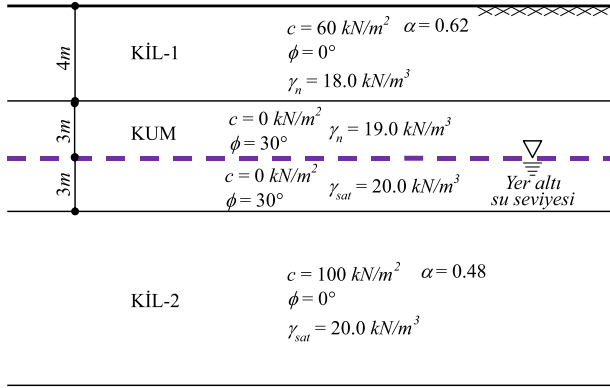
	Popülasyon Sayısı	Maksimum İterasyon Sayısı	Amaç Fonksiyonu Değ. Sayısı	En düşük maliyet (₺)	En yüksek maliyet (₺)	Ortalama maliyet (₺)	Standart Sapma
PSO	5	80	400	406758	581284	484399	48001.29
	10	100	1000	406758	562329	443047	34495.86
	15	100	1500	406758	542100	440554	31804.92
	20	100	2000	406758	528998	428286	24609.13
	25	100	2500	406758	481042	424153	20390.63
	30	100	3000	406758	502138	420487	18303.46
	35	100	3500	406758	474365	418629	16643.64
	40	100	4000	406758	502138	418599	17073.61
	45	100	4500	406758	458052	413867	12558.39
	50	100	5000	406758	463515	413814	12833.97
GHA	5	5000	5000	406758	440770	411274	11498.13
	10	4000	4000	406758	496692	415480	16541.17
	15	5000	5000	406758	440770	409819	9782.64
	20	5000	5000	406758	496692	411286	13475.95
	25	4000	4000	406758	448932	414606	14340.73
	30	4000	4000	406758	457094	413365	13558.02
	35	5000	5000	406758	440770	414600	14194.80
	40	5000	5000	406758	440770	412976	12791.82
	45	5000	5000	406758	463515	414601	14568.47
	50	5000	5000	406758	440770	412447	11796.48
BO	5	90	450	406758	562329	415038	21123.35
	10	100	1000	406758	406758	406758	0.00
	15	70	1050	406758	406758	406758	0.00
	20	50	1000	406758	406758	406758	0.00
	25	50	1250	406758	406758	406758	0.00
	30	40	1200	406758	406758	406758	0.00
	35	30	1050	406758	406758	406758	0.00
	40	30	1200	406758	406758	406758	0.00
	45	20	900	406758	406758	406758	0.00
	50	30	1500	406758	406758	406758	0.00

Her algoritma için bulunan en iyi sonuç kalın harflerle gösterilmiştir.

5.3. Örnek-3 (Example-3)

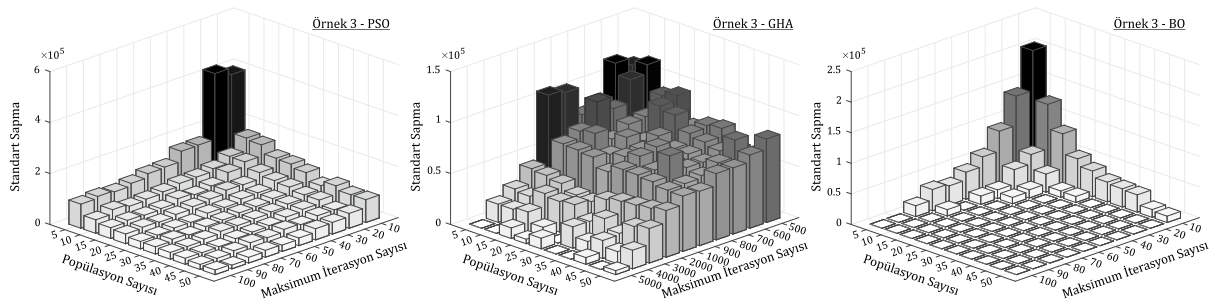
Bu örnekte kullanılan tabakaların konum ve özellikleri ilk örnekle aynı olmakla birlikte yer altı su seviyesi 3 m daha derinde, KUM tabakasının ortasında yer almaktadır. Bu sayede KUM tabakasının hem suya doygun hem de kuru olduğu durumun aynı örnekte incelenmesi amaçlanmıştır. KUM tabakasının birim hacim ağırlığı su seviyesinin altında $\gamma_{sat} = 20.0 \text{ kN/m}^3$ iken, su seviyesinin üstünde $\gamma_n = 19.0 \text{ kN/m}^3$ 'tür. Tabakalanma ve zemin özellikleri Şekil 13'te gösterilmiştir.

Farklı popülasyon ve maksimum iterasyon sayıları kullanılarak 100'er bağımsız optimizasyon işlemi sonucunda elde edilen standart sapma değerleri dağılımı Şekil 14'te sunulmuştur. Diğer örneklerde olduğu gibi genel eğilim üç algoritmada da amaç fonksiyonu değerlendirme sayısı arttıkça standart sapma değerinin azalması yönündedir. Her popülasyon sayısına karşılık seçilen iterasyon sayıları Çizelge 6'da sunulmuştur.

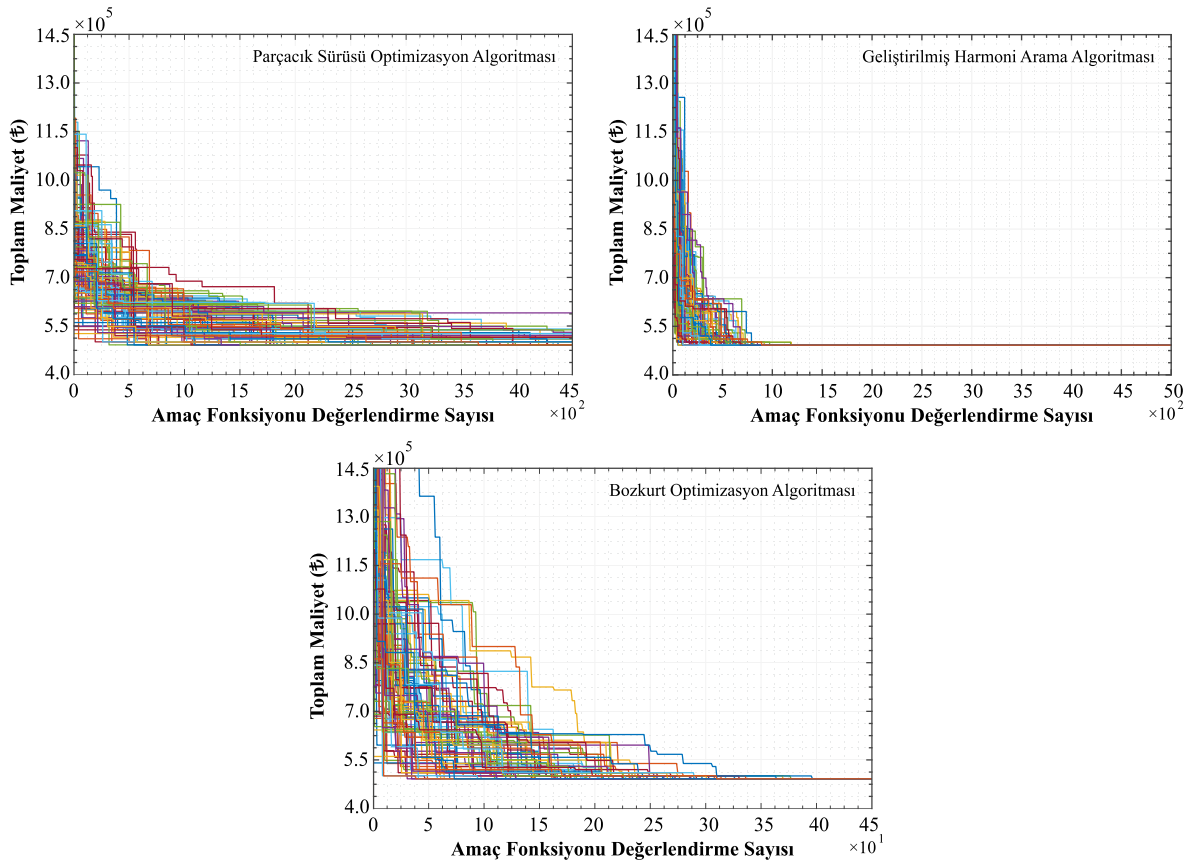


Şekil 13. Örnek-3'e ait zemin tabakaları (Soil stratification for Example-3)

Optimizasyon sonuçlarına göre, emniyet şartlarını yerine getiren tasarımlar içerisinde elde edilen en düşük maliyet 491893 ₺ olmaktadır. Bu maliyete sahip tasarım üç algoritma ve bütün popülasyon sayıları ile elde edilebilmiştir. Çizelge 6'da sunulan ve 100'er bağımsız optimizasyona ait maliyetler ve standart sapma değerleri incelendiğinde, PSO algoritmasında göz önünde bulundurulmuş popülasyon sayılarının hiç biriyle kabul edilebilir sonuçlar elde edilememiştir. GHA algoritması 5, 10, 25, 30, 35 ve 45 popülasyon sayıları ile kabul edilebilir sonuçlar elde ederken, BO algoritması kullanılan bütün popülasyon sayılarında en düşük maliyet ve en düşük standart sapma değerlerini elde etmiştir. Elde edilen en düşük maliyete sahip tasarımda



Şekil 14. Örnek-3 için elde edilen standart sapma değerleri (Standard deviation values for Example-3)



Şekil 15. Örnek-3 için yaklaşım grafikleri (Convergence curves for Example-3)

kazıkların çapı 0.45 m, boyu 26 m ve aralığı ise 1.8 m olarak hesaplanmıştır.

GHA algoritmasında 4000, BO algoritmasında ise 450 amaç fonksiyonu değerlendirmesi ile kabul edilebilir sonuçlar elde edilebilmiştir. Algoritmaların 100'er bağımsız optimizasyon sürecinde elde edilen yaklaşım grafikleri Şekil 15'teki gibidir.

optimizasyonu incelenmiştir. Optimizasyon sürecinde, emniyet şartlarını sağlayan muhtemel tasarımlar içerisindeki, en düşük maliyetli tasarımın elde edilmesi amaçlanmış ve problemin amaç fonksiyonu buna göre tanımlanmıştır.

Çalışmada, üç farklı örnek incelenmiş, örneklerin çözümünde ise üç farklı metasezgisel algoritma

Çizelge 6. Örnek-3 için elde edilen maliyetler ve karşılaştırmaları (The optimum costs and comparison for Example-3)

	Popülasyon Sayısı	Maksimum İterasyon Sayısı	Amaç Fonksiyonu Değ. Sayısı	En düşük maliyet (₺)	En yüksek maliyet (₺)	Ortalama maliyet (₺)	Standart Sapma
PSO	5	90	450	491893	1029883	605557	102143.70
	10	100	1000	491893	774840	554933	53260.82
	15	100	1500	491893	630632	531911	42438.78
	20	80	1600	491893	649825	525796	38758.15
	25	100	2500	491893	620342	510350	28988.92
	30	100	3000	491893	624875	508764	28178.78
	35	90	3150	491893	605519	511702	26852.89
	40	80	3200	491893	620288	507805	23525.25
	45	100	4500	491893	605519	501007	19700.28
		50	90	4500	491893	590750	499251
GHA	5	5000	5000	491893	491893	491893	0.00
	10	5000	5000	491893	491893	491893	0.00
	15	5000	5000	491893	595855	492933	10396.22
	20	4000	4000	491893	595855	492933	10396.22
	25	4000	4000	491893	491893	491893	0.00
	30	5000	5000	491893	491893	491893	0.00
	35	5000	5000	491893	491893	491893	0.00
	40	5000	5000	491893	558109	492555	6621.64
	45	5000	5000	491893	491893	491893	0.00
	50	5000	5000	491893	529731	492366	3890.96
BO	5	90	450	491893	491893	491893	0.00
	10	60	600	491893	491893	491893	0.00
	15	50	750	491893	491893	491893	0.00
	20	30	600	491893	491893	491893	0.00
	25	30	750	491893	491893	491893	0.00
	30	20	600	491893	491893	491893	0.00
	35	20	700	491893	491893	491893	0.00
	40	20	800	491893	491893	491893	0.00
	45	20	900	491893	491893	491893	0.00
	50	20	1000	491893	491893	491893	0.00

Her algoritma için bulunan en iyi sonuç kalın harflerle gösterilmiştir.

6. TARTIŞMA VE SONUÇ (RESULTS and DISCUSSION)

Bu çalışma kapsamında, düşey yükler altındaki temel kazık gruplarının metasezgisel algoritmalarla

kullanılmıştır. Bu algoritmalar için on farklı popülasyon sayısının başarımı incelenmiştir. Her algoritma ve popülasyon sayısı için 100'er bağımsız optimizasyon işlemi yapılmıştır. Hem algoritma hem de popülasyon

sayısı başarımında kriter olarak bu bağımsız analizlerin sonucunda elde edilen en yüksek ve en düşük maliyetler arasındaki farkın, başka bir deyişle standart sapma değerinin "0" olması tanımlanmıştır.

Buna göre; örneklerin tamamında algoritmaların farklı popülasyon sayıları ile elde ettikleri en düşük maliyet değerleri birbirine eşittir. Ancak standart sapma değerleri incelendiğinde, bazı popülasyon sayılarının tanımlanan kabul edilebilirlik kriterlerini sağlayamadıkları görülmüştür. PSO algoritması çalışmada kullanılan farklı popülasyon sayılarının hiçbirinde kabul edilebilir sonuçlar üretmezken, GHA Örnek-1 ve Örnek-3 için kabul edilebilir sonuçlar üretmiş, Örnek-2 için yüksek standart sapma değerleri elde etmiştir. BO algoritmasında ise 10 ve üzeri popülasyon sayıları kullanılarak elde edilen sonuçların, üç örnek üzerinde de tanımlanan başarı kriterini sağladıkları belirlenmiştir. Ayrıca GHA algoritması kabul edilebilir sonuçlar ürettiği Örnek-1 ve Örnek-3 için sırasıyla 5000 ve 4000 amaç fonksiyonu değerlendirme sayısına gereksinim duyarken, BO algoritmasında üç örnek için sırasıyla 500, 900 ve 450 değerlendirme sayısı yeterli olmaktadır.

Çalışmada kullanılan parametrelerle incelenen örneklerin optimizasyon sonuçlarına göre, BO algoritması hem bütün örneklerde kabul edilebilir sonuçlar elde etmiş hem de bu sonuçlara çalışmada kullanılan diğer algoritmalarından daha düşük işlem hacmiyle ulaşmıştır. Bu sebeplerle BO algoritmasının düşey yük etkisi altındaki kazıkların maliyet optimizasyonu konusunda, hem PSO hem de GHA algoritmasına kıyasla daha başarılı olduğu görülmüştür. Farklı parametrelerle gerçekleştirilen optimizasyon işlemleri sonucunda elde edilmiş standart sapma değerleri de incelendiğinde BO algoritmasının tutarlı sonuçlar ürettiği, buna ek olarak düşük işlem hacmine gereksinim duyması sebebiyle düşey yük etkisi altındaki kazıkların optimizasyonu konusunda uygun bir yöntem olduğu söylenebilir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Das BM, *Principles of Foundation Engineering, SI Edition. Cengage Learning*, 2010.
- [2] Bowles JE, *Foundation Analysis and Design. McGraw-Hill*, 1996.
- [3] Hurd AJ, Truman KZ. "Optimization Method of Pile Foundations". *Advances in Engineering Structures, Mechanics & Construction*, Dordrecht, 2006.
- [4] Chan CM, Zhang LM, Ng JTM. "Optimization of Pile Groups Using Hybrid Genetic Algorithms". *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 135(4): 497-505, 2009.
- [5] Hwang JH, Lyu YD, Chung MC. "Optimizing Pile Group Design Using a Real Genetic Approach". *The Twenty-first International Offshore and Polar Engineering Conference*, 2011.
- [6] Liu X, Cheng G, Wang B, Lin S. "Optimum design of pile foundation by automatic grouping genetic algorithms". *ISRN Civil Engineering*, 2012, 2012.
- [7] Bengtlars A, Våljamets E. "Optimization of Pile Groups: A practical study using Genetic Algorithm and Direct Search with four different objective functions". *Master Thesis*, Structural Design and Bridges, KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 2014.
- [8] Kennedy J, Eberhart R. "Particle swarm optimization". *IEEE International Conference on Neural Networks*, Perth, WA, Australia, 1995.
- [9] Geem ZW, Kim JH, Loganathan GV. "A new heuristic optimization algorithm: Harmony search". *Simulation*, 76(2): 60-68, 2001.
- [10] Mirjalili S, Mirjalili SM, Lewis A. "Grey Wolf Optimizer". *Advances in Engineering Software*, 69: 46-61, 2014.
- [11] Meyerhof GG. "Bearing Capacity and Settlement of Pile Foundations". *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, 102(3): 195-228, 1976.
- [12] Vesic AS. "Design of pile foundations". *NCHRP synthesis of highway practice*, (42): 1977.
- [13] Janbu N. "Static bearing capacity of friction piles". *Sechste Europaeische Konferenz Fuer Bodenmechanik Und Grundbau*, 1976.
- [14] US Navy, *NAVFAC Design Manuals 7.1 and 7.2 : Foundations and Earth Structures*. Arlington, VA: *Naval Facilities Engineering Command*, 1988.
- [15] Terzaghi K, Peck RB, Mesri G, *Soil Mechanics in Engineering Practice. John Wiley & Sons*, 1996.
- [16] *The BOCA National Building Code. Building Officials & Code Administrators International*, 1993.
- [17] *The National Building Code. American Insurance Association Engineering and Safety Service.*, 1976.
- [18] *City of Chicago Building Code. American Legal Publishing Corporation*, 1994.
- [19] Shi Y, Eberhart R. "A modified particle swarm optimizer". *Evolutionary Computation Proceedings, 1998. IEEE World Congress on Computational Intelligence., The 1998 IEEE International Conference on*, 1998.
- [20] Mahdavi M, Fesanghary M, Damangir E. "An improved harmony search algorithm for solving optimization problems". *Applied Mathematics and Computation*, 188(2): 1567-1579, 2007.
- [21] Pedersen MEH, "Good parameters for particle swarm optimization," in "Hvass Lab., Copenhagen, Denmark, Tech. Rep. HL1001," 2010.
- [22] Yang X-S, *Nature-Inspired Metaheuristic Algorithms. Luniver Press*, 2008.



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

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



Lattice parameters a-, c-, strain-stress analysis and thermal expansion coefficient of InGaN/GaN solar cell structures grown by MOCVD

MOCVD ile büyütülen InGaN/GaN güneş hücresi yapısının a-,c- örgü parametreleri, zorlama-gerilme analizi ve termal genleşme katsayısı

Yazar(lar) (Author(s)): A.Kürşat BİLGİLİ¹, Ömer AKPINAR², Gürkan KURTULUŞ³, M.Kemal ÖZTÜRK⁴, Süleyman ÖZÇELİK⁵, Ekmel ÖZBAY⁶

ORCID¹: 0000-0003-3420-4936

ORCID²: 0000-0002-5172-8283

ORCID³: 0000-0002-3769-6094

ORCID⁴: 0000-0002-8508-5714

ORCID⁵: 0000-0002-3761-3711

ORCID⁶: 0000-0003-2953-1828

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Bilgili A.K., Akpınar O., Kurtulus G., Ozturk M.K., Ozcelik S. and Ozbay E., "Lattice parameters a-, c-, strain- stress analysis and thermal expansion coefficient of InGaN/GaN solar cell structures grown by MOCVD", *Journal of Polytechnic*, 22(1): 33-39, (2019).

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

DOI: 10.2339/politeknik.403978

Lattice Parameters a-, c-, Strain-Stress Analysis and Thermal Expansion Coefficient of InGaN/GaN Solar Cell Structures Grown by MOCVD

Research Article / Araştırma Makalesi

A.Kursat BILGILI^{1*}, Omer AKPINAR^{1,2}, Gurkan KURTULUS², M. Kemal OZTURK^{1,2}, Suleyman OZCELIK^{1,2}, Ekmel OZBAY³

¹Department of Physics, Gazi University, 06500 Ankara, Turkey

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

³Nanotechnology Research Center, Bilkent University, 06800 Ankara, Turkey

(Received : 20.10.2017 ; Accepted : 26.02.2018)

ABSTRACT

Structural properties of InGaN/GaN solar cells (SCs) grown by metal organic chemical vapor deposition (MOCVD) technique are investigated by high resolution X-ray diffraction (HR-XRD) method. It is noticed that a- and c- lattice parameters of the structures showed small differences according to examined (hkl) planes. Fault percentage of the a- and c- lattice parameters are also calculated. It is seen that fault percentage is smaller than %2 for all samples. Investigations have been made for three different samples. Differences in crystal quality caused by growth conditions are seen in all three samples. At the same time, properties such as crystal size, strain and stress are determined. During determination of stress, two different methods including elastic constants, Young module and Poisson ratio are used. Results gained from these two methods are compared with each other. Thermal expansion coefficients of InGaN are calculated for (002), (004), (006) and (121) planes for 100 °C temperature difference (300-400 °C). It is seen that peak positions gained from HR-XRD are nearly the same with the ones in database. All the results obtained from calculations are given in tables in the following sections of this article. It can be seen that all these results are in accordance with previous works done by different authors and with the real values.

Keywords: Lattice, crystal, GaN, InGaN, MQW, thermal.

MOCVD ile Büyütülen InGaN/GaN Güneş Hücresi Yapısının a-,c- Örgü Parametreleri, Zorlama-Gerilme Analizi ve Termal Genleşme Katsayısı

ÖZ

Metal organik kimyasal buhar biriktirme (MOCVD) tekniği ile büyütülen InGaN/GaN güneş hücrelerinin (SC) yapısal özellikleri yüksek çözünürlüklü X-ışını kırınımı (HR-XRD) yöntemi ile araştırılmıştır. Yapıların a- ve c- örgü parametrelerinin incelenen (hkl) düzlemlere göre küçük farklılıklar gösterdikleri dikkat çekmektedir. a- ve c- örgü parametrelerinin hata yüzdeleri hesaplandı. Tüm numuneler için hata yüzdesinin %2'den küçük olduğu görülmektedir. Üç farklı numune için araştırmalar yapılmıştır. Her üç numunede de büyüme koşullarından kaynaklanan kristal kalitesinde farklılıklar görülür. Aynı zamanda Kristal boyutu, zorlama ve gerilme gibi özellikleri de belirlendi. Gerilmenin belirlenmesinde elastik sabitler, Young modülü ve Poisson oranı olmak üzere farklı yöntemler kullanıldı. Yöntemlerden elde edilen sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılmıştır. InGaN'ın termal genleşme katsayıları 100°C sıcaklık farkı (300-400 °C) için (002), (004), (006) ve (121) düzlemleri için hesaplandı. HR-XRD'den elde edilen pik pozisyonlarının veri tabanlarındaki (database) pik pozisyonlarıyla neredeyse aynı olduğu görülmektedir. Hesaplamalardan elde edilen tüm sonuçlar bu çalışmanın bölümlerinde yer alan tablolarda verilmektedir. Bütün bu sonuçların farklı yazarlar tarafından yapılmış önceki eserlere ve gerçek değerlere uygun olduğu görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Kafes, kristal, GaN, InGaN, MQW, termal.

1. INTRODUCTION

AlN, GaN, InN and III-V group nitride material system which include their alloys is a wide research area because of applications such as solar cells (SCs), laser diodes and photo sensors [1]. InN alloy with a band gap of 0.65 eV and InGaN with a band gap reaching from infrared region

to ultraviolet region are common materials to be investigated [2-3]. This direct and wide band gap spectrum makes the InGaN material system applicable for photovoltaic device design [4-5]. GaInP-GaInAs-Ge which has three junctions has a performance of %39, but structures containing InGaN has better efficiency [6-7].

SC with InGaN active layer is an important nanotechnology device which takes attention in recent years, Especially sapphire (Al₂O₃) which is used as wafer and

* Sorumlu yazar (Corresponding Author)
e-posta : sunkurt4@gmail.com

active layer over it, have a great lattice mismatch. This situation causes cracks and dislocations at active layer. GaN nucleation and buffer layers limits the passing of dislocations to active layers. GaN is a useful buffer material because of its accepted lattice mismatch and relaxation values for active layers such as $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ [8]. In this study, lattice parameters a - and c , stress values, crystal size are investigated with different methods and compared with each other. Fault percentage in lattice parameters and precise a - and c values are determined. Many different studies are made for the structural properties mentioned above. For example; Birks et al, investigated crystal size of carbonate and MgO particles by x-ray line broadening, they noticed that particle size could not be determined unless the two maxima of the distribution curve were completely resolved [9]. Delhez et.al investigated the methods for determining crystallite size from x-ray diffraction line broadening. They commented on size broadening and strain broadening [10].

2. EXPERIMENTAL DETAILS

InGaN1/InGaN2/GaN solar cell structures are deposited on c -oriented Al_2O_3 with MOCVD growth technique. Before growth of epitaxial film, in order to remove impurities on the surface, samples are cleaned at 1100 °C temperature in H_2 atmosphere for 10 minutes. After this cleaning procedure, firstly GaN nucleation layer is deposited on Al_2O_3 at 575 °C. During growth, trimethyl gallium (TMGa) flux ratio is set as 10 sccm, NH_3 flux ratio is set as 1500 sccm and growth pressure is set as 200 mbar. The thickness of this seed layer is 10 nm. After growth of this nucleation layer, GaN buffer layer is deposited on it at 1070 °C. During the growth of this buffer layer flux ratios of TMGa and NH_3 are set as 15 sccm and 1800 sccm respectively. The growth pressure of this buffer layer is set as 200 mbar. The thickness of this buffer layer is 1.6 μm . Growth procedure continued with turning on the SiH_4 source. With the help of this SiH_4 source n -type GaN layer is obtained. In MOCVD operation SiH_4 source has dilute property. The flux ratio of this source is 10 sccm. $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ active layers are deposited at 745-760 °C temperatures at 75 sccm In flux ratio. Active layers are deposited between 1.9 μm thick n -type GaN and p -type InGaN layers.

p -type (p^+) InGaN layer is deposited with Mg source. The flux ratio of this source is 35 sccm. During the growth of this InGaN layer, the sources for other layers are kept at off position. In order to make more doping the flux ratio of Mg source is set as 40 sccm in InGaN layers used as active layers.

3. RESULTS

In this part of the study, with the analysis of the HR-XRD measurement of InGaN SC structures, lattice parameters, stress, strain, crystal size and thermal expansion coefficient of InGaN layer are determined with different methods and related data are given in tables. Some of the

results gained from different methods are compared with each other.

3.1 XRD

Nitrite based alloys and compounds such as GaN and InGaN has hexagonal structure. Broadening of HR-XRD rocking scan curves in such layers comes out by variation of tilt and twist angles and lateral crystal length parallel to wafer surface. Full width at half maximum (FWHM) of HR-XRD-omega peaks for GaN and InGaN layers are given in table 1. These peaks are shown in figure 1. When the measured values are compared, it can be seen that FWHM values for GaN layers in all three samples are approximately the same for (001, 1 = 1, 2, 4, 6) planes. This result indicates that growth conditions for all three samples are similar to each other.

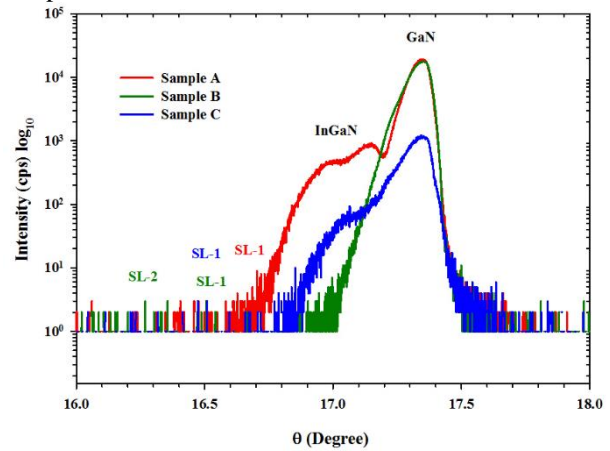


Figure 1. θ versus intensity plots of S.A, B and C.

InGaN layer in S.A has lower FWHM values than samples B and C. This means that InGaN layer in S.A has a better crystal quality.

Table 1. a) Peak positions of GaN layer for (101), (102), (121) planes, b) Peak positions of InGaN layer for (002), (004), (006), (102) planes

a)

	S.A	S.B	S.C
(hkl)	Ω	Ω	Ω
101	18.468	18.259	18.297
102	24.052	24.075	24.095
121	48.904	48.887	48.903

b)

	S.A	S.B	S.C
(hkl)	Ω	Ω	Ω
002	16.92	17.128	17.025
004	35.723	36.013	35.735
006	61.935	61.771	62.576
102	23.854	18.162	23.87

In figure.1 it can be seen that on the left of GaN top peak, InGaN1 and InGaN2 peaks are not fully distorted. On the left of these InGaN peaks there can be seen a slight satellite peak. This satellite peak contains information

Table 3. Lattice Parameters for GaN

GaN						
	S.A		S.B		S.C	
(hkl)	c(Å)	a(Å)	c(Å)	a(Å)	c(Å)	a(Å)
(101)	0.517	0.316	0.516	0.320	0.515	0.319
(102)	0.518	0.313	0.510	0.313	0.510	0.313
(121)	0.517	0.316	0.507	0.317	0.507	0.316

Table 4. Lattice Parameters for InGaN

S.A						
(hkl)	a(certain)(nm)	a(calculated)(nm)	%Fault(a)	c(certain)(nm)	c(calculated)(nm)	%Fault(c)
(101)	0.322	0.320	0.60	0.528	0.527	0.19
(102)	0.322	0.318	1.41	0.528	0.527	0.01
(121)	0.322	0.317	1.72	0.528	0.527	0.09
S.B						
(hkl)	a(certain)(nm)	a(calculated)(nm)	%Fault(a)	c(certain)(nm)	c(calculated)(nm)	%Fault(c)
(101)	0.323	0.324	0.39	0.531	0.529	0.34
(102)	0.323	0.319	1.40	0.531	0.525	1.10
(121)	0.323	0.322	0.50	0.531	0.522	1.63
S.C						
(hkl)	a(certain)(nm)	a(calculated)(nm)	%Fault(a)	c(certain)(nm)	c(calculated)(nm)	%Fault(c)
(101)	0.320	0.321	0.24	0.531	0.526	0.97
(102)	0.320	0.315	1.64	0.531	0.522	1.68
(121)	0.320	0.318	0.58	0.531	0.520	2.21

Table 5. Precise a- and c values for GaN and InGaN layers

	GaN	InGaN
	Precise a(nm)	Precise c(nm)
S.A	0.316	0.518
S.B	0.315	0.504
S.C	0.315	0.504

about quantum well (QW) thickness. The situation is the same for S.B but on the left of GaN top peak InGaN peaks are together and there are two satellite peaks. For S.C InGaN peaks are again on the left of GaN top peak. They are not clearly distorted. As seen in figure 1 best crystal quality is in S.A. This may be because of more optimized growth conditions for S.A.

3.2 Lattice Parameters

In HR-XRD technique in order to separate $K_{\alpha 1}$ and $K_{\alpha 2}$ rays in parallel beam and to eliminate $K_{\alpha 2}$, Ge 022 (+,-,-,+) monochromator is used together with Goebel mirror. With symmetric and asymmetric reflections, Bragg angle θ and lattice slope angle τ can be calculated with the following expressions; $\theta = (\theta_+ + \theta_-)/2$ and $\tau = (\theta_+ - \theta_-)/2$ [11]. a- and c- lattice parameters of disordered InGaN hexagonal unit cell can be calculated by appropriate (hkl) reflection angles. In table. 2, values of τ angles corresponding some planes can be seen.

Table 2. τ angles corresponding to (101), (102), (106), (121) planes

(hkl)	τ (degree)
101	61.9599
102	43.1913
106	17.3763
121	78.6181

Lattice parameters of InGaN layer can be found by using Vegard's law. It is calculated as x times InN lattice parameter and (1-x) times GaN real lattice parameter. Here x is the In content in samples calculated again by Vegard's law.

$$a_{\text{InGaN}} = (x)a_{\text{InN}} + (1-x)a_{\text{GaN}} \quad (1)$$

$$c_{\text{InGaN}} = (x)c_{\text{InN}} + (1-x)c_{\text{GaN}} \quad (2)$$

If we use values gained from equation (3) and (4) instead of last terms in equations (1) and (2) we reach to experimental values. If we use real values in literature we reach to certain values. We can make fault calculation by using these two results.

By taking cubic system as reference, in order to gain a- and c- lattice parameters for GaN layer we used $\sin\tau$ and $\cos\tau$ modification integers in equation (3) and (4).

$$c = \frac{\lambda l}{2 \sin \theta \cos \tau} \quad (3)$$

$$a = \frac{\lambda \sqrt{4/3} \sqrt{h^2 + hk + k^2}}{2 \sin \theta \sin \tau} \quad (4)$$

a- and c lattice parameters mentioned above are given in table. 3, 4 and 5 for GaN and InGaN layers. In addition

to these we can find precise a- and c values by the help of $\cos^2\theta/\sin\theta$ versus a- and c measured values plot in figure. 2. Y axis intercept of this plot gives us precise a- and c values.

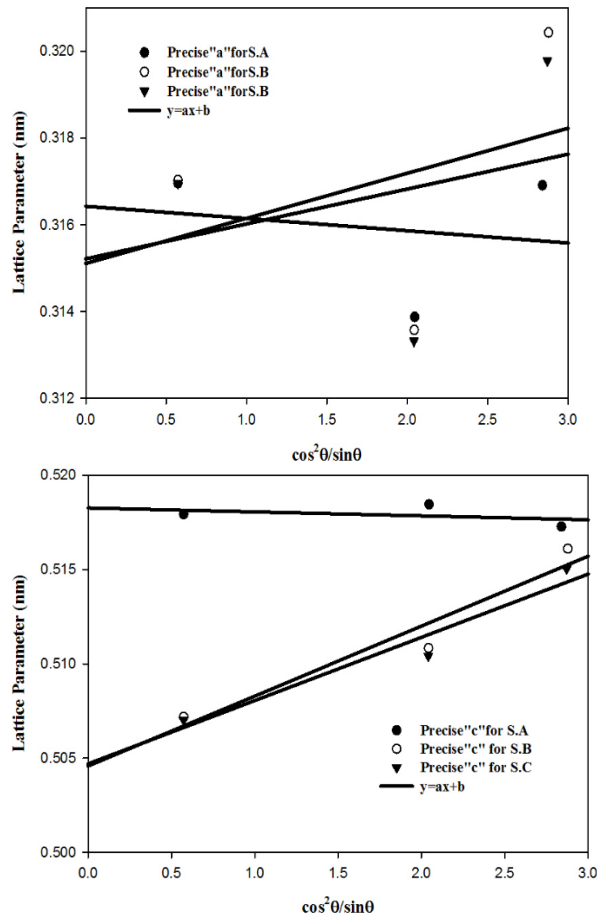


Figure 2. $\cos^2\theta/\sin\theta$ versus lattice parameters plots of S.A, B and C for GaN layer.

3.3 Strain, Stress and Crystal Size

It is possible to find stress from strain measurements. If there is a rotationally symmetric strain position, stress can be found from strain [12]. The relation of biaxial strain ϵ_a with stress is given in equation (5).

$$\epsilon_a = \frac{\sigma^*(1-\nu)}{E} \quad (5)$$

Here, ϵ_a is strain, σ^* is stress, ν is Poisson's ratio and E is Young modulus [13]. Stress by the help of elastic constants can be found with equation (6).

$$\sigma^* = (c_{11} + c_{12} - \frac{2c_{13}^2}{c_{33}})\epsilon_a \quad [13] \quad (6)$$

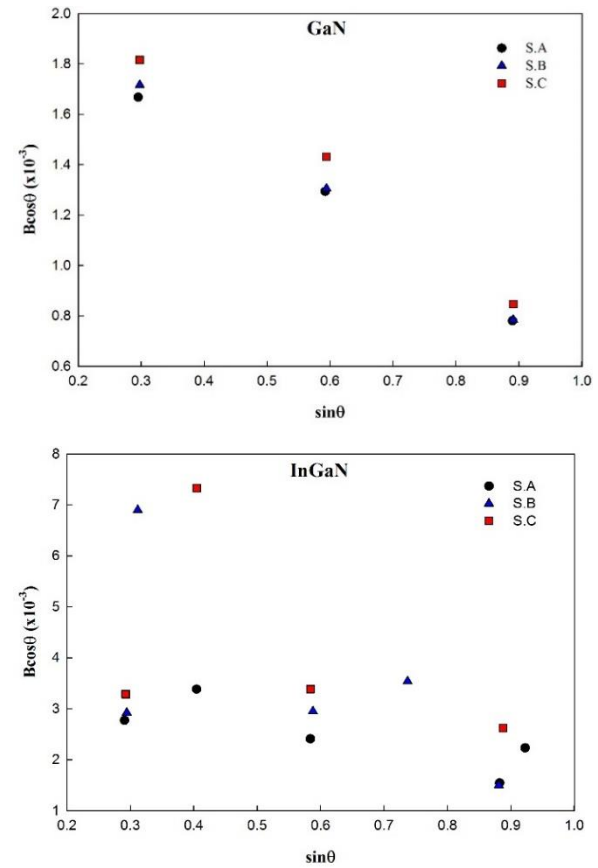


Figure 3. $\sin\theta$ versus $\beta\cos\theta$ plots of S.A, B and C for GaN and InGaN layers

Strain value in equation (5) (ϵ_a) can be found by $\sin\theta$ versus $\beta\cos\theta$ plot. Here β is the modified FWHM value. This plot is shown in figure 3. The slope of this plot gives us ϵ_a value. Y axis intercept of this plot gives us $k\lambda/L$. In general k is taken as 1. Here L is the crystal size [14].

Table 7(d). a- and c lattice parameters in Å for (121) plane for S.A, B, C at different temperature

Temperature(°C)	S.A		S.B		S.C	
	a	c	a	c	a	c
300	3.371	5.275	3.220	5.229	3.187	5.201
350	3.171	5.275	3.219	5.227	3.185	5.198
400	3.173	5.277	3.222	5.232	3.189	5.205
450	3.173	5.278	3.221	5.230	3.190	5.207

Stress is found from equation (5) and (6). Both results are in accordance with each other. Results are summarized in table 6. In this study Young modulus is taken as 305, Poisson's ratio is taken as 0.183 and elastic constants c_{11} , c_{12} , c_{13} , c_{33} are taken as 390, 145, 106, 398 GPa

Table 6. Crystal size, strain and stress values for GaN layers.

	S.A	S.B	S.C
Strain (GPa)	-0.0015	-0.0016	-0.0016
Crystal Size (nm)	73.36	70.03	66.98
Stress by Young modulus (GPa)	-0.5599	-0.5973	-0.5973
Stress by elastic constants (GPa)	-0.7178	-0.7656	-0.7656

3.4 Thermal Expansion Coefficients

Thermal expansion coefficient of a solid is the variation in length with a change of 1 °C in temperature. As known by thermodynamics every matter expands when heated because the energy of atoms increase and they vibrate faster. As a result of this they move away from each other but in very small scales. The situation is the same for

Table 7(a). c- Lattice parameters in Å at different temperatures for S.A

<i>hkl</i>	300 °C	350 °C	400 °C	450 °C
(002)	5.305	5.282	5.373	5.267
(004)	5.293	5.283	5.295	5.277
(006)	5.287	5.284	5.288	5.280

Table 7(b). c- Lattice parameters in Å at different temperatures for S.B

<i>hkl</i>	300 °C	350 °C	400 °C	450 °C
(002)	5.306	5.310	5.327	5.315
(004)	5.313	5.314	5.321	5.316
(006)	5.316	5.316	5.318	5.316

solar cell structures. In this work S.A, B and C are also expanded when we heated them [15]. By the help of change in lattice parameters, thermal expansion coefficients are calculated for symmetric (002), (004), (006) and (121) asymmetric planes. Lattice parameters according to the temperatures are given in table 7 for S.A, B and C.

Table 8. Thermal expansion coefficients according to different planes for S.A, B and C

<i>Plane</i>	<i>a for S.A(1°C)(x10⁶)</i>	<i>a for S.B(1°C)(x10⁶)</i>	<i>a for S.C(1°C)(x10⁶)</i>
c-(002)	14.2	38.7	23.3
c-(004)	3.62	15.7	9.04
c-(006)	1.12	4.75	3.3
c-(121)	3.99	6.08	7.65
a-(121)	6.26	5.44	7.13

Table 7(c). c- Lattice parameters in Å at different temperatures for S.C

<i>hkl</i>	300 °C	350 °C	400 °C	450 °C
(002)	5.283	5.289	5.2962	5.286
(004)	5.291	5.293	5.2958	5.291
(006)	5.293	5.295	5.295	5.294

Thermal expansion coefficients are calculated by using equations (7) and (8).

$$dl = l_0 \cdot \alpha \cdot dT \quad (7)$$

here dl is the change in length with temperature difference, l_0 is the length before expansion, α is the thermal expansion coefficient and dT is the temperature difference causing expansion. If α is let alone in equation (7) formula giving thermal expansion coefficient is found. This formula is given in equation (8) [15].

$$\alpha = \frac{1}{l_0} \frac{dl}{dT} \quad (8)$$

Thermal expansion coefficients according to different planes are given in table 8.

This x4 difference in some thermal expansion coefficients are caused by volume defects.

For a more detailed explanation of differences in thermal expansion coefficients, shifts in peak positions are given in figure 4.

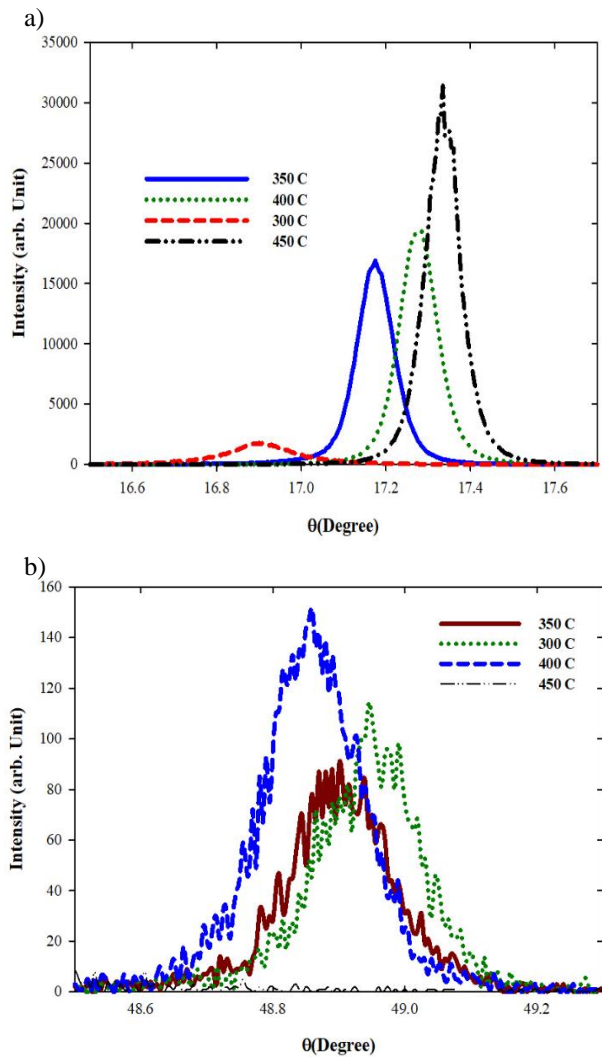


Figure 4. a) Shifts in peak positions of S.A for (002) symmetric plane b) Shifts in peak positions of S.C for (121) asymmetric plane

This figure shows the shifts in peak positions with an increase in temperature. These shifts cause differences in thermal expansion coefficients because when the lattice expands a - and c - lattice parameters change. In figure 4 shifts in peak positions are given for only symmetric (002) and asymmetric (121) planes as examples. In Figure 4 peaks are more separated from each for (002) plane if compared with (121) plane. This is the reason why thermal expansion coefficient is approximately 10 times larger than for (121) plane as can be seen in table 8. During the calculations of lattice parameters peak positions play an important role according to equations (3 and 4). Differences in thermal expansion coefficients for the same plane but for different samples can be used as the perfectly of the crystal structure forming solar cells and other devices formed by crystals. Imperfection might be occurred during growth.

4. CONCLUSION

In this study, structural properties of InGaN/GaN SCs are determined by HR-XRD technique. FWHM values of HR-XRD omega peaks are compared for GaN and InGaN layers individually. It is seen that FWHM values for GaN layers are nearly the same with each other for all three samples. FWHM values for InGaN layer in S.A is lower than S.B and C. This situation indicates that InGaN layer in S.A has a high crystal quality. When the plane mirror reflects the beam in diffraction angle, excellence of the plane maintains a correct pattern. This situations results in being high crystallite of the structure. In addition to this by using HR-XRD measurements, a - and c lattice parameters, strain and stress and crystal size are determined. Fault calculation is also made for lattice parameters. It is seen that fault percentage is not more than %2. During the calculation of lattice parameters cubic system is taken as reference for GaN layers and τ angle modification is used. For InGaN layer Vegard's law is employed. With the help of $\sin\theta$ versus $\beta\cos\theta$ plot crystal size and strain are calculated. The strain value ϵ_a obtained from this plot, elastic constants, Young modulus and Poisson's ratio are employed to calculate stress with two different methods and the results are compared whether they are in accordance or not. Finding different methods for all three samples is commented as the calibration shifts during growth of layers. Also, thermal expansion coefficients are calculated. Shifts in peak positions caused by increasing temperature are given. It is seen that thermal expansion coefficients found are in accordance with literature

REFERENCES

- [1] Nakamura S., Pearton S., Fasol G., "The Blue Laser Diode", (2000).
- [2] Davydov V.Y.; Klochikhin A.A.; Seisyan R. P.; Emtsev V.V.; Ivanov S.V.; Bechstedt F.; Furthmuller J.; Harima H.; Mudryi A.V.; Aderhold J.; Semchinova O.; Graul J., "Absorption and emission of hexagonal InN. Evidence of narrow fundamental band gap", *Physica Status Solidi B-Basic Solid State Physics*, , 229 (3): R1-R3, (2002).
- [3] Matsuoka T.; Okamoto H.; Nakao M.; Harima H.; Kurimoto E., "Optical bandgap energy of wurtzite InN", *Appl Phys Lett*, 81 (7): 1246-1248, (2002).
- [4] Green M. A., "Recent developments and future prospects for third generation and other advanced cells" *Conference Record of the 2006 IEEE 4th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion*, 1-2: 15-19, (2006).
- [5] Luque A.; Marti A., "A Metallic Intermediate Band High Efficiency Solar Cell", *Prog Photovoltaics*, 9: 73-86, (2001).
- [6] Fetzer C. M.; King R. R.; Colter P. C.; Edmondson K. M.; Law D. C.; Stavrides A. P.; Yoon H.; Ermer J. H.; Romero M. J.; Karam N. H., "High-Efficiency Metamorphic Gainp/Gainas/Ge Solar Cells Grown by Mvpe", *J Cryst Growth*, 261: 341-348, (2004) .

- [7] Law D. C.; Fetzer C. M.; King R. R.; Colter P. C.; Yoon H.; Isshiki T. D.; Edmondson K. M.; Haddad M.; Karam N. H., "Multijunction Solar Cells with Subcell Materials Highly Lattice-Mismatched to Germanium", *Ieee Phot Spec Conf*, 575-578, (2005).
- [8] Dridi Z.; Bouhafs B.; Ruterana P., "First-Principles Investigation of Lattice Constants and Bowing Parameters in Wurtzite Alxgal-Xn, Inxgal-Xn and Inxal1-Xn Alloys", *Semicond Sci Tech*, 18: 850-856, (2003).
- [9] Birks L. S. a. F., H., "Particle Size Determination from X-Ray Line Broadening", *J Appl Phys*, 17: (1946).
- [10] Delhez R.; Dekeijser T. H.; Mittemeijer E. J., "Determination of Crystallite Size and Lattice-Distortions through X-Ray-Diffraction Line-Profile Analysis - Recipes, Methods and Comments", *Fresen Z Anal Chem*, 312: 1-16, (1982).
- [11] Wassermann G. and G., J., "Texturen Metallischer Werkstoffe", (1962).
- [12] Moram M. A.; Vickers M. E., "X-Ray Diffraction of Iii-Nitrides", *Rep Prog Phys*, 72, (2009).
- [13] Kisielowski C., et al., "Strain-Related Phenomena in Gan Thin Films", *Phys Rev B* 54: 17745-17753, (1996).
- [14] Suryanarayana C. a. N., M. G., "X-Ray Diffraction", (1996).
- [15] Serway R. A. a. B., R. J. , "Physics for Scientists and Engineers", (2000).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

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



Estimation of entropy generation for Ag-MgO/water hybrid nanofluid flow through rectangular minichannel by using artificial neural network

Dikdörtgen kesitli minikanalda Ag-MgO/su hibrit nanoakışkan akışının entropi üretiminin yapay sinir ağları kullanılarak tahmin edilmesi

Yazar(lar) (Author(s)): Cuneyt UYSAL¹, Mehmet Erdi KORKMAZ²

ORCID¹: 0000-0002-7986-1684

ORCID²: 0000-0002-0481-6002

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Uysal C., Korkmaz M. E., "Estimation of entropy generation for Ag-MgO/water hybrid nanofluid flow through rectangular minichannel by using artificial neural network", *Politeknik Dergisi*, 22(1): 41-51, (2019).

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

DOI: 10.2339/politeknik.417756

Estimation of Entropy Generation for Ag-MgO/Water Hybrid Nanofluid Flow through Rectangular Minichannel by Using Artificial Neural Network

Araştırma Makalesi / Research Article

Cuneyt UYSAL^{1*}, Mehmet Erdi KORKMAZ²

¹Automotive Technologies Program, TOBB Vocational School of Technical Sciences, Karabuk University, Turkey.

²Mechanical Engineering Department, Faculty of Engineering, Karabuk University, Turkey.

(Geliş/Received : 27.10.2017 ; Kabul/Accepted : 10.04.2018)

ABSTRACT

The convective heat transfer and entropy generation characteristics of Ag-MgO/water hybrid nanofluid flow through rectangular minichannel were numerically investigated. The Reynolds number was in the range of 200 to 2000 and different nanoparticle volume fractions were varied between $\phi = 0.005$ and 0.02. In addition, Artificial Neural Network was used to create a model for estimating of entropy generation of Ag-MgO/water hybrid nanofluid flow. As a result, it was found that the convective heat transfer coefficient for $\phi = 0.02$ Ag-MgO/water hybrid nanofluid is 21.29% higher than that of pure water, at $Re=2000$. Total entropy generation of Ag-MgO/water hybrid nanofluid increased with increasing nanoparticle volume fraction. The results obtained by ANN showed good agreement with the numerical results obtained in this study.

Keywords: Artificial neural network, convective heat transfer, entropy generation, hybrid nanofluid.

Dikdörtgen Kesitli Minikanalda Ag-MgO/Su Hibrit Nanoakışkan Akışının Entropi Üretimini Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Tahmin Edilmesi

ÖZ

Dikdörtgen kesitli minikanalda Ag-MgO/su hibrit nanoakışkan akışının taşınım ve ısı transferi ve entropi üretimi karakteristikleri sayısal olarak incelenmiştir. Reynolds sayısı 200 ile 2000 aralığındadır ve nanopartikül hacimsel oranı ise $\phi = 0.005$ ve 0.02 aralığında değiştirilmiştir. İlave olarak, Ag-MgO/su hibrit nanoakışkan akışının entropi üretiminin tahmin edilmesi için Yapay Sinir Ağları kullanılmıştır. Sonuç olarak, $Re = 2000$ 'de, $\phi = 0.02$ sahip Ag-MgO/su hibrit nanoakışkanının ısı taşınım katsayısının saf suyunkine kıyasla % 21.29 daha fazla olduğu bulunmuştur. Ag-MgO/su hibrit nanoakışkanının toplam entropi üretimi nanopartikül hacimsel oranının artmasıyla artmaktadır. Yapay sinir ağları ile elde edilen sonuçlar bu çalışmada elde edilen sayısal analizden elde edilen sonuçlar ile iyi bir uyum göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Yapay sinir ağları, taşınım ve ısı transferi, entropi üretimi, hibrit nanoakışkanlar.

1. INTRODUCTION

The idea based on solid particle addition to working fluids to enhance their thermophysical properties was firstly proposed by Maxwell in 1881 [1]. However, this idea has not been put into practice because of that solid particles having millimeter-sized caused to aggregation, sedimentation, clogging and abrasion problems in piping systems. In last decade, rapidly developing in nanotechnology made solid particles having nanometer-sized possible. By this means, the “nanofluid” concept was developed. The nanofluid term was firstly introduced by Choi and Eastman in 1995 [2] and it was prepared with metallic or non-metallic nanoparticle addition to conventional working fluids such as water, ethylene glycol or lubricants.

In last decade, several studies have been performed on nanofluid to determine their thermophysical properties such as viscosity [3-9] and thermal conductivity coefficient [7-13] and to determine their convective heat transfer [14-23] and fluid flow characteristics [14, 21-23]. The idea for obtaining better heat transfer and fluid flow characteristics compared to individual nanofluids led to developing of hybrid nanofluids. Hybrid nanofluids are prepared either by dispersing dissimilar nanoparticles as individual constituents or by dispersing nanocomposite particles in the base fluid [24]. The determination of thermophysical properties and heat transfer and fluid flow characteristics of hybrid nanofluids became important due to their better properties such as thermophysical properties, chemical stability, physical strength and mechanical resistance compared to individual nanofluids.

*Sorumlu yazar (Corresponding Author)
e-posta : cuneytuysal@karabuk.edu.tr

A few study have been performed on determination of thermophysical properties and heat transfer and fluid flow characteristics of individual and hybrid nanofluids by using artificial neural network.

Atashrouz et al. [25] developed a hybrid self-organizing polynomial neural network to evaluate viscosity values of nine nanofluids based on water, ethylene glycol and propylene glycol. Their results showed good agreement when compared to theoretical and empirical correlations. High regression coefficient of $R=0.9978$ was obtained. Longo et al. [26] predicted the dynamic viscosity of oxide nanoparticle suspensions based on water and ethylene glycol with artificial neural network. The model showed good agreement with the experimental data. The mean absolute percentage error was obtained to be 4.15%. Longo et al. [27] used a 3-input and a 4-input artificial neural network model to predict the thermal conductivity coefficient of oxide-water nanofluids. They reported that both models showed good agreement with experimental data. Esfe et al. [28] used artificial neural network in the prediction of viscosity and thermal conductivity of ferromagnetic nanofluids by using input experimental data, which are temperature, diameter of particles and nanoparticle volume fraction. They found that the maximum errors in predicting thermal conductivity and dynamic viscosity are 2% and 2.5%, respectively. Esfe et al. [29] investigated the change of thermal conductivity of Cu/TiO₂-water/ethylene glycol hybrid nanofluid with nanoparticle volume fraction and temperature. They proposed a correlation via artificial neural network by using these data based on experimental results. They reported that proposed correlation showed good agreement with experimental data.

Santra et al. [30] predicted the laminar natural convection of Cu/water nanofluid in a differentially heated square cavity by using Artificial Neural Network. They showed that ANN gives reliable results within the given range of training data. Tafarroj et al. [31] predicted the heat transfer coefficient and Nusselt number of TiO₂/water nanofluid flow through a microchannel heat sink with artificial neural network. They reported that the average relative errors in the prediction of Nusselt number and heat transfer coefficients are 0.3% and 0.2%, respectively. Ghahdarijani et al. [32] experimentally investigated the effect of water based Al₂O₃ and CuO nanofluids on the cooling performance and pressure drop of a jacket reactor. In addition, they used artificial neural networks based on two optimal models via feed-forward back-propagation multilayer perceptron. They obtained good agreement between the results of artificial neural networks and experiments for convective heat transfer and pressure drop. Safikhani et al. [33] investigated the heat transfer coefficient and pressure drop of Al₂O₃/water nanofluid flow through flat tubes by using computational fluid dynamics, artificial neural networks and Non-dominated Sorting Genetic Algorithms. Tomy et al. [34] simulated the silver/water nanofluid flow for flat plate solar collector by using Artificial Neural Networks. They found that the results obtained by using ANN show good

agreement with the experimental data with the deviation less than $\pm 2\%$.

To the best knowledge of authors, there is only a study, which is published by Bahiraei and Majd [35], for estimation of entropy generation of nanofluid flow by using artificial neural network. Bahiraei and Maid [35] numerically investigated the entropy generation of Al₂O₃/water nanofluid flow through triangular minichannel for some parameters such as Reynolds number, nanoparticle diameter, nanoparticle volume fraction etc. In addition, an artificial neural network model is created to estimate the entropy generation of Al₂O₃/water nanofluid flow in their study. They reported that the ANN model used in the study predicts the thermal, frictional and total entropy generations rates with mean absolute error (MAE) of 4.36×10^{-7} , 3.36×10^{-9} , 4.33×10^{-7} and with mean square error (MSE) of 2.43×10^{-13} , 2.01×10^{-17} , 2.37×10^{-13} , respectively.

In this study, convective heat transfer and entropy generation of Ag-MgO/water hybrid nanofluid through rectangular minichannel under constant heat flux are numerically investigated. The effects of Reynolds number and nanoparticle volume fraction are evaluated. In addition, an Artificial Neural Network model is created for the estimation of entropy generation. To the best knowledge of authors, this is the first survey for convective heat transfer and entropy generation of Ag-MgO/water hybrid nanofluid and the one of limited studies that uses artificial neural network for entropy generation of nanofluids.

2. MODEL DESCRIPTION and GOVERNING EQUATIONS

The hydraulic diameter of a channel is calculated by using $D_h = 4A_c/P$ formula, where A_c is cross-section area and P is perimeter. If hydraulic diameter obtained for a channel is between 200 μm and 3 mm, the channel is called as minichannel [36]. The geometry considered in this study is a rectangular minichannel having width of 3mm, height of 5 mm and length of 1m.

The flow is modeled as single-phase flow. It is due to that the fluid flow contains infinitesimal solid particles less than 100 nm [37]. Moreover, the flow is considered under three-dimensional, steady-state, incompressible flow conditions. The governing equations can be written with negligible buoyancy effect, viscous dissipation and radiation heat transfer as follows:

$$\text{div}(\rho \vec{V}) = 0 \quad (1)$$

$$\text{div}(\rho \vec{V} \vec{V}) = -\text{grad } P + \text{div}(\mu \text{grad } \vec{V}) \quad (2)$$

$$\text{div}(\rho C_p \vec{V} T) = \text{div}(k \text{grad } T) \quad (3)$$

where ρ , C_p , k and μ are the density, specific heat, thermal conductivity coefficient and dynamic viscosity of fluid, respectively. In addition, T and P represent temperature and pressure, respectively.

As can be seen from Eqs. 1-3, the governing equations are including thermophysical properties of working fluid. Therefore, the thermophysical properties should be defined for Ag-MgO/water hybrid nanofluid

2.1. Thermophysical properties of Ag-MgO/water hybrid nanofluid

In this study, Ag-MgO/water hybrid nanofluid with nanoparticle volume fraction ranged between $\phi = 0.005$ and 0.02 is used as working fluid. The density and specific heat of Ag-MgO hybrid nanoparticle can be calculated by the following equations, respectively.

$$\rho_{Ag-MgO} = \frac{(\rho_{Ag} W_{Ag}) + (\rho_{MgO} W_{MgO})}{(W_{Ag} + W_{MgO})} \quad (4)$$

$$Cp_{Ag-MgO} = \frac{(Cp_{Ag} W_{Ag}) + (Cp_{MgO} W_{MgO})}{(W_{Ag} + W_{MgO})} \quad (5)$$

where W is weight. For this study, the volumetric fractions of Ag and MgO nanoparticles in the content of Ag-MgO hybrid nanoparticle is assumed to be 50% and 50%, respectively [38]. The weight of each nanoparticle is calculated by using $W = \rho \forall g$ formula (where \forall is volume and g is gravitation) for a defined volume value of nanoparticle.

The density and specific heat of Ag-MgO/water nanofluid is defined by using the following equations, respectively.

$$\rho_{nf} = \phi \rho_{np} + (1 - \phi) \rho_{bf} \quad (6)$$

$$Cp_{nf} = \phi Cp_{np} + (1 - \phi) Cp_{bf} \quad (7)$$

where ϕ is nanoparticle volume fraction and the nf , np and bf subscripts denote nanofluid, nanoparticle and base fluid, respectively. The thermal conductivity coefficient and dynamic viscosity of Ag-MgO/water hybrid nanofluid is presented by Esfe et al. [38] as an empirical correlation in the function of nanoparticle volume concentration. For this study, these empirical correlations proposed by Esfe et al. [38] are used to calculate thermal conductivity coefficient and dynamic viscosity of Ag-MgO/water hybrid nanofluid.

$$k_{nf} = \left(\frac{0.1747 \times 10^5 + \phi}{0.1747 \times 10^5 - 0.1498 \times 10^6 \phi + 0.1117 \times 10^7 \phi^2 + 0.1997 \times 10^8 \phi^3} \right) k_{bf} \quad (8)$$

$$\mu_{nf} = (1 + 32.795\phi - 7214\phi^2 + 714600\phi^3 - 0.1941 \times 10^8 \phi^4) \mu_{bf} \quad (9)$$

The experiments to obtain empirical correlations mentioned above are realized for nanoparticle volume fraction range of $0 \leq \phi \leq 0.02$ for Ag-MgO/water hybrid nanofluid by Esfe et al. [38]. Therefore, these correlations are valid in the range of $0 \leq \phi \leq 0.02$.

2.2. Boundary conditions

At the minichannel inlet, the uniform temperature and velocity profiles are adopted. The inlet temperature of Ag-MgO/water hybrid nanofluid is assumed to be 303 K; whereas, the inlet velocity of Ag-MgO/water hybrid nanofluid is calculated by using Reynolds number

formula, which is $V = (\mu Re) / (\rho D_h)$, for a defined Reynolds number. In this study, the Reynolds number is in the range of $200 \leq Re \leq 2000$. At the minichannel outlet, the pressure outlet boundary condition is applied. At the minichannel walls, no-slip condition is valid. Constant heat flux of 100 W/m^2 is applied to bottom wall of minichannel. The remained walls of minichannel are assumed to be insulated.

3. ENTROPY GENERATION

Entropy is defined as the measure of molecular disorder and randomness. Entropy generation analysis informs the designer about the irreversibility due to flow friction and heat transfer through a finite temperature difference, mixing, chemical reactions etc. [39]. For internal flow, the entropy generation per unit length can be expressed as follows [39].

$$\dot{S}'_{gen, total} = \dot{S}'_{gen, heat transfer} + \dot{S}'_{gen, fluid friction} \quad (10)$$

where the first term on right side of Eqs. 10 is entropy generation due to heat transfer per unit length and it is written as follows:

$$\dot{S}'_{gen, heat transfer} = \frac{q''^2 \pi D_h^2}{k T_b^2 Nu} \quad (11)$$

where q'' is heat flux. T_b is bulk temperature and it is defined as $T_b = (T_{in} + T_{out}) / 2$. The Nusselt number (Nu) is calculated by using following equation.

$$Nu = \frac{h D_h}{k} \quad (12)$$

where h is the convective heat transfer coefficient and it is given by following equation:

$$h = \frac{1}{A} \int_A \frac{q''}{(T_w - T_b)} dA \quad (13)$$

where T_w and T_b are wall temperature and bulk temperature, respectively.

The second term on right side of Eqs. 10 is entropy generation due to fluid friction per unit length and it is expressed as follows:

$$\dot{S}'_{gen, fluid friction} = \frac{8 \dot{m}^3}{\pi^2 \rho^2 T_b} \frac{f}{D^5} \quad (14)$$

where \dot{m} is the mass flow rate and it is defined as $\dot{m} = \rho AV$. f is the Darcy friction factor and it can be calculated with following equation:

$$f = 2 \frac{D}{L} \frac{\Delta P}{\rho V^2} \quad (15)$$

where ΔP is pressure drop.

By this way, Eqs. 10 is rewritten as follows:

$$\dot{S}'_{gen, total} = \frac{q''^2 \pi D_h^2}{k T_b^2 Nu} + \frac{8 \dot{m}^3}{\pi^2 \rho^2 T_b} \frac{f}{D^5} \quad (16)$$

The Bejan number can be written in the context of thermodynamics as follows:

$$Be = \frac{\dot{S}'_{gen,heat\ transfer}}{\dot{S}'_{gen,heat\ transfer} + \dot{S}'_{gen,fluid\ friction}} \quad (17)$$

The Bejan number is defined as the ratio of heat transfer irreversibility to total irreversibility due to heat transfer and fluid friction.

4. NUMERICAL METHOD

The simulations are conducted with Finite Volume Method (FVM). In the coupling of pressure and velocity terms, Semi-Implicit Method for Pressure Linked Equation (SIMPLE) algorithm is applied [40]. To discretize the convection and diffusion terms, second order upwind scheme is utilized. The residual convergence criterion is selected 10^{-6} in numerical tests for governing equations.

Hexagonal meshes are used in the modeling of minichannel. To obtain detailed and accurate results for boundary layer, finer meshes are used in the regions close to minichannel walls and corners. For mesh independency test, the different mesh numbers are used. As a consequence of grid independency test, the mesh structure consisting of 30 nodes on width, 50 nodes on height and 500 nodes of length is selected as the best mesh structure.

5. ARTIFICIAL NEURAL NETWORK

Artificial Neural Network consisting of inputs by users and an output reflecting the information kept in connections during training is a nonlinear system involving neurons and weighted connection links. A multilayer artificial neural network involves at least three layer, namely, input, hidden and output layers demonstrated in Fig. 1. The referred learning or training is reached by decreasing the sum of square error between the predicted output of ANN and the actual output from training data, by continuously adjusting and lastly defining the weights that connects neurons in conjunctive layers.

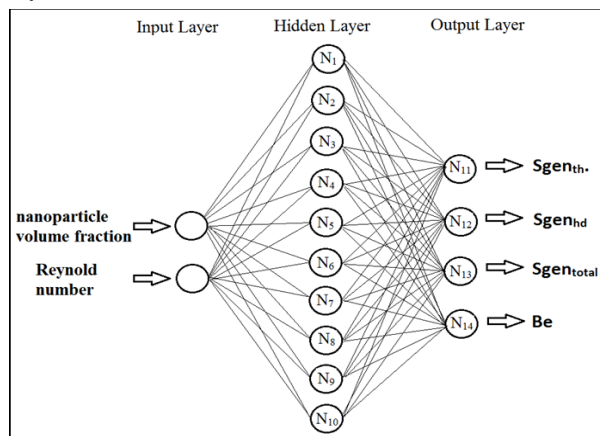


Figure 1. Artificial neural network structure

ANN analyses are performed for $\dot{S}'_{gen,th}$, $\dot{S}'_{gen,hd}$, $\dot{S}'_{gen,total}$ and Be values in 50 numerical results that are 10 results for nanoparticle volume fraction. Reynold number and nanoparticle volume fraction are entered as independent parameters (inputs) and $\dot{S}'_{gen,th}$, $\dot{S}'_{gen,hd}$, $\dot{S}'_{gen,total}$ and Be values are entered as dependent parameter (output) in ANN software program. 10 numerical results are chosen for testing (confirmation) and rest of 40 results are used as training data in MATLAB software program. The most appropriate topology is determined as 2-10-4 after many trial-errors with ANN (Fig.1). It is stated that Levenberg–Marquardt algorithm is used due to the fastest method and one level hidden layer with 10 neurons has been chosen. As a result, N1, N2, N3, N4, N5, N6, N7, N8, N9, N10 and N11, N12, N13, N14 neurons are determined as hidden layer and output layer, respectively.

The weights of each neurons have been specified in training result and average deviation value has been calculated from ANN output values and experimental results. Output neurons developed for estimated $\dot{S}'_{gen,th}$, $\dot{S}'_{gen,hd}$, $\dot{S}'_{gen,total}$ and Be have been calculated by using Fermi transfer function.

$$E_{i11-14} = \frac{1}{1 + e^{-4(\sum_i^n w_i N_i - 0.5)}} \quad (18)$$

Here, n and w_i show the number of neurons used in hidden layer and weights of neurons, respectively. N_i is the effect on $\dot{S}'_{gen,th}$, $\dot{S}'_{gen,hd}$, $\dot{S}'_{gen,total}$ and Be of each neuron used in hidden layer. According to input parameters in ANN model;

$$E_i = 4(c_{1i}VF + c_{2i}Re - 0.5) \quad (19)$$

$$N_i = \frac{1}{1 + e^{-E_i}} \quad (20)$$

are defined. C_{ij} constants show the weight of each neuron used in hidden layer after the result of data training set in MATLAB software. While C_{ij} values have 10 constants in hidden layer those have been given in Table 1.

Table 1. Weights of each neurons for $\dot{S}'_{gen,th}$, $\dot{S}'_{gen,hd}$,

$\dot{S}'_{gen,total}$ and Be

i	C_{1i}	C_{2i}
1	3.2023	1.2084
2	1.6103	3.2745
3	0.25359	-2.0317
4	-4.0298	1.6172
5	-4.5109	1.215
6	1.6045	1.7605
7	-4.0538	1.7741
8	-2.9469	-2.4593
9	4.0887	1.6186
10	2.1825	4.3813

5.1. K-Fold Cross validation

Cross-validation is a measurement of assessing the performance of a predictive model, and statistical analysis will generalize to an independent dataset. There are many types of cross-validation, such as repeated random sub-sampling validation, K-fold cross validation (Figure 2), K x 2 cross-validations, leave-one-out cross-validation and so on (Figure 3).

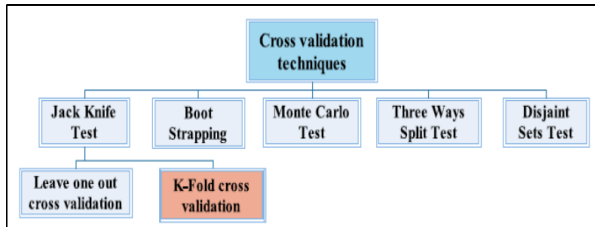


Figure 2. Diagram of cross validation techniques types [41].

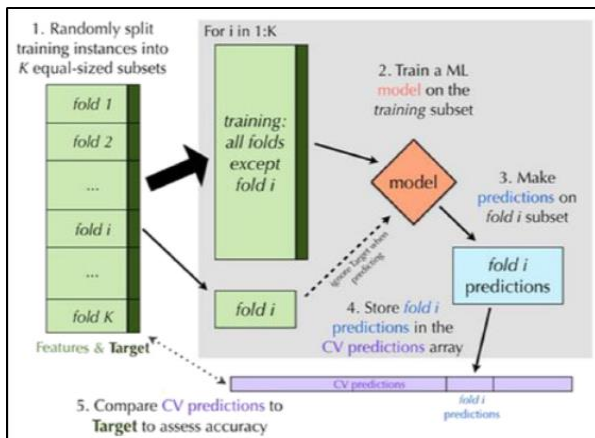


Figure 3. Flowchart of the K-fold cross-validation [41].

In this study, we pick up 5-fold cross-validation for selecting parameters of model. The K-fold cross-validation is a technique of dividing the original sample randomly into K subsamples. Then, a single sub-sample is regarded as the validation data for testing the model, and the remaining K-1 sub-samples are used as training data. These processes are repeated K times and each of the K sub-samples used exactly one as the validation data. The K results from the folds can then be averaged (or otherwise combined) to produce a single estimation. The ANN model (test results) showed in this study has the lowest error among 5 subsamples.

5.2. Performance evaluation criteria

In the final stage of this study, reliability of mathematical model is assessed with various error control methods in order to demonstrate the suitability of model. Due to fact that training and testing procedure in ANN is performed by considering an error value (e), average of the sum of these error values is needed to be minimized. This minimized value is the mean squared error (MSE) that is a criteria determining the ANN performance. Root-mean-squared (RMS), coefficient of determination (R^2),

mean absolute percentage error (MAPE) has been taken into consideration as criteria in similarity between experimental and ANN results.

$$MSE = \frac{1}{p} \sum_i e_i^2 = \frac{1}{p} \sum_i (t_i - o_i)^2 \quad (21)$$

$$RMS = \sqrt{MSE} = \sqrt{\frac{1}{p} \sum_i e_i^2} = \sqrt{\frac{1}{p} \sum_i (t_i - o_i)^2} \quad (22)$$

$$R^2 = 1 - \left(\frac{\sum_i (t_i - o_i)^2}{\sum_i o_i^2} \right) \quad (23)$$

$$MAPE = \frac{1}{p} \sum_i \left(\frac{|t_i - o_i|}{t_i} \right) \times 100 \quad (24)$$

In Eqs. 21-24, p , t_i , o_i and e_i show the sample simulation number, output value from simulations, output value from ANN and error value, respectively. The applicability of developed model increases when R^2 value approaches to 1.

6. RESULTS and DISCUSSION

The convective heat transfer and entropy generation of Ag-MgO/water hybrid nanofluid flow through rectangular minichannel are numerically investigated for different Reynolds number and nanoparticle volume fractions. The flow is considered as laminar flow and the Reynolds number is in the range of 200 and 2000. The nanoparticle volume fraction (ϕ) of Ag-MgO/water hybrid nanofluid is varied between 0.005 and 0.02. Constant heat flux of 100 W/m² is applied at the bottom surface of minichannel.

The variation of convective heat transfer coefficient of Ag-MgO/water hybrid nanofluid with the Reynolds number for different nanoparticle volume fractions is shown in Fig. 4.

As can be seen from Fig. 4., the convective heat transfer coefficient of Ag-MgO/water hybrid nanofluid flow increases with increase in both the Reynolds number and nanoparticle volume fraction. The maximum convective heat transfer coefficients are obtained for Ag-MgO/water hybrid nanofluid having nanoparticle volume fraction of $\phi = 0.02$ at Re=2000. At Re=2000, the convective heat transfer coefficient obtained for $\phi = 0.02$ Ag-MgO/water hybrid nanofluid is 21.29% higher compared to that of pure water.

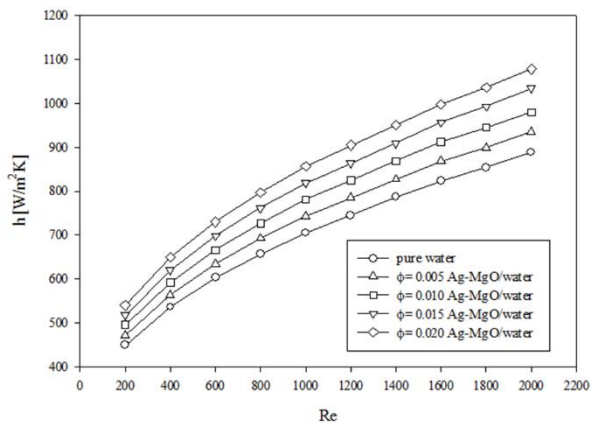


Figure 4. Convective heat transfer coefficient

As can be seen from Fig. 4., the convective heat transfer coefficient of Ag-MgO/water hybrid nanofluid flow increases with increase in both the Reynolds number and nanoparticle volume fraction. The maximum convective heat transfer coefficients are obtained for Ag-MgO/water hybrid nanofluid having nanoparticle volume fraction of $\phi=0.02$ at $Re=2000$. At $Re=2000$, the convective heat transfer coefficient obtained for $\phi=0.02$ Ag-MgO/water hybrid nanofluid is 21.29% higher compared to that of pure water.

The change of Nusselt number of Ag-MgO/water hybrid nanofluid with the Reynolds number for different nanoparticle volume fractions is illustrated in Fig. 5.

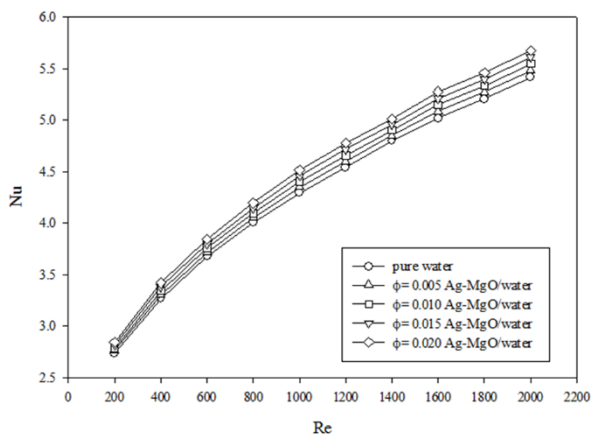


Figure 5. The Nusselt number

It is clear that the Nusselt number of Ag-MgO/water hybrid nanofluid flow increases with increasing in both the Reynolds number and nanoparticle volume fraction. The Nusselt number values obtained for $\phi=0.02$ Ag-MgO/water hybrid nanofluid at $Re=200$ and at $Re=2000$ are $Nu=2.84$ and $Nu=5.68$, respectively. At $Re=2000$, the Nusselt number value for $\phi=0.02$ Ag-MgO/water hybrid nanofluid is 4.76% higher than that of pure water. The lower enhancement in the Nusselt number compared to pure water is due to the fact that the nanoparticle addition

to working fluid simultaneously increases the convective and conductive heat transfer coefficients. For this study, higher increment obtained for convective heat transfer coefficient compared to conductive heat transfer caused to increment in the Nusselt number.

The variation of Darcy friction factor of Ag-MgO/water hybrid nanofluid with the Reynolds number for different nanoparticle volume fractions is illustrated in Fig. 6.

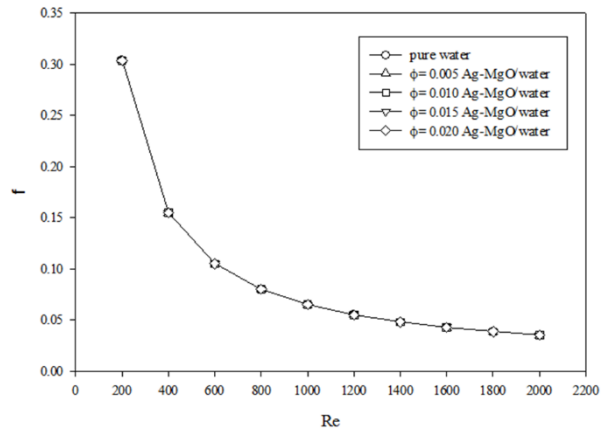


Figure 6. The Darcy friction factor

The Darcy friction factor of Ag-MgO/water hybrid nanofluid decreases with increasing the Reynolds number. However, it is not affected by nanoparticle volume fraction. Nanoparticle addition to working fluid causes to an increment in pressure drop; however, does not affect dimensionless pressure drop. Therefore, the Darcy friction factor does not change for different nanoparticle volume fractions.

The change of entropy generation due to heat transfer per unit length of Ag-MgO/water hybrid nanofluid with the Reynolds number for different nanoparticle volume fractions is illustrated in Fig. 7.

As can be seen from Fig. 7, the entropy generation due to heat transfer per unit length decreases with decrease in both the Reynolds number and nanoparticle volume fraction. At $Re=2000$, the entropy generation due to heat transfer per unit length obtained for $\phi=0.02$ Ag-MgO/water hybrid nanofluid is 1.18×10^{-6} W/mK, while it is 1.44×10^{-6} W/mK for pure water at same Reynolds number value. The reason of reduction in entropy generation due to heat transfer arising from nanoparticle addition is that convective heat transfer coefficient increases with increase in nanoparticle volume fraction.

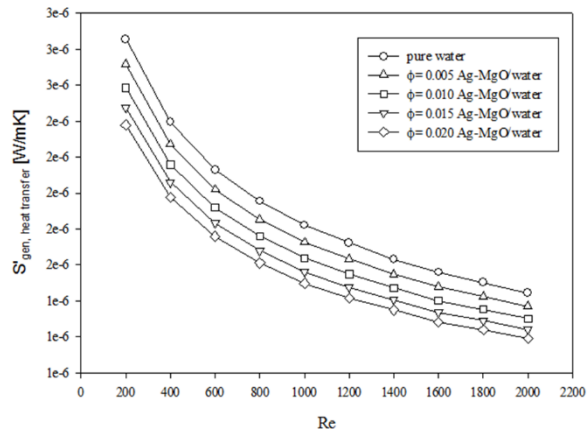


Figure 7. Entropy generation due to heat transfer per unit length

The variation of entropy generation due to fluid friction per unit length of Ag-MgO/water hybrid nanofluid with the Reynolds number for different nanoparticle volume fractions is shown in Fig. 8.

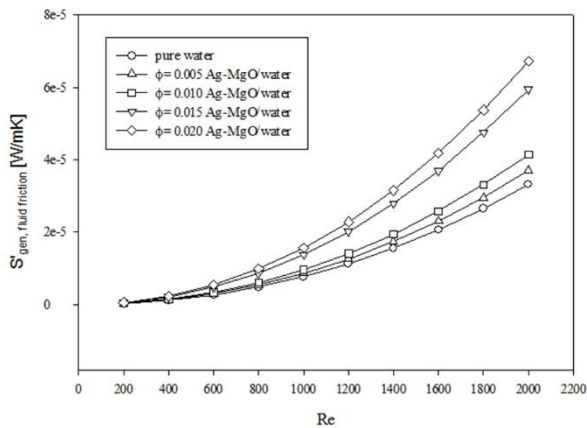


Figure 8. Entropy generation due to fluid friction per unit length

The entropy generation due to fluid friction per unit length of Ag-MgO/water hybrid nanofluid increases with increase in both the Reynolds number and nanoparticle volume fraction. The highest entropy generation values due to fluid friction per unit length are obtained for $\phi = 0.02$ Ag-MgO/water hybrid nanofluid. At $Re=2000$, the entropy generation value due to fluid friction for pure water is 3.31×10^{-5} W/mK, while it is 6.73×10^{-5} W/mK for $\phi = 0.02$ Ag-MgO/water hybrid nanofluid. For this study, the analyses are realized for fixed Reynolds numbers. To obtain the defined Reynolds number, the velocity value of flow increases with nanoparticle addition to working fluid. In addition, the density and bulk temperature of flow increases with increase in nanoparticle volume fraction of Ag-MgO/water hybrid nanofluid. These increments in velocity and density and decrement in bulk temperature of the flow with nanoparticle addition cause to increase in entropy generation due to fluid friction of flow.

The variation of total entropy generation per unit length of Ag-MgO/water hybrid nanofluid with the Reynolds number for different nanoparticle volume fractions is shown in Fig. 9.

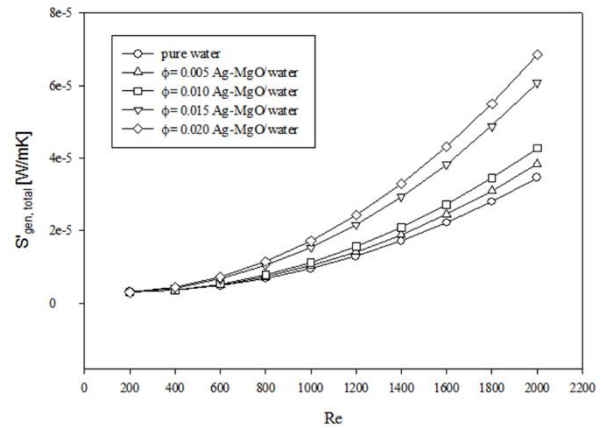


Figure 9. Total entropy generation per unit length

As can be seen from Fig. 9, the total entropy generation increases with increase in both the Reynolds number and nanoparticle volume fraction. The results obtained for total entropy generation and for entropy generation due to fluid friction are almost same. This situation shows that the fluid friction is dominant factor for total entropy generation of flow. This is due to that the minichannel considered in this study has very small hydraulic diameter.

The variation of the Bejan number of Ag-MgO/water hybrid nanofluid with the Reynolds number for different nanoparticle volume fractions is illustrated in Fig. 10.

As expected, the Bejan number of Ag-MgO/water hybrid nanofluid flow decreases with increase both in the Reynolds number and nanoparticle volume fraction. Bejan number expresses the domination of heat transfer on the total entropy generation of flow. As mentioned above, the entropy generation due to fluid friction is dominant for this study, and it increases with increase in nanoparticle volume fraction. Therefore, the Bejan number decreases with increasing nanoparticle volume fraction. At $Re=200$, the Bejan number values obtained for pure water and $\phi = 0.02$ Ag-MgO/water hybrid nanofluid are 0.9085 and 0.8028, respectively. Whereas, at $Re=2000$, pure water and $\phi = 0.02$ Ag-MgO/water hybrid nanofluid has a Bejan number of 0.0417 and 0.0174, respectively.

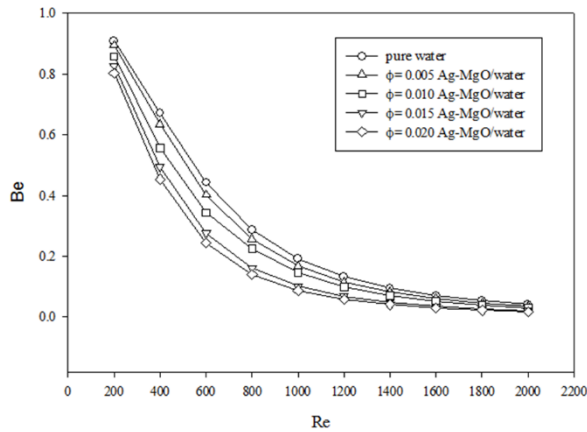


Figure 10. The Bejan number

In this study, 5-fold cross validation was performed and the test results having the lowest error were used for this ANN analysis. Table 2-5 shows that mean absolute percentage errors for $\dot{S}'_{gen,th}$, $\dot{S}'_{gen,hd}$, $\dot{S}'_{gen,total}$ and Be have been calculated as 0.80013, 4.08908, 2.48949, 4.253272% in training results while it is 1.38476, 7.41604, 2.54823, 8.595395 % in testing results. The calculation of all R^2 values above 99% shows the higher reliability of ANN model for $\dot{S}'_{gen,th}$, $\dot{S}'_{gen,hd}$, $\dot{S}'_{gen,total}$ and Be . The comparison of $\dot{S}'_{gen,th}$, $\dot{S}'_{gen,hd}$, $\dot{S}'_{gen,total}$ and Be obtained from experimental and ANN results has been illustrated in Fig. 11-14. It is clearly seen that the output values for both experimental and ANN are very close to each other. In addition, it is confirmed that this ANN model is high accurate and applicable in future studies.

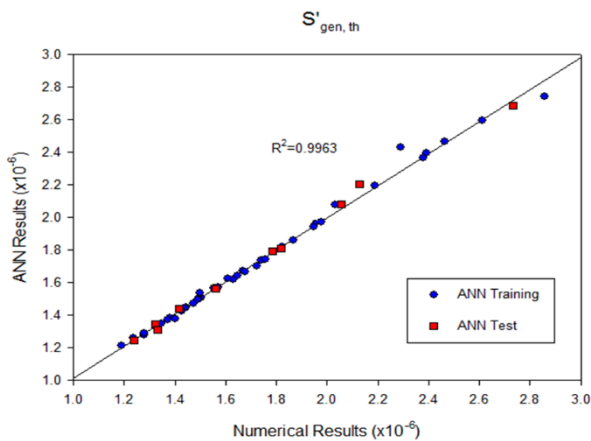


Figure 11. ANN performance for $\dot{S}'_{gen,th}$

Table 2. The statistical error values for $\dot{S}'_{gen,th}$

	<i>RMS</i>	<i>MSE</i>	<i>R</i> ²	<i>MAPE</i>
ANN Training Data	0,03227	0,00104	0,99967	0,80013
ANN Test Data	0,03289	0,00108	0,99967	1,38476
ANN- Total	0,95763	0,91706	0,99967	0,91706

Table 3. The statistical error values for $\dot{S}'_{gen,hd}$

	<i>RMS</i>	<i>MSE</i>	<i>R</i> ²	<i>MAPE</i>
ANN Training Data	0,92758	0,860404	0,99846	4,08908
ANN Test Data	1,44230	2,0802	0,99670	7,41604
ANN- Total	2,18048	4,7545	0,99807	4,75447

Table 4. The statistical error values for $\dot{S}'_{gen,total}$

	<i>RMS</i>	<i>MSE</i>	<i>R</i> ²	<i>MAPE</i>
ANN Training Data	0,83922	0,7043	0,99886	2,48949
ANN Test Data	1,16831	1,36495	0,99829	2,54823
ANN- Total	1,58153	2,50124	0,99872	2,50124

Table 5. The statistical error values for Be

	<i>RMS</i>	<i>MSE</i>	<i>R</i> ²	<i>MAPE</i>
ANN Training Data	0,014537	0,000211	0,998354	4,253272
ANN Test Data	0,016840	0,000284	0,997970	8,595395
ANN- Total	2,263117	5,1217	0,998272	5,121697

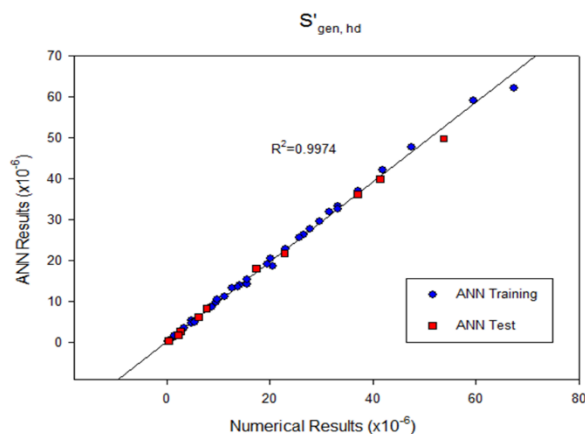


Figure 12. ANN performance for $\dot{S}'_{gen,hd}$

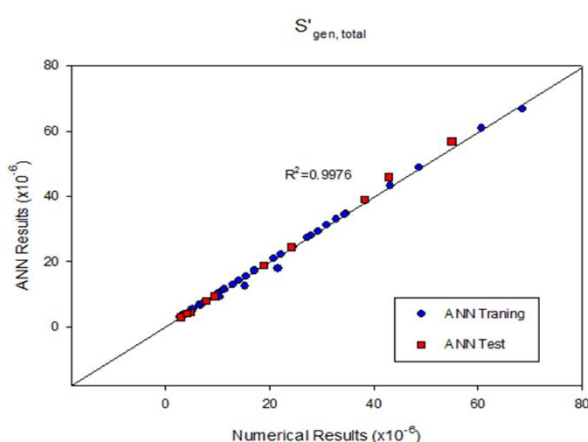


Figure 13. ANN performance for $\dot{S}'_{gen,total}$

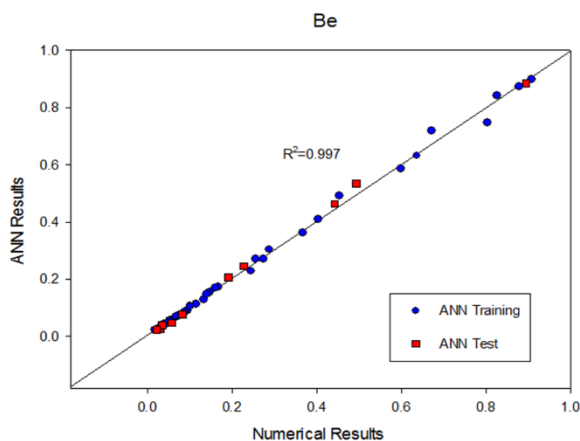


Figure 14. ANN performance for Be .

7. CONCLUSIONS

In this study, convective heat transfer and entropy generation of Ag-MgO/water hybrid nanofluid flow through rectangular minichannel were numerically investigated. A constant heat flux was applied to the bottom wall of minichannel and flow was considered under laminar flow conditions. The Reynolds number ranged between $Re=200$ and $Re=2000$ and nanoparticle

volume fraction was in the range of $\phi=0.005$ and 0.02 . Results showed that the convective heat transfer enhancement is obtained with Ag-MgO hybrid nanoparticle addition to pure water. Increase in nanoparticle volume fraction of Ag-MgO hybrid nanoparticle caused to decrease in entropy generation due to heat transfer; however, caused to increase in entropy generation due to fluid friction. For this study, it was observed that the fluid friction is dominant parameter in the total entropy generation. It is due to that the minichannel considered in this study has a very small hydraulic diameter. In this study, an ANN model was created to estimate the entropy generation of Ag-MgO hybrid nanofluid. The results obtained by ANN model showed good agreement with the numerical results. It was confirmed that this ANN model has high accuracy for estimation of entropy generation and applicable in future studies.

REFERENCES

- [1] Maxwell J.C., "A Treatise on Electricity and Magnetism", 2nd ed., *Clarendon Press Series*, Oxford, (1873).
- [2] Choi S.U.S. and Eastman J.A., "Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles", *ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition*, San Francisco, 1-8, (1995).
- [3] Bobbo S., Fedele L., Benetti A., Colla L., Fabrizio M., Pagura C. and Barison S., "Viscosity of water based SWCNH and TiO_2 nanofluids", *Experimental Thermal and Fluid Science*, 36: 65-71, (2012).
- [4] Wang W., Xu X. and Choi S.U.S., "Thermal conductivity of nanoparticle-fluid mixture", *Journal of Thermophysics and Heat Transfer*, 13: 474-480, (1999).
- [5] Nguyen C.T., Desgranges F., Galanis N., Roy G., Mare T., Boucher S. and Mintsa H.A., "Viscosity data for Al_2O_3 -water nanofluid-hysteresis: is heat transfer enhancement using nanofluids reliable?", *International Journal of Thermal Sciences*, 47: 103-111, (2008).
- [6] Pak B.C. and Cho Y.I., "Hydrodynamic and heat transfer study of dispersed fluids with submicron metallic oxide particles", *Experimental Heat Transfer*, 11: 151-170, (1998).
- [7] Chandrasekar M., Suresh S. and Bose A.C., "Experimental investigations and theoretical determination of thermal conductivity and viscosity of Al_2O_3 /water nanofluid", *Experimental Thermal and Fluid Science*, 34: 210-216, (2010).
- [8] Masuda H., Ebata A., Teramae K. and Hishinuma N., "Alteration of thermal conductivity and viscosity of liquid by dispersing ultra-fine particles. Dispersion of Al_2O_3 , SiO_2 and TiO_2 ultra-fine particles", *Netsu Bussei*, 7: 227-233, (1993).
- [9] Turgut A., Tavman I., Chirtoc M., Schuchmann H.P., Sauter C. and Tavman S., "Thermal conductivity and viscosity measurements of water-based TiO_2 nanofluid", *International Journal of Thermophysics*, 30: 1213-1226, (2009).
- [10] Li C.H. and Peterson G.P., "Experimental investigation of temperature and volume fraction variations on the

- effective thermal conductivity of nanoparticle suspensions (nanofluids)", *Journal of Applied Physics*, 99: 084314 1-8 (2006).
- [11] Kang H.U., Kim S.H. and Oh J.M., "Estimation of thermal conductivity of nanofluid using experimental effective particle volume", *Experimental Heat Transfer*, 19: 181-191 (2006).
- [12] F. Qiao, "Preparation and property Ag, Graphene nanofluids", *Master Dissertations*, Qingdao University of Science and Technology, (2010).
- [13] Sharma P., Baek I.H., Cho T., Park S. and Lee K.B., "Enhancement of thermal conductivity of ethylene glycol based silver nanofluids", *Powder Technology*, 208: 7-19, (2011).
- [14] Jung J.-Y., Oh H.-S. and Kwak H.-Y., "Forced convective heat transfer of nanofluids in microchannels", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 52: 466-472, (2009).
- [15] Haghighi E.B., Utomo A.T., Ghanbarpour M., Zavareh A.I.T., Poth H., Khodabandeh R., Pacek A. and B.E. Palm, "Experimental study on convective heat transfer of nanofluids in turbulent flow: Methods of comparison of their performance", *Experimental Thermal and Fluid Science*, 57: 378-387, (2014).
- [16] Mirfendereski S., Abbassi A., Saffar-avval M., "Experimental and numerical investigation of nanofluid heat transfer in helically coiled tubes at constant wall heat flux", *Advanced Powder Technology*, 26: 1483-1494, (2015).
- [17] Allahyar H.R., Hormozi F. and ZareNezhad B., "Experimental investigation on the thermal performance of a coiled heat exchanger using a new hybrid nanofluid", *Experimental Thermal and Fluid Science*, 76: 324-329, (2016).
- [18] Yu J., Kang S.-W., Jeong R.-G. and Banerjee D., "Experimental validation of numerical predictions for forced convective heat transfer of nanofluids in a microchannel", *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 62: 203-212, (2016).
- [19] Selvam C., Irshad E.C.M., Lal D.M. and Harish S., "Convective heat transfer characteristics of water-ethylene glycol mixture with silver nanoparticles", *Experimental Thermal and Fluid Science*, 77: 188-196, (2016).
- [20] Bourantas G.C., Skouras E.D., Loukopoulos V.C. and Burganos V.N., "Heat transfer and natural convection of nanofluids in porous media", *European Journal of Mechanics-B/Fluids*, 43: 45-56, (2014).
- [21] Sundar L.S., Singh M.K. and Sousa A.C.M., "Enhanced heat transfer and friction factor of MWCNT-Fe₃O₄/water hybrid nanofluids", *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 52: 73-83, (2014).
- [22] Suresh S., Venkataraj K.P., Selvakumar P. and Chandrasekar M., "Effect of Al₂O₃-Cu/water hybrid nanofluid in heat transfer", *Experimental Thermal and Fluid Science*, 38: 54-60, (2012).
- [23] Ahmad U.K., Hasreen M., Yahaya N.A. and Rosnadiyah B., "Comparative study of heat transfer and friction factor characteristics of nanofluids in rectangular channel", *Procedia Engineering*, 170: 541-546, (2017).
- [24] Babu J.A.R., Kumar K.K. and Rao S.S., "State-of-art review on hybrid nanofluids", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 77: 551-565 (2017).
- [25] Atashrouz S., Pazuki G. and Alimoradi Y., "Estimation of the viscosity of nine nanofluids using a hybrid GMDH-type neural network system", *Fluid Phase Equilibra*, 372: 43-48 (2014).
- [26] Longo G.A., Zilio C., Ortombina L. and Zigliotto M., "Application of artificial neural network (ANN) for modeling oxide-based nanofluids dynamic viscosity", *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 83: 8-14 (2017).
- [27] Longo G.A., Zilio C., Ceseracciu E. and Reggiani M., "Application of artificial neural network (ANN) for the prediction of thermal conductivity of oxide-water nanofluids", *Nano Energy*, 1: 290-296, (2012).
- [28] Esfe M. H., Saedodin S., Sina N., Afrand M. and Rostami S., "Designing an artificial neural network to predict thermal conductivity and dynamic viscosity of ferromagnetic nanofluid", *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 68: 50-57, (2015).
- [29] Esfe M. H., Wongwises S., Naderi A., Asadi A., Safaei M. R., Rostamin H., Dahari M. and Karimipour A., "Thermal conductivity of Cu/TiO₂-water/EG hybrid nanofluid: Experimental data and modeling using artificial neural network and correlation", *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 66: 100-104, (2015).
- [30] Santra A. K., Chakraborty N. and Sen S., "Prediction of heat transfer due to presence of copper-water nanofluid using resilient-propagation neural network", *International Journal of Thermal Sciences*, 48: 1311-1318, (2009).
- [31] Tafarroj M. M., Mahian O., Kasaeian A., Sakamatapan K., Dalkilic A. S. and Wongwises S., "Artificial neural network modeling of nanofluid flow in a microchannel heat sink using experimental data", *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 86: 25-31, (2017).
- [32] Ghahdarjani A. M., Hormozi F. and Asl A. H., "Convective heat transfer and pressure drop study on nanofluids in double-walled reactor by developing an optimal multilayer perceptron artificial neural network", *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 84: 11-19, (2017).
- [33] Safikhani H., Abbassi A., Khalkhali A. and Kalteh M., "Multi-objective optimization of nanofluid flow in flat tubes using CFD, Artificial Neural Networks and genetic algorithms", *Advanced Powder Technology*, 25: 1608-1617, (2014).
- [34] Tomy A. M., Ahammed N., Subathra M. S. P. and Asirvatham L. G., "Analysing the performance of a flat plate solar collector with silver/water nanofluid using artificial neural network", *Procedia Computer Science*, 93: 33-40, (2016).
- [35] Bahiraei M. and Majd S. M., "Prediction of entropy generation for nanofluid flow through a triangular minichannel using neural network", *Advanced Powder Technology*, 27: 673-683, (2016).
- [36] Kandlikar S., Garimella S., Li D., Colin S. and King M. R., "Heat Transfer and Fluid Flow in Minichannels and

- Microchannels”, *Elsevier Science and Technology*, (2005).
- [37] Das S. K., Choi S. U. S., Yu W. and Pradeep T., “Nanofluids: Science and Technology”, *John Wiley & Sons*, Jersey, (2008).
- [38] Esfe M. H., Arani A. A. A., Rezaie M., Yan W.-M. and Karimipour A., “Experimental determination of thermal conductivity and dynamic viscosity of Ag-MgO/water hybrid nanofluid”, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 66: 189-195, (2015).
- [39] Bejan A., “Entropy Generation through Heat and Fluid Flow”, *John Wiley and Sons*, 1982.
- [40] Patankar S. V., “Numerical Heat Transfer and Fluid Flow”, *CRC Press*, (1980).
- [41] Rohani A., Taki M. and Abdollahpour M., “A novel soft computing model (Gaussian process regression with K-fold cross validation) for daily and monthly solar radiation forecasting (Part: I)”, *Renewable Energy*, 115: 411-422, (2018).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

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



Laminar forced convection over an inclined flat plate with unheated starting length

Isıtılmamış başlangıç uzunluğuna sahip bir eğik düz plaka üzerindeki laminar zorlanmış konveksiyon

Yazar(lar) (Author(s)): Oguz TURGUT¹, Ahmet Cem OZCAN², Hasmet TURKOGLU³

ORCID¹: 0000-0001-5480-1039

ORCID²: 0000-0002-2871-1774

ORCID³: 0000-0002-1941-986X

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Turgut O., Ozcan A. C. and Turkoglu H., "Laminar forced convection over an inclined flat plate with unheated starting length", *Politeknik Dergisi*, 22(1): 53-62, (2019).

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

DOI: 10.2339/politeknik.403984

Laminar Forced Convection Over An Inclined Flat Plate With Unheated Starting Length

Araştırma Makalesi / Research Article

Oguz TURGUT^{1*}, Ahmet Cem OZCAN¹, Hasmet TURKOGLU²

¹Gazi University, Engineering Faculty, Department of Mechanical Engineering & Clean Energy Research and Application Center (TEMENAR), 06570 Ankara-TURKEY

²Cankaya University, Engineering Faculty, Department of Mechanical Engineering, 06790 Ankara-TURKEY

(Geliş/Received : 30.10.2017 ; Kabul/Accepted : 15.02.2018)

ABSTRACT

Two-dimensional laminar forced convection over an inclined flat plate with an unheated starting length was investigated numerically for both constant surface temperature and constant heat flux boundary conditions. The numerical study was implemented using the commercial software ANSYS Fluent 15.0. Air is used as working fluid. The influence of Reynolds number, inclination angle and the length of unheated plate on velocity and temperature distributions, surface temperature, surface heat flux and local Nusselt number was investigated. The results show that Reynolds number, inclination angle and the length of unheated region of plate play important role on heat transfer from the plate. It is seen that Nusselt number increases with increasing Reynolds number and inclination angle of inclined flat plate but decreases with increasing the length of unheated region of plate.

Keywords: Laminar flow, forced convection, inclined flat plate, unheated starting, numerical analysis.

Isıtılmamış Başlangıç Uzunluğuna Sahip Bir Eğik Düz Plaka Üzerindeki Laminar Zorlanmış Konveksiyon

ÖZ

Isıtılmamış başlangıç uzunluğuna sahip bir eğik düz plaka üzerindeki iki boyutlu laminar zorlanmış konveksiyon sabit yüzey sıcaklığı ve sabit yüzey ısı akısı sınır şartları için sayısal olarak incelenmiştir. Sayısal çalışma ANSYS Fluent 15.0 ticari paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma akışkanı olarak hava kullanılmıştır. Reynolds sayısının, ısıtılmamış plaka uzunluğunun ve plaka eğim açısının hız ve sıcaklık dağılımları, yüzey sıcaklığı, yüzey ısı akısı ve yerel Nusselt sayısı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Sonuçlar Reynolds sayısının, plaka eğim açısının ve düz plakanın ısıtılmamış bölge uzunluğunun plakadan olan ısı transferi için önemli olduğunu göstermiştir. Nusselt sayısının artan Reynolds sayısı ve düz plaka eğim açısı ile arttığı, fakat düz plakanın ısıtılmamış bölge uzunluğunun artması ile azaldığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Laminar akış, zorlanmış konveksiyon, eğik düz plaka, ısıtılmamış uzunluk, numerik analiz

1. INTRODUCTION

The flow and heat transfer over a flat plate are encountered in various engineering applications. In some of these applications, a heat source is placed at a distance from the leading edge of the plate. In mean time, the plate can be inclined at relative to the flow direction. Such an application is commonly seen in cooling of electronic components. Operating temperatures of electronic components are significant for their reliability. Thus, low temperature is necessary for improving the life of electronic components.

Convection heat transfer over a flat plate has been studied by a number of investigators. Nagendra [1] investigated the laminar transient forced convection heat transfer over a horizontal isothermal flat plate. Two-dimensional vortex shedding for transient and asymptotically steady separated flow over an inclined plate was investigated by

Sarpkaya [2]. Dey and Nath [3] examined the forced convection heat transfer over a horizontal semi-infinite flat plate with an unheated starting length. Ma *et al.* [4] conducted a study to investigate the two-dimensional forced convection over a horizontal flat plate with an unheated starting length using matched asymptotic expansions. Ameer [5] analytically investigated the parallel flow heat transfer over a horizontal flat plate with an unheated starting length for both constant temperature and constant heat flux boundary conditions and for both laminar and turbulent flow regimes. Free convection flow over an inclined plate was investigated by Chamkha [6]. Vynnycky *et al.* [7] analytically and experimentally investigated the two-dimensional forced convection flow over a horizontal flat plate. Yovanovich and Teertstra [8] numerically investigated laminar forced convection over horizontal isothermal rectangular plates. Umur and Karagöz [9] carried out a numerical study to investigate the flow and heat transfer characteristics over a horizontal flat plate with an unheated starting length for

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : oturgut2006@gmail.com

two-dimensional laminar and turbulent flows under constant surface temperature boundary condition. The effect of free stream turbulence on heat transfer coefficient, velocity profile and temperature profile on plates has been reviewed by Kondjoyan *et al.* [10]. Nan *et al.* [11] conducted an experimental study to investigate the turbulent flow over a horizontal flat plate. Kondjoyan *et al.* [12] performed an experimental study to see the effect of free stream turbulence intensity on velocity and thermal boundary layers for flow over a flat plate with an unheated section. Rebay *et al.* [13] numerically investigated the forced convection over a horizontal microstructure having an unheated section for constant heat flux boundary condition. Juncu [14] conducted a numerical study using finite difference method to investigate transient, conjugate laminar forced convection heat transfer from a finite flat plate. Li and Nalim [15] numerically investigated the transient thermal boundary layer response owing to a convected non-uniform temperature fluid for laminar flow on a semi-infinite plate. Palani [16] conducted a numerical study to investigate the free convection over a semi-infinite inclined plate with variable surface temperature. Kumar and Mullick [17] experimentally investigated the laminar convective heat transfer from a square flat plate. Lam and Wei [18] numerically investigated the vortex shedding from an inclined flat plate for turbulent flow. Palani and Kim [19] conducted a numerical study to investigate the natural convection over a semi-infinite inclined plate with variable surface temperature. Li *et al.* [20] numerically investigated turbulent compressible flow over a two-dimensional semi-infinite flat plate using two-layer eddy viscosity model. Malvandi *et al.* [21] analytically investigated the entropy generation for the steady two-dimensional flow over an isothermal flat plate. Kumar [22] conducted a numerical study to investigate the heat and mass transfer over an isothermal inclined plate at constant concentration gradient and with heat source. Kumar [23] analytically investigated the steady laminar flow over an inclined plate at a prescribed heat flux with chemical reaction. Samanta and Guha [24] carried out a study to investigate the fluid flow and heat transfer characteristics for the laminar forced convection over a horizontal plate using similarity analysis. A numerical study was performed by Islam *et al.* [25] to study the mass transfer through porous medium with an inclined plate. Jana and Das [26] studied the magnetohydrodynamic (MHD) slip flow and heat transfer over a flat plate with convective surface heat flux at the boundary and temperature dependent fluid properties. Uddin *et al.* [27] conducted a theoretical and numerical study of two-dimensional steady laminar flow over a moving horizontal plate. Magnetohydrodynamic mixed convective flow and heat transfer over an inclined plate was investigated by Shanmugapriya [28]. Film flow over an inclined plate was numerically investigated by Singh *et al.* [29] using volume of fluid method.

Literature survey indicates that there is a lack of information about laminar forced convection heat

transfer over an inclined flat plate with an unheated starting length. Literature survey shows that current studies which are related to the heat transfer over an inclined plate are about the free convection and film flow. That is, it is seen that literature survey does not involve forced convection heat transfer over an inclined flat plate with an unheated starting length. Thus, the novelty of this study is the investigation of laminar forced convection over an inclined flat plate with an unheated starting length. Therefore, in this study two-dimensional laminar forced convection over an inclined flat plate with an unheated starting length has been numerically investigated for both constant surface temperature and constant surface heat flux boundary conditions. The effect of Reynolds number, the length of unheated starting length and the inclination angle of flat plate on heat transfer, surface temperature, surface heat flux, and velocity and temperature profiles over inclined flat plate has been investigated numerically.

2. PROBLEM DESCRIPTION AND MATHEMATICAL FORMULATION

The schematic geometry and coordinate system used in the computational domain are shown in Figure 1.

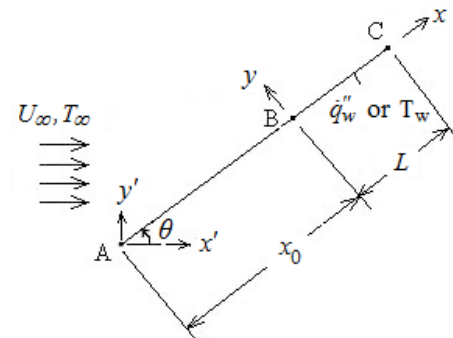


Figure 1. The geometry and coordinate system of problem

As seen in this figure, problem consists of an inclined semi-infinite flat plate and a flow over it. The flow approaches to the inclined plate horizontally with a uniform velocity U_∞ and temperature T_∞ in the direction of x' . The part of the plate starting from the leading edge, region AB, is unheated. The length of this unheated region is denoted by x_0 . The part of the plate after distance x_0 from the leading edge, region BC, is exposed to a constant temperature or constant heat flux boundary condition. In other words, laminar velocity boundary layer development starts at the leading edge (at $x=-x_0$) while thermal boundary layer development begins at $x=0$ which is the beginning of the heating section. The length of the heated surface L is chosen as 50mm, and the ratio of the unheated starting length to the heated length, x_0/L , is taken as 1 and 10. x/L changes between 0 and 1.0. θ shown in Figure 1 is the inclination angle of the flat plate and measured from horizontal. The value of θ is changed between 0° and 75° to investigate the effect of inclination angle on the heat transfer over an inclined flat plate with

an unheated starting length. Fluid flows parallel over the plate when θ is zero.

For steady laminar flow of a constant-property viscous flow neglecting the buoyancy effects and viscous dissipation the governing continuity, momentum, and energy equations can be written as follows:

$$\nabla \cdot \mathbf{V} = 0 \quad (1)$$

$$\rho(D\mathbf{V}/Dt) = -\nabla p + \mu\nabla^2\mathbf{V} \quad (2)$$

$$\rho c_p(DT/Dt) = k\nabla^2 T \quad (3)$$

where \mathbf{V} , ρ , p , μ , c_p , k and T designate the velocity vector, density, pressure, dynamic viscosity, specific heat, thermal conductivity, and temperature, respectively.

2.1. Boundary Conditions

Computational domain used for numerical solutions is shown in Figure 2. The computational domain is indicated by AEDCBA plane.

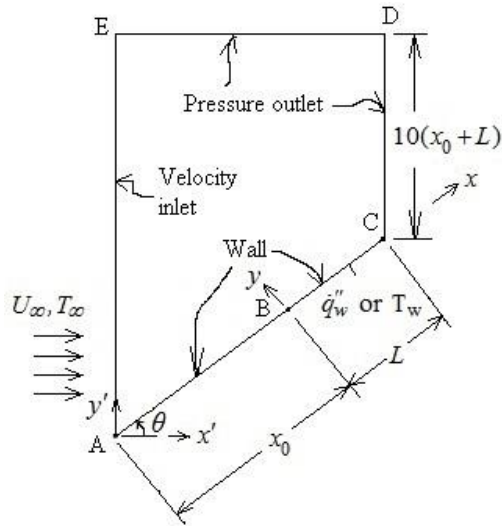


Figure 2. Schematic view of the computational domain and boundary conditions

On the left side of the computational domain, i.e. at $x=x_0$ (AE surface), fluid enters the domain with uniform velocity and temperature, i.e.

$$u = U_\infty, \quad v = 0, \quad T = T_\infty = 293\text{K} \quad (4)$$

On the right side of the computational domain, i.e. at $x=L$ (DC surface), pressure outlet boundary condition is applied. On this boundary, the gage pressure is fixed to zero. Therefore, boundary conditions at the outlet are

$$\partial u/\partial x = 0, \quad \partial v/\partial x = 0, \quad \partial T/\partial x = 0, \quad p_{\text{gage}} = 0 \quad (5)$$

On the top surface, i.e. at $y=10(x_0+L)$ from the trailing edge of the plate (ED surface), pressure outlet boundary condition is considered and gage pressure is taken as zero, i.e.

$$\partial u/\partial y = 0, \quad \partial v/\partial y = 0, \quad \partial T/\partial y = 0, \quad p_{\text{gage}} = 0 \quad (6)$$

On the unheated surface (AB surface, i.e. $-x_0 \leq x \leq 0$), no slip velocity condition is applied, i.e.

$$u = 0, \quad v = 0, \quad T = T_\infty \quad (7)$$

On the heated surface (BC surface, $0 \leq x \leq L$), no slip velocity condition is used. For temperature, two different cases are considered: i) constant temperature ($T_w=328\text{K}$),

ii) constant heat flux ($\dot{q}''_{w,x} = 400\text{Wm}^{-2}$). These can be expressed as

$$u = 0, \quad v = 0, \quad T = T_w \text{ or } \left(\frac{\partial T}{\partial n}\right)_w = -\dot{q}''_w/k \quad (8)$$

2.2. Calculation of Reynolds and Nusselt numbers

The Reynolds number based on x_0+x on the heated surface is defined as

$$Re_{x_0+x} = U_\infty(x_0 + x) / \nu \quad (9)$$

Thus, the maximum Reynolds number at the trailing edge of the plate Re_{x_0+L} is about 15.5×10^3 and 85×10^3 for $x_0/L=1$ and 10 , respectively. Thus, flow is laminar at the trailing edge of the plate. Local Nusselt number based on x_0+x is calculated as

$$Nu_{x_0+x} = \dot{q}''_{w,x}(x_0 + x) / (k(T_{w,x} - T_\infty)) \quad (10)$$

All fluid properties are taken at the free stream temperature T_∞ [30].

2.3. Numerical Solution

Numerical solutions were carried out using commercial software ANSYS Fluent 15.0. The computational scheme used by ANSYS Fluent Inc. is based on the finite volume discretization method. A typical mesh distribution is shown in Figure 3 for inclination angle of $\theta=45^\circ$.

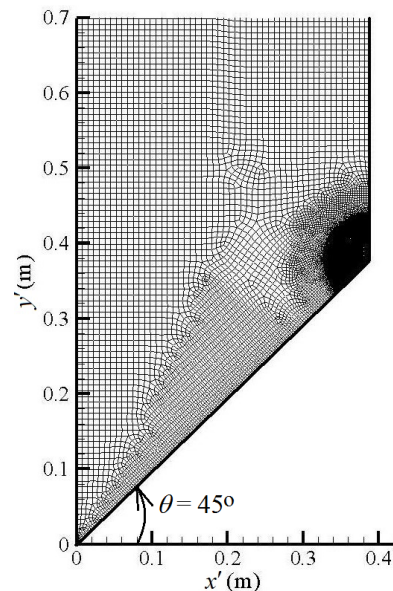


Figure 3. Mesh distribution of the computational domain

Computations were carried out for laminar flow. Steady pressure-based solver is employed with second order upwind scheme for convective terms in the mass,

momentum, and energy equations. SIMPLE-algorithm is utilized for pressure-velocity coupling. No convergence problems are observed. To attain converged solution, each equation is iterated until the residuals fall below 1×10^{-6} .

The grid independence study is performed by changing the cell size. Surface temperature and local Nusselt number along the heated plate are plotted for five different mesh systems in Figure 4(a) and 4(b), respectively, at $Re_{x_0}=77120$ for $\theta=45^\circ$ and $x_0/L=10$ at constant surface heat flux boundary condition. Mesh size is changed between 35197 and 82465 (mesh1-mesh5). No significant change occurs when mesh number changes from 68651 (mesh4) to 82465 (mesh5). Thus, mesh4 is considered as the optimum mesh. This mesh is used for other Reynolds numbers Re_{x_0} at $\theta=45^\circ$ and $x_0/L=10$. Mesh independency analysis is also performed when inclination angle and type of boundary condition of plate were changed.

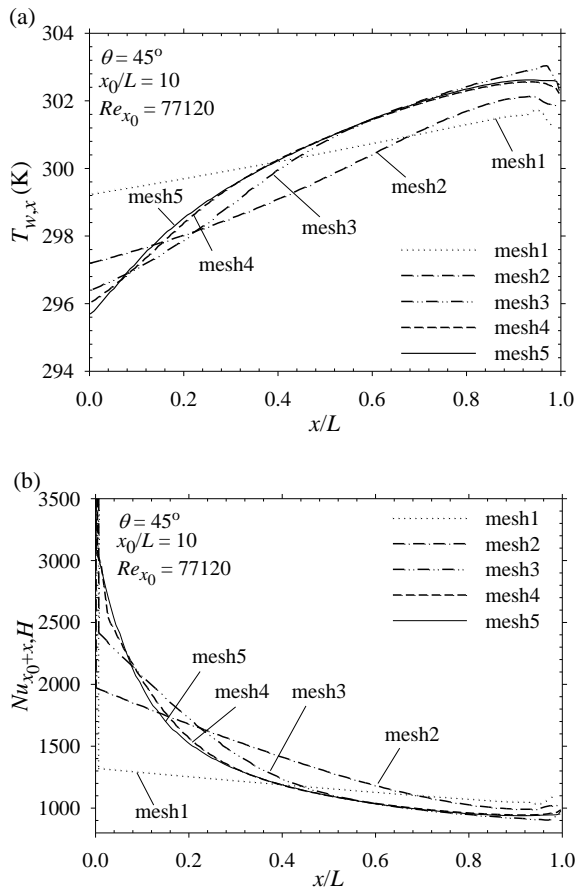


Figure 4. Surface temperature (a) and (b) local Nusselt number along the heated plate

3. CODE VALIDATION

Local Nusselt number Nu_{x_0+x} for laminar parallel flow over a horizontal flat plate, i.e. $\theta=0^\circ$, with an unheated starting length is given for constant surface temperature and constant heat flux boundary conditions, respectively, as [30]

$$Nu_{x_0+x,T} = \frac{0.332 Re_{x_0+x}^{0.5} Pr^{1/3}}{\left[1 - \left(x_0/(x_0+x)\right)^{3/4}\right]^{1/3}} \quad (11)$$

$$Nu_{x_0+x,H} = \frac{0.453 Re_{x_0+x}^{0.5} Pr^{1/3}}{\left[1 - \left(x_0/(x_0+x)\right)^{3/4}\right]^{1/3}} \quad (12)$$

To assess the accuracy of the present results, the computed Nu_{x_0+x} for constant surface temperature and constant surface heat flux boundary conditions are plotted along the heated flat plate in Figure 5(a) and 5(b) for $\theta=0^\circ$, $x_0/L=10$ and $Re_{x_0}=77120$. It is seen that present results are in good agreement with the literature results.

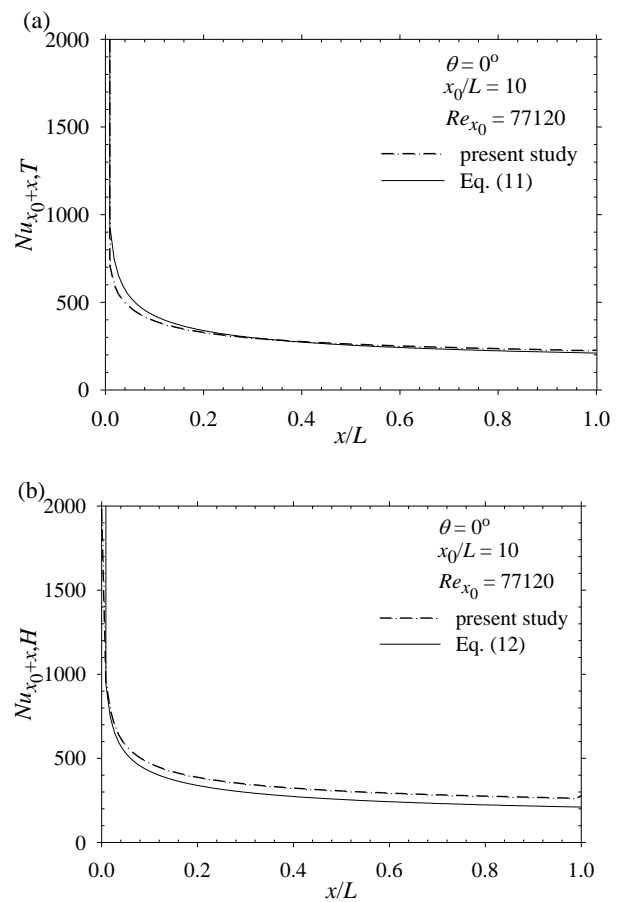


Figure 5. Nu_{x_0+x} along the heated section for (a) constant temperature and (b) constant heat flux

4. RESULTS AND DISCUSSION

After showing the validation of numerical results, the effects of Reynolds number, length of the unheated starting length and inclination angle of flat plate on flow and temperature fields, surface temperature, surface heat flux and local Nusselt number were investigated. To carry out these analysis, simulations were performed for the Reynolds numbers Re_{x_0} changing from 7710 to 77120, for the inclination angle of $0^\circ \leq \theta \leq 75^\circ$, and for the

ratio of the unheated starting length to the heated length of $x_0/L=1$ and 10.

Typical dimensionless x -velocity u/U_∞ on the heated surface at a position of $x/L=0.20$ is plotted along y -axis in Figure 6(a) for three different Reynolds numbers Re_{x_0} for $x_0/L=10$ at $\theta=0^\circ$. Dimensionless velocity over flat plate changes between zero and unity. As seen in Figure 6(a), velocity boundary layer thickness increases with decreasing Reynolds number. Velocity boundary layer thickness is defined as the distance at which 99% of the free stream velocity magnitude is achieved. Based on this definition, velocity boundary layer thicknesses for the Reynolds number Re_{x_0} of 7710, 46120 and 77120 are obtained as 18.20mm, 8.14mm and 6.02mm, respectively. In Figure 6(b), typical dimensionless temperature $(T-T_w)/(T_\infty-T_w)$ on the heated surface at a given position $x/L=0.20$ is plotted for three different Re_{x_0} . It is seen that dimensionless temperature on the heated surface changes from zero to unity in the thermal boundary layer, and it remains constant outside of the boundary layer. Thermal boundary layer thickness is defined as the distance from surface at which $(T-T_w)/(T_\infty-T_w)=0.99$. Thus, thermal boundary layer thicknesses for $Re_{x_0}=7710, 46120$ and 77120 are 6.31mm, 3.04mm and 1.94mm, respectively. That is, temperature boundary layer thickness decreases when flow velocity increases. Thus, the decreasing thermal boundary layer thickness results in increasing heat transfer.

Dimensionless axial velocity u/U_∞ is plotted in Figure 7(a) on the heated surface at three different positions at $\theta=0^\circ$ for $x_0/L=10$ and $Re_{x_0}=46120$. It is seen that dimensionless velocity changes from zero to unity in the hydrodynamic boundary layer, and it remains constant at unity out of the boundary layer. Velocity boundary layer thickness increases along the heated surface. In other words, velocity boundary layer thicknesses for $Re_{x_0}=46120$ at $x/L=0.20, 0.50$ and 1 (near the leading edge, at the middle, and at the trailing edge of the heated surface) are 8.42mm, 8.79mm and 9.32mm, respectively. Likewise, typical dimensionless temperature $(T-T_w)/(T_\infty-T_w)$ is shown in Figure 7(b) on the heated surface at three different positions at $\theta=0^\circ$ for $x_0/L=10$ and $Re_{x_0}=46120$. Dimensionless temperature varies between zero and unity inside thermal boundary layer, and it takes value of unity outside the thermal boundary layer. Also, it is seen that thermal boundary layer thickness increases from leading edge to the trailing edge over the heated surface. Thermal boundary layer thicknesses for $Re_{x_0}=46120$ at $x/L=0.20, 0.50$ and 1.0 are 3.04mm, 3.91mm and 4.82mm, respectively.

The effect of the length of unheated starting length on surface temperature and thermal boundary layer are designated in Figure 8. In Figure 8(a), typical surface temperature is plotted along heated length at constant heat flux boundary condition for three different free stream velocities at $\theta=0^\circ$ for $x_0/L=1$ and 10. It is seen that unheated starting length affects the surface temperature of the heated section. The surface temperature of the

heated section for short unheated section is smaller than that of long unheated starting section. That is, more heat is transferred from the surface for short unheated section. Dimensionless temperature $(T-T_w)/(T_\infty-T_w)$ at $x/L=0.20$ for $\theta=0^\circ$ is plotted in Figure 8(b) to see the effect of the length of unheated section on thermal boundary layer thickness for two different free stream velocities. Thermal boundary layer thicknesses at $x/L=0.20$ for $x_0/L=1$ are 4.23mm and 1.40mm for $U_\infty=0.276\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ and $2.76\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, respectively. However, thermal boundary layer thicknesses at $x/L=0.20$ for $x_0/L=10$ are 6.31mm and 1.94mm for $U_\infty=0.276\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ and $2.76\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, respectively. In other words, thermal boundary layer thickness for $x_0/L=10$ is greater than that of $x_0/L=1$. Therefore, increasing thermal boundary layer thickness results in decreasing heat transfer. It is seen that unheated section length affects the thermal boundary layer thickness. In other words, velocity boundary layer affects thermal boundary layer.

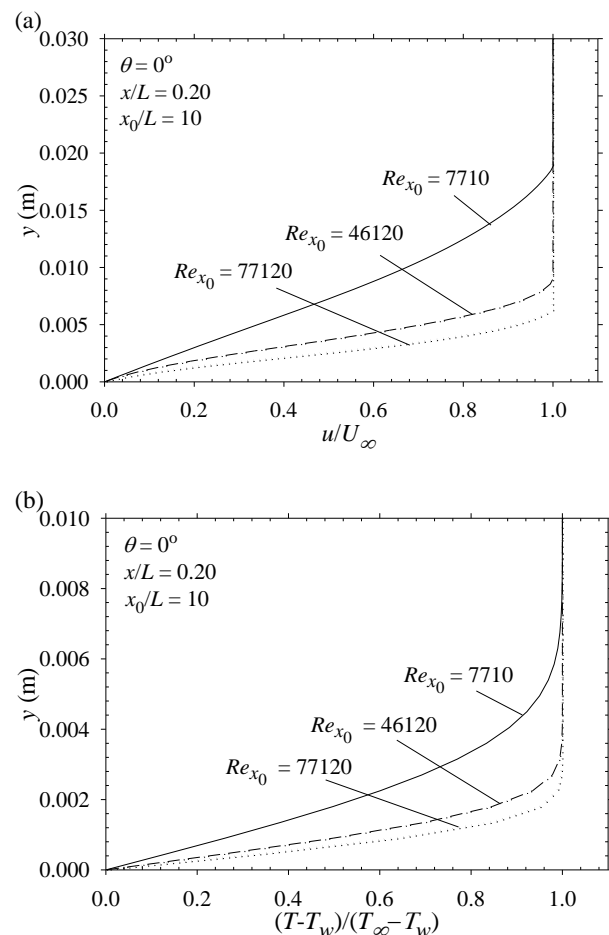


Figure 6. Variation of (a) u/U_∞ and (b) $(T-T_w)/(T_\infty-T_w)$ on the heated surface at $x/L=0.20$ for $\theta=0^\circ$ and $x_0/L=10$

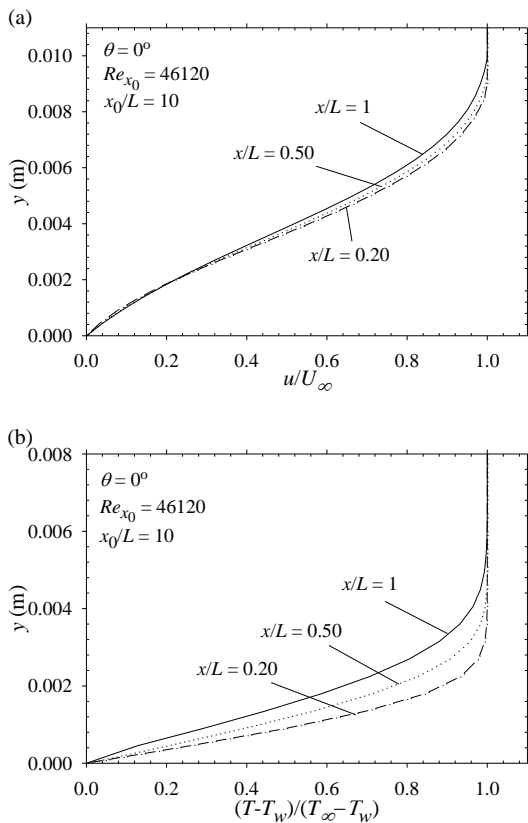


Figure 7. (a) u/U_∞ and (b) $(T-T_w)/(T_\infty-T_w)$ along y -axis at three different x/L for $\theta=0^\circ$, $x_0/L=10$ and $Re_{x0}=46120$

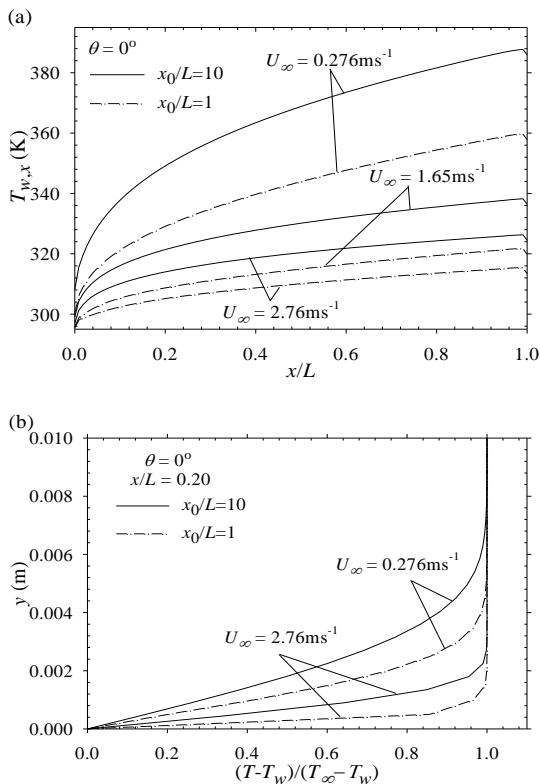


Figure 8. The effect of unheated starting length on (a) surface temperature and (b) thermal boundary layer thickness

Typical temperature contours over heated surface are plotted in Figure 9 for three different Reynolds numbers at constant heat flux boundary condition for $\theta=0^\circ$ and $x_0/L=10$. It is seen that thermal boundary layer thickness decreases while Reynolds number increases, as expected. Similar result can be seen in Figure 6(a). Thus, heat transfer increases as Reynolds number increases.

Typical temperature contours are shown in Figure 10 over the heated surface at different inclination angles of flat plate for $Re_{x0}=7710$ at $x_0/L=10$. As seen in Figure 10, inclination angle affects the thermal boundary layer. That is, thermal boundary layer thickness decreases while inclination angle increases, and this causes an increase in heat transfer.

The effects of Reynolds number Re_{x0} on surface temperature and heat flux are shown in Figure 11(a) and 11(b) for constant heat flux and constant surface temperature boundary conditions, respectively. Figure 11(a) shows the variation of the surface temperature with Reynolds number along the heated plate for $\theta=0^\circ$ and $x_0/L=10$ at constant heat flux boundary condition. It is observed in Figure 11(a) that, at a given location x/L (e.g. at $x/L=0.80$), surface temperature increases when Reynolds number decreases for constant heat flux boundary condition. As for Figure 11(b), variation of surface heat flux along the heated plate is given at different Reynolds numbers for constant surface temperature boundary condition at $\theta=0^\circ$ and $x_0/L=10$. It is seen that heat flux on the surface decreases along the duct. It is also seen that surface heat flux at a given position on the plate increases with increasing Reynolds number.

The variation of local Nusselt number along the heated plate for different Reynolds numbers Re_{x0} at $x_0/L=10$ and $\theta=0^\circ$ is shown in Figure 12(a) and 12(b) for constant surface temperature and constant heat flux boundary conditions, respectively. It is seen that the local Nusselt number decreases along the heated plate. At a given position, it is also seen that local Nusselt number increases with increasing Reynolds number. This result can also be seen in Figure 6(b) due to the decreasing of thermal boundary layer thickness.

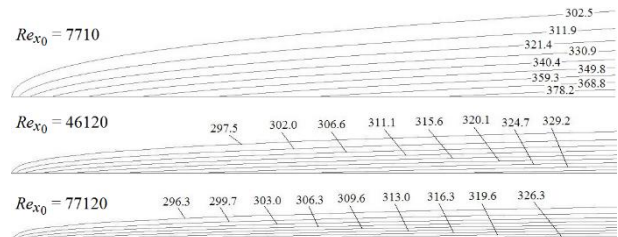


Figure 9. Temperature contours over heated surface for different Reynolds numbers at constant heat flux for $\theta=0^\circ$

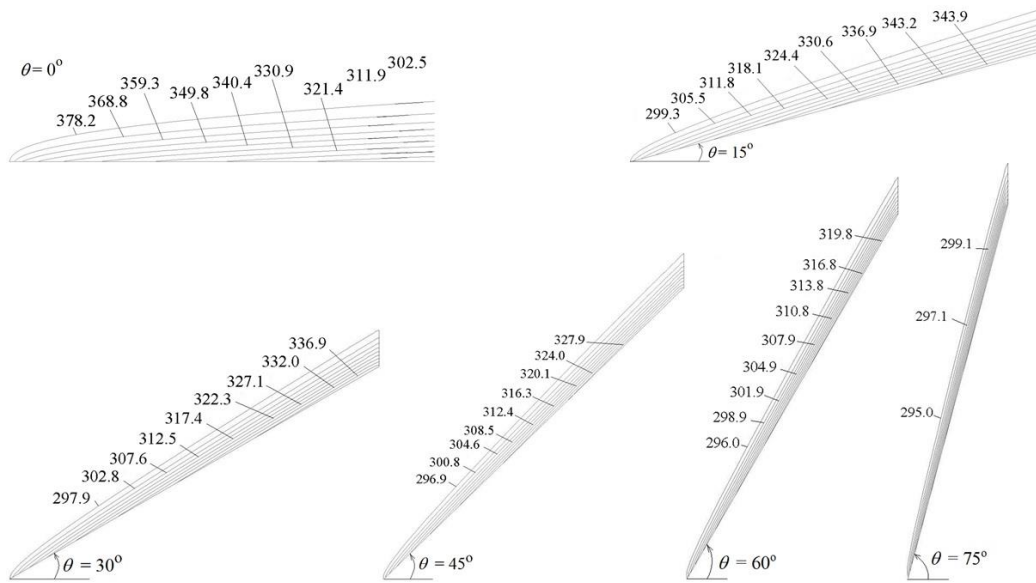


Figure 10. Typical temperature contours over the heated surface for different θ values at $Re_{x_0}=7710$

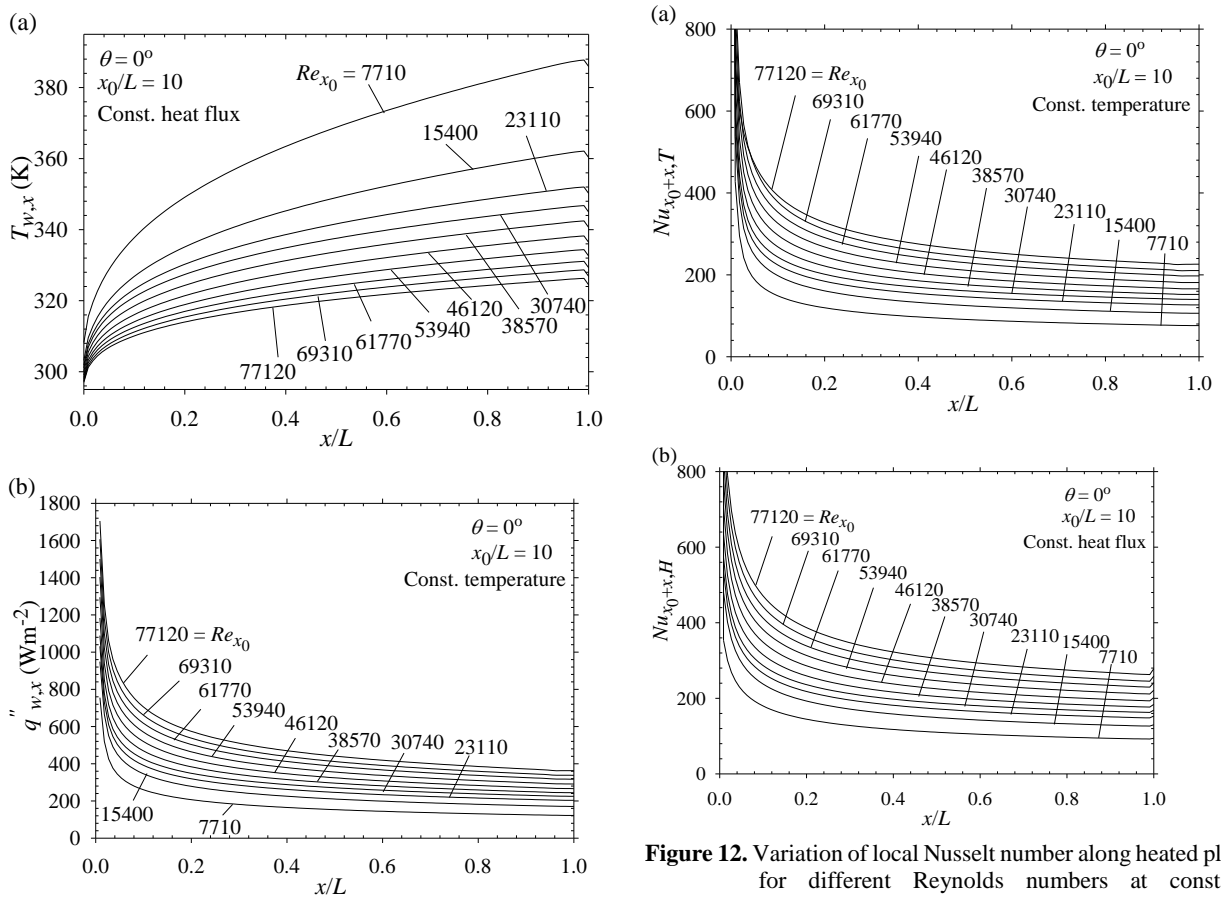


Figure 11. Variation of surface temperature (a) and heat flux (b) along the heated surface at $\theta=0^\circ$ and $x_0/L=10$ for different Re_{x_0} at constant surface heat flux and constant temperature

Figure 12. Variation of local Nusselt number along heated plate for different Reynolds numbers at constant temperature (a) and heat flux (b)

Comparison of local Nusselt number for constant surface heat flux and constant surface temperature boundary conditions is designated along heated surface in Figure 13 for $x_0/L=10$ and $\theta=0^\circ$ at $Re_{x_0}=77120$. It is seen that local Nusselt number for constant heat flux boundary

condition is higher than that of constant surface temperature boundary condition at a given position. In other words, heat transfer coefficient for constant heat flux boundary condition is about 20 percent higher than that of constant surface temperature boundary condition at the trailing edge of the heated surface.

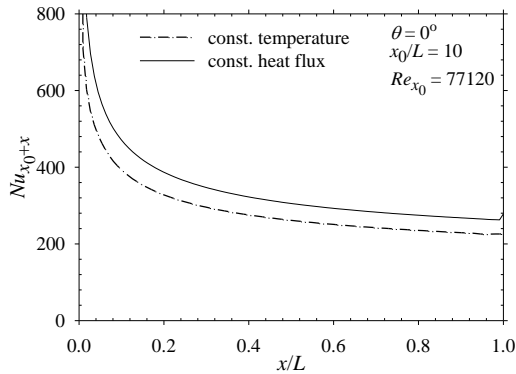


Figure 13. Local Nusselt number along heated surface

The effect of θ on surface temperature and heat flux is given in Figure 14(a) and 14(b) for constant heat flux and constant surface temperature at $Re_{x_0}=7710$ for $x_0/L=10$. It is seen that surface temperature increases along heated surface. It is also seen that surface temperature depends on θ . Surface temperature decreases with increasing θ at a given position for constant surface heat flux. With

regard to Figure 14(b), surface heat flux is plotted along heated surface at different θ . Heat flux begins with a high value at the beginning of the heated surface and decreases along heated surface. At a given position, it is seen that, e.g. at $x/L=0.8$, heat flux increases with increasing θ at same constant surface temperature.

The effect of θ on local Nusselt number is shown in Figure 15(a) and 15(b) along heated surface for $x_0/L=10$ and $Re_{x_0}=7710$. In Figure 15(a), typical local Nusselt number for constant surface temperature is plotted along heated surface for different θ . It is seen that local Nusselt number decreases along the heated surface. Also, it is seen that local Nusselt number increases with increasing θ at a constant position. Similar result can be seen in Figure 10 as well. In other words, maximum Nusselt number is obtained for $\theta=75^\circ$. In Figure 15(b), local Nusselt number for constant surface heat flux is shown along heated surface at different θ values for $x_0/L=10$ and $Re_{x_0}=7710$. It is seen that local Nusselt number has similar behavior as the case of constant surface temperature. As seen in Figure 15, inclination angle of flat plate affects the local Nusselt number.

5. CONCLUSION

Two-dimensional laminar flow and forced convection on an inclined flat plate with an unheated starting length are numerically investigated under both constant surface temperature and constant heat flux boundary conditions.

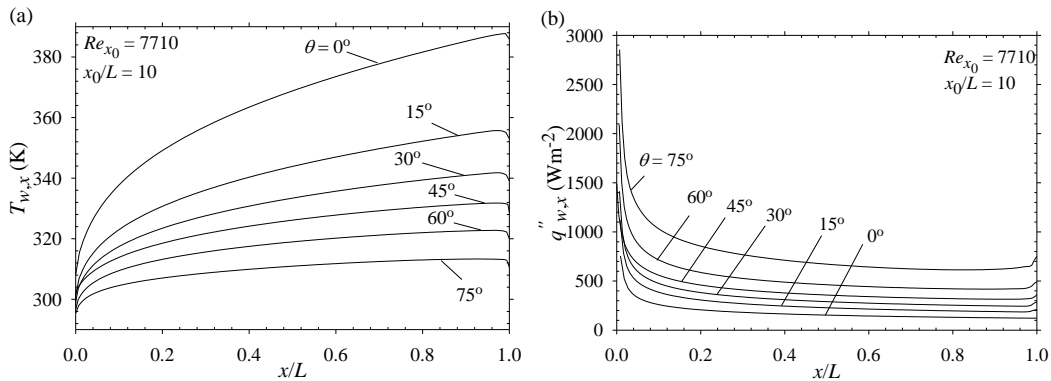


Figure 14. Variation of (a) surface temperature and (b) heat flux along heated surface

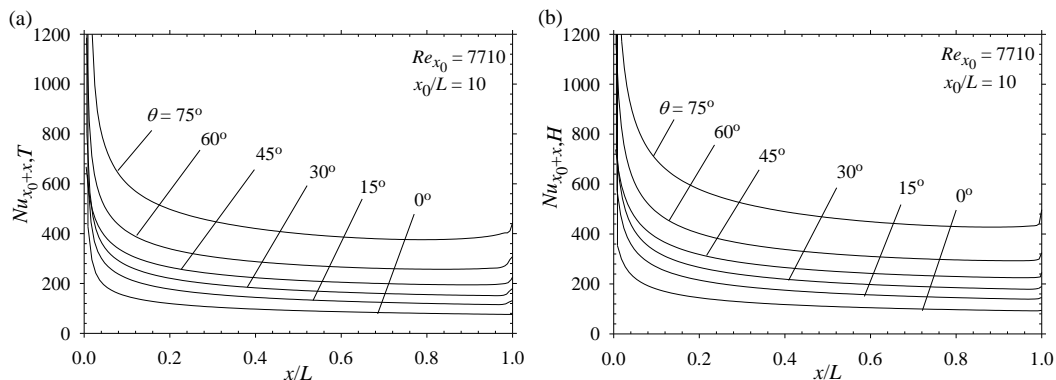


Figure 15. Local Nusselt number versus x/L for $Re_{x_0}=7710$ at constant temperature (a) and heat flux (b)

Numerical analysis has been carried out for different Reynolds numbers ($7710 \leq Re_{x_0} \leq 77120$), different inclination angles of flat plate ($0^\circ \leq \theta \leq 75^\circ$), and two different unheated starting length ($x_0/L=1$ and 10). Air is used as the working fluid ($Pr=0.71$). Some conclusions are as follows:

- It is seen that the inclination angle, unheated starting length of flat plate and Reynolds number affect the heat transfer.
- Heat transfer decreases with increasing unheated starting length but increases with increasing Reynolds number and inclination angle of flat plate.
- It is seen that velocity boundary layer affects the thermal boundary layer.
- Unheated starting length affects the surface temperature of the heated section.
- Thermal boundary layer thickness for $x_0/L=10$ is greater than that of $x_0/L=1$.
- Heat transfer increases with increasing inclination angle of inclined flat plate due to decreasing thermal boundary layer thickness.
- Heat transfer coefficient for constant heat flux boundary condition is greater than that of constant temperature boundary condition.
- Hydrodynamic and thermal boundary layers decrease with increasing Reynolds number as expected.

REFERENCES

- [1] Nagendra H. R., "Transient forced convection heat transfer from an isothermal flat plate", *AIAA Journal*, 11: 876-878, (1973).
- [2] Sarpkaya T., "An inviscid model of two-dimensional vortex shedding for transient and asymptotically steady separated flow over an inclined plate", *Journal of Fluid Mechanics*, 68: 109-128, (1975).
- [3] Dey J. and Nath G., "Forced convection heat transfer over a semi-infinite plate", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 25: 1774-1776, (1982).
- [4] Ma S. W., Gerner F. M. and Tsuei Y. G., "Composite expansions on forced convection over a flat plate with an unheated starting length", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 35: 3275-3289, (1992).
- [5] Ameel T. A., "Average effects of forced convection over a flat plate with an unheated starting length", *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 24: 1113-1120, (1997).
- [6] Chamkha A. J., "Hydromagnetic Free convection flow over an inclined plate caused by solar radiation", *Journal of Thermophysics and Heat Transfer*, 19: 312-314, (1997).
- [7] Vynnycky M., Kimura S., Kanev K. and Pop I., "Forced convection heat transfer from a flat plate: The conjugate problem", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 41: 45-59, (1998).
- [8] Yovanovich M. M. and Teertstra P., "Laminar forced convection from isothermal rectangular plates from small to large Reynolds numbers", *American Institute of Aeronautics and Astronautics*, AIAA-98-2675: 1-14, (1998).
- [9] Umur H. and Karagöz I., "An investigation of external flows with various pressures and surfaces", *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 26: 411-419, (1999).
- [10] Kondjoyan A., Péneau F. and Boisson H. C., "Effect of high free stream turbulence on heat transfer between plates and air flows: A review of existing experimental results", *International Journal of Thermal Sciences*, 41: 1-16, (2002).
- [11] Nan J., Yu-chun W., Whei S. and Zhen-dong W., "Experimental study of measurement for dissipation rate scaling exponent in heated wall turbulence", *Applied Mathematics and Mechanics*, 23: 1035-1044, (2002).
- [12] Kondjoyan A., Péneau F. and Boisson H. C., "Development of flat-plate thermal and velocity boundary layers under highly turbulent and instable air flows: Reynolds numbers ranging from 8400 to 127000", *International Journal of Thermal Sciences*, 43: 1091-1100, (2004).
- [13] Rebay M., Padet J. and Kakaç S., "Forced convection from a microstructure on a flat plate", *Heat and Mass Transfer*, 43: 309-317, (2007).
- [14] Juncu Gh., "Unsteady conjugate forced convection heat/mass transfer from a finite flat plate", *International Journal of Thermal Sciences*, 47: 972-984, (2008).
- [15] Li H. and Nalim M. R., "Thermal-boundary-layer response to convected far-field fluid temperature changes", *Journal of Heat Transfer-Transactions of the ASME*, 130: 101001-101001-6, (2008).
- [16] Palani G., "Convection on flow past an inclined plate with variable surface temperatures in water at 4°C", *Journal of Engineering Annals of Faculty of Engineering Hunedoara*, 6: 75-82, (2008).
- [17] Kumar S. and Mullick S. C., "Wind heat transfer coefficient in solar collectors in outdoor conditions", *Solar Energy*, 84: 956-963, (2010).
- [18] Lam K. M. and Wei C. T., "Numerical simulation of vortex shedding from an inclined flat plate", *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*, 4: 569-579, (2010).
- [19] Palani G. and Kim K.Y., "Viscous dissipation effects on heat transfer in flow over an inclined plate", *Journal of Applied Mechanics and Technical Physics*, 51: 241-248, (2010).
- [20] Li H., Nalim M. R. and Merkle C. L., "Transient thermal response of turbulent compressible boundary layers", *Journal of Heat Transfer-Transactions of the ASME*, 133: 081701-081701-8, (2011).
- [21] Malvandi A., Ganji D. D., Hedayati F., Kaffash H. M. and Jamshidi M., "Series solution of entropy generation toward an isothermal flat plate", *Thermal Science*, 16: 1289-1295, (2012).
- [22] Kumar H., "Heat and mass transfer over an isothermal inclined plate at constant concentration gradient and with heat source", *World Applied Sciences Journal*, 24: 364-369, (2013).
- [23] Kumar H., "An analytical solution to the problem of radiative heat and mass transfer over an inclined plate at a prescribed heat flux with chemical reaction", *Journal of the Serbian Chemical Society*, 78: 873-881, (2013).

- [24] Samanta S. and Guha A., "Similarity theory for forced convection over horizontal plates", *Journal of Thermophysics and Heat Transfer*, 27: 506-514, (2013).
- [25] Islam M., Akter F. and Islam A., "Mass Transfer Flow Through an Inclined Plate with Porous Medium", *American Journal of Applied Mathematics*, 3: 215-220, (2015).
- [26] Jana S. and Das K., "Influence of variable fluid properties, thermal radiation and chemical reaction on MHD slip flow over a flat plate", *Italian Journal of Pure and Applied Mathematics*, 34: 29-44, (2015).
- [27] Uddin M. J., Khan W. A., Ismail A. I. and Hamad M. A. A., "New similarity solution of boundary layer flow along a continuously moving convectively heated horizontal plate by deductive group method", *Thermal Science*, 19: 1017-1024, (2015).
- [28] Shanmugapriya M., "Magnetohydrodynamic (MHD) mixed convective flow and heat transfer over an inclined plate with radiation effect", *ARP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 11: 2130-2136, (2016).
- [29] Singh R. K., Galvin J. E. and Sun X., "Three-dimensional simulation of rivulet and film flows over an inclined plate: Effects of solvent properties and contact angle", *Chemical Engineering Science*, 142: 244-257, (2016).
- [30] Incropera F. P., DeWitt D. P., Theodore L. B. and Adrienne S. L., "*Principles of heat and mass transfer*", John Wiley and Sons Inc., Singapore, (2013).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

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



Frequency dependent dielectric properties of ZnSe/p-Si diode

ZnSe/p-Si diyotunun frekans bağımlı dielektrik özellikleri

Yazar(lar) (Author(s)): Hasan Hüseyin GÜLLÜ¹, Dilber Esra YILDIZ²

ORCID¹: 0000-0001-8541-5309

ORCID²: 0000-0033-2212-199x

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz(To cite to this article): Güllü, H.H. and Yıldız, D.E., "Frequency dependent dielectric properties of ZnSe/p-Si diode", *Politeknik Dergisi*, 22(1): 63-67, (2019).

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

DOI: 10.2339/politeknik.389636

Frequency Dependent Dielectric Properties of ZnSe/p-Si Diode

Araştırma Makalesi / Research Article

Hasan Hüseyin GÜLLÜ^{1,2}, Dilber Esra YILDIZ^{3,*}

¹Central Laboratory, Middle East Technical University, Ankara, Turkey

²Center for Solar Energy Research and Applications (GÜNAM), Middle East Technical University, Ankara, Turkey

³Faculty of Arts and Science, Department of Physics, Hitit University, Çorum, Turkey

(Geliş/Received : 02.10.2016 ; Kabul/Accepted : 26.08.2017)

ABSTRACT

The study on electrical and dielectric properties of the ZnSe/p-Si diode have been investigated using admittance measurements in the frequency range of 50 kHz - 1 MHz at room temperature. The experimental values of dielectric constant and dielectric loss are found in decreasing behavior with increase in frequency due to the characteristics of the interface capacitance in the diode and so that the similar behavior was observed in loss tangent. With the contribution of the series resistance, the results of the electrical conductivity analysis indicated direct proportionality to the frequency change. Additionally, electric modulus was discussed to represent the dielectric relaxation process in the diode structure.

Keywords: E-beam evaporation, dielectric properties, frequency effect.

ZnSe/p-Si Diyotunun Frekans Bağımlı Dielektrik Özellikleri

ÖZ

ZnSe/p-Si diyot yapısının elektrik ve dielektrik özellikleri oda sıcaklığında 50 kHz - 1 MHz frekans aralığında yapılan admitans ölçümleri kullanılarak incelendi. Deneysel olarak elde edilen dielektrik sabiti ve dielektrik kaybı değerlerinin, diyot yapısındaki arayüz kapasitans karakteristiğine bağlı olarak frekans artışı ile azalan bir davranışta olduğu görüldü, ve benzer davranış kayıp tanjantında da gözlemlendi. Elektriksel iletkenlik analizinde, seri direnç katkısı ile frekans değişimi ile doğrusal orantılı olarak bir değişim bulundu. Ayrıca, diyot yapısındaki dielektrik relaksasyon davranışı, elektrik modülüsler kullanılarak tartışıldı.

Anahtar Kelimeler: E-demeti buharlaştırma, dielektrik özellikler, frekans etkisi.

1. INTRODUCTION (GİRİŞ)

With the current interest in the optoelectronic applications of heterojunctions, II-VI compounds have been employed with Si based heterojunction as a promising materials for photodetector and also photovoltaic diodes [1-4]. This type of diode structure associates the advantageous properties of the highly transparent, direct-band gap ZnSe window layer and the high mobility, tractable properties of Si layer [5]. In the previous work, the authors presented the material properties of the e-beam deposited ZnSe thin film layer and the results of the current-voltage measurements on the ZnSe/p-Si diode [6]. From the systematic studies of the ZnSe film, it was found in stoichiometric and polycrystalline in structure and homogeneous in surface morphology. With the high transparency characteristics for the visible region, the fundamental band gap value was obtained as about 2.8 eV. The experimental forward current-voltage (I-V) characteristics of the diode was modelled by the Gaussian distribution in the barrier height and the current behavior was assumed to be

dependent on especially interfacial layer, interfaces states and series resistance. In addition to this electrical analysis of ZnSe/p-Si diode, the frequency dependent capacitance-voltage ($C - V$) and conductance-voltage ($G/\omega - V$) characteristic were investigated under the indication of interfacial states. Therefore, the objective of the present work on $C - V$ and $G/\omega - V$ characteristics as a function of frequency is to obtain information about the effects of the interface states and electrical parameters under the effect of localized electronic states. From these analysis, the effects of the frequency and the bias voltage on the dielectric properties were investigated and the main dielectric parameters were calculated with the presence of the interfacial layer.

2. MATERIAL and METHOD (MATERİYAL VE METOD)

The polycrystalline ZnSe thin film layer was deposited on the (111) oriented p-type (B-doped) crystalline Si wafer with the resistivity value of 1-10 (Ω -cm) by e-beam deposition technique to fabricate the ZnSe/p-Si diode structure [6]. The back metal contact on the Si wafer was formed by elemental Al evaporation onto the whole back

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : desrayildiz@hitit.edu.tr

surface of the wafer and subsequent annealing treatment at 450°C under the nitrogen atmosphere to achieve the ohmic contact behavior. Additionally, top ohmic contact was deposited by thermal evaporation of In elemental source through shadow mask in circular dot contact shape of 2 mm diameter onto ZnSe film surface. The complete structure was annealed at 100°C under the nitrogen atmosphere to enhance the ohmicity of the contact. The $C - V$ and $G/\omega - V$ characteristics were analyzed by using Hewlett Packard 4192A LF model impedance analyzer at room temperature and dark condition.

3. RESULTS AND DISCUSSION (SONUÇLAR VE TARTIŞMA)

The $C - V$ and $G/\omega - V$ plots of the ZnSe/p-Si diode structure for different frequencies at room temperature were discussed in the previous work [6]. According to these plots, $C - V$ behavior was found to be in a less sensitive to the frequency variation and $G/\omega - V$ plot showed a characteristic peak profile for each measured frequency. With increasing applied frequency, both capacitance (C) and conductance (G/ω) values decrease, and the peak value of the G/ω also decreases under the effect of series resistance of the diode [7]. However, frequency affects these measured values strongly at low frequencies and this can be attributed to the presence of interfacial oxide layer and the particular distribution of interface states [8-10]. Assuming the total diode capacitance as a sum of junction and interface state capacitance, exchanges of the carriers can contribute to the total diode capacitance by the fact that at relatively low frequencies the interface states can follow the applied ac signal [11, 12]. Therefore, C of the interfacial layer in the ZnSe/p-Si inhomogeneous diode evaluated as in a series combination of the junction capacitance can be the reason of this observed frequency dispersion [13].

Based on the impedance/admittance technique, the conductance losses from the exchange of majority carriers at the junction interface can be discussed to determine the dielectric parameters and their frequency dependencies [14, 15]. Therefore, in this work, the frequency effects of dielectric constant (ϵ'), dielectric loss (ϵ''), loss tangent ($\tan\delta$), ac electrical conductivity (σ_{ac}) and electric modulus (M' and M'') are investigated from the room temperature measurements under applied frequency interval of 50kHz-1MHz [16, 17]. In this case, a complex capacitance (C^*) can be defined to derive a real capacitance in the application of ac bias voltage, and it can be given as $C^* = Y^*/i\omega$ which is related to the complex admittance Y^* at angular value of ω [18]. From this relation, the complex relative permittivity $\epsilon^* = \epsilon' - i\epsilon''$ can be used to describe the dielectric properties of the diode [19, 20]. At various frequencies, the real part of ϵ^* named as dielectric constant (ϵ'), and the imaginary part as dielectric loss (ϵ'') are calculated using the measured capacitance (C_m) and conductance (G_m/ω) values at the strong accumulation region as [11, 21, 22],

$$\epsilon' = \frac{C_m d_i}{\epsilon_0 A} = \frac{C_m}{C_0} \quad (1)$$

and

$$\epsilon'' = \frac{G_m d_i}{\omega \epsilon_0 A} = \frac{G_m}{\omega C_0} \quad (2)$$

where C_0 is the capacitance of an empty capacitor as $C_0 = \epsilon_0 A/d_i$ with diode active area, A , interfacial layer thickness, d_i and permittivity of free space, ϵ_0 . The calculated frequency dependent ϵ' and ϵ'' values are shown in Fig.1 and these values are found in decreasing behavior with increase in frequency, whereas ϵ' shows a frequency independent nature of the parameter in the negative voltage region. Since C and G/ω are sensitive to the interface properties and also parasitic resistances, this inverse relation can be explained with the change in the response time of the interfacial dipole orientation to the applied field [21, 23]. The increase of the capacitance depends on the ability of the charge carrier concentration to follow the applied ac signal [11] and so that these carriers at the localized interface states can hop between a pair of these centers having different dipole orientations. However, as decreasing in the polarization at high frequencies, dipoles could not follow this action of the ac field without having enough time to relax in equilibrium and therefore to give a response to the ac signal [23]. The dispersion behavior shown in Fig.1 can be due to the inhomogeneity in the diode with the effect of accumulation of the charges at the boundary of less conducting regions and interfacial polarization [11, 20, 24]. In addition, the interfacial oxide layer thickness was calculated from $C - V$ characteristics using the basic concept of parallel plate capacitor and it was estimated as about 4 nm [25-27].

In addition to the analysis of real and imaginary components of ϵ^* , the results can also be discussed using the loss tangent, $\tan\delta = \epsilon''/\epsilon'$, $\tan\delta = G_m/\omega C_m$ which indicates the amount of energy that is dissipated in the dielectric when an electric field is applied across it [18, 22]. Fig. 2 shows the characteristics of $\tan\delta$ with a peak behavior at each frequency and this behavior can be related to the frequency dependence of ϵ' and ϵ'' values. As shown in Fig.1(b) and Fig.2, ϵ'' and $\tan\delta$ have peaks for each frequency and the peak position shifts toward lower voltages with decreasing frequency. The decrease in the magnitude of the peaks with increasing frequency may be due to the presence of interface traps [28, 29]. Furthermore, the interface state density, the series resistance of the diode, and the thickness of the interfacial insulator layer can be responsible for this behavior of $\tan\delta$ [9, 21, 23].

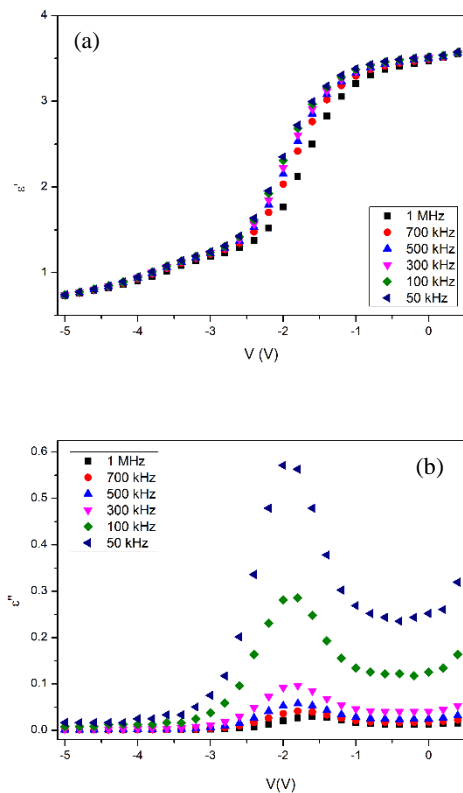


Figure 1. Frequency dependent room-temperature ϵ' (a) and ϵ'' (b) of ZnSe/p-Si diode

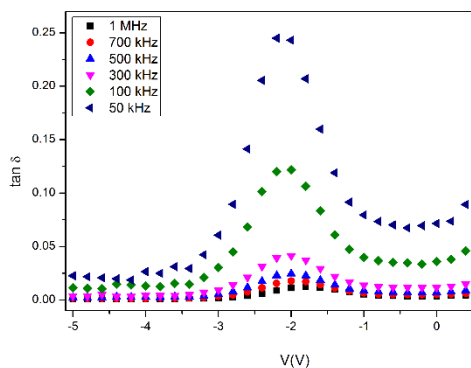


Figure 2. Frequency dependent room-temperature $\tan\delta$ of ZnSe/p-Si diode

The ac electrical conductivity (σ_{ac}) of the dielectric material can be expressed as [18, 30],

$$\sigma_{ac} = \omega C_m \tan\delta(d_i/A) = \omega \epsilon_0 \epsilon'' \quad (3)$$

and the observed conductivity behavior of the ZnSe/p-Si diode is presented in Fig.3 at different voltage and frequency values. The magnitude of the σ_{ac} peaks (Fig.3) increase with increasing frequency and their positions shift toward the positive bias voltages. The observed

behavior in σ_{ac} values can be accompanied by an increase of the eddy current and it is also related to the increase of $\tan\delta$ [21, 29]. This behavior can also be attributed to a gradual decrease in the series resistance with increasing frequency [6, 21, 23, 31].

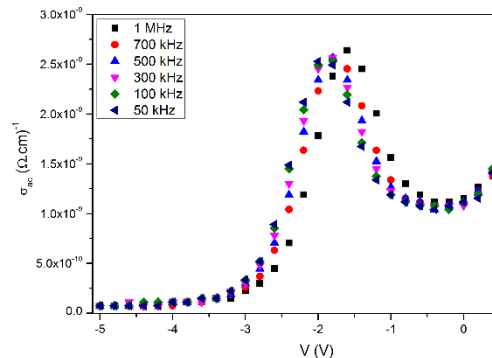


Figure 3. Frequency dependent room-temperature σ_{ac} of ZnSe/p-Si diode

The complex impedance Z^* and complex dielectric modulus M^* can be used to analyze the relaxation properties of ZnSe/p-Si diode [21, 23]. In fact, these analysis of ϵ^* within the Z^* formalism is commonly used to separate the bulk and the surface phenomena and to determine the bulk dc conductivity of the material [32]. Additionally, M^* can be used to monitor the electrical properties of the material and is a useful technique to investigate the influences of frequency on the relaxation processes [33]. As a simply geometric inverse of the admittance, Z^* can be written as $Z^* = 1/i \omega C_0 \epsilon^*$, and then as an inverse of ϵ^* , M^* can be defined as,

$$M^* = i \omega C_0 Z^* \quad (4)$$

where real and imaginary part of M^* are interrelated with ϵ^* as $M' = \epsilon' / (\epsilon'^2 + \epsilon''^2)$ and $M'' = \epsilon'' / (\epsilon'^2 + \epsilon''^2)$, respectively [23, 28].

As shown in Fig.4, M' increases with increase in frequency and decrease in voltage, and an inverse behavior with frequency is observed in M'' . With changing frequency, the decrease in the height and the shift in the position of the peaks can be evaluated with the conductivity relaxation process in the junction and the effect of the interface state density [29, 34].

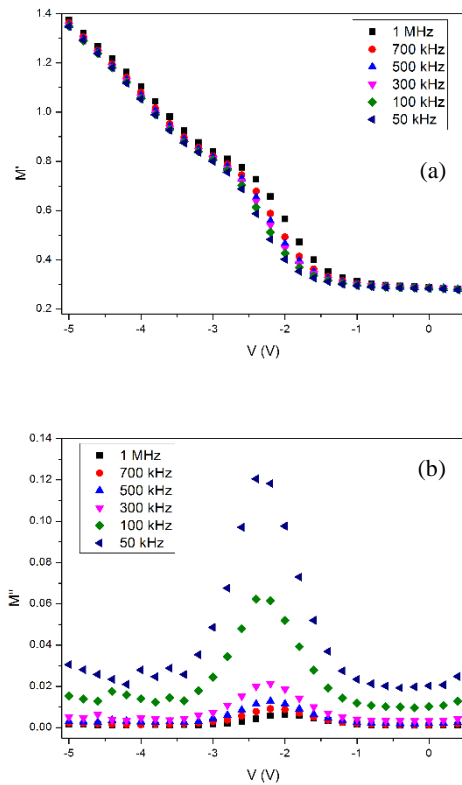


Figure 4. Frequency dependent room-temperature M' (a) and M'' (b) of ZnSe/p-Si diode

6. CONCLUSION (SONUÇ)

In this work, frequency dependent electrical and dielectric properties were investigated by carrying out and $C - V$ and $G/\omega - V$ measurements and the results were discussed as a continuation of the published works on I-V measurements. Thus, the presence of the interface states and their distribution characteristics were analyzed to explain the possible frequency dispersion of the capacitance and conductance. Depending the capacitance and conductance characteristics, the values of ϵ' and ϵ'' were calculated in the approximation of the presence of interfacial oxide layer and the particular distribution of interface states, and they were found in decreasing behavior with increase in frequency. ϵ' was seem to be frequency independent in the negative voltage region whereas characteristic peak profile for each measured frequency was observed in ϵ'' plot. In addition, related to the frequency dependence of these values, the characteristics of $\tan\delta$ showed a peak at each frequency. The variation of σ_{ac} was explained by increase in the eddy current and it is also related to the increase of $\tan\delta$. In addition, considering electric modulus formalism, the relaxation properties of ZnSe/p-Si diode were determined.

REFERENCES (KAYNAKLAR)

- [1] Wasa, K., Hayakawa, S., "RF-Sputtered n-p Heterojunction Diodes of ZnSe-Si and ZnSe-GaAs", *Jpn. J. Appl. Phys.* 12: 408-414 (1973).
- [2] Darwish, S., Riad, A.S., Soliman, H.S., "Electrical conductivity and the effect of temperature on photoconduction of n-ZnSe/p-Si rectifying heterojunction cells", *Semicond. Sci. Technol.* 11: 96-102 (1996).
- [3] Jiansheng, J., Zhang, W., Bello, I., Lee, C.S., Lee, S.T., "One-dimensional II-VI nanostructures: Synthesis, properties and optoelectronic applications", *Nano Today* 5: 313-336 (2010).
- [4] Venkatachalam, S., Mangalaraj, D., Narayandass, Sa.K., Velumani, S., Schabes-Retchkiman, P., Ascencio, J.A., "Structural studies on vacuum evaporated ZnSe/p-Si Schottky diodes", *Mater. Chem. Phys.* 103: 305-311 (2007).
- [5] Zhang, X., Zhang, X., Wang, L., Wu, Y., Wang, Y., Gao, P., Han, Y., Jie, J., "ZnSe nanowire/Si p-n heterojunctions: device construction and optoelectronic applications", *Nanotechnology* 24: 395201 (2013).
- [6] Gullu, H.H., Bayrakli, O., Yildiz, D.E., Parlak, M., "Study on the electrical properties of ZnSe/si heterojunction diode", *J. Mater. Sci.: Mater. Electron.* 28: 17809-17815 (2017).
- [7] Chattopadhyay, P., Raychaudhuri, B., "Frequency dependence of forward capacitance-voltage characteristics of Schottky barrier diodes", *Solid-State Electron.* 36: 605-610 (1993).
- [8] Gokcen, M., Altuntas, H., "On the profile of temperature dependent electrical and dielectric properties of Au/SiO₂/n-GaAs (MOS) structures at various frequencies", *Physica B* 404: 4221-4224 (2009).
- [9] Tataroglu, A., Yucedag, I., Altindal, S., "Dielectric properties and ac electrical conductivity studies of MIS type Schottky diodes at high temperatures", *Microelectron. Eng.* 85: 1518-1523 (2008).
- [10] Akkal, B., Benamara, Z., Grizza, B., Bideux, L., "Characterization of interface states at Au/InSb/InP(100) Schottky barrier diodes as a function of frequency", *Vacuum* 57: 219-228 (2002).
- [11] Sze, S.M., "Physics of Semiconductor Devices", Wiley, New York, 1981.
- [12] Murat, P., "The contribution of broad interface state bands to the capacitance of metal/semiconductor diodes", *Solid-State Commun.* 59: 67-70 (1986).
- [13] Murthy, B.S., Rao, P.R.S., "Frequency dependence of junction capacitance", *IETE J. Res.* 17: 273-276 (1970).
- [14] Haddara, H.S., El-Sayed, M., "Conductance technique in MOSFETs: Study of interface trap properties in the depletion and weak inversion regimes", *Solid-State Electron.* 31: 1289-1298 (1998).
- [15] Nicollian, E.H., Goetzberger, A., "MOS conductance technique for measuring surface state parameters", *Appl. Phys. Lett.* 7: 216-219 (1965).
- [16] Bulbul, M. M., Zeyrek, S., "Frequency dependent capacitance and conductance-voltage characteristics of Al/Si₃N₄/p-Si(100) MIS diodes", *Microelectron. Eng.* 83: 2522-2526 (2006)

- [17] Tataroglu, A., Altindal, S., "Study on the frequency dependence of electrical and dielectric characteristics of Au/SnO₂/n-Si (MIS) structures", *Microelectron. Eng.* 85: 1866-1871 (2008)
- [18] Symth, C.P. "*Dielectric Behavior and Structure*", McGraw-Hill, New York, 1955.
- [19] Kar, S., Narasimhan, R.L., "Characteristics of the Si-SiO₂ interface states in thin (70-230 Å) oxide structures", *J. Appl. Phys.* 61: 5353-5359 (1987).
- [20] Daniel, V.V., "*Dielectric Relaxation*", Academic, London, 1967.
- [21] Yildiz, D.E., Dokme, I., "Frequency and gate voltage effects on the dielectric properties and electrical conductivity of Al/SiO₂/p-Si metal-insulator-semiconductor Schottky diodes", *J. Appl. Phys.* 110: 014507 (2011).
- [22] Chelkowski, A., "*Dielectric Physics*", Elsevier, Amsterdam, 1980.
- [23] Tataroglu, A., Altindal, S., Bulbul, M.M., "Temperature and frequency dependent electrical and dielectric properties of Al/SiO₂/p-Si (MOS) structure", *Microelectron. Eng.* 81: 140-149 (2005).
- [24] Kaya, A., Vural, O., Tecimer, H., Demirezen, S., Altindal, S., "Frequency and voltage dependence of dielectric properties and electric modulus in Au/PVC + TCNQ/p-Si structure at room temperature", *Curr. Appl. Phys.* 14: 322-330 (2014).
- [25] Tataroglu, A., "Dielectric Permittivity, AC Conductivity and Electric Modulus Properties of Metal/Ferroelectric/Semiconductor (MFS) Structures", *GU J. Sci.* 26: 501-508 (2013)
- [26] Ataseven, T., Tataroglu, A., "Temperature-dependent dielectric properties of Au/Si₃N₄/n-Si (metal-insulator-semiconductor) structures", *Chin. Phys. B* 22: 117310-1-6 (2013)
- [27] Strzalkowski, I., Joshi, S., Crowell, C. R., "Dielectric constant and its temperature dependence for GaAs, CdTe, and ZnSe", *Appl. Phys. Lett.* 28: 350-352 (1976)
- [28] Altindal, S., Asar, Y. S., Kaya, A., Sonmez, Z., "Investigation of interface states in Al/SiO₂/p-Si (MIS) structures with 50 and 826 angstrom SiO₂ interfacial layer using admittance spectroscopy method", *J. Optoelectron. Adv. Mater.* 14: 998-1004 (2012)
- [29] Bilkan, C., Asisian-Kalandaragh, Y., Altindal, S., Shokrani-Havigh, R., "Frequency and voltage dependence dielectric properties, ac electrical conductivity and electric modulus profiles in Al/Co₃O₄-PVA/p-Si structure", *Physica B* 500: 154-160 (2016)
- [30] Popescu, M. Bunget, I., "*Physics of Solid Dielectrics*", Elsevier, Amsterdam, 1984.
- [31] Riad, A.S., Korayem, M.T., Abdel-Malik, T.G., "AC conductivity and dielectric measurements of metal-free phthalocyanine thin films dispersed in polycarbonate", *Physica B* 270:140-147 (1999).
- [32] Macedo, P.B., Moynihan, C.T., Bose, R., "Role of ionic diffusion in polarization in vitreous ionic conductors", *Phys. Chem. Glasses* 13:171-179 (1972).
- [33] Hoque, Md.M., Dutta, A., Kumar, S., Sinha, T.P., "Dielectric Relaxation and Conductivity of Ba(Mg_{1/3}Ta_{2/3})O₃ and Ba(Zn_{1/3}Ta_{2/3})O₃", *J. Mater. Sci. Technol.* 30: 311-320 (2014).
- [34] Baraz, N., Yucedag, I., Asisian-Kalandaragh, Y., Altindal, S., "Determining electrical and dielectric parameters of dependence as function of frequencies in Al/ZnS-PVA/p-Si (MPS) structures", *J. Mater. Sci.: Mater. Electron.* 28: 1315-1351 (2017)



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

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



Klavikula kırıklarında plak uygulamasının yerleşim konumuna göre yorulma davranışının sonlu elemanlar yöntemi ile incelenmesi

Investigation of fatigue behaviour of plate applications in clavicle fractures by finite element method according to the plate replacement position

Yazar(lar) (Author(s)): Levent UĞUR¹, Selami KARADENİZ², Arif ÖZKAN³, Alper GÜLTEKİN⁴

ORCID¹: 0000-0003-3447-3191

ORCID²: 0000-0002-8233-5028

ORCID³: 0000-0002-1288-6166

ORCID⁴: 0000-0002-9234-215X

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Uğur L., Karadeniz S., Özkan A., ve Gültekin A., “ Klavikula kırıklarında plak uygulamasının yerleşim konumuna göre yorulma davranışının sonlu elemanlar yöntemi ile incelenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 22(1): 69-74, (2019).

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

DOI: 10.2339/politeknik.466176

Klavikula Kırıklarında Plak Uygulamasının Yerleşim Konumuna Göre Yorulma Davranışının Sonlu Elemanlar Yöntemi ile İncelenmesi

Araştırma Makalesi / Research Article

Levent UĞUR^{1*}, Selami KARADENİZ², Arif ÖZKAN³, Alper GÜLTEKİN⁴

¹Amasya Üniversitesi, Teknoloji fakültesi, Makine Mühendisliği,05100, Amasya,

²Amasya Üniversitesi Tıp Fakültesi, Ortopedi ve Travmatoloji,05100, Amasya,Turkey

³Kocaeli Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği, 41100, Kocaeli, Türkiye

⁴Kocaeli Derince Eğitim ve Araştırma Hastanesi Ortopedi ve Travmatoloji Kliniği, Kocaeli,04100, Türkiye

(Geliş/Received : 11.11.2017 ; Kabul/Accepted : 03.09.2018)

ÖZ

Amaç; Klavikula, omuz ve kolun hareketlerinde önemli bir göreve sahip olan anatomik bir yapıdır. Klavikula kırıkları iskelet sistemi yaralanmaları içerisinde sık karşılaşılan bir problemlerdir. Klavikula kırıklarında, kırığın türüne göre çeşitli implantlar kullanarak omuzun ağrısız ve fonksiyonlarını en uygun düzeye getirmek asıl amaçtır. Bu çalışmada klavikula kırıklarında kullanılan anatomik plak uygulamasının biyomekanik açıdan incelenmesi amaçlanmıştır.

Yöntem; Bu çalışmada, DICOM formatında bilgisayarlı tomografi görüntüleri kullanılarak normal anatomiye sahip klavikula modellenmiş ve klavikula üzerinde kırık hattı oluşturularak superior ve anteriora plak yerleştirilmiştir. Plaklarda meydana gelen gerilmeler, oluşturulan modeller üzerine eksenel kompresyon ve konsol bükme yüklemeleri uygulanarak non-lineer sonlu elemanlar yöntemi ile incelenmiştir. Analizler, ANSYS (surum 18) sonlu elemanlar programında yapılmış ve tüm modellerde aynı sınır şartları uygulanmıştır.

Bulgular; Analizlerde plaklar üzerinde meydana gelen maksimum eşdeğer gerilmelere (MES) bakılmış ve özellikle anteriora yerleştirilen plakta gerilmenin azaldığı tespit edilmiştir. Klavikula üzerine yerleştirilen plakların konumlarına göre yorulma davranışları karşılaştırılmıştır.

Sonuçlar; Bu çalışmada, klavikulanın anteriorüne yerleştirilen plaklarda gerilmenin daha az olduğu sonlu elemanlar yöntemi ile gösterilmiştir. Ayrıca, anterior bölgeye yerleştirilen plakların en uzun ömre sahip olmasından dolayı kırılma kararı açısından daha güvenli olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Omuz, klavikula, plak, Sonlu Elemanlar Analizi .

Investigation of Fatigue Behaviour of Plate Applications in Clavicle Fractures by Finite Element Method According to the Plate Replacement Position

ABSTRACT

Background: The clavicle is an anatomical structure which has an important role on the movements of the shoulder and arm. Clavicular fractures are a common problem in skeletal system injuries. The main purpose is to achieve a painless shoulder joint and to optimise its function in clavicle fractures. In this study, it was aimed to investigate biomechanically the application of anatomic plaque used in clavicle fractures. **Methods:** In this study, a normal anatomical clavicle was modeled using computed tomography images in DICOM format, a fracture line was created on the clavicle and the plate was placed superiorly and anteriorly. The stresses on the plates under axial compression and console bending were investigated on the formed models by using finite element method. Analyzes were made non-linear using ANSYS (v.18) and same limit conditions were applied in all models. **Findings:** The maximum equivalent stresses (MES) on the plaques were observed in the analyzes and it was found that the tension on the plaque, especially placed anteriorly, decreased. Fatigue behaviours were compared according to the positions of the plates placed on the clavicle. **Results:** In this study, the finite element method was used which showed less tension on the plates placed on the anterior of the clavicle. It was also found that the plates placed in the anterior region were safer in terms of fatigue fracture stability due to longest longevity of the plates.

Keywords: Shoulder, clavicle, plate, finite element analysis.

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

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

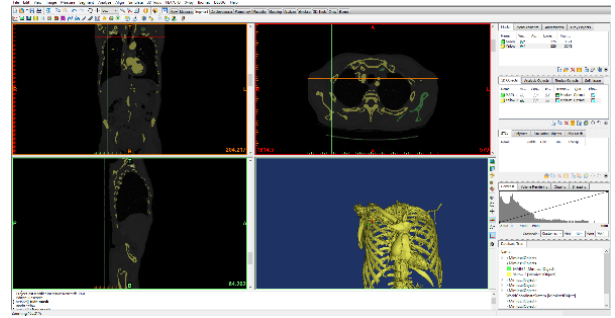
Klavikula; omuz hareketlerine, kolun kuvvet ve stabilitesine, solunum fonksiyonuna, önemli nörovasküler yapıların korunmasına yardımcı olan, adalelerin yapıştığı, kozmetik öneme sahip bir anatomik yapıdır [1]

Klavikula kırıkları iskelet sistemi yaralanmalarının içerisinde en sık karşılaşılan problemlerendir ve tüm iskelet sistemi kırıklarının % 2.6-5'ini oluşturur [2]. Omuz bölgesi kırıklarının ise yaklaşık %44'ünü oluşturmaktadır. [2, 3]. Klavikula kırıklarının yaklaşık% 80'i orta şaft bölgesinden kırılmaktadır [1, 4]. Günümüzde orta şaft klavikula kırıkları için genelde cerrahi tedavi ile plak uygulaması tercih edilmektedir [5]. Plak uygulaması klavikulanın anterior veya superior bölgesine uygulanmaktadır. Ancak plağın yerleşiminin tam olarak nereden uygulanması gerektiği konusunda tam bir fikir birliğine varılmamıştır[6, 7] Anterior veya superior plak uygulamalarının klinikte kendi aralarında çeşitli avantaj ve dezavantajları olduğu gösterilmiş olup plağın yerleşimi konusunda bir ortak bir görüş oluşturulamamıştır [8]. Bunun en önemli nedenlerinden biri omuz bölgesinin çok fazla kas ve bağ dokudan meydana gelmesinden dolayı çok karmaşık bir yapıya sahip olmasıdır [9]. Karmaşık bir yapıya sahip olan omuz bölgesindeki orta şaft klavikula kırıklarında gerekli biyomekanik deneylerin yapılmasının zor olmasından dolayı sonlu elemanlar yöntemi kullanılmıştır.

Bu çalışmanın amacı orta şaft kırıklı klavikulada iki farklı pozisyonda yerleştirilen plak uygulamasının konumlarının sonlu elemanlar metodu ile karşılaştırarak en uygun konumu belirlemektir.

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

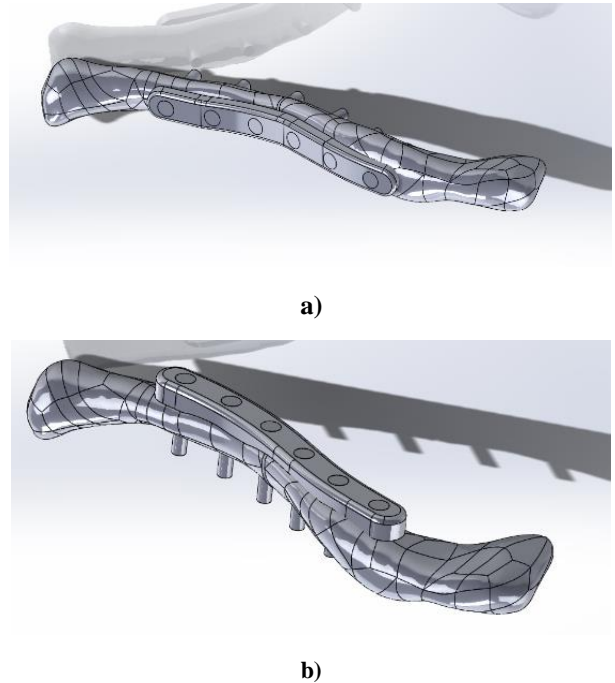
Bu çalışmada klavikulanın üç boyutlu modelinin oluşturulması için 28 yaşında 78kg ve 1,80m boyda normal anatomisine sahip sağlıklı bir insanın Şekil 1'de görülen bilgisayarlı tomografi (BT) görüntüleri kullanılmıştır. BT taraması Toshiba Aquilion BT aygıtıyla Amasya Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesinde yapılmıştır. DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) formatında ham veri 120 Kv 'da 0,891 mm piksel büyüklüğünde 512x512 piksel çözünürlüğü ile tarama yapılarak elde edilmiştir. BT çekimleri görselleştirme ve segmentasyon işlemleri için BT görüntülerini kullanan interaktif bir yazılım olan MIMICS® (Materialise's Interactive Medical Image Control System/ Materialise NV, Belgium) yazılımı ile işlenerek model oluşturulmuştur [10].



Şekil 1.BT görüntülerinde modellerin oluşturulması (Creation of models in CT images)

Klavikula modelinde oluşan parlama (artifak) ve istenmeyen geometrileri düzenlemek ve doğru geometriyi elde edebilmek için MIMICS yazılımından geometriler STL (stereolithography) formatına dönüştürülerek tersine mühendislik yazılımı olan GEOMAGIC® Studio programına gönderilmiştir. Son olarak buradan elde edilen model SolidWorks® (Dassault Systems, USA) programına gönderilerek 1mm boşluğa sahip kırık hattı oluşturulmuştur.

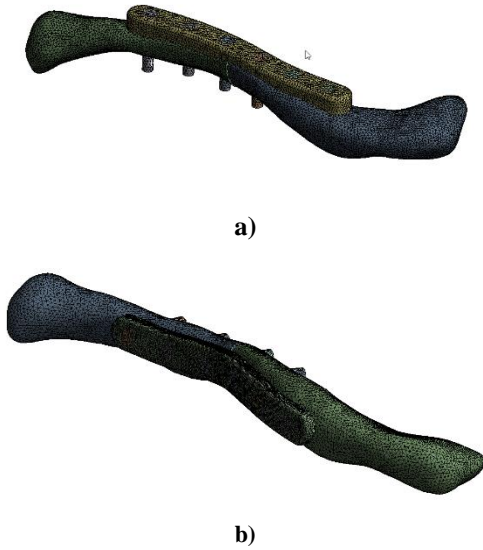
Çalışmada Klavikula kırıklarında kullanılan plak ve vidalar katalog değerlerinden bakılarak 3 boyutlu katı modelle programı olan SolidWorks® (Dassault Systems, USA) programında modellenmiş ve şekil 2'de görüldüğü gibi orta şaft kırığı bulunan klavikulanın superior ve anteriora bölgelerine yerleştirilmiştir.



Şekil 2.Solidworks programında plakların yerleşimi a) Anteriora b) Superior (Placing plates in Solidworks)

Ağ Yapısı ve Malzeme Özellikleri

ANSYS Workbench (Version 18, Ansys Inc.,USA) yazılımı kullanılarak Şekil 3’de görüldüğü gibi ağ yapısı oluşturulmuştur. Ağ yapıda oluşturulan kemiklere tetrahedral mesh atılmıştır. Kemik yapılarında ağ yapı boyutu 2 mm verilmiştir. Modeller ortalama olarak 685962 node ve 452828 elemandan oluşmaktadır. Analizler Newton-Raphson metoduna göre non-lineer olarak yapılmıştır.



Şekil 3. Sonlu elemanlar modeli ağ yapısı (Finite element model mesh structure)

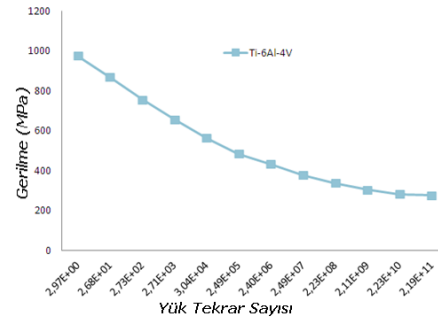
Literatürde yer alan çalışmalara göre kortikal kemik, koncellous kemik, plak ve vidalar için malzeme özellikleri (Ti-6Al-4V) Çizelge 1’de gösterildiği gibi izotropik malzeme olarak tanımlanmıştır [9].

Çizelge 1. Kemik ve diğer malzeme özellikleri (Bone and other material properties)

	Young Modulus (E) (MPa)	Poisson Ratio (ν)
Kortikal Kemik	11,000	0.3
Cancellous Kemik	500	0.1
Titanium (Ti-6Al-4V)	110,000	0.33

Analizlerde kullanılan plak (Ti-6Al-4V) metal malzemenin, farklı sabit gerilmeler altında malzemenin kaç çevrim sonunda çatlayacağını veya kırılacağını gösteren yorulma diyagramı (S-N) Şekil 4’deki gibi Ansys Workbench malzeme özellikleri tanımlanırken girilmiştir. Static Structural modülünde yapılan

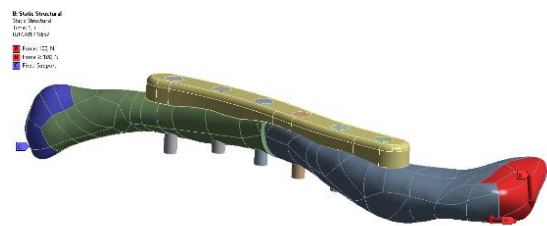
analizlerde Fatigue Tool kullanılarak malzemede meydana gelen yorulma değerleri Goodman yöntemine göre incelenmiştir [10].



Şekil 4. Titanyum (Ti6Al4V) malzemesi için S-N diyagramı (S-N diagram for titanium (Ti6Al4V) material)

Sınır şartları

Malzeme tanımlanmasından sonra kırık hattında sürtünmesiz (frictionless) kontak tanımlanması yapılmıştır. Ayrıca vidalar ve klavikula arasında yapışkan (Bonded) kontak ve plak ile kemik arasında yine sürtünmesiz doğruyu ne (frictionless) kontak tanımlanmıştır. Kontaklarda MPC algoritması ve Augmented Lagrange algoritması seçilmiştir. Favre ve ark. tarafından iki tip sınır ve yükleme koşulları (eksenel kompresyon ve aşağı doğru bükme) kullanılmıştır. [11]. Her iki koşulda Şekil 5’de gösterildiği gibi klavikula distal kısmında ayrı ayrı toplam 100 N aşağı doğru bükme ve 100 N ekstenel kompresyon kuvveti uygulanmıştır [12, 13]. Klavikülün sternal ucu bütün serbestlik derecelerine sabitlenmiştir. Tüm modellerde aynı sınır şartları uygulanmıştır.



Şekil 5. Sonlu elemanlar yükleme ve sınır şartları (Finite element loading and boundary conditions)

3. BULGULAR (RESULTS)

Yapılan Non-lineer gerilim analizleri ve yorulma hesaplamaları sonucunda en yüksek von Mises gerilim değerlerinin superiora yerleştirilen plaklarda meydana geldiği görülmüştür. Analizler sonucunda plak yerleşim yerlerine göre plakta ve kemikte meydana gelen gerilim dağılımları Çizelge 2’de verilmektedir.

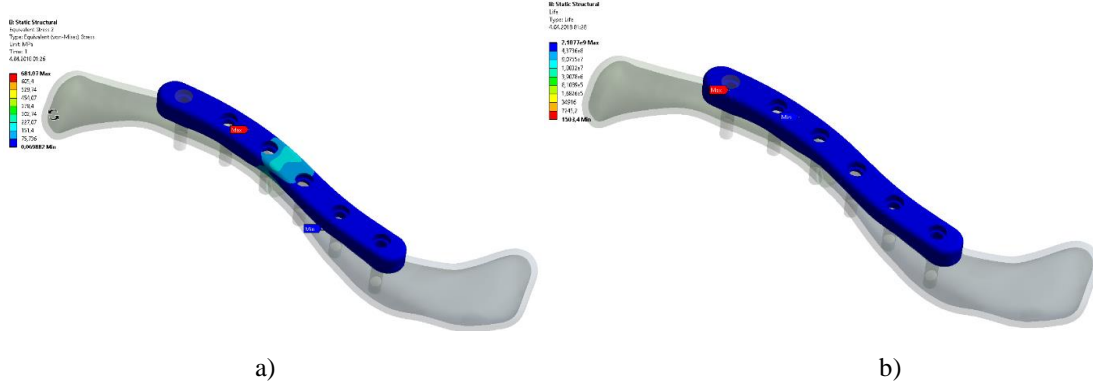
Çizelge 2. Sonlu elemanlar Analiz Sonuçları (Finite Element Analysis Results)

	Yüklenmeler	Meydana Gelen Gerilmeler		Ömür	
		Superior Plak	Anterior Plak	Superior Plak	Anterior Plak
Plakta Meydana Gelen Gerilme (Mpa)	Eksenel Kompresyon	170,24	70,965	2,11E+09	2,11E+09
	Bükme	578,47	432,78	20292	2,11E+09
	Tüm Kuvvetler Uygulandığında	681,07	480,46	1503,4	154930
Kemikte Meydana Gelen Gerilme (Mpa)	Eksenel Kompresyon	35,822	11,366		
	Bükme	101,6	56,8		
	Tüm Kuvvetler Uygulandığında	137,39	62,888		

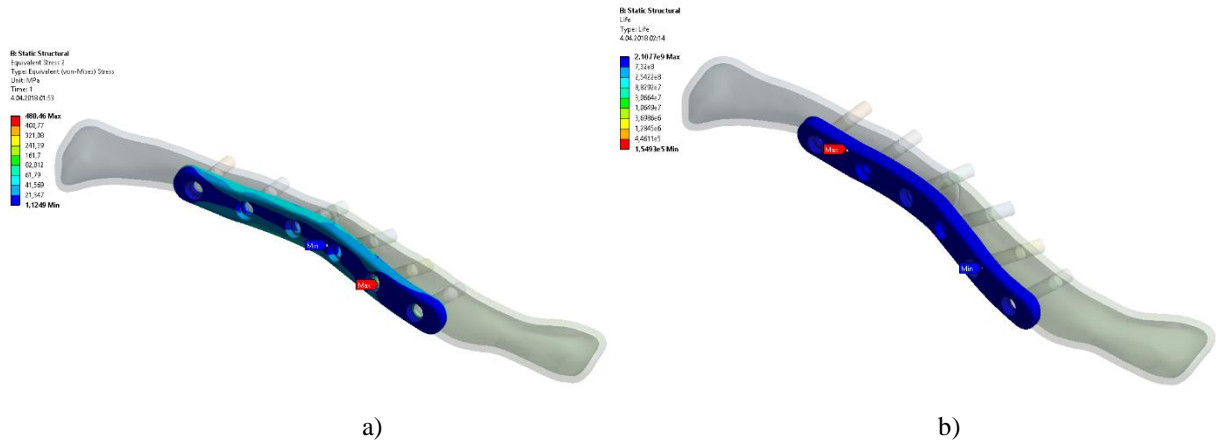
Bu sonuçlara göre, tüm kuvvetlerin uygulandığı durumda anteriora yerleştirilen plak için maksimum von Mises gerilme 480,46 MPa ve yorulma ömrü 154930 çevrim olurken superiora konumlandırılan plak için maksimum von Mises gerilme 681,07 MPa ve yorulma ömrü 1503,4 çevrim olarak hesaplanmıştır. Şekil 6' da Superiora plakta meydana gelen maksimum von Mises gerilmesi ve ömrünü, Şekil 7' de anterior yerleştirilen plakta meydana

gelen maksimum von Mises gerilmesi ve ömrü görülmektedir. Yine analiz sonuçlarına bakıldığında her iki konumda bükme kuvvetinde plak ve kemikte daha fazla gerilmeye maruz kaldığı görülmektedir.

Tüm kuvvetlerin uygulandığı durumda kemik yapıda meydana gelen maksimum von Mises gerilme değerleri şekil 8'de görülmektedir. Anterior'a yerleştirilen plakta



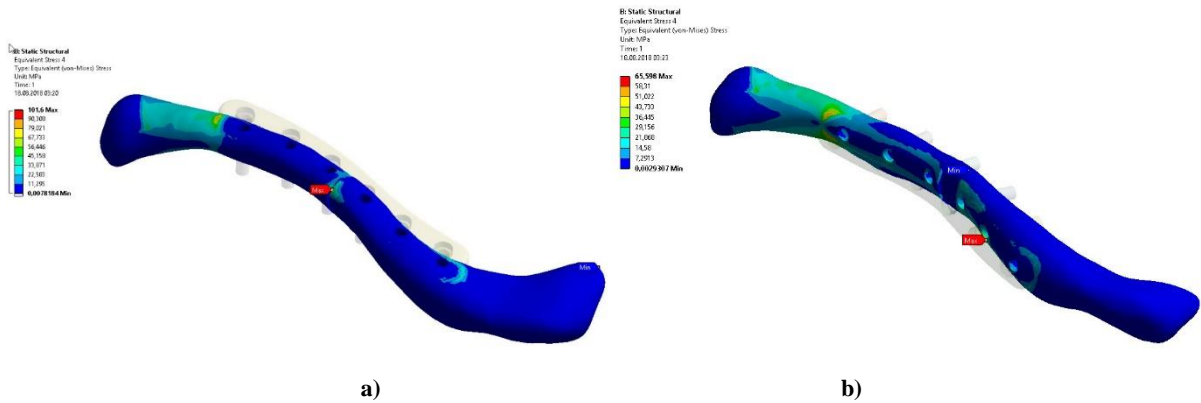
Şekil 6. Superiora yerleştirilen plakta tüm kuvvetler uygulandığında meydana gelen a) Maksimum von-Mises Gerilme b) Ömür ((a) Maximum von-Mises Stress b) Lifetime that occurs when all forces are applied to the plate placed in the Superior)



Şekil 7. Anteriora yerleştirilen plakta tüm kuvvetler uygulandığında meydana gelen a) Maksimum von-Mises Gerilme b) Ömür ((a) Maximum von-Mises Stress b) Lifetime that occurs when all forces are applied to the plate placed in the Anterior)

maksimum von Mises gerilmesi 65,568 MPa olurken superiora yerleştirilen plakta maksimum von Mises gerilmesinin 101,6 MPa olduğu görülmektedir.

tasarımları arasındaki biyomekanik stabiliteyi karşılaştırmıştır [18]. Onların deneysel sonuçları, anterior kaplama tekniklerine göre üstün plakalarda



Şekil 8. Analizler sonucunda klavikulada meydana gelen maksimum gerilmeler a) Anterior b) Superiora (Maximum stresses in the clavicle as a result of analysis)

4. TARTIŞMA (DISCUSSION)

Ortopedi uzmanları klavikula kırıklarının optimal tedavisi ile ilgili olarak ikiye bölünmüştür, ancak ortopedik cerrahi alanında orta şaft klavikula kırıklarında kullanılan plağın nasıl konumlandırılacağı giderek daha fazla önem kazanmaktadır [6]. Mevcut çalışmada, sonlu elemanlar analizi, klavikula kırıklarında plağın yerleşim yerinin ömür tayini ve kararlılığı açısından karşılaştırmak amacıyla kullanılmıştır. Yapılan bu çalışma sonuçlarının klavikula kırıklarında plağın yerleşimi konusunda ortopedistlere yol gösterebileceği düşünülmektedir.

Araştırmalar için en uygun yöntemi klinik ve biyomekanik çalışmalarıdır, ancak klinik çalışmalarda çok farklı sorunlar meydana geldiği için sonuç almak zor, bazı zamanlar ise imkânsızdır. Bunun yanı sıra kadavra çalışmaları ve diğer biyomekanik çalışmalar için gerekli deneysel test cihazları yapmak hem zor hem de zaman alıcı ve maliyetlidir. Sonlu elemanlar analiz tekniği sürekli geliştirilmekte ve analizler sonucunda birçok veri elde edilmektedir. Ayrıca parametreler çoğaltılarak birçok kombinasyonun simülasyonu yapılabilir ve sonuçlar karşılaştırılabilir.

Açık redüksiyon internal fiksasyon tekniği, ameliyat süresinin azalması, kırık iyileşmesinin etkinliği ve daha az tıbbi masraf gibi klinik bulgularla klavikula kırığının tedavisinde kabul edilmiştir [14-16]. Birkaç çalışmada orta şaft klavikula kırığının konservatif tedavisinden sonra zayıf klinik sonuç bildirilmiştir. Konservatif tedavi sonrası (malunion, sendikal olmayan, instabilite vb.) sözü edilen genel komplikasyonların yanı sıra, Hill ve ark. tarafından yapılan klinik çalışmada kırık alanındaki kısılma sorunu hastaların %31'inde yaşanmıştır [17]. Bu nedenle, tatminkâr bir klinik sonuç elde etmek için anatomik redüksiyon ve klavikula plakası sabitlemesinden sonra yapısal stabilitenin korunması şarttır. Daha önce, Iannotti ve ark. orta şaft klavikula kırığına üstün ve anterior fiksasyon için çeşitli plaka

eksenel kompresyonda ve ekstenel torsiyonda daha fazla yapısal sertliğin görüldüğünü göstermiştir. Farve ve ark.'nın çalışmasında da sonlu elemanlar analizleri ile benzer sonuçlar bildirilmiştir. [11].

Bu çalışmada bazı sınırlamalar da dikkate alınmalıdır. Sadece homojen, izotropik ve doğrusal elastik malzeme özellikleriyle sonlu elemanlar analizleri yapılmıştır. Bu sonuçlar, biyomekanik testlerin sonuçlarını tahmin etmede rehberlik sağlayabilir. Bununla birlikte, bu çalışmada uygulanan modellerin tam olarak geçerliliği için pratik bir biyomekanik test şarttır. Ayrıca omuz eklemi (deltoid, supraspinatus, infraspinatus, subskapularis, teres major ve minor kaslar vb.) geçen yumuşak dokuların kuvvetleri ve biyomekanik etkileri göz ardı edilmiştir. Ayrıca farklı plak geometrilerinin etkilerine bakılmamıştır. Bununla birlikte, bu çalışma, klavikula biyomekanikinde gelecek çalışmalar için referans olacak bir analiz içermektedir.

5. SONUÇ (CONCLUSION)

Yapılan sonlu elemanlar analizi sonucunda, klavikulada meydana gelen orta şaft kırıklarının tedavisinde plağın yerleşim konumunun etkisi incelenmiştir. Özellikle, bu çalışmada yapılan sonlu elemanlar analizleri ile elde edilen veriler doğrultusunda anteriora yerleştirilen plak modelinde konsol bükülme ve ekstenel kompresyon altında en düşük gerilmenin meydana geldiği tespit edilmiştir. Ayrıca, anteriora yerleştirilen plakta en uzun ömrün meydana gelmesinden dolayı kırılma kararlılığı açısından daha güvenli olduğu belirlenmiştir. Elde edilen verilerin klinik çalışmalar ile benzerlik gösterdiği belirlenmiştir [19, 20].

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu yayın Amasya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) tarafından desteklenmiştir. (Proje No: FMB-BAP 15-0225).

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Gustilo, R.B., R.M. Mendoza, and D.N. Williams, "Problems in the management of type III (severe) open fractures: a new classification of type III open fractures." *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*, 24(8): 742-746,(1984.)
- [2] Postacchini, F., et al., "Epidemiology of clavicle fractures." *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 11(5): 452-456,(2002).
- [3] Robinson, C.M., "Fractures of the clavicle in the adult: epidemiology and classification." *The Journal of bone and joint surgery. British* volume, 80(3): 476-484,(1998).
- [4] Nordqvist, A. and C. Petersson, "The incidence of fractures of the clavicle." *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 127-132,(1994).
- [5] Canadian, O.T.S., "Nonoperative treatment compared with plate fixation of displaced midshaft clavicular fractures. A multicenter, randomized clinical trial". *The Journal of bone and joint surgery. American* 89(1): 1, (2007).
- [6] Eden, L., et al., "Biomechanical comparison of the locking compression superior anterior clavicle plate with seven and ten hole reconstruction plates in midshaft clavicle fracture stabilisation." *International orthopaedics*,. 36(12): 2537-2543,(2012).
- [7] Renfree, T., B. Conrad, and T. Wright, "Biomechanical comparison of contemporary clavicle fixation devices." *The Journal of hand surgery*, 35(4): 639-644,(2010).
- [8] Nourian, A., et al., "Midshaft Fractures of the Clavicle: A Meta-analysis Comparing Surgical Fixation Using Anteroinferior Plating Versus Superior Plating." *Journal of orthopaedic trauma*, 31(9): 461-467,(2017).
- [9] Marie, C., "Strength analysis of clavicle fracture fixation devices and fixation techniques using finite element analysis with musculoskeletal force input." *Medical & biological engineering & computing*, 53(8): 759-769,(2015).
- [10] Uğur, L., "Pedikül vidasının yerleşim konumuna göre yorulma davranışının sonlu elemanlar yöntemiyle incelenmesi." *Sakarya University Journal of Science*, 20(2): 301-306,(2016).
- [11] Favre, , et al., "Superior versus anteroinferior plating of the clavicle: a finite element study. *Journal of orthopaedic trauma*", 25(11): 661-665,(2011).
- [12] Iannolo, M., et al., "Forces across the middle of the intact clavicle during shoulder motion." *Journal of shoulder and elbow surgery*, 19(7): 1013-1017(2010).
- [13] Scepi, M., et al., "A three-dimensional model of the shoulder girdle. Forces developed in deltoid and supraspinatus muscles during abduction." *Surgical and Radiologic Anatomy*, 26(4): 290-296,(2004).
- [14] Altamimi, S.A. and M.D. McKee, "Nonoperative treatment compared with plate fixation of displaced midshaft clavicular fractures:" *Surgical technique. JBJS*, 90(Supplement_2_Part_1): 1-8,(2008).
- [15] Althausen, L., et al., "Clinical and financial comparison of operative and nonoperative treatment of displaced clavicle fractures." *Journal of shoulder and elbow surgery*, 22(5): 608-611,(2013)
- [16] Xu, J., et al., "Operative versus nonoperative treatment in the management of midshaft clavicular fractures: a meta-analysis of randomized controlled trials." *Journal of shoulder and elbow surgery*, 23(2): 173-181,(2014).
- [17] Hill, J.M., M.H. Mcguire, and L.A. Crosby, "Closed treatment of displaced middle-third fractures of the clavicle gives poor results." *The Journal of bone and joint surgery. British* , 79(4): 537-538,(1997).
- [18] Iannotti, M., et al., "Effects of plate location and selection on the stability of midshaft clavicle osteotomies: a biomechanical study. " *Journal of shoulder and elbow surgery*, 11(5): 457-462,(2002).
- [19] Chen, C.-E., R.-J. Juhn, and J.-Y. Ko, "Anterior-inferior plating of middle-third fractures of the clavicle." *Archives of orthopaedic and trauma surgery*, 130(4): 507-511, (2010).
- [20] Kloen, , et al., "Anteroinferior plating of midshaft clavicular nonunions." *Journal of orthopaedic trauma*, 16(6): 425-430, (2002).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

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



A comprehensive research on the use of swarm algorithms in the inverse kinematics solution

Sürü algoritmalarının ters kinematik çözümde kullanımını üzerine kapsamlı bir araştırma

Yazar(lar) (Author(s)): Serkan DERELİ¹, Raşit KÖKER², İsmail ÖYLEK³, Mükremin AY⁴

ORCID¹: 0000-0002-1856-6083

ORCID²: 0000-0002-3811-2310

ORCID³: 0000-0002-2647-076X

ORCID⁴: 0000-0002-8568-264X

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Dereli S., Köker R., Öylek İ. ve Ay M., “A comprehensive research on the use of swarm algorithms in the inverse kinematics solution”, *Politeknik Dergisi*, 22(1): 75-79, (2019).

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

DOI: 10.2339/politeknik.374830

A Comprehensive Research on the use of Swarm Algorithms in the Inverse Kinematics Solution

Araştırma Makalesi / Research Article

Serkan DERELİ^{1*}, Raşit KÖKER², İsmail ÖYLEK³, Mükremin AY⁴

^{1,3}Sakarya Meslek Yüksek Okulu, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Sakarya Üniversitesi, Türkiye

²Teknoloji Fakültesi, Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü, Sakarya Üniversitesi, Türkiye

⁴Sakarya Meslek Yüksek Okulu, Mekatronik Bölümü, Sakarya Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 02.10.2016 ; Kabul/Accepted : 26.08.2017)

ABSTRACT

A comprehensive study was presented on swarm algorithms used in the inverse kinematic solution which is the basis of robot control in this paper. Because it is a complex and difficult problem group, the inverse kinematic solution is an important problem especially in robot arms with a lot of joints. So, swarm optimization techniques which were inspired by the animals in the nature, are often used by researchers, because these techniques find the best solution in a particular solution space. Artificial bee colony, firefly algorithm and particle swarm algorithm are the swarm techniques mentioned in this study. Since, these algorithms are frequently used in inverse kinematic solution in the literature.

Keywords: Robotic, inverse kinematics, swarm algorithms.

ÖZ

Bu çalışmada, robot kontrolünün temelinde bulunan ters kinematik çözümün bulunması için kullanılan sürü algoritmalarının kapsamlı bir araştırması sunulmuştur. Ters kinematik çözüm karmaşık ve zor problem grupları arasında olduğundan önemli bir problemdir. Özellikle bu durum robot kolunun çok fazla sayıda eklemi bulunduğu çok daha zorlaşmaktadır. Bu nedenle doğadaki hayvanların davranışlarından esinlenen sürü optimizasyonu teknikleri araştırmacılar tarafından sık sık kullanılmaktadır. Çünkü bu teknikler parçacık çözüm uzayındaki en iyi değeri elde etmektedirler. Yapay arı kolonisi, ateş böceği algoritması ve parçacık sürü algoritması bu çalışmada bahsi geçen tekniklerdir ve literatürde sıklıkla tercih edilmişlerdir.

Anahtar Kelimeler: Robotik, ters kinematik, sürü algoritmaları.

1. INTRODUCTION

Nature has contributed incredibly to the development of modern technology. Because today, the most advanced technologies of human beings are based on inspiration from nature. Swarm algorithms which were inspired by animals such as birds [1], fish, bees [2], fireflies [3] and ants [4], are one of the best examples. Despite the fact that the individuals of the swarms do not have a complicated structure, swarm intelligence emerges thanks to this cooperation of the individuals [5]. These algorithms are widely used to solve the most difficult problems [6] such as route determination, scheduling and inverse kinematics in almost all areas [6].

A new industrial revolution which its name is the fourth industrial revolution is being spoken today. Because the basis of this revolution is industrial robots the most important features of which are accuracy, speed and efficiency, the inverse kinematics that is the determination of the angle of the joints from the position of the end effector of a robot is important [8]. In addition, effective control of robots in the industrial revolution will gain importance. Therefore, the inverse kinematic issue has become even more important.

Swarm algorithms have been widely used by researchers in many areas such as science, engineering [9], robotics

[10], commerce and control [11]. These optimization techniques have been used frequently in the inverse kinematic solution and effective results have been obtained. The solution of this problem is the most fundamental problem in robotics and it can take a long time especially in complex robots [12]. They obtained the inverse kinematic solution of a six-jointed puma robot using the artificial bee colony algorithm. They obtained the results in terms of position error and solution time, and compared these results with the PSO algorithm. It has been seen that the bee algorithm used in the study provides much better results both in terms of position error and working time [13]. Pham and his friends have altered the food search behavior of the bees in order to obtain more effective solutions and have introduced a new approach. They have realized the inverse kinematic solution with multi-layer neural network and used the bee colony algorithm to train the artificial neural network [14]. Rokbani and his friends have computed the inverse kinematic solution of a three-jointed robot arm using a relatively recent heuristic approach based on the communication methods of fireflies. The results of the study were obtained in terms of position error and solution time. [15]. Durmus and his friends have solved this problem using both particle swarm optimization and harmony search algorithm algorithms and have compared their results and they carried out the tests using six jointed puma type robots. The results are discussed as the position error and the average solution time of the

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : dereli@sakarya.edu.tr

algorithms and ultimately the PSO seems to produce much better values than the HSA [16]. Ayyıldız and Çetinkaya have used four heuristic techniques two of whom are swarm algorithm to obtain inverse kinematic solutions of a 4-jointed robot which is a self-designed robot manipulator and they compared the results obtained with these four algorithms. They observed the results of the algorithms with two different scenarios. One of these scenarios is to find a hundred different points randomly determined in the working space, and the other is to estimate a predetermined trajectory. They compared the four optimization techniques in terms of runtime and position error. [17]. Huang and his friends have calculated the inverse kinematic solution of a much more complex seven-jointed robot arm with the PSO technique. they separately evaluated the position errors occurring in the x, y and z axes and specifically stated in the study. They have set a separate performance index as a fitness function and have preferred to go through it as a result [18].

2. KINEMATIC ANALYSIS OF A SAMPLE ROBOT ARM

In this study, different robot arms were used in all the researches cited. However, in order to demonstrate how kinematic analyzes are done, the robotic arm shown in Figure 1. Kinematic analysis calculations are very important to determine the movements of robots in working spaces. The robot arm which has seven articulated and redundant features, to be taken as an example in this study appears in Figure 1 [19].

The method recommended by Denavit-Hartenberg is used for position and orientation information of the end effector of a robot manipulator in the working space. In this method, the relation between links is expressed by homogeneous transformation matrices which are obtained with the aid of DH parameters [20, 21].

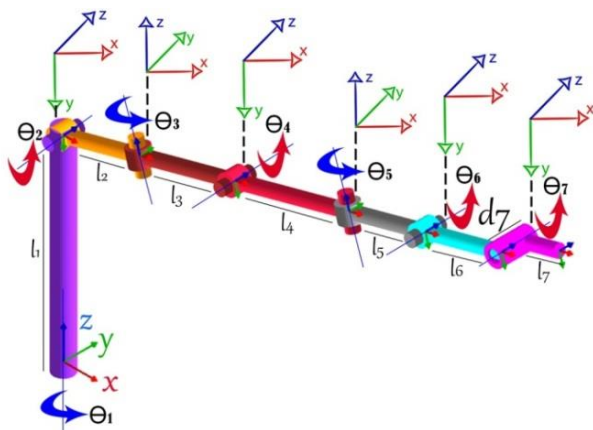


Figure 1. The structure of 7-degree of freedom (DOF) robot arm

Table 1. DH Parameter of the 7-DOF Robot Arm

i	ai(m)	αi(o)	di(m)	Θi(o)
1	0	-90	L1=0,5	-180<Θ1<180
2	L2=0,2	90	0	-90<Θ2<30
3	L3=0,25	-90	0	-90<Θ3<120
4	L4=0,3	90	0	-90<Θ4<90
5	L5=0,2	-90	0	-90<Θ5<90
6	L6=0,2	0	0	-90<Θ6<90
7	L7=0,1	0	D7=0,05	-30<Θ7<90

The position equations (Px, Py and Pz) of the robot arm according to the DH parameters in Table 1 are as follows:

$$Px = (c1c2c3c4 - s1s3c4 - c1s2s4)(c5c6l7c7 - c5s6l7s7 - s5d7 + c5l6c6 + l5c5) + (-c1c2s3 - s1c3)(s5c6l7c7s5s6l7s7 + c5d7 + s5c6l6 + l5s5) + (c1c2c3s4 - s1s3s4 + c1c4s2)(-s6l7c7 - c6l7s7 - l6s6) + c1c2(c3c4l4 + l3c3) - s1(s3c4l4 + l3s3) - c1s2l4s4 + c1c2l2$$

(1)

$$Py = (s1c2c3c4 + c1s3c4 - s1s2s4)(c5c6l7c7 - c5s6l7s7 - s5d7 + c5c6l6 + l5c5) + (-s1c2s3 + c1c3)(s5c6l7c7 - s5s6l7s7 + c5d7 + s5c6l6 + l5s5) + (s1c2c3s4 + c1s3s4 + s1s2c4)(-s6l7c7 - c6l7s7 - l6s6) + s1c2(c3c4l4 + l3c3) + c1(s3c4l4 + l3s3) - s1s2l4s4 + s1c2l2$$

(2)

$$Pz = (-s2c3c4 - c2s4)(c5c6l7c7 - c5s6l7s7 - s5d7 + c5c6l6 + l5c5) + (s2s3)(s5c6l7c7 - s5s6l7s7 + c5d7 + s5c6l6 + l5s5) + (-s2c3s4 + c2c4)(-s6l7c7 - c6l7s7 - l6s6) - s2(c3c4l4 + l3c3) - c2l4s4 - l2s2 + l1$$

(3)

3. POSITION ERROR AND FITNESS FUNCTION

Optimization is accomplished by creating a fitness function in the process of obtaining optimum value by using swarm algorithms. This function is recalculated at each iteration and compared to the previous best value. Thus, optimum value is obtained at the end of the cycle and optimization is achieved [22].

In inverse kinematics applications, the fitness function is based on position error. In Figure 2, P1 is the actual position and P2 is the position calculated by the fitness function. The position error formula shown in Figure 2

can be obtained as in Eq. 4. The main purpose in the position error is to get the minimum value. As a result, using these algorithms, the most optimal seven joint angles of the robot arm in fig. 1 must be found.

$$Position\ Error = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2} \quad (4)$$

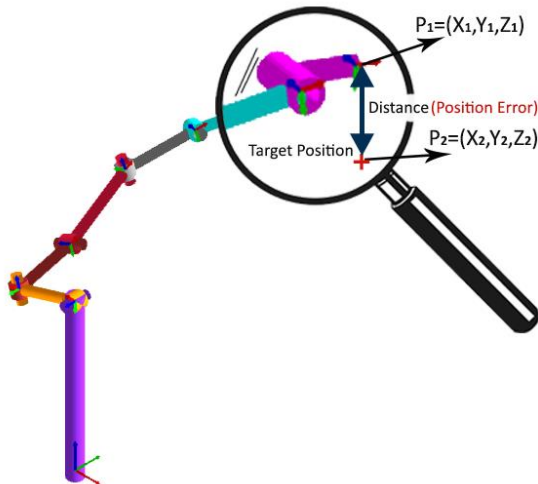


Figure 2. Representing the position error

4. USAGE OF SWARM ALGORITHMS

4.1. Particle Swarm Optimization

This optimization technique which was first used by Kennedy and Eberhart [1] is based on the movement of the birds. Its easy applicability and its powerful control parameters are important advantages of this algorithm [23]. In this algorithm, the particles travel at a certain speed (eq. 5) and reach a new position (eq. 6).

$$v_{id} = v_{id} + c_1 \cdot r_1 \cdot (p_{best} - x_{id}) + c_2 \cdot r_2 \cdot (g_{best} - x_{id}) \quad (5)$$

$$x_{id} = x_{id} + v_{id} \quad (6)$$

The inverse kinematic solution follows the following steps:

1. The number of particles (p) and iterations (n) is determined.
2. Seven joint angles are determined randomly for each particle.
3. The difference between the position obtained by randomly determined joint angles and the actual position is calculated according to equation 4. (only first particle)
4. The difference obtained according to step 3 is stored in memory as both local (pbest) and global best value (gbest).
5. The iteration (n) loop is started.

- 5.1 The particle (p) loop is started.
 - 5.1.1. The position error for each particle is calculated (pbest).
 - 5.1.2. If the computed position error is less than the local best value (pbest), the new value is obtained.
- 5.2 The particle loop ends.
- 5.3 The local best value (pbest) is compared to the global value (gbest), and if it is smaller, it becomes the new global value (gbest).
- 5.4 The joint angle values of the particles are updated according to the speed (eq. 5) and position equation (eq. 6).
6. The iteration loop ends.
7. The global best value (gbest) holds the optimum position error.

4.2. Artificial Bee Colony

The ABC algorithm which was first used by Karaboğa in 2005 [24], was developed by inspiring food search exploits of honey bees. This swarm algorithm consists of three types of bees: a worker, onlooker and a scout. Worker bees store nectar from randomly generated food sources. Onlooker bees are distributed to the food sources according to the dances of the workers' bees and they continue to carry the nectar to the hive. If there is no more nectar to carry to the hive, the onlooker bees turn into scout bees and they randomly look for a food source [25].

$$x_{i,j} = x_j^{min} + rand(0,1)(x_j^{max} - x_j^{min}) \quad (7)$$

$$v_{i,j} = x_{i,j} + \varphi_{i,j}(x_{i,j} - x_{k,j}) \quad (8)$$

$$P_i = fit_i / \sum_{j=1}^N fit_i \quad (9)$$

The inverse kinematic solution follows the following steps:

1. The number of bee population (p) and iterations (n) is determined.
2. Seven joint angles are randomly determined for each member of the population (Eq. 7).
3. The population loop is initiated (employed bees).
 - 3.1. The position error of each member in the population is calculated.
 - 3.2. The lowest value of the position error is stored in the memory as the global best value.
4. The population loop is finished.
5. The iteration (n) loop is started.
 - 5.1. The population (p) loop is initiated (onlooker bees).
 1. Neighboring food sources are searched by onlooker bees (A randomly selected joint angle is changed according to Eq. 8.).

2. The position error is calculated according to the new situation.
3. If the new position error is less than the old value, it is chosen as the best value. Otherwise, the possibility of abandonment of the food source is increased.
- 5.2. The population loop is finished.
- 5.3. If the probability of abandonment of the food source of each member of the population is exceeded, the scouts are sent to a random food source.
- 5.4. The local best value is compared to the global best value.
6. The iteration loop is finished.

4.3. Firefly Algorithm

This swarm optimization technique is an algorithm that is based on the natural behavior of fireflies in tropical climate regions. These fireflies use their lights to give fear to the enemy and to attract other fireflies [26]. Firefly whose light is brighter than the others, are the closest to solving. This algorithm was first used by Yang in 2008 [27].

$$I = I_0 e^{-\gamma r^2} \quad (10)$$

$$\beta = \beta_0 e^{-\gamma r^2} \quad (11)$$

$$r_{ij} = \|x_i - x_j\| = \sqrt{\sum_{k=1}^d (x_i - x_j)^2} \quad (12)$$

$$x_i = x_i + \beta_0 e^{-\gamma r^2} (x_j - x_i) + \alpha \varepsilon_i \quad (13)$$

The inverse kinematic solution follows the following steps:

1. The number of particle (p) and iterations (n) is determined.
2. Seven random joint angles are created for each particle.
3. The position error of the particles is calculated and the local best value (Pbest) is found.
4. The iteration (n) loop is started.
 - a. The particle (p) loop is started. (first loop-i)
 - i. The particle (p) loop is started. (second loop-j)
 - ii. Pbest[j] is less than Pbest[i]?
 1. The distances of the joints to each other are found (Eq. 12)
 2. The coefficients in Eq. 10 and Eq. 11 are calculate
 3. The seven joint angles belonging to the i. particle are approximated to the j. particle (Eq. 13).
 4. The new position error value of the particle is calculated.
 - iii. All Pbest values are compared and the best Pbest value is found.
 - b. All Pbest values are sorted from small to large.
 5. The smallest value is stored as Gbest.
 6. The iteration (n) loop is finished.

5. COMPARISON OF THE OBTAINED RESULTS

The data obtained regarding the studies examined in this study are presented in Table 2 in detail.

Table 2. Comparison of the techniques studied in the literature

Paper	Robot Arm	Used Technique	Comparative Technique	
[13]	6-DOF	Bee	PSO	
		6.31e-13	3.32e-08	Error
		0.0286 s	0.0361 s	Time
[15]	3-DOF	10 Firefly	60 Firefly	
		1.27e-17	1.78e-18	Error
		1.21e-03 s	7.15e-3 s	Time
[16]	6-DOF	PSO	HSA	
		3.32e-08	2.31e-04	Error
		0.0361 s	0.376 s	Time
[17]	4-DOF	PSO	GA	
		7.70e-06	3.96e-04	Error
		0.0196 s	0.1753 s	Time
[18]	7-DOF	PSO	-	
		2.24e-2	-	Error

The inverse kinematic calculations, researchers focused on the position error of the end element and obtaining time of the coordinates of the correct point. PSO algorithm has been widely used in inverse kinematic calculations because it has powerful search features and is an easy to apply technique. Although the PSO algorithm is widely used, the bee and firefly algorithms produce much better results than the PSO technique.

6. CONCLUSION

Swarm algorithms such as particle swarm optimization, artificial bee colony and firefly algorithm are very effective in inverse kinematics calculations as well as in many applications. Researchers which used swarm algorithms have first turned their problems into a fitness function. In this study the use of these algorithms is described in their step-by-step manner. In the narration, a robot arm that he has seven joint was sampled. Kinematic analysis of this robot arm was performed and the fitness function was established by using the equations which emerged as the result of these analyzes. Thus, the study carries the characteristics of a horizon for researchers who will use these algorithms in their studies.

REFERENCES

- [1] Kennedy J. and Eberhart R.C., "Particle Swarm Optimization", *IEEE International Conference on Neural Networks*, 1942-1948, (1995).
- [2] Karaboğa D., Gorkemli B., Ozturk C. and Karaboga N., "A comprehensive survey: artificial bee colony (ABC) algorithm and applications", *Artif Intell Rev*, 42: 21-57, (2014).
- [3] Yang X.S., "Nature-Inspired Metaheuristic Algorithms, Firefly Algorithm", *Luniver Press Publishing*, (2010).
- [4] Albinati J., Oliveira S.E.L., Otero F.E.B. and Pappa G.L., "An ant colony-based semi-supervised approach for learning classification rules", *Swarm Intelligence*, 9:315-341, (2015).
- [5] Blum C. and Li X., "Swarm Intelligence in Optimization, Swarm Intelligence", *Springer Verlag Publishing*, (2008).
- [6] Gao W., Liu S. and Huang L., "A global best artificial bee colony algorithm for global optimization", *Computational and Applied Mathematics*, Vol.236, 2012, pp. 2741-2753.
- [7] Yang X.S. and He X., "Firefly Algorithm: Recent Advances and Application", *Swarm Intelligence*, 1:36-50, (2013).
- [8] Dereli S. and Köker R., "In a research on how to use inverse kinematics solution of actual intelligent optimization method", *International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science (ISITES 2016)*, Alanya, (2016).
- [9] Wolf B., "Inspiration by Swarm, Swarm Intelligence Based Optimization", Siarry P, Idoumghar L, Lepagnot J., *Springer Publisher*, (2016).
- [10] Bogue R., "Swarm Intelligence and Robotics", *Industrial Robot: An International Journal*, 35-488-495, (2008).
- [11] Jevtic A. and Andina D., "Swarm Intelligence and Its Applications in Swarm Robotics", *Sixth International Conference on Computational Intelligence, Man-Machine Systems and Cybernetics*, 2007.
- [12] Küçük S. and Bingül Z., "Robot Kinematics: Forward and Inverse Kinematics, Industrial Robotics: Theory, Modelling and Control", *Pro Literatur Verlag*, (2006).
- [13] Çavdar T., Mohammed M. and Milani R.A., "A New Heuristic Approach for Inverse Kinematics of Robot Arms", *Advanced Science Letters*, 19:329-333, (2013).
- [14] Pham D.T., Castellani M. and Fahmy A.A., "Learning the Inverse Kinematics of a Robot Manipulator using the Bees Algorithm", *IEEE International Conference on Industrial Informatics*, 493-498, (2008).
- [15] Rokbani N., Casals A. and Alimi A.M., "IK-FA, a New Heuristic Inverse Kinematics Solver Using Firefly Algorithm", *Computational Intelligence Applications in Modeling and Control*, 575: 369-395, (2015).
- [16] Durmuş B, Timurtaş H., and Gün A., "An Inverse Kinematics Solution using Particle Swarm Optimization", *International Advanced Technologies Symposium*, 4: 193-197, (2011).
- [17] Ayyıldız M. and Çetinkaya K., "Comparison of four different heuristic optimization algorithms for the inverse kinematics solution of a real 4-DOF serial robot manipulator", *Neural Computing and Applications*, 27: 835-836, (2016).
- [18] Huang H.C., Chen C.P. and Wang P.R., "Particle Swarm Optimization for Solving the Inverse Kinematics of 7-DOF Robotic Manipulators", *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, 2012.
- [19] Dereli S. and Köker R., "Design and Analysis of Multi-Layer Artificial Neural Network Used for Training in Inverse Kinematic Solution of 7-DOF Serial Robot", *Gaziosmanpasa Journal of Scientific Research*, 6: 60-71, (2017).
- [20] Corke P., "A Simple and Systematic Approach to Assigning Denavit–Hartenberg Parameters", *IEEE Transactions on Robotics*, 23: 590-594, (2007).
- [21] Yang G., Mustafa S.K., Yeo S.H., Lin W. and Lim W.B., "Kinematic design of an anthropomorphic 7-DOF cable-driven robotic arm", *Frontiers of Mechanical Engineering*, 6: 45-60, (2011).
- [22] Rokbani N. and Alimi A.M., "Inverse Kinematics Using Particle Swarm Optimization, a Statistical Analysis", *International Conference On Design And Manufacturing*, 1602-1611, (2013).
- [23] Sun J., Fang W., Palade V., Wu X. and Xu W., "Quantum-behaved particle swarm optimization with Gaussian distributed local attractor point", *Applied Mathematics and Computation*, 218: 3763-3775, (2011).
- [24] Karaboğa D., "An idea based on honey bee swarm for numerical optimization", *Erciyes University, Technical Report*, 2005.
- [25] Akay B. and Karaboğa D., "A Modified Artificial Bee Colony algorithm for real-parameter optimization", *Information Science*, 192: 120-142, (2012).
- [26] Wang H., Cui Z., Sun H., Rahnamayan S. and Yang X.S., "Randomly attracted firefly algorithm with neighborhood search and dynamic parameter adjustment mechanism", *Soft Computing*, 20: 1-15, (2016).
- [27] Yang X.S., "Firefly Algorithm. Nature-Inspired Metaheuristic Algorithm", *Luniver Press Publishing*, 79-90, (2008).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

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



Basınçsız infiltrasyon yöntemiyle üretilen SiO₂ takviyeli alüminyum kompozitlerin aşınma davranışlarının incelenmesi

Investigation of wear behaviors of SiO₂ reinforced aluminium composites produced by pressureless infiltration method

Yazar(lar) (Author(s)): İjlal ŞİMŞEK¹, Musa YILDIRIM², Dursun ÖZYÜREK³, Doğan ŞİMŞEK⁴

ORCID¹: 0000-0001-6542-8567

ORCID²: 0000-0002-2464-1182

ORCID³: 0000-0002-8326-9982

ORCID⁴: 0000-0001-8339-9704

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Şimşek İ., Yıldırım M., Özyürek D. ve Şimşek D., “Basınçsız infiltrasyon yöntemiyle üretilen SiO₂ takviyeli alüminyum kompozitlerin aşınma davranışlarının incelenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 22(1): 81-85, (2019).

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

DOI: 10.2339/politeknik.389637

Basıncısız İnfiltrasyon Yöntemiyle Üretilen SiO₂ Takviyeli Alüminyum Kompozitlerin Aşınma Davranışlarının İncelenmesi

Araştırma Makalesi / Research Article

İjral ŞİMŞEK^{1*}, Musa YILDIRIM², Dursun ÖZYÜREK³, Doğan ŞİMŞEK⁴

¹TOBB Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Makine Bölümü, Karabük Üniversitesi, Türkiye

²Teknoloji Fakültesi, Endüstriyel Tasarım Müh. Bölümü, Karabük Üniversitesi, Türkiye

³Teknoloji Fakültesi, İmalat Müh. Bölümü, Karabük Üniversitesi, Türkiye

⁴Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Otomotiv Bölümü, Bitlis Eren Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 07.11.2017 ; Kabul/Accepted : 11.12.2017)

ÖZ

Bu çalışmada, basıncısız infiltrasyon yöntemiyle üretilmiş olan SiO₂ takviyeli AA7075 matrisli kompozitlerin aşınma davranışları incelenmiştir. Çalışma kapsamında 7075 Al alaşımı içerisinde %10, 20, 30 ve 40 takviye-hacim oranı oluşturacak şekilde farklı oranlarda SiO₂ ilave edilerek infiltrasyon yöntemiyle üretilmiştir. Üretilen numunelerin yoğunluk ölçümleri Archimet prensibine göre, sertlik ölçümleri ise mikro sertlik cihazında 2 N yük uygulanarak Vickers olarak ölçülmüştür. Aşınma testleri pin-on-disk tipi aşınma cihazında 1 ms⁻¹ kayma hızında 15 N yük altında beş farklı kayma mesafesinde test edilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda, takviye elemanı olarak AA7075 alaşımına ilave edilen SiO₂ miktarı arttıkça, kompozitlerin yoğunlukları azalırken sertlikleri artmaktadır. Bununla birlikte, ilave edilen SiO₂ miktarındaki artışa bağlı olarak alüminyum kompozitlerin ağırlık kaybının ve sürtünme katsayılarının da azaldığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: AA7075, SiO₂, infiltrasyon yöntemi, aşınma davranışı.

Investigation of Wear Behaviors of SiO₂ Reinforced Aluminium Composites Produced by Pressureless Infiltration Method

ABSTRACT

In this study, the wear behaviors of SiO₂ reinforced AA7075 matrix composites produced by pressureless infiltration method were investigated in the scope of the work, 10%, 20%, 30%, and 40% SiO₂ were added into AA7075 Al alloy and produced by infiltration method. Produced samples' density values were measured by Archimedes method, hardness values were measured in micro hardness device under 2 N load. Wear tests were performed using 1 ms⁻¹ sliding speed at five different sliding distance under 15 N load by pin-on-disc type apparatus. As a result of the study, the density values were decreased by increasing SiO₂ amount and hardness values were increased by increasing SiO₂ amount. In addition the weight loss and friction coefficient were decreased depending on increasing of SiO₂ amount.

Keywords: AA7075, SiO₂, infiltration method, wear behavior.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Modern mühendislik alanlarında kaydedilen yeni gelişmeler, geleneksel metal ve alaşımlarının yeni hizmet alanlarının ihtiyaçlarını karşılayamadığı için, yeni malzemelere olan talepleri de arttırmaktadır. Son yıllarda, bu boşluğun kapatılmasında tercih edilen en önemli malzeme grubu, metal matrisli kompozit malzemelerdir. Metal matrisli kompozitlerin üretiminde en yoğun kullanılan metal alaşımları, düşük yoğunlukları ve kolay üretilebilirlikleri nedeniyle alüminyum alaşımlarıdır. Alüminyum ve alaşımlarının iyi özelliklerinin yanı sıra aşınma dayanımının düşük olması

gibi bazı önemli dezavantajlarının olması bu malzemelerin kullanımlarını sınırlandırmaktadır [1,2].

Ticari alüminyum ve alaşımlarının bu olumsuz özelliklerinin giderilmesinde kullanılan en yaygın yöntemlerden birisi de bu malzemelere sert takviye elemanları ilave etmektir [3-10]. Bu şekilde bu malzemelerin dayanım ve sertlikleri önemli derecede artırılmaktadır [11]. Bu malzemeler, yapısal ve fonksiyonel kullanım alanlarında mukavemetleri, iyileştirilmiş aşınma dirençleri, yüksek sıcaklık dayanımları ve avantajlı termal-fiziksel özellikleri ile cazip durumdadırlar [12,13]. Metal matrisli kompozit malzemeler yüksek sıcaklıkta yüksek mukavemet, oldukça iyi yapısal ve boyutsal kararlılık, hafiflik ve kolay üretilebilirlik gibi özelliklerin önemli olduğu ileri

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

teknoloji alanlarında, bu özellikleri karşılamaya en kuvvetli aday malzeme grubu durumundadır. Alüminyum matrisli kompozitlerin üretiminde kullanılan yöntemlerden birisi de, infiltrasyon yöntemidir. Bu yöntemle üretilen parçacık takviyeli kompozit malzemeler, otomotiv sektöründe ve özellikle motor parçalarının üretiminde kullanıldıkları için bu malzemelerin aşınma davranışları önemlidir. Kayma hızı, uygulanan yük, kayma mesafesi, takviye elemanı oranı ve takviye elemanı boyutu gibi parametreler kompozit malzemelerin aşınma davranışı üzerinde etkilidir [14]. Bundan dolayı alüminyum kompozit malzemelerin aşınma testleri sırasında meydana gelen aşınma mekanizmalarının, sürtünme davranışlarının ve meydana gelen aşınma miktarlarının iyi tanımlanması gerekir. Yapılan bu çalışmada, basınçsız infiltrasyon yöntemi ile üretilen ve farklı miktarlarda SiO₂ ile takviye edilen AA7075 alaşımlarının aşınma davranışları incelenmiştir. Üretilen kompozit malzemelerin mikro yapıları baz alınarak ağırlık kaybı ve sürtünme katsayıları açıklanmaya çalışılmıştır. Ayrıca aşınma yüzeyi incelemeleri ile de testler sırasında meydana gelen muhtemel aşınma mekanizmaları tanımlanmıştır.

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

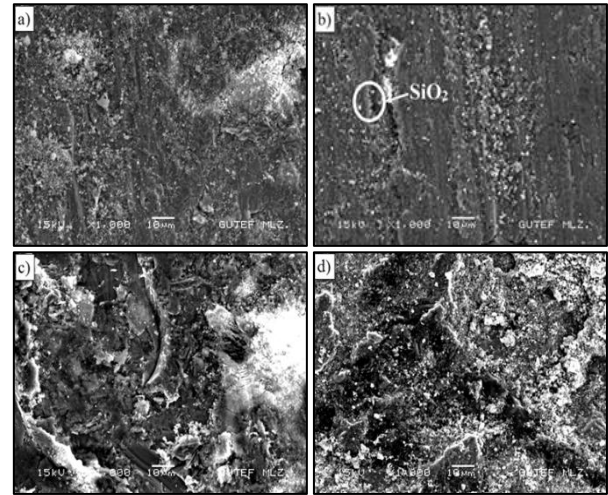
İnfiltrasyon yöntemi ile SiO₂ parçacık takviyeli alüminyum matrisli kompozitlerin üretimi gerçekleştirilmiştir. İnfiltrasyon işleminde, 30 mm dış çap ve 1 mm et kalınlığına sahip 300 mm boyunda paslanmaz çelik borular kullanılmıştır. Çelik borunun alt kısmına, tozların dökülmesini engelleyecek 75 µm göz açıklığına sahip paslanmaz çelik filtre yerleştirilmiştir. AA7075 ve SiO₂ tozları %10, 20, 30 ve 40 takviye-hacim oranı oluşturacak şekilde karıştırılarak, çelik boru içerisine 70 mm yüksekliğinde serbest halde doldurularak üst kısmına aynı filtre yerleştirme işlemi uygulanmıştır. Böylece tozların vakumlama sırasında vakumla yukarı çekilmesi önlenmiştir. Vakum sonrası borular sıvı metalden çıkarılıp normal ortamda soğutulmuştur. Çelik borular kesilerek infiltre edilmiş kompozit malzemeler çıkarılmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılan AA7075 alüminyum alaşımının kimyasal bileşimi, Çizelge 1’de verilmiştir.

Üretilen alaşımların yoğunluk ölçümleri PRECISA XB200 marka (maksimum 220 gr 0,01-1/10000 gr hassasiyetli) yoğunluk ölçüm kitinde Arşimet prensibine göre yapılmıştır. Yoğunluk ölçümleri yapılan alaşımların sertlik ölçümleri Shimadzu marka mikro sertlik ölçüm

işlemler ile hazırlanan numuneler 95 ml saf su, 2,5 ml HNO₃, 1,5 ml HCl, 1 ml HF (Keller's) dağılayıcı ile 15-20 saniye dağlanmıştır. Mikro yapı incelemelerinde Jeol JSM 6060 model tarama elektron mikroskop (SEM) kullanılmıştır. Aşınma testleri laboratuvar ortamında kuru şartlar altında pin-on-disk tipi cihazda ASTM:G99-05 standartına göre yapılmıştır. 10 mm çapında ve 7 mm yüksekliğinde üretilen aşınma numunelerinin yüzeyleri 1 µm elmas pasta ile parlatılıp asetonla temizlenmiştir. Testlerde 15 N yük, beş farklı kayma mesafesi (300-600-900-1200-1500 m) ve 1 ms⁻¹'lik kayma hızı kullanılmıştır. Karşılık diski olarak AISI 4140 malzemeden yapılmış ve Ø230 mm çapında, 20 mm kalınlığında ve 60-64 HRC sertliğinde çelik disk tercih edilmiştir. Her test öncesinde hem numune hem de disk yüzeyleri aseton ile temizlenmiştir. Böylece testler öncesinde her numune için aynı yüzey kalitesi sağlanmıştır. Ayrıca aşınma testleri yapılan numunelerin, aşınma yüzeyleri SEM ile incelenmiştir.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Şekil 1’de basınçsız infiltrasyon yöntemi ile üretilen ve farklı miktarlarda SiO₂ ile takviye edilen AA7075 alaşımlarının mikro yapı SEM görüntüleri verilmektedir.



Şekil 1. Basınçsız infiltrasyon yöntemiyle üretilmiş olan SiO₂ seramik partikül takviyeli alüminyum kompozit malzemelerin mikro yapı SEM görüntüleri; %10 (a), %20 (b), %30 (c) ve %40 (d) (The microstructure SEM images of Al composites reinforced by SiO₂ ceramic particle produced by pressureless infiltration method; 10 % (a), 20 % (b), 30 % (c), 40 % (d))

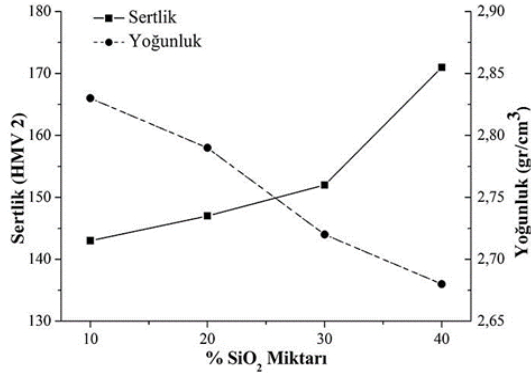
Çizelge 1. AA7075 alüminyum alaşımının kimyasal kompozisyonunun analizi (Chemical composition of AA7075 Al alloy)

Element	Zn	Mg	Cu	Fe	Cr	Si	Mn	Ti	Al
% Oranı	5,16	2,19	1,30	0,28	0,19	0,17	0,15	0,009	Kalan

cihazında (HMV 2) yapılmıştır. Her bir numuneden 10 noktadan sertlik ölçülerek ortalaması hesaplanmıştır. Mikro yapı incelemeleri için standart metalografik

Şekil 1’de verilen SEM görüntülerinde, takviye fazının matris içerisinde homojen bir dağılım sergilediği net olarak görülememektedir. Buna karşılık, genel olarak

takviye elemanı miktarındaki artış, SEM görüntülerinden de kolaylıkla görülebilmektedir. Şekil 2’de ise üretilen SiO₂ takviyeli alüminyum kompozitlerin yoğunluk ve sertlik değişimleri verilmektedir.

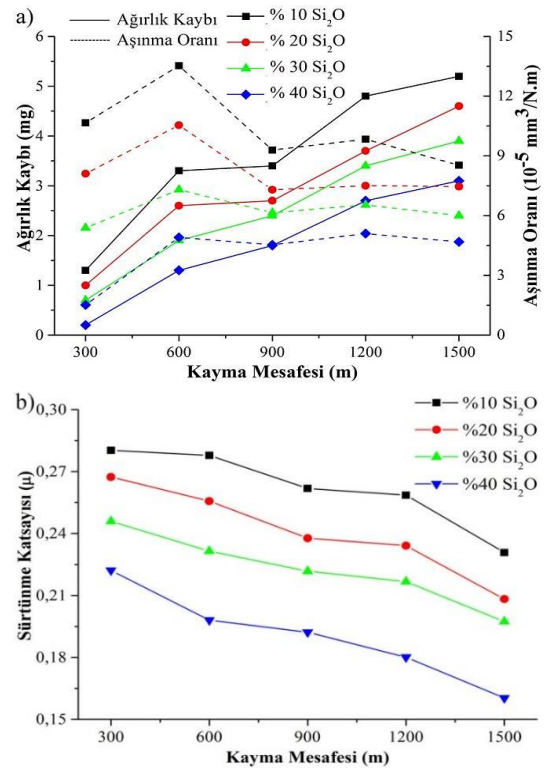


Şekil 2. SiO₂ miktarına bağlı olarak sertlik-yoğunluk değişimleri (Hardness and density changing depending on SiO₂)

Şekil 2’de verilen yoğunluk ölçüm sonuçları incelendiğinde, farklı miktarlarda SiO₂ içeren alüminyum kompozitlerin yoğunluklarının, SiO₂ miktarı arttıkça azaldığı net olarak görülebilmektedir. En yüksek yoğunluk %10 SiO₂ ilave edilen alüminyum kompozitlerde elde edilirken, en düşük yoğunluk %40 SiO₂ ilave edilen kompozit numunelerde elde edilmiştir. Bunun görünen en belirgin sebebi SiO₂’nin yoğunluğunun (2,65 gr/cm³), AA7075 alaşımından (2,84 gr/cm³) daha düşük olmasıdır. Yine Şekil 2’de verilen sertlik değişimleri incelendiğinde, AA7075 alaşımına ilave edilen SiO₂ miktarı arttıkça üretilen alüminyum kompozitlerin sertlikleri de artmaktadır. Elde edilen sertlik sonuçlarına göre en yüksek sertlik değeri %40 SiO₂ içeren kompozitlerde (171 HMV) elde edilirken, en düşük sertlik değeri %10 SiO₂ ilave edilen kompozitlerde (143 HMV) elde edilmektedir. Daha önce yapılan bazı çalışmalarda da buna benzer sonuçlar elde edilmiştir [15]. Metalik alaşımlara ilave edilen takviye fazının artmasıyla birlikte sert ve kırılgan parçacıklar yapı içerisinde homojen dağılarak kompozitlerin sertliği de artmaktadır. Bunun nedeni ise Orowan mekanizması ile açıklanmaktadır [16]. Şekil 3’de 15 N sabit yük altında aşındırılan SiO₂ takviyeli kompozit malzemelerin ağırlık kaybı, aşınma oranları, hacimsel kayıpları ve sürtünme katsayıları verilmektedir.

Şekil 3.a’da verilen ağırlık kaybı sonuçları incelendiğinde, basınçsız infiltrasyon yöntemiyle üretilen ve farklı miktarlarda SiO₂ ilave edilen alüminyum kompozitlerde, en yüksek ağırlık kaybı, %10 SiO₂ takviyeli numunelerde elde edildiği belirgin olarak görülmektedir. Bu kompozitleri %20 ve %30 SiO₂ takviyeli kompozitler takip etmektedir. En düşük ağırlık kaybı ise % 40 SiO₂ takviyeli kompozitlerde elde edilmiştir. SiO₂ miktarının artması ile malzemenin sertliğinin arttığı, aşınma sırasında aşınmaya karşı direnç göstererek ağırlık kaybını azalttığı anlaşılmaktadır. Yine

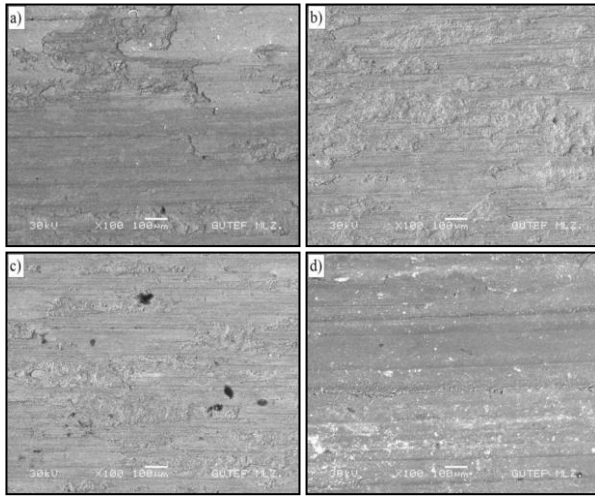
Şekil 3.b’de verilen sürtünme katsayıları sonuçlarına göre, kayma mesafesi arttıkça, sürtünme katsayısının da azaldığı net olarak görülebilmektedir. Verilen sürtünme katsayısı grafiğinde %40 SiO₂ takviyeli alüminyum kompozitlerin sürtünme katsayılarının, %30 ve %20 SiO₂ takviyeli kompozitlere göre daha düşük olduğu görülebilmektedir. En yüksek sürtünme katsayısı ise, %10 SiO₂ takviyeli kompozitlerde elde edilmiştir. Sünnek malzemelerde (Al, Cu gibi) aşınma oranları mesafe arttıkça azalır. Bunun nedeni ise mesafe arttıkça malzemede termomekanik işlem ve termal nedenden dolayı malzeme yüzeyinde oksit film tabakası oluşmaktadır. Oluşan oksit film tabakası malzeme yüzeyinde yağlayıcı görevini görmektedir ve sürtünme katsayısı azalmaktadır [17-19]. Şekil 4’de aşınma yüzeyi SEM görüntüleri verilmektedir.



Şekil 3. 15 N sabit yük altında aşındırılan SiO₂ takviyeli kompozit malzemelerin ağırlık kaybı ve aşınma oranları (a) ve sürtünme katsayıları (b) (The weight loss and wear rate (a), friction coefficient (b) of composites materials reinforced SiO₂ under 15 N loads)

Şekil 4’de basınçsız infiltrasyon yöntemiyle üretilmiş olan SiO₂ seramik partikül takviyeli alüminyum kompozit malzemelerin aşınma yüzeyi SEM görüntüleri incelendiğinde, %10 ve %20 SiO₂ takviyeli (Şekil 4(a,b)) numunelerin aşınma yüzeylerinde deformasyon etkileri net olarak görülmektedir. Artan SiO₂ miktarı ile birlikte, %30 ve %40 SiO₂ takviyeli (Şekil 4(c,d)) numunelerin aşınma yüzeylerinde ise plastik deformasyonun daha az olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 2’de verilen sertlik sonuçlarına bağlı olarak sertlik arttıkça, aşınma

yüzeyinde meydana gelen plastik deformasyon da azalmaktadır. Bu durum Şekil 3’de verilen ağırlık kaybı sonuçları ile de desteklenmektedir. Ayrıca %30 SiO₂ takviyeli (Şekil 4.c) numunenin aşınma yüzeylerinde, kısmen döküntüler de meydana gelmektedir. Bunun nedeni ise, kayma sırasında numune yüzeyinde ve/veya yüzeyin hemen altında yorulma sonucu çatlakların oluşması ve testin ilerleyen aşamalarında bu çatlak çevresinden kopan parçacıklardır [20]. Genel olarak aşınma yüzeyi SEM görüntülerinden, abrasif aşınma mekanizmasının ve kısmen de adhesif aşınma mekanizmasının baskın olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 4. Basıncsız infiltrasyon yöntemiyle üretilmiş olan SiO₂ seramik partikül takviyeli alüminyum kompozit malzemelerin aşınma yüzeyi SEM görüntüleri; %10 (a), %20 (b), %30 (c) ve %40 (d) (The worn surface SEM images of Al composites reinforced by SiO₂ ceramic particle produced by pressureless infiltration method; 10 % (a), 20 % (b), 30 % (c), 40 % (d))

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Basıncsız infiltrasyon yöntemiyle üretilen SiO₂ takviyeli alüminyum kompozitlerin aşınma davranışlarının incelendiği bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda belirtilmiştir.

İlave edilen SiO₂ miktarı arttıkça, kompozitlerin yoğunlukları azalmaktadır. En yüksek yoğunluk %10 SiO₂ içeren kompozitlerde (2,83 gr/cm³), en düşük yoğunluk %40 SiO₂ içeren kompozitlerde (2,68 gr/cm³) elde edilmiştir.

İlave edilen SiO₂ miktarına göre sertlik değişmektedir. En yüksek sertlik değeri %40 SiO₂ içeren kompozitlerde (171 H MV), en düşük sertlik değeri %10 SiO₂ ilave edilen kompozitlerde (143 H MV) elde edilmiştir.

İlave edilen SiO₂ miktarındaki artışa bağlı olarak alüminyum kompozitlerin ağırlık kaybının azaldığı belirlenmiştir.

Üretilen alüminyum kompozitlerin ağırlık kaybı azaldıkça, sürtünme katsayıları da azalmaktadır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Cambroner L. E. G., Sánchez E., Ruiz-Roman J. M. and Ruiz-Prieto J. M., “Mechanical characterization of AA7015 aluminium alloy reinforced with ceramics”, *Journal of Materials Processing Technology*, 143: 378-383, (2003).
- [2] Son H. T., Kim T. S., Suryanarayana C. and Chun B. S., “Homogeneous dispersion of graphite in a 6061 aluminium alloy by ball milling”, *Materials Science and Engineering A*, 348: 163-169, (2003).
- [3] Ruiz-Navas E. M., Fogagnolo J. B., Velasco F., Ruiz-Prieto J. M. and Froyen L., “One step production of aluminium matrix composite powders by mechanical alloying”, *Composites: Part A*, 37(11): 2114-2120, (2006).
- [4] Cintas J., Cuevas F. G., Montes J. M. and Herrera E. J., “Microstructural control of sintered mechanically alloyed Al-1%Ni materials”, *Scripta Materialia*, 52: 341-345, (2005).
- [5] Manna I., Nandi P., Bandyopadhyay B., Ghoshray K. and Ghoshray A., “Microstructural and nuclear magnetic resonance studies of solid state amorphization in Al-Ti-Si composites prepared by mechanical alloying”, *Acta Materialia*, 52: 4133-4142, (2004).
- [6] Tousi S. R., Rad R. Y., Salahi E., Mobasherpour I. and Razavi M., “Production of Al-20 wt. % Al₂O₃ composite powder using high energy milling”, *Powder Technology*, 192: 346-351, 2009.
- [7] Vogt R. G., Zhang Z., Topping T. D., Lavernia E. J. and Schoenung J. M., “Crymilled aluminum alloy and boron carbide nano-composite plate” *Journal of Materials Processing Technology*, 209: 5046-5053, (2009).
- [8] Aksöz S., Ozdemir T., Çalın R., Altınok Z. and Bostan B., “Sinterleme, Yaşlandırma Ve Kriyojenik Isıl İşlemlerinin AA2014-B₄C Kompozit Yapısına ve Mekanik Özelliklerine Etkileri”, *J. Fac. Eng. Archit. Gaz.*, 28(4): 831-839, (2013).
- [9] Camurlu H. E. and Magliab F., “Self-propagating high-temperature synthesis of ZrB₂ or TiB₂ reinforced Ni-Al composite powder”, *Journal of Alloys and Compounds*, 478: 721-725, (2009).
- [10] Tesfay A., Nath S. K. and Ray S., “Effect of transfer layer on dry sliding wear behaviour of cast Al-based composites synthesized by addition of TiO₂ and MoO₃”, *Wear*, 266: 1082-1090, (2009).
- [11] Godfrey T. M. T., Wishbey A., Goodwin P. S., Bagnall K. and Ward-Close C. M., “Microstructure and tensile properties of mechanically alloyed Ti-6Al-4V with boron additions”, *Materials Science and Engineering A*, 282(1): 240-250, (2000).
- [12] Chou T. W., Kelly A. and Okura A., “Fibre-Reinforced Metal-Matrix Composites”, *Composites*, 16: 187-206, (1985).
- [13] Fischer J. J. and Heaberle R. M., “Modern developments in metal composites” Int. Conf. Proc., Illinois, Chicago, U.S.A., 24-30 September, 461-477, (1988).
- [14] Cholewa M., Gawronski J. and Ignaszak Z., “Technological aspects of particle-reinforced composites production”, *Materials & Design*, 18(4): 401-405, (1997).
- [15] Karademir İ. ve Ateş S., “SiO₂ Takviyeli Etial 21 Esaslı Kompozit Malzemelerin Basıncılı İnfiltrasyon Yöntemi İle Üretimi Ve Özelliklerinin İncelenmesi”, *Mühendislik ve Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 2(1): 1-12, (2014).

- [16] Aksöz S., Bican O., Çalm R., Bostan B., “Effect of T7 heat treatment on the dry sliding friction and wear properties of the SiC-reinforced AA 2014 aluminium matrix composites produced by vacuum infiltration” *Proc IMechE Part J: J Engineering Tribology*, 228(3): 312-319, (2014).
- [17] Qi W.X., Tu J. P., Liu F., Yang Y. Z., Wang N. Y., H. Lu M., Zhang X. B., Guo S. Y., Liu M. S., “Microstructure and tribological behavior of a peak aged Cu-Cr-Zr alloy”, *Materials Science and Engineering A*, 343(1): 89-96, 2003.
- [18] Saka N., El-eiche A. M. and Suh N. P., “Wear of metals at high sliding speeds”, *Wear*, 44(1): 109-125, (2003).
- [19] Tu J. P., Meng L. and Liu M. S., “Friction and wear behavior of Cu-Fe₃Al powder metallurgical composites in dry sliding”, *Wear*, 220(1): 72-79, (1998).
- [20] Yılmaz R., Özyürek D., Kibar E., “The effect of retrogression parameters on hardness and wear behaviors of 7075 aluminum alloys”, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 27(2): 429-438, (2012).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

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



The effects of solid particle erosion of ZrN coating material on GF/EP and CF/EP composites by using PVD method

CE/EP ve KE/EP kompozitler üzerine FBB metodu kullanılarak ZrN kaplama malzemesinin katı partikül erozyonuna etkileri

Yazar(lar) (Author(s)): Mehmet BAĞCI

ORCID: 0000-0001-7813-797X

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Bağcı M., “The effects of solid particle erosion of zrn coating material on gf/ep and cf/ep composites by using PVD method”, *Politeknik Dergisi*, 22(1): 87-93, (2019).

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

DOI: 10.2339/politeknik.386965

CE/EP ve KE/EP Kompozitler Üzerine FBB Metodu Kullanarak ZrN Kaplama Malzemesinin Katı Partikül Erozyonuna Etkileri

Araştırma Makalesi / Research Article

Mehmet BAĞCI

Mühendislik Fakültesi, Makine Müh. Bölümü, Konya Selçuk Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 08.11.2017 ; Kabul/Accepted : 22.12.2017)

ÖZ

Fiziksel Buhar Biriktirme (FBB) metodu kullanılarak üretilen koruyucu kaplamalar sayesinde makine parçalarının çalışma ömrü arttırılabilir. Bu çalışmada da bu faydanın sağlanabilmesi için ≈ 0.25 μm kalınlığındaki ZrN kaplamalar Cam Elyaf Takviyeli Epoksi (CE/EP) ve Karbon Elyaf Takviyeli Epoksi (KE/EP) kompozitlerin üzerine Magnetron Sıçratma Yöntemi ile kaplanarak erozyon direncinin arttırılması amaçlanmıştır. Deneyler, 53 m/s çarpma hızı ile 30°, 60° ve 90° çarpma açılarında gerçekleştirilmiştir. Deneylerde 200 μm ortalama çapındaki Al_2O_3 aşındırıcı partiküller kullanılmıştır. Farklı parametrelere bağlı olarak deneyler yapılmasına rağmen tüm numuneler için literatürde sünek malzemelerde karşılaşılan durum gözlemlenmiş olup 30° çarpma açısında maksimum erozyon oranı belirlenmiştir. Erozyon mekanizmasını karakterize etmek için yüzeylerin optik mikroskop görüntüleri elde edilmiştir. Aşınma sürecinin ilerlemesinde matris ve kaplama formunun her ikisinin etkisinin de baskın bir rol oynadığı bulunmuştur. Altlık malzeme ile kaplama tabakasına ait ara yüzeydeki değişimi hassas bir şekilde açıklamak için malzeme kaldırma işlemi ile erozyon oranının değişimindeki uyuma dikkat edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Katı partikül erozyonu, ZrN kaplama, CE/EP, KE/EP, FBB.

The Effects of Solid Particle Erosion of ZrN Coating Material on Gf/Ep and Cf/Ep Composites by Using PVD Method

ABSTRACT

Protective coatings produced by using Physical Vapour Deposition (PVD) method can increase the life time of the components. Therefore; in this study, ≈ 0.25 μm thickness ZrN coatings are applied on Glass Fiber Reinforced Epoxy (GF/EP) and Carbon Fiber Reinforced Epoxy (CF/EP) composites by magnetron sputtering to gain an improved understanding of the erosion resistance. The impingement angles used in the tests were 30°, 60° and 90°, while the impact velocity was 53 m/s. Al_2O_3 abrasive particles with an average diameter of 200 μm was used. All test specimens regardless of their various properties exhibit maximum erosion rates at 30° impingement angle and thus exhibiting similar behavior as that observed for ductile materials. Optic microscopic views were performed on the surfaces in order to characterize the erosion mechanism. The erodent particles of the both coating layer and composite matrix were found of main role in governing the wear progression. The measured erosion rates were sensitively correlated with the material removal process in order to explain the changes within the coated interfaces.

Keywords: Solid particle erosion, ZrN coating, GF/EP, CF/EP, PVD.

1. INTRODUCTION

Solid particle erosion impresses many industries such as aerospace, power generation, coal mining, as well as in manufactured goods like pipe line in petroleum refining, helicopter rotor blades, pump impelling blades, rocket nozzles in jet engines, which caused great economic losses. The erosion wear system is characterized as material loss at surface caused by continual impact of particles having various shape, dimension, structure and

a certain velocity carried by liquid or gas ambient for composite materials.

At the studies in literature the parameters affecting erosion and erosion process are examined under two headlines as additive and coated composites. As in other tribological systems, erosion is related with operation parameters (particle velocity and flow rate, impact angle, temperature) erodent properties (shape, dimension, hardness, density), target material properties and environmental test conditions. As it is not possible to express a lot of parameters and their effects to process on a single variable, alternative additives and coating

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : mehmetbagci@selcuk.edu.tr

materials were derived in researches aiming at a modeling erosion.

The world of advanced science and technology has always been in need of materials with excellent properties for better operational performances. Parallel to such needs, the importance and industrial utilization of polymer composites have tremendously increased. The composites are extensively used as structural materials in various components and engineering parts in automobile, space craft industry, marine and energy conversion systems due to their unique specific properties. The underlying reason for this is the fact that these composite materials exhibit high strengths, possess better coating properties and are economic as well. Meanwhile, advanced scientific researches on these materials are progressively carried out.

Many researchers have been interested in the solid particle erosion behavior of metal, polymer and their composite materials worn by erodent. While fiber reinforced polymers take place in most of the studies conducted on erosion of composites, studies involving erosion on composites with coating materials can hardly be encountered. The poor erosion wear resistance of thermoplastic composites causes severe problems if the material is subjected to solid particle erosion. To overcome this problem, erosion wear resistant magnetron sputtered PVD coatings were deposited on Glass Fiber Reinforced Epoxy (GF/EP) and Carbon Fiber Reinforced Epoxy CF/EP substrates. This is due to the fact that it is not easy to clearly understand wear mechanisms of these types of composites, properties of their components and their interface interactions.

In studies made in this field, additive materials were generally developed for ductile and brittle materials and in case single abrasive particle or multiple abrasive particles track the surface.

Srivastava [1] scrutinized the effects of particle, impingement angle and particle velocity on the erosion wear behavior of E-glass fiber reinforced epoxy resin composites. In that study, the erosive wear of wheat flour powder filled composites is evaluated at different impingement angles from 30° to 90° and at three different velocities of 24, 35 and 52 m/s. Pure glass epoxy without any filler shows the highest erosion rate due to weak bonding strength. Mohan et al. [2] reviewed the effect of incorporation of tungsten carbide (WC) powders on erosive wear behavior in glass fabric-epoxy (G-E) composites. The effect of different impact velocities (40 and 80 m/s) and impact angles (30° to 90°) on the performance of the wear resistance of the composites were measured. The results of erosive wear losses, impact angle, and impact velocity and erosion rate of filled and unfilled glass-epoxy composites were analyzed and discussed. The WC filled G-E composite exhibited a lower erosion rate as compared to that of unfilled G-E composites. Yang et al. [3] investigated the erosion behavior of EB-PVD thermal barrier coatings (TBCs) with real morphology based on FE simulation. An FE

modeling method was developed to establish a geometric numerical model using a scanning electron microscope. An empirical correlation between the depth of penetration and some characteristic parameters of the erodent particle was obtained by means of simulation. The crack driving force to produce a surface crack was analyzed. The results indicate that the real morphology would be more susceptible to erosion failure compared to the results of previous theoretical or numerical estimations. Rout and Satapathy [4] described the development of multiphase hybrid composites consisting of epoxy reinforced with glass fabric and filled with rice husk particulates. This study revealed that hardness, tensile modulus, impact energy and erosion resistance of these new class hybrid composites improve with filler addition, while a steady decline in tensile and flexural properties were observed. Mahapatra and Patnaik [5] investigated the erosion wear response of multiphase hybrid composites consisting of polyester reinforced with E-glass fiber and ceramic particulates and presented a comparison of the influence of three different particulate fillers [cement by-pass dust (CBPD), alumina (Al_2O_3), and silicon carbide (SiC)] on the wear characteristics of glass-polyester composites.

Studies continued with Bağcı's [6] development of a multi-component composite system consisting of thermoplastic epoxy resin reinforced with E-glass fiber and ($\text{Al}_2\text{O}_3+\text{SiO}_2$) particles, and studies its erosion behavior under different operating conditions. With this target in mind, this empirical study investigates the solid particle erosion wear behavior of a new composite material made of glass fiber and epoxy as the main materials and ($\text{Al}_2\text{O}_3+\text{SiO}_2$) particles added into the structure at the amount of 30% [15% (Al_2O_3) + 15% (SiO_2)] of the resin used for the composite.

Shin and Hamed [7] presented the results of an experimental investigation of the effect of topcoat micro-structure on the erosion resistance of air plasma sprayed 7wt% YSZ thermal barrier coating (TBC) at high temperature. Two sets of air plasma sprayed YSZ TBCs of differing micro-structures were tested in a high temperature erosion tunnel to simulate modern gas turbine engine's operating conditions. The results demonstrate reduced erosion resistance associated with increased porosity in the topcoat layer. Maurer and Schulz [8] were analysed different 30 μm thick metallic (Ti, Al, Cr) and multilayer (Ti/TiN) coatings in order to investigate the influence of the coating hardness and micro structure regarding the erosion performance. The results indicate that the erosion process of PVD coatings on CFRP can be divided into coating and substrate driven erosion mechanisms.

In this experimental study, $\approx 0.25 \mu\text{m}$ thickness ZrN coatings are applied on GF/EP and CF/EP by magnetron sputtering to gain an improved understanding of the erosion resistance. All test specimens regardless of their various properties exhibit maximum erosion rates at 30° impingement angle and thus exhibiting similar behavior as that observed for ductile materials. Firstly, pure

chrome coating is applied on the GF/EP and CF/EP composites to increase the adhesion of the zirconium nitride to the surface. Moreover, the surface topography of the eroded composites was investigated by an optical microscope and a non-contact 3D digital mapping method.

2. MATERIALS AND METHODS

In this experimental study, the unidirectional CF/EP and multidirectional GF/EP composites were used as substrate materials. Fibers with diameter of 17 μm, thickness of 0.20 mm and mass per unit area of 200 g/m² arranged in a uni/multi directional location provide homogeneously distributed fibers in the matrix form. All test specimens were produced as plates by “hand lay-up” technique (110 Bar pressure, 120 °C temperature and a time of 3 top of the hour) with a thickness of 3 mm and dimensions of (1x1 m²). Then, to enable the attachment of specimens to the holder, a diamond-impregnated slitting saw was used to cut notches on the samples with size of 30×30×3 mm³ from the manufactured composite plate for the erosion tests. Substrate materials (GF/EP and CF/EP test specimen) are given before and after the coating in Figure 1.

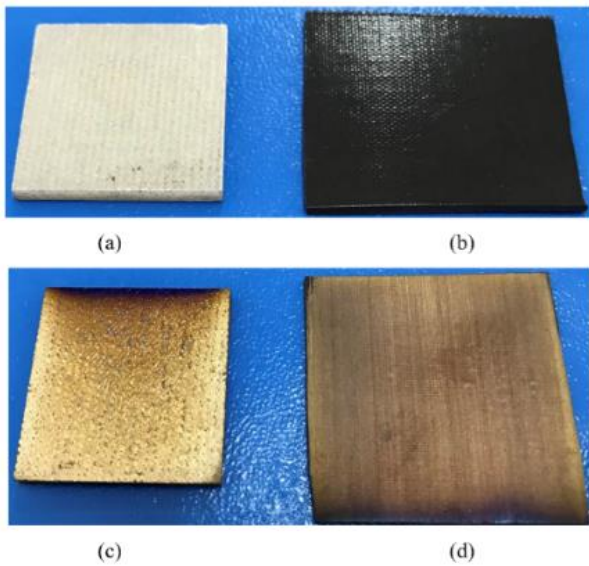


Figure 1. Substrate materials (x2); a) GF/EP (before the coating), b) CF/EP (before the coating), c) GF/EP (after the coating), d) CF/EP (after the coating).

In Table 1, mechanical and physical properties of the test specimens as per the ASTM standards {ASTM D3039/ D3039M-17 [9] and ASTM D2583-13a [10]} are given and abbreviations are used, whereas in Figure 2, SEM

view of angular Al₂O₃ erodent {density (3.94 g/cm³), hardness (9 Mohs) and melting point (1950 °C)} are shown. As the test specimens are deformed due to particle bombardments, the abrasive particles also undergo some deformations and fractures. In order to prevent this condition from affecting the tests conducted, fresh particles were used in each test.

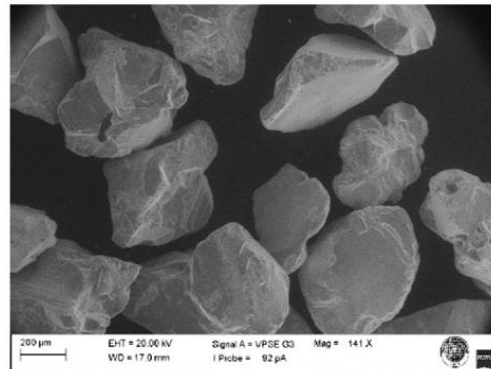


Figure 2. SEM view of angular Al₂O₃ erodent particles.

In addition to all these details which define the test specimens, as shown in Figure 3, the X-ray diffraction patterns were obtained in order to prove the presence of the glass/carbon fiber and epoxy. A sharp peak at 2θ=17.6° for glass fiber and at 2θ=26.9° for carbon fiber can be distinguished. However; a different diffraction pattern is observed for epoxy resin in which a broad peak appears around 2θ=21.5°. The observed peaks for GF, CF and EP indicate that all the layers have been sufficiently disordered.

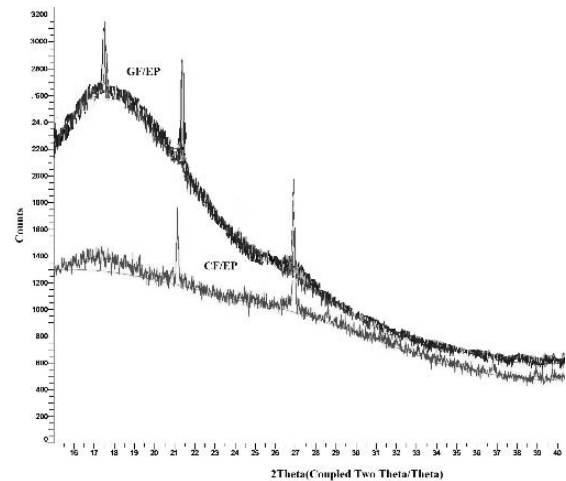


Figure 3. XRD patterns of test specimens.

The standard test process was performed in accordance with ASTM G76-95 [11] for each erosion test. Erosion

Table 1. Mechanical and physical properties of test specimens.

Material	ρ (g/cm ³)	σ _t (MPa)	H (HB)	E (MPa)
GF/EP (uncoated, A)	1.683	533	87	144
GF/EP (ZrN coated, B)	1.726	597	106	167
CF/EP (uncoated, C)	1.497	1713	133	869
CF/EP (ZrN coated, D)	1.553	1824	117	921

wear losses in the test specimen with an electronic balance on accuracy of 0.1 mg was measured. Then 40 kg of erodent particles (approximately 6 minutes of experiment time) were sputtered on the specimen and then, the latter was weighed again to determine its weight loss. At the same time, these measurements as well as volumetric losses occurring in the test sample for detecting the digital map method of the surfaces is simulated using the point cloud and the mesh modeling. In addition, volumetric losses occurring in the test sample was determined. Surface mapping of the numerical method for three-dimensional (3D) scanning has been used on the Figure 4. Weight loss and volumetric loss changes of a similar trend has emerged in terms of the comparison of results.

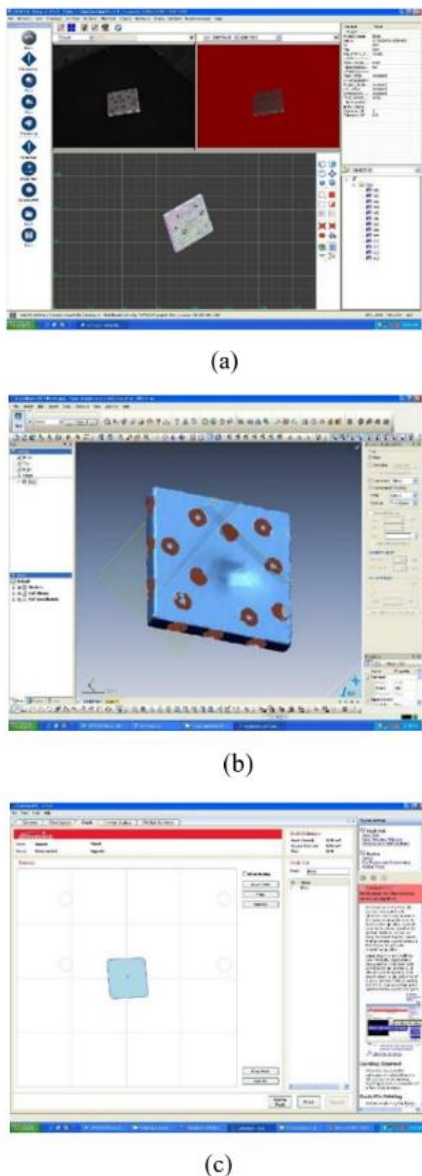


Figure 4. The digital map method of the surfaces; (a) Point cloud with OPTOCAT, (b) Mesh modeling with Rapidform XOR/Redesign, (c) Volumetric loss with CatalystEX.

There are many different ways to deposit materials such as metals, ceramics, plastics and composites onto a surface (substrate) and to form a thin film. PVD (also known as thin film deposition at temperatures between 150 and 500 °C) is an environmentally friendly vacuum coating process with no hazardous by products resulting brilliant decorative finishes with excellent wear and corrosion resistance. Common industrial coatings applied by PVD are TiN, ZrN, CrN, CrCN, TiAlN etc. one common way to do this is to use what is known as a Magnetron Sputtering System. The system has the addition of a strong magnetic field near the target area. This field causes travelling electrons to spiral along magnetic flux lines near the target instead of being attracted toward the substrate. The end result is the deposition of a thin, compact coating with the desired structure and composition (Figure 5).

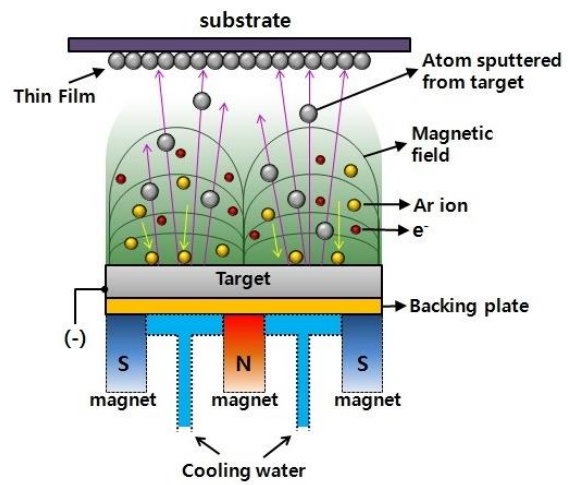


Figure 5. Schematic view of the magnetron sputtering system.

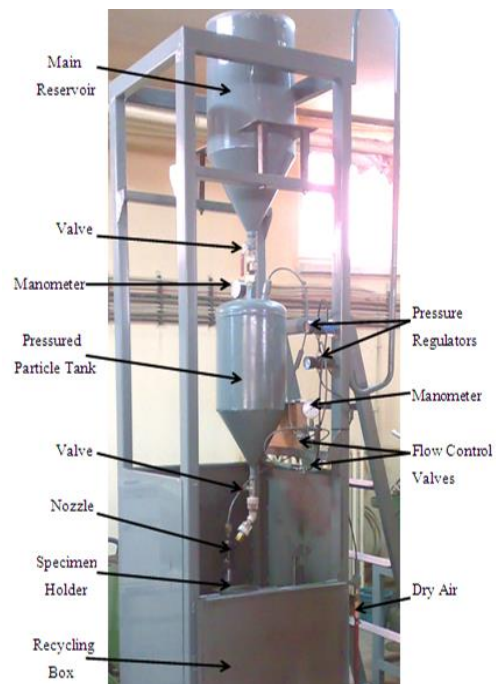


Figure 6. Detailed view of the test device.

Zirconium nitride (ZrN) is an inorganic compound used in a variety of ways due to its properties. ZrN grown by PVD is a light gold color similar to elemental gold. The hardness of single-crystal ZrN is 22.7 ± 1.7 GPa, elastic modulus is 450 GPa and density is 7.09 g/cm^3 . Zirconium nitride is a hard ceramic material similar to titanium nitride and is a cement-like refractory material. Thus it is used in refractories, cermets and laboratory crucibles. When applied using the physical vapor deposition coating process it is commonly used for coating medical devices, industrial parts, automotive and aerospace components and other parts subject to high wear and corrosive environments.

The testing device used in this scientific work are detailed in Figure 6. The impact velocity of the particles can be varied by varying the pressure of the compressed air. In order to determine the velocity of the eroding particles, the most common method [12] was used previously. The particles impact velocities used in the experimental tests (53 m/s) were adjusted by using the double disc method (Figure 7) in which two discs were connected to a common shaft from a driving prime mover.

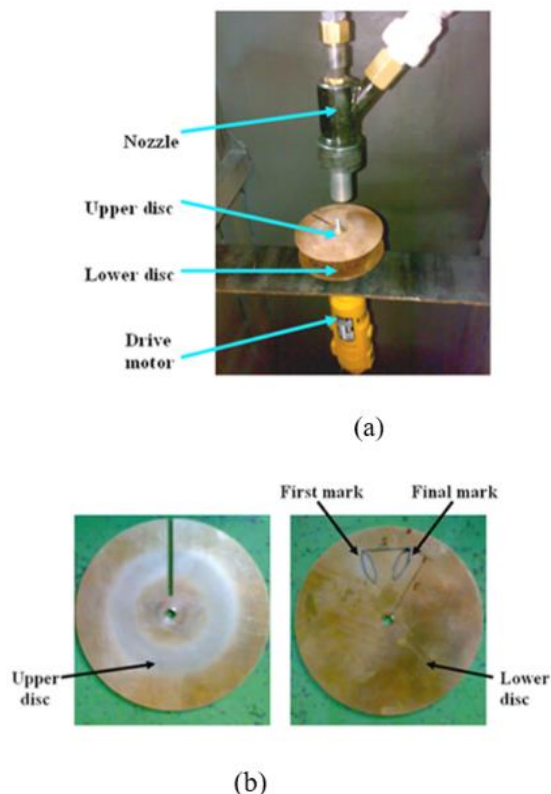


Figure 7. (a) Phosphorous bronze discs with drive motor used in the determination of particle velocity in the double disc method and (b) erosion marks formed on the discs.

3. RESULTS AND DISCUSSION

To ensure a sufficient lifetime of GF/CF epoxy components which are exposed to solid particle erosion, protective coatings are needed. Metallic coatings on

composites are mainly produced by electro plating, thermal spraying, or PVD. When deposited on GF/CF, electro plated coatings require extensive pre-treatment processes to create conductivity and to ensure adhesion. Coatings produced by thermal spraying can increase the surface roughness and an additional post-treatment may be needed to guarantee adequate flow conditions at the surface. In contrast, simple processing can be realized by PVD methods.

The graph in Figure 8 shows variations of erosion rates with test specimens (ZrN coated and uncoated composites) at impingement angles of 30° , 60° and 90° with an impact velocity of 53 m/s where the slightly rounded and irregular Al_2O_3 abrasive particles used had average diameters of $200 \mu\text{m}$. When the graph is examined it is seen that regardless of the fact the graph is at different materials, the specimens in both sets of graphs seem to undergo much erosion rates at impingement angle of 30° . Together with this, it has also been observed that, parallel to the increase of the impingement angles (60° – 90°), the erosion rates tend to reduce abruptly. This situation shows that, a similar erosion trend is observed as that seen in literature for ductile materials [13-17]. It was determined that beside the remarkable effects of ZrN coating material also have considerable effects on solid particle erosion wear. By studying the graph plotted from the experimental result data, it is seen that the effects of the GF/EP composites with ZrN coated on erosion wear are more evident than those of the CF/EP composites with ZrN coated.

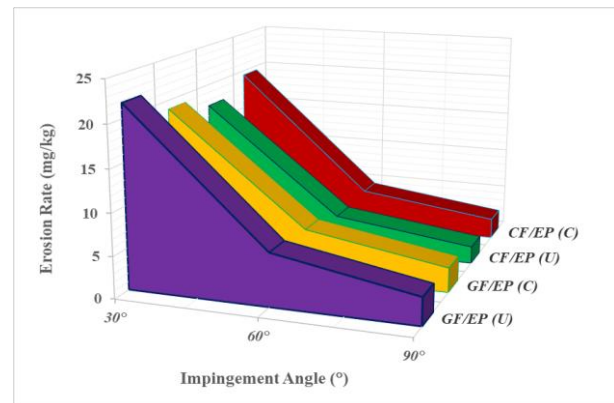


Figure 8. Variations of impingement angle & erosion rate of ZrN coated and uncoated test specimens.

When the results and optical microscope views based on the tests done are studied, it is seen that GF/EP and CF/EP of the ZrN coating material have had positive and negative effects respectively on erosion. This condition though can be perfectly recognized from the results, the microscope views also indicate extensive surface resistivity for the specimens with GF/EP. ZrN coating material adhered to the GF/EP substrate surface and reacted to the attack of abrasive particles. But CF/EP composites could not match with ZrN coating materials and the surface resistance is weakened (Figure 9).

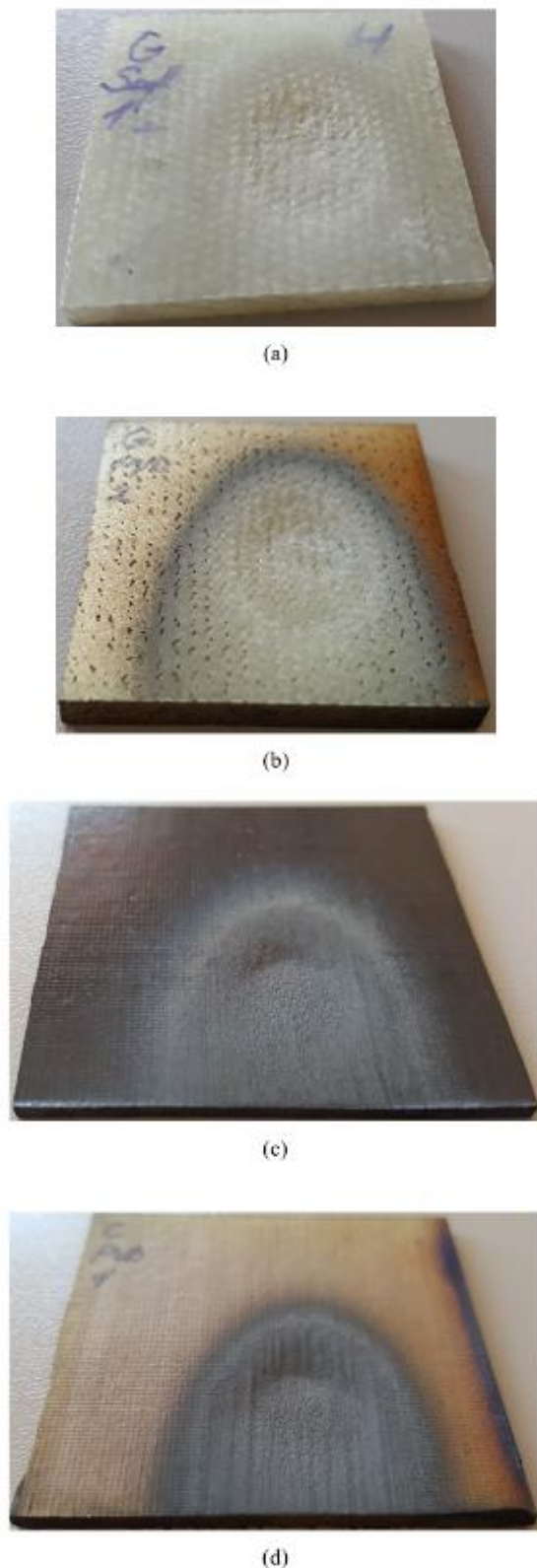


Figure 9. Optical microscope view of test specimens (x2); (a) A, (b) B, (c) C and (d) D.

4. CONCLUSIONS

It was found that material removal from the surfaces of the test specimens as a result of solid particle erosion

wear took place at several different stages. First of all, micro cracking appeared on the surfaces as the particles stroked the surface and as the particle bombardments continued, material delamination took place over the affected areas. The structural bonds got damaged as the particles kept striking the surfaces. Due to this damage, the rate of material delamination off the surfaces increased. Consequently; the cracks and grooves on the surfaces became more vivid. It has been observed that the application of coating to the materials caused the differentiation of these processes.

According to the experimental results,

ZrN coated and uncoated composites exhibit maximum erosion rates at 30° impingement angle and thus exhibiting similar behaviour as that observed for ductile materials. Inclusion of ZrN coating material in GF/EP composites considerably increases the value of hardness, tensile strength, modulus of elasticity and density. The erosion rate of ZrN coated GF/EP gives the lower value as it restricts surface delamination. GF/EP composites without any coated show the upper erosion rate due to weak bonding strength. In CF/EP composites, it decreased the erosion resistance due to the thermal and physical effects applied to the surface. The difference in erosion of GF/EP and CF/EP materials should be even higher. The difference in fiber orientations has been influential in this case. Experience shows that every tribological system can be optimised by selecting the right coating. As a future study, inclusion of new composites using different coating material and concentration combinations can be taken into consideration and the resulting experimental findings can be similarly analyzed.

REFERENCES

- [1] Srivastava V.K., "Effects of wheat starch on erosive wear of E-glass fiber reinforced epoxy resin composite materials", *Materials Science Engineering: A*, 435-436: 282-287, (2006).
- [2] Mohan N., Mahesha C. R., Rajaprakash B. M., "Erosive wear behaviour of WC filled glass epoxy composites", *Procedia Engineering*, 68: 694-702, (2013).
- [3] Yang L., Li H.L., Zhou Y.C., Zhu W., Wei Y.G., Zhang J.P. "Erosion failure mechanism of EB-PVD thermal barrier coatings with real morphology", *Wear*, 392-393: 99-108, (2017).
- [4] Rout A.K. and Satapathy A., "Study on mechanical and tribo-performance of rice-husk filled glass-epoxy hybrid composites", *Materials & Design*, 41: 131-141, (2012).
- [5] Mahapatra S.S., Patnaik A., "Study on mechanical and erosion wear behavior of hybrid composites using Taguchi experimental design", *Materials & Design*, 30(8): 2791-2801, (2009).
- [6] Bağcı M., "Determination of solid particle erosion with Taguchi optimization approach of hybrid composite systems", *Tribology International*, 94: 336-345, (2016).
- [7] Shin D., Hamed A., "Influence of micro-structure on erosion resistance of plasma sprayed 7YSZ thermal

- barrier coating under gas turbine operating conditions”, *Wear*, 396-397: 34-47, (2018).
- [8] Maurer C., Schulz U., “Solid particle erosion of thick PVD coatings on CFRP”, *Wear*, 317: 246-253, (2014).
- [9] ASTM D3039 / D3039M-17, “Standard test method for tensile properties of polymer matrix composite materials”, *ASTM International*, West Conshohocken, PA, (2017).
www.astm.org/cgi-bin/resolver.cgi?D3039D3039M-17
- [10] ASTM D2583-13a, “Standard test method for indentation hardness of rigid plastics by means of a Barcol impressor”, *ASTM International*, West Conshohocken, PA, (2013).
www.astm.org/cgi-bin/resolver.cgi?D2583-13a
- [11] ASTM G76–95, “Standard test method for conducting erosion tests by solid particle impingement using gas jets”, *ASTM International*, West Conshohocken, PA, (2000).
www.astm.org/cgi-bin/resolver.cgi?G76-95
- [12] Ruff A. W., Ives L.K., “Measurement of solid particle velocity in erosive wear”, *Wear*, 35: 195-199, (1975).
- [13] Finnie I., “Some reflections on the past and future of erosion”, *Wear*, 186-187(1): 1-10, (1995).
- [14] G., Roy M., “Solid particle erosion behaviour of metallic materials at room and elevated temperatures”, *Tribology International*, 30(5): 339-359, (1997).
- [15] Hutchings I.M., “Ductile-brittle transitions and wear maps for the erosion and abrasion of brittle material”, *Journal of Physics D: Applied Physics*, 25: 212-221, (1992).
- [16] Bagci M., “Influence of fiber orientation on solid particle erosion of uni/multidirectional carbon fiber/glass fiber reinforced epoxy composites”, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*, 231(5): 594-603, (2017).
- [17] Azar G.T.P., Yelkarasi C., Ürgen M., “The role of droplets on the cavitation erosion damage of TiN coatings produced with cathodic arc physical vapor deposition”, *Surface and Coatings Technology*, 322: 211-217, (2017).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

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



Özel tip bir yarı römork için bağımsız süspansiyon sistemi tasarımı: kavramsal tasarım çalışmaları

Design of an independent suspension for a special type semi-trailer: conceptual design studies

Yazar(lar) (Author(s)): Mehmet Murat TOPAÇ¹, Berk ÖZMEN², Uğur DERYAL³, Orhun SELBES⁴

ORCID¹: 0000-0002-7462-1796

ORCID²: 0000-0001-6896-5835

ORCID³: 0000-0002-3576-4700

ORCID⁴: 0000-0001-8043-3831

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Topaç M.M., Özmen B., Deryal U. ve Selbes O., “Özel tip bir yarı römork için bağımsız süspansiyon sistemi tasarımı: kavramsal tasarım çalışmaları”, *Politeknik Dergisi*, 22(1): 95-102, (2019).

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

DOI: 10.2339/politeknik.399078

Özel Tip Bir Yarı Römork için Bağımsız Süspansiyon Sistemi Tasarımı: Kavramsal Tasarım Çalışmaları

Araştırma Makalesi / Research Article

Mehmet Murat TOPAÇ^{1*}, Berk ÖZMEN², Uğur DERYAL², Orhun SELBES²

¹Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Dokuz Eylül Üniversitesi, Türkiye

²Tırsan Treyler Sanayi ve Ticaret A.Ş., Sakarya, Türkiye

(Geliş/Received : 08.11.2017 ; Kabul/Accepted : 31.01.2018)

ÖZ

Cam ve benzeri hassas yüklerin taşınmasına uygun özel tip yarı römorklarda uygulanacak 4,5 ton taşıma kapasiteli, boyuna salıncaklı bir bağımsız süspansiyon sisteminin kavramsal tasarım adımları özetlenmiştir. Çalışmanın ilk aşamasında, tekerleğin toplam çalışma stroku dikkate alınarak, süspansiyon sisteminin tasarım hacmi belirlenmiştir. Hedeflenen şasi düşey titreşim frekansı ile şasi sönüm faktörü değerlerini sağlayan hava yayı ve amortisör katsayıları, kütle-yay-sönümleyici modeli kullanılarak hesaplanmıştır. Bu veriler kullanılarak, Adams/Car™ çoklu cisim dinamiği paket programı yardımıyla, süspansiyonun çoklu cisim (CC) modeli oluşturulmuştur. Adams/Insight™ uygulaması yardımıyla, yaylanma sırasında en düşük aks açıklığı değişimini meydana getirecek uygun salıncak yatağı konumu bulunmuştur. Yatak konumu, şasinin konstrüksiyonu ile yay ve amortisörün strokları gibi faktörler ışığında, süspansiyon salıncığının ön tasarımı yapılmıştır. Bu tasarımın kütle, topoloji optimizasyonu yardımıyla, yaklaşık %37 oranında azaltılmıştır. Farklı sürüş durumlarında, tekerlek temas noktasına etkimesi öngörülen yükler için ANSYS® Workbench uygulaması yardımıyla, sistemin sonlu elemanlar (SE) analizleri gerçekleştirilmiştir. Tamamlanmış tasarımın, tasarım yükünün üç katı için güvenlik koşulunu sağladığı görülmüştür. CATIA® V5R21 DMU Kinematics uygulaması yardımıyla gerçekleştirilen kinematik incelemede, tam yaylanma durumunda, süspansiyon elemanları ve şasi arasında herhangi bir girişim oluşmadığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yarı römork, bağımsız süspansiyon, çoklu cisim sistemleri, sonlu elemanlar analizi, topoloji optimizasyonu.

Design of an Independent Suspension for a Special Type Semi-Trailer: Conceptual Design Studies

ABSTRACT

Conceptual design steps of a 4.5 metric tonnes capacity, trailing arm-type independent suspension system, which will be applied to special type semi-trailers suitable for the transport of glass and other sensitive loads, are summarized. In the first phase of the work, the design volume of the suspension system is determined, by taking the total working stroke of the wheel into account. The spring and damping coefficients, which provide the required vertical vibration frequency and the chassis damping factor for the chassis, are calculated by using the mass-spring-damper model. By using these data, a multi-body (MB) model of the suspension system was created via Adams/Car™ multibody dynamics software package. Proper position of the control arm bearing which satisfies the minimum wheel base alteration during the wheel travel by using the Adams / Insight™ application. In the light of the factors such as the bearing position, chassis structure, the strokes of the spring and damper, pre-design of the control arm was carried out. Mass of this design was decreased about 37% with the help of topology optimization. Finite element (FE) analyses of the suspension system was also carried out via ANSYS® Workbench application for predicted loads on the wheel contact point which represent various load conditions. Results showed that the final design satisfies the safety condition for three times the design load. Kinematic inspection which was carried out by using the CATIA® V5R21 DMU Kinematics application was also showed that there is no penetration between the suspension components and the chassis for full jounce.

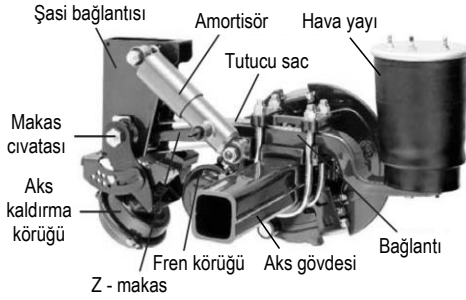
Keywords: Semi-trailer, independent suspension, multibody systems, finite element analysis, topology optimization.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

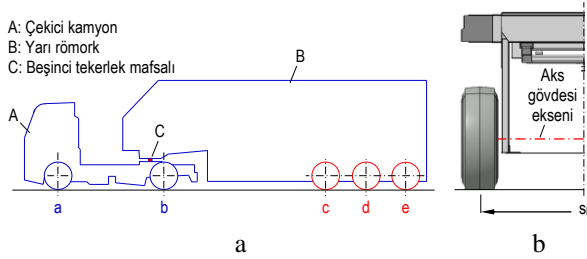
Sabit akslar (Şekil 1), yüksek taşıma kapasitesi, basit tasarım ve ucuz üretim gibi olumlu özellikleri nedeniyle, ağır ticari taşıt teknolojisinde halen yoğunlukla tercih edilen sistemlerdir [1]. Buna karşın, yüksek gabarili blok yük taşımak amacıyla tasarlanmış ve Şekil 2.a'da şematik görünümü verilen özel tip yarı römorklarda uygulanan şasi konstrüksiyonu (Şekil 2.b), sabit aks gövdesinin

montajına imkân vermemektedir. Bu nedenle de söz konusu yapıya sahip römorklarda, tekerleklerin (Şekil 2.a'da c, d ve e) şasiye, bir bağımsız süspansiyon sistemiyle asılması, kaçınılmaz hale gelmektedir. gösterilmiştir. Bu tip taşıtlarda uygulanan bağımsız süspansiyon tiplerinden bir tanesi, binek taşıtlarda ve hafif kamyonetlerde de uzun süredir kullanılmakta olan boyuna salıncaklı bağımsız süspansiyon sistemidir [2]. Ekli ağır ticari taşıt römorklarında uygulanmakta olan boyuna salıncaklı bağımsız süspansiyona ait prensip şeması ise Şekil 3.'de verilmektedir.

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : murat.topac@deu.edu.tr



Şekil 1. Sabit aks [2] (Solid axle [2])



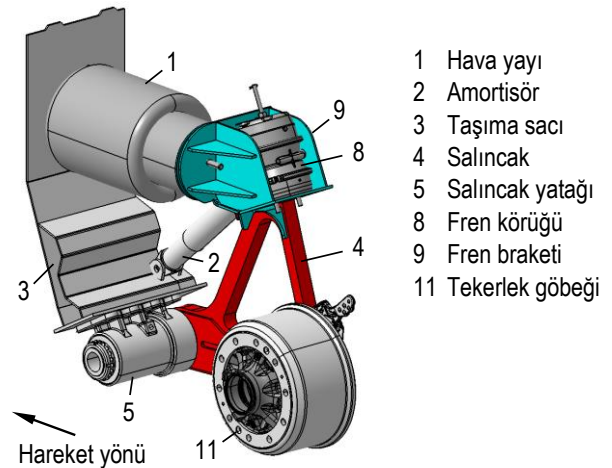
Şekil 2.a. Ekli taşıt b. şasinin kesit görünümü (a. articulated vehicle b. cutaway view of the chassis)

Bu sistemde tekerlek, şasiye (6) bir yatak (5) yardımıyla yataklanmış boyuna salıncağa (4) bağlıdır. Salıncak, tekerlekle (7) birlikte, şasi üzerinde öngörülen hacimde, dikey olarak çalışmaktadır. Yaylanma (1), sönümleme (2) ve frenleme (8) fonksiyonlarını sağlayan yapı elemanları da salıncak üzerine yataklanmıştır. gösterilmiştir.



Şekil 3. Yarı römork bağımsız süspansiyonunun prensip şeması (Schematic of the semi-trailer independent suspension)

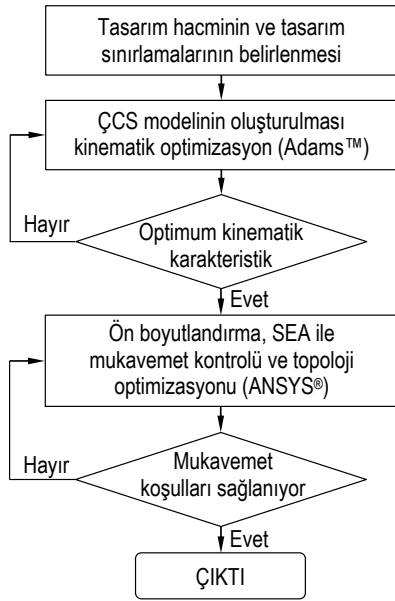
Sistemin önemli bir avantajı, şasinin yaylanması sırasında aksın iz genişliğinde (s_H) pratik bir değişimin meydana gelmesidir. Buna karşın, salıncığın şasiye yatakladığı noktanın konumuna bağlı olarak, belirli ölçüde bir aks açıklığı değişimi söz konusu olmaktadır. Bu çalışmada, özel tip bir ekli ağır ticari taşıtın, 30 ton faydalı yük taşıma kapasitesine sahip ve blok yük taşımaya uygun yarı römorkunda kullanılacak 4,5 ton kapasiteli boyuna salıncaklı bağımsız süspansiyon sisteminin kavramsal tasarım aşamaları özetlenmiştir. Çalışma kapsamında tasarlanan sistemin genel yapısı Şekil 4'de verilmektedir. Kullanılan yöntem ise Şekil 5'de görülmektedir.



Şekil 4. Mekanik tasarım (Mechanical design)

Çalışmanın ilk aşamasında, süspansiyon sisteminin yerleştirileceği ve içinde çalışacağı hacim, römork şasisinin yapısal kısıtları dikkate alınarak belirlenmiştir. Bu amaçla, Adams™/Car paket programı yardımıyla, süspansiyon sisteminin çoklu cisim (ÇC) modeli oluşturulmuştur. Kütle-yay-sönümleyici modeli kullanılarak, öngörülen şasi dikey titreşim frekansını ve şasi sönüm (Lehr) faktörünü sağlayan, tekerlek temas noktasına indirgenmiş hava yayı ve amortisör katsayıları, hesaplanmıştır. Her iki elemanın salıncak üzerine bağlanacakları noktalar ve bağlantı açıları yaklaşık olarak belirlenerek, çevrim oranları elde edilmiştir. Bu çevrim oranları yardımıyla, yay ve amortisörün, monte edildikleri noktadaki gerçek katsayıları ve bu katsayıları sağlayacak eleman boyutları belirlenmiştir. Adams/Insight™ uygulaması yardımıyla, yaylanma sırasında en düşük aks açıklığı değişimini meydana getirecek salıncak yatağı konumu bulunmuştur. Yay ve amortisörün konumları, römorkün iz genişliği ve şasi konstrüksiyonu gibi çeşitli faktörler dikkate alınarak, süspansiyonun ana taşıyıcı parçası olan salıncığın ön mekanik tasarımı yapılmıştır. CATIA® V5R21 DMU Kinematics uygulaması yardımıyla, tekerleğin yaylanması sırasında, süspansiyon yapı elemanları ve şasi arasında herhangi bir girişim olup olmadığı kontrol edilmiştir. Sonraki aşamada, literatürde verilen standart yük tipleri kullanılarak, ön tasarımın sonlu elemanlar analizleri (SEA) yapılmıştır. Sistemin hafifletilmesi amacıyla ise topoloji optimizasyonu yaklaşımı kullanılarak, salıncak üzerindeki fazlalık hacim belirlenmiştir. Bu şekilde elde edilen nihai tasarım, seçilen çeşitli standart sürüş koşulları için doğrulama amaçlı SE analizlerine tabi tutulmuş ve sistemin mekanik yeterliliği değerlendirilmiştir.

Literatürde, bağımsız süspansiyon sistemlerinin kinematik optimizasyonu ve bu sistemlerin bazı yapı elemanlarının yapısal olarak iyileştirilmesine yönelik çok çeşitli çalışmalar bulunmaktadır [3-8]. Bu çalışmalar genellikle, binek taşıt süspansiyonlarını konu edinmektedir.

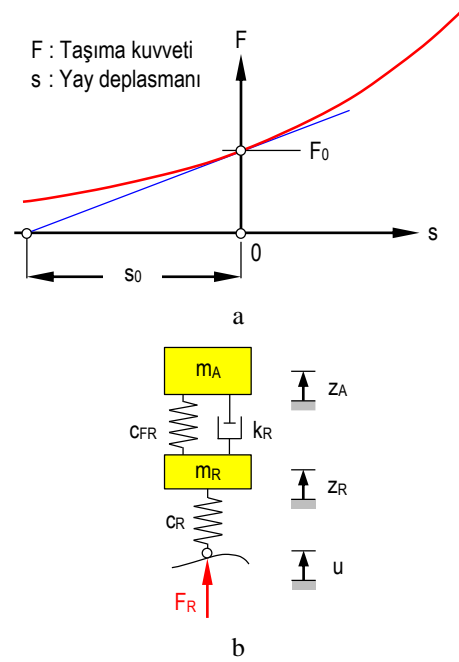


Şekil 5. Yöntem (Methodology)

Bunların dışında, özellikle ağır ticari taşıt bağımsız ön süspansiyon sistemlerini konu edinen bazı nadir çalışmalar da literatürde mevcuttur. Yarmohamadi and Berbyuk tarafından yayınlanan ve bu sistemlerin kinematik ve dinamik özelliklerinin simülasyonlar ve analitik ifadelerle incelenmesini konu alan çalışmalar bunlardan bazılarıdır [9, 10]. Anılan tüm bu çalışmalar, bütünlüklü bir tasarım yöntemi ortaya koymaktan çok sistemi farklı açılardan incelemektedir. Bu çalışma ile ekli ağır ticari taşıt römorkları için tasarlanacak bağımsız süspansiyon sistemleri için takip edilebilecek bir yol sunulmaktadır, literatüre katkı sağlanması hedeflenmiştir. Yazarların bilgisi dâhilindeki açık literatürde ise, yüksek tonajlı yarı römorklar için bağımsız süspansiyon tasarımına yönelik herhangi bir çalışma bulunmamaktadır.

2. ÇOKLU CİSİM MODELİ VE KİNEMATİK TASARIM (MULTIBODY MODEL AND KINEMATIC DESIGN)

Süspansiyon sisteminde, hava yayı kullanılması öngörülmektedir. Bilindiği gibi bu tip yaylar, progresif karakteristiğe sahiptir [11, 12]. Modelde kullanılan hava yayının, belirli bir yaylanma aralığında, Şekil 6.a'da görüldüğü gibi doğrusal karakteristiğe ($c_F = F_0/s_0 = \text{sabit}$) sahip olduğu varsayılabılır [13, 14]. Süspansiyon sistemlerinde kullanılacak yay ve amortisörün sahip olması gereken katsayıların (c_F ve k_D) belirlenmesinde genellikle, Şekil 6.b'de görülen iki serbestlik dereceli kütle-yay-sönümleyici modelinden yararlanılmaktadır. Bu modelde m_A , tekerlek başına düşen yaylandırılmış kütle, m_R tekerlek ve süspansiyondan oluşan toplam yaylandırılmamış kütle, c_{FR} ve k_R sırasıyla, tekerlek temas noktasına indirgenmiş yay ve amortisör katsayılarını simgelemektedir.



Şekil 6.a. Bir hava yayının kuvvet-deplasman eğrisi [13'e göre] b. titreşim modeli [4] (a. Force-displacement curve of an air spring [according to 13] b. vibration model [12])

Tekerlek yay katsayısının c_R , taşıyıcı yaya göre çok daha rijit olması nedeniyle, sistem tek serbestlik dereceli basit kütle-yay-sönümleyici modeli gibi değerlendirilecek olursa, şasi düşey titreşim frekansı ve şasi sönüm (Lehr) faktörü, basitleştirilmiş şekilde, aşağıdaki gibi ifade edilebilir [11]:

$$f_A = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{c_{FR}}{m_A}} \quad (1)$$

$$D_A = \frac{k_R}{2\sqrt{c_{FR} \cdot m_A}} \quad (2)$$

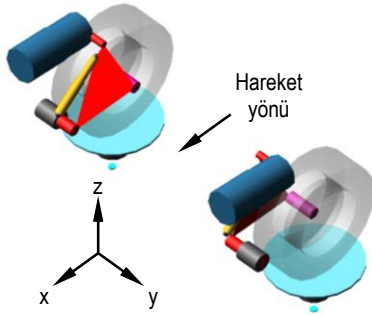
Bu bağıntılar kullanılarak hesaplanan yay ve amortisör katsayıları (c_{FR} ve k_R), tekerlek temas noktasına indirgenmiş değerlerdir. Her iki elemanın gerçek bağlantı noktasındaki değerlerinin bulunabilmesi için çevrim oranlarından (i_F , i_D) yararlanılmıştır [15]. Çevrim oranları, [16]'ya göre hesaplanmıştır. Gerçek yay ve amortisör katsayıları (c_F ve k_D) ise sırasıyla:

$$c_F = i_F^2 \cdot c_{FR} \quad (3)$$

$$k_D = i_D^2 \cdot k_R \quad (4)$$

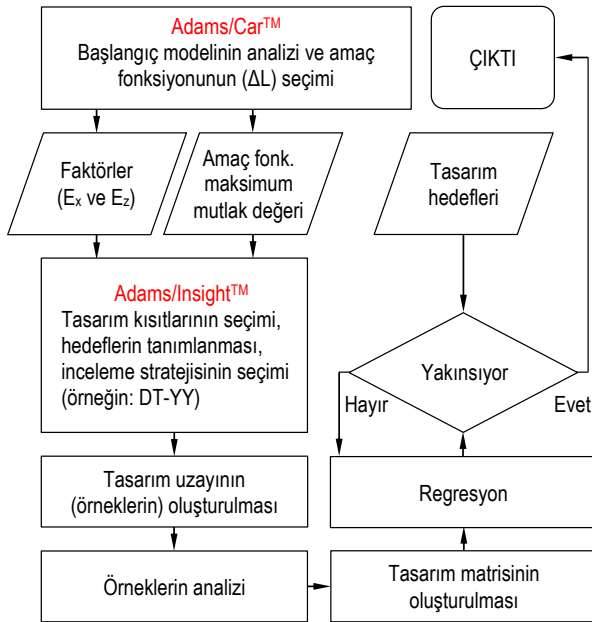
şeklinde bulunmuştur [11, 15, 16]. Hesaplanan gerçek yay ve amortisör katsayıları, süspansiyonun kinematik tasarımı ve optimizasyonu aşamalarında kullanılan ve Adams/Car™ paket yazılımı yardımıyla oluşturulmuş çoklu cisim modelinde (Şekil 7) tanımlanmıştır. Bu model kullanılarak, Deney Tasarımı-Yanıt Yüzey (DT-YY) yöntemi yardımıyla, salınacağı taşıt gövdesine bağlayan yatak milinin (E), tam yaylanma (z_1) sırasında, x-z düzleminde en düşük aks açıklığı değişimini (ΔL_{\min}) sağlayan konumu (E_x ve E_z koordinatları) elde edilmiştir.

Bunun için ADAMS/Insight™ uygulamasından yararlanılmıştır.



Şekil 7. ÇC modeli (MB model)

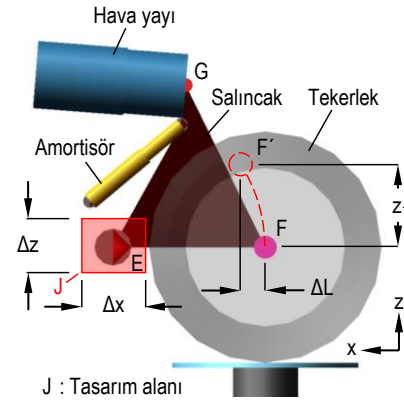
Optimizasyon aşamasında, ikinci derece (quadratic) bir denklem kullanılmıştır. Deney noktalarının oluşturulmasında örnekleme metodu olarak, Adams/Insight™ uygulamasının tasarım tanımlama tablosunda seçenek olarak sunulan Merkezi Kompozit Tasarım tipi uygulanmıştır. Merkezi Kompozit Tasarım, seçilen faktör uzayının tamamında iyi derecede bir tahmin elde edilmesine olanak sağlaması nedeniyle, günümüzde en çok kullanılmakta olan ikinci derece tasarım özelliğini taşımaktadır [17, 18]. Optimizasyonda kullanılan işlem sırası, Şekil 8’de verilmektedir [19].



Şekil 8. Optimizasyon adımları (steps of the optimization process)

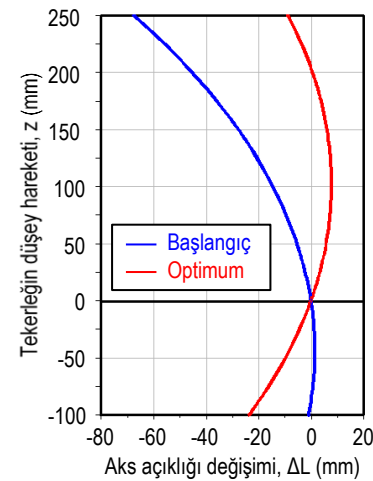
Optimizasyon işleminde ilk olarak, E noktası için şasinin tasarım kısıtları dikkate alınarak yaklaşık bir ön konum belirlenmiştir. Bu konum kullanılarak ÇC modeline, şasi konstrüksiyonunun izin verdiği sınır z_1 değeri için Adams/Car™ ortamında düşey yaylanma simülasyonu, uygulanmıştır. ΔL , programa “tasarım amacı” (design

objective) olarak tanımlanmıştır. İlk tasarım modeli, Adams/Insight™ uygulamasına aktarılmıştır. Tasarım faktörlerinin (E_x ve E_z) değişim aralıkları (Δx ve Δz) ve tasarım hedefi (ΔL_{min}) programda tanımlanmıştır. Analiz tipi, DT-YY olarak seçilmiştir. Oluşturulan tasarım örneklerine (deney noktası) uygulanan ardışık kinematik analizlerden sonuçlar sağlanarak kullanılarak, tasarım matrisi (çalışma uzayı) meydana getirilmiştir. Son aşamada, bu matris kullanılarak oluşturulan regresyon modeli yardımıyla, bağlantı noktasının, seçilen tasarım alanı (Şekil 9’da J bölgesi) içerisindeki optimum koordinatları elde edilmiştir. Yapılan bu çalışmada, uyum değeri (R^2) 0,999 olarak belirlenmiştir. Uyum, kabul edilebilir düzeydedir.



Şekil 9. Optimizasyon için tasarım alanı (design area for optimization process)

İlk tasarım ve optimize edilmiş tasarım için yaylanma sırasında ortaya çıkan ΔL karşılaştırması Şekil 10’da verilmektedir.

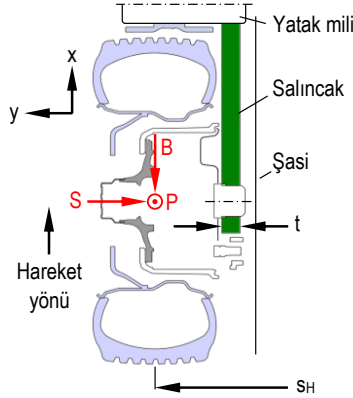


Şekil 10. Sonuçlar (results)

3. MEKANİK TASARIM (MECHANICAL DESIGN)

Mekanik tasarım aşamasında ilk olarak, sistemin ana taşıyıcı elemanı olan salıncığın dış şekli belirlenmiştir. Salıncığın, akma sınırı $R_e = 890$ MPa olan yüksek

mukavemetli sac malzemeden, sabit kalınlıklı olarak üretilmesi öngörülmüştür. Bu tip bir süspansiyon tasarımında, salıncağın üretileceği sacın kalınlığı (t), mukavemet koşullarını sağlayacak şekilde seçilmekle birlikte, Şekil 8.a'da görüldüğü gibi, şasinin yapısı ile aksın iz genişliği ve dolayısıyla, lastik tekerleğin konumu tarafından sınırlanmaktadır. Salıncağın dış şekli için belirleyici olan ise yatağın, tekerlek göbeğinin ve hava yayının konumlarıdır. Tekerlek temas noktasından sisteme x, y ve z eksenlerinde etkimesi beklenen, sırasıyla, boyuna (B: fren), yanal (S) ve düşey (P) kuvvetler Şekil 11'de verilmektedir.



Şekil 11. Salıncağ kalınlığının sınırlanması (Limitation of the control arm thickness)

Oluşturulan ön tasarımın mekanik yeterliliğinin tespiti, SEA yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla kurulan SE modeli Şekil 12.a'da görülmektedir. Analizlerde, taşıt üreticileri tarafından kullanılan [20] sanki statik (quasi-static) standart yük tipleri uygulanmıştır. Bu kritik sürüş durumlarından iki tanesi, Çizelge 1'de örnek olarak verilmektedir. Söz konusu yük tiplerine ait ivme bileşenleri, yerçekimi ivmesinin (g) katları cinsinden ifade edilmiştir.

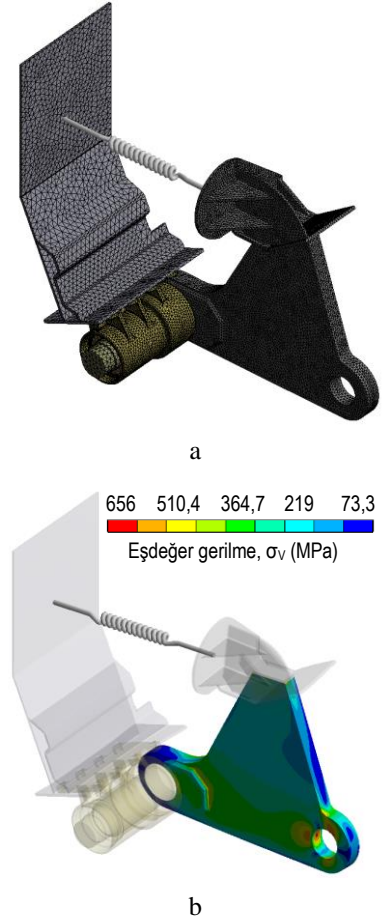
Çizelge 1. Standart yük tipleri [20'ye göre] (Standard load cases [according to 20])

Tip no.	Yük tipi	İvme bileşenleri		
		x	y	z
2	Tümsek atlama (3g)	0,00	0,00	3,00
5	Viraj dönme (1,25 g)	0,00	1,25	1,00

Örneğin, taşıt tekerleğinin tümsekten geçişini simüle eden 2 numaralı yük tipinde süspansiyon sistemine, P' noktasından tekerlek statik yükünün, x ekseninde 0, y ekseninde 0 ve z ekseninde 3 katı değerinde kuvvetler etkidiği varsayılmaktadır [21].

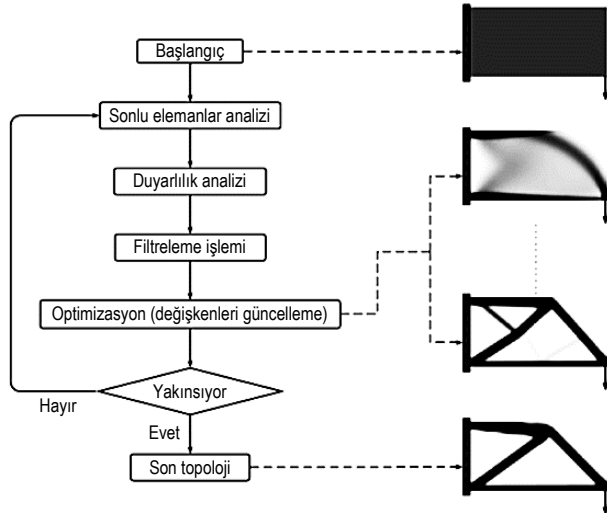
Süspansiyonun katı modeli, yapısal analizlerin gerçekleştirilmesi amacıyla, ANSYS® Workbench 17.2 ortamına aktarılmıştır (Şekil 12.a). Ön tasarımın, bu yük tipi kullanılarak gerçekleştirilmiş SE analizi sonucu, Şekil 12.b'de görülmektedir. SE analizlerinde, kuvvetler tekerlek temas noktasına denk düşen koordinattan sisteme uygulanmıştır. Böylelikle, bu kuvvetlerin

moment etkileri de analizde dikkate alınmıştır. Eşdeğer (von Mises) gerilme dağılımından da anlaşıldığı üzere, salıncağın özellikle orta bölgeleri yük taşımamaktadır. Dolayısıyla tasarım, hafifletmeye uygundur.



Şekil 12.a. SE modeli b. SE analizi (a. FE model b. FE analysis)

Salıncağın hafifletilmesi, topoloji optimizasyonu yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, [22]'de verilen ve bir askeri taşıtın bağımsız süspansiyonuna ait alt salıncağın hafif tasarımı çalışmasında kullanılmış olan işlem adımları uygulanmıştır. Yapısal optimizasyon yöntemlerinden biri olan topoloji optimizasyonu temel olarak, optimize edilecek parçanın dış boyutlarında değişiklik olmaksızın, istenen oranda hacim azaltılması suretiyle, parçanın uygun bölgelerinden, direngenliği mümkün olan yüksek yapının elde edilemesine olanak sağlayacak şekilde malzeme çıkarılmasıdır. Bir başka ifadeyle, topoloji optimizasyonu ile hedeflenen, rijitliği maksimum yapan en uygun malzeme dağılımını bulmaktır [23]. Tekil yüke maruz dolu ankastre bir kirişin topoloji optimizasyonu adımları, örnek olarak Şekil 13'de görülmektedir [24, 25]. Bu adımlardan "filtreleme", topoloji optimizasyonu sonucunda, mesh boyutu küçüldükçe dama tahtasına benzer topolojilerin (checkerboarding) ortaya çıkmasının engellenmesinde ve oluşturulacak yapının direngenliğinin homojenleştirilmesinde görev almaktadır [26].



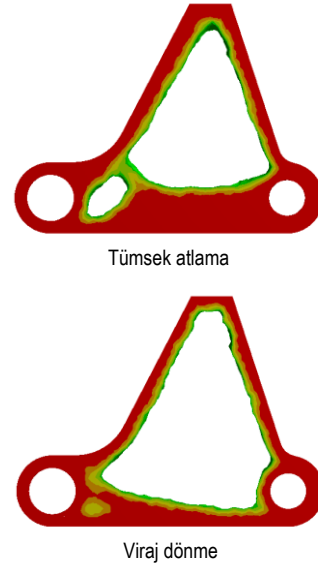
Şekil 13. Topoloji optimizasyonunun adımları (Steps of the topology optimization)

Filtre, tasarım değişkenlerinin verilen değerleri için belirli bir yoğunluk dağılımı veren bir fonksiyondur [27]. Topoloji optimizasyonu sırasında uygun filtrelerin kullanımı önem taşımaktadır. Zira, dama tahtası etkisinin ortaya çıkması, malzemenin parça içerisindeki optimal dağılımını engellemekte ve üretime uygun olmayan topolojilerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır [28]. Uygulanan filtre yardımıyla, daha homojen bir eleman dağılımı, ve böylelikle analiz, kullanılan eleman boyutundan bağımsızlaşması sağlanmaktadır. [26]

Topoloji optimizasyonu, ANSYS® Workbench 17.2 yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Süspansiyonun katı modeli, optimizasyon işleminin gerçekleştirilmesi amacıyla, tekrar ANSYS® Workbench 17.2 ticari paket programına aktarılmış ve sistemin statik yapısal analizleri gerçekleştirilmiştir. Bir sonraki aşamada, statik yapısal analiz ve topoloji optimizasyonu modülleri arasında bağlantı kurulmuş ve topoloji optimizasyonu aşamasına geçilmiştir. Bu aşamada ilk olarak, topoloji optimizasyonu ile hafifletilecek dolu salıncak modelikle, tasarım bölgesi (design region) olarak seçilmiştir. Daha sonra, salıncak üzerinde optimizasyona dâhil edilmeyecek (exclusion), diğer bir ifadeyle, malzeme boşaltması yapılmayacak bölgeler seçilmiştir. Boşaltma yapılmayacak bölgeler olarak, parçanın dış hattı, yatak mili montaj bölgesi ve tekerlek göbeği montaj bölgesi atanmıştır. Üretim koşulları dikkate alınarak, malzeme boşaltma işleminin (extrusion) yapılacağı doğrultu, y eksenini seçilmiş ve programda tanımlanarak, seçilen sınır şartlarına göre topoloji optimizasyonu analizleri yapılmıştır. Gerçekleştirilen analizlerden yük tipi 2 ve 5 için elde edilen boşaltma geometrileri, örnek olarak Şekil 14’de karşılaştırılmaktadır.

Malzeme yoğunluğunun 0,3 ile 0,7 arasında seçimi önerilmektedir. Bu çalışmada malzeme yoğunluğu, 0,5 olarak seçilmiştir [29, 30]. Farklı yük tipleri için elde edilen sonuçlar birlikte değerlendirilerek, her iki yükleme durumunda da salıncak üzerinden ayrılabilen

ortak malzeme hacmi belirlenmiştir. Daha sonra, salıncakın iç bölgesi, üretime uygun olarak yeniden şekillendirilmiştir. Salıncak bu şekilde, yaklaşık %37 oranında hafifletilmiştir.



Şekil 14. Çeşitli yük tipleri için topoloji optimizasyonu sonuçları (Results of topology optimization for various load types)

Oluşturulan nihai salıncak tasarımının mukavemet koşullarını sağlayıp sağlamadığının belirlenebilmesi amacıyla, [20]’de verilen standart yük tipleri yardımıyla, doğrulama amaçlı sonlu elemanlar analizleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 15’de, Tablo 1’de verilen yük tipleri kullanılarak gerçekleştirilen sonlu elemanlar analizlerinin sonuçları örnek olarak verilmiştir. Bu sonuçlara göre, salıncak için en düşük emniyet katsayısı, yük tipi 2 için $n_s = 1,36$ olarak belirlenmiştir. Parçanın yük altında yanal yöndeki şekil değişiminin de emniyetli sınırlarda kaldığı görülmüştür. Sistemin, yarı römork şasisi üzerindeki yerleşimi, Şekil 16’da görülmektedir. Proje ortağı firmanın gizlilik politikası nedeniyle, şasiye ait ayrıntılar, şekilde verilmemiştir. Tamamlanmış mekanik tasarım (Şekil 17.a) son olarak, CATIA® V5R21 DMU Kinematics uygulaması yardımıyla, Şekil. 17.b’de görüldüğü gibi kinematik analize tabi tutulmuştur. Yükleme sırasında şasinin tam çökmesi halinde, süspansiyon sistemini oluşturan yapı elemanları ile şasi arasında, herhangi bir girişim oluşmadığı belirlenmiştir.

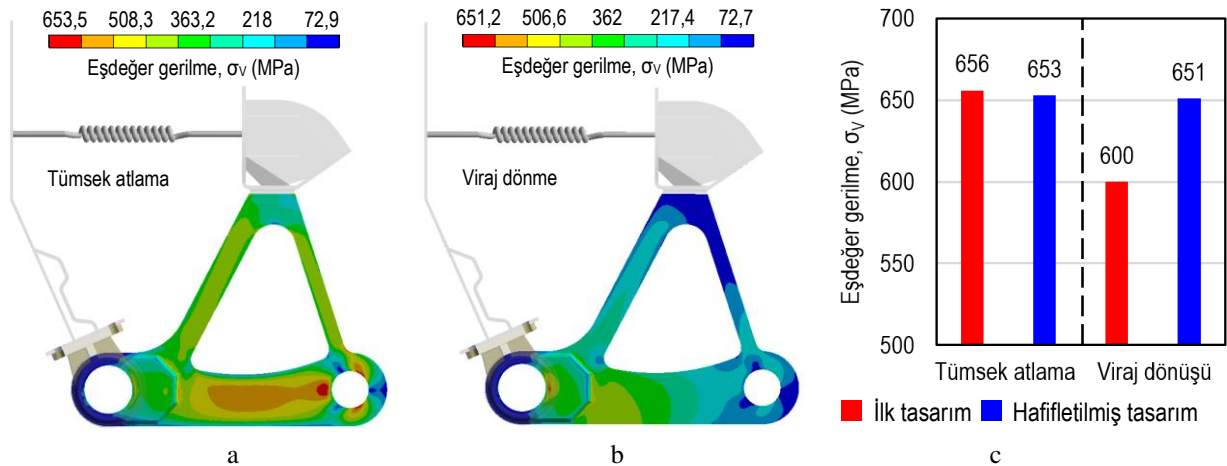
6. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada, cam ve benzeri hassas blok yüklerin taşınması için özel olarak üretilmiş ekli ağır ticari taşıt römorklarında uygulanması düşünülen boyuna salıncaklı bir bağımsız süspansiyon sisteminin kinematik ve mekanik kavramsal tasarım aşamaları özetlenmiştir. Çalışma kapsamında, çoklu cisim (ÇC) sistemleri, sonlu elemanlar (SE) ve topoloji optimizasyonu gibi farklı yaklaşımların kullanıldığı bir tasarım yöntemi ortaya

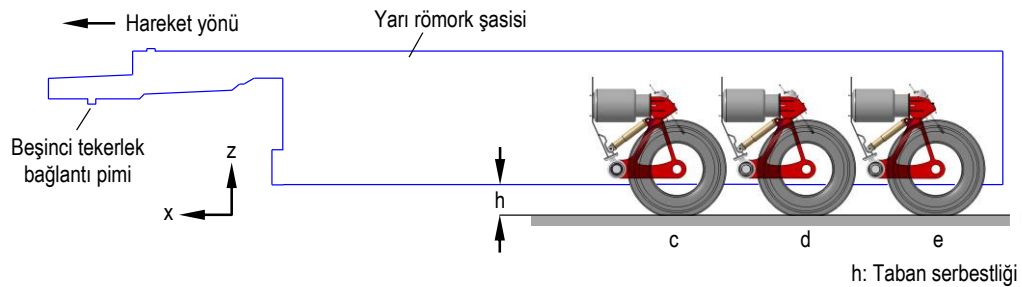
konmaya çalışılmıştır. Gerçekleştirilen SE analizleri, tasarımı tamamlanan sistemin, nominal statik yükün üç katı kadar düşey tekerlek yüküne dayanabildiği göstermiştir. Anılan yük durumunda, salıncağın emniyet katsayısı $n_s = 1,36$ 'dır. Sistemin prototip üretimi devam etmektedir. Süspansiyona ait titreşim sönümleme performansının belirlenmesine ait analizlerin ve yolulma davranışına ilişkin gerçekleştirilmiş olan incelemelerin, ayrı çalışmalar kapsamında sunulması planlanmaktadır.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

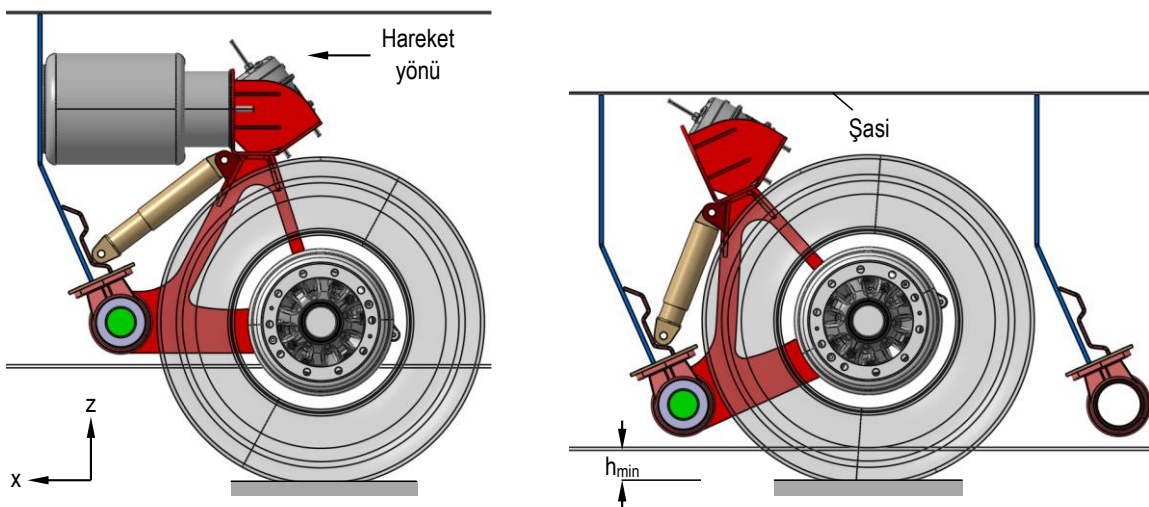
Bu çalışma, TIRSAN Treyler A.Ş.'nin finansal desteğiyle gerçekleştirilmiştir. Yazarlar, başta Ar-Ge Direktörü Sn. Tugay YILMAZ olmak üzere, çalışma kapsamında sağladığı lisanslı yazılım olanaklarından dolayı, TIRSAN Treyler A.Ş.'ye ve katkılarından dolayı Mak. Müh. İlker BAHAR'a teşekkür ederler.



Şekil 15.a. ve b. Doğrulama analizleri c. en yüksek eşdeğer gerilme değerlerinin karşılaştırılması (a. and b. verification analyses c. comparison of the maximum equivalent stress values)



Şekil 16. Süspansiyon sisteminin genel görünümü (General view of the suspension system)



Şekil 17.a. Statik durum, b. tam yaylanma durumu (a. Static condition b. full bump motion)

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Reimpell J., Stoll H., Betzler J.W., “The Automotive Chassis: Engineering Principles”, **Butterworth-Heinemann**, Oxford, (2002).
- [2] 2. Hoepke E., Breuer S., “Nutzfahrzeugtechnik”, **Vieweg+Teubner GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden**, (2008).
- [3] Omojaro 3. Yamanaka T., Hoshino H., Motoyama K., “Design optimization technique for suspension mechanism of automobile”, **Seoul 2000 FISITA World Automotive Congress**, Seoul, F2000G309, (2000).
- [4] Hwang J.S., Kim S.R., Han S.Y., “Kinematic design of a double wishbone type front suspension mechanism using multi-objective optimization”, **Proceedings of the 5th Australasian Congress on Applied Mechanics (ACAM 2007)**, Brisbane, 788-793, (2007).
- [5] Sancibrian R., Garcia P., Viadero F., Fernandez A., De-Juan A., “Kinematic design of double-wishbone suspension systems using a multiobjective optimisation approach”, **Vehicle System Dynamics: International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility**, 48: 793-813, (2010).
- [6] Arikere A., Kumar G.S., Bandyopadhyay S, Optimisation of double wishbone suspension system using multi-objective genetic algorithm, **Simulated Evolution and Learning: 8th International Conference (SEAL 2010)**, Kanpur, 445-454, (2010).
- [7] Zhang J.J., Xu L.W., Gao R., “Multi-island genetic algorithm optimization of suspension system”, **Telkomnika**, 10: 1685-1691, (2012).
- [8] Heo S.J., Kang D.O., Lee J.H., Kim I.H., Darwish S.M., “Shape optimization of lower control arm considering multi-disciplinary constraint condition by using progress meta-model method”, **International Journal of Automotive Technology**, 14: 499-505, (2013).
- [9] Yarmohamadi H., “Advances in heavy vehicle dynamics with focus on engine mounts and individual front suspension”, **Doktora Tezi**, Chalmers University of Technology, (2012).
- [10] Yarmohamadi H., Berbyuk V., “Kinematic and dynamic analysis of a heavy truck with individual front suspension”, **Vehicle System Dynamics: International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility**, 51: 877-905, (2013).
- [11] Matschinsky W., “Radführungen der Straßenfahrzeuge”, **Springer-Verlag**, Berlin Heidelberg, (2007).
- [12] Woernle C., “Fahrmechanik: Skriptum Vorlesung”, **Fakultät Maschinenbau und Schiffstechnik, Universität Rostock**, Rostock, (2005).
- [13] “Continental Luftfederbälge”, **Continental Gummi-Werke Aktiengesellschaft**, Hannover, (1977).
- [14] Pahl H.J., “Luftfedern in Nutzfahrzeugen, Auslegung-Berechnung-Praxis”, Firmenschrift, **Luftfedertechnik (LFT) Germany GmbH / AKTAŞ Group**, Dormagen.
- [15] Blundell M., Harty D., “The Multibody Systems Approach to Vehicle Dynamics”, **Elsevier Butterworth – Heinemann**, London, (2006).
- [16] v.Estorff H.E., “Technische Daten Fahrzeugfedern Teil 3: Stabilisatoren”, **Stahlwerke Brüninghaus GmbH**, Werdohl, (1969).
- [17] Montgomery D.C., “Design and Analysis of Experiments”, **John Wiley & Sons, Inc., New Jersey**, (2000).
- [18] Aydın M., Ünlüsoy S., “Optimization of suspension parameters to improve impact harshness of road vehicles”, **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, 60: 743–754, (2012).
- [19] Topaç M.M., Bahar E., Olguner C., Kuralay N.S., “Kinematic optimisation of an articulated truck independent front suspension by using response surface methodology”, **AVTECH’15: III. Automotive and Vehicle Technologies Conference**, İstanbul, 59-72, (2015).
- [20] Heißing B., Ersoy M., Gies S., “Fahrwerkhandbuch, Grundlagen, Fahrdynamik, Komponenten, Systeme, Mechatronik, Perspektiven”, **Vieweg+Teubner Verlag - Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH**, Wiesbaden, (2011).
- [21] Topaç M.M., Olguner C., Yenice A., Kuralay N.S., “Kamyon bağımsız ön süspansiyon sisteminin kavramsal tasarımı”, **MTS8: 8. Mühendislik ve Teknoloji Sempozyumu**, Ankara, 39-44, (2015).
- [22] Topaç M.M., Bahar E., Kaplan A., Sarıkaya E.Z., “Design of a lower wishbone for a military vehicle independent front suspension using topology optimization”, **IDEFIS 2017: 2nd International Defence Industry Symposium**, Kırıkkale, 333-342, (2017).
- [23] Bendsoe M.P., Sigmund O., “Topology optimization, theory, methods, and applications”, **Springer**, Berlin, (2003).
- [24] Wang S., “Krylov Subspace Methods for Topology Optimization on Adaptive Meshes”, **Doktora tezi**, University of Illinois, (2007).
- [25] Johnsen S., “Structural topology optimization”, **Yüksek lisans tezi**, Norwegian University of Science and Technology, (2013).
- [26] Huang X., Xie Y.M., “Evolutionary Topology Optimization of Continuum Structures - Methods and Applications”, **John Wiley & Sons, Inc.**, New Jersey, (2010).
- [27] Svanberg, K., Svärd, H., “Density filters for topology optimization based on the Pythagorean means”, **Structural and Multidisciplinary Optimization**, 48: 859–875, (2013).
- [28] Shukla, A., Misra A., Kumar S., “Checkerboard problem in finite element based topology optimization”, **International Journal of Advances in Engineering & Technology**, 6: 1769-1774, (2013).
- [29] Sergent, N., Tirovic, M., Voveris, J., “Design optimization of an opposed piston brake caliper”, **Engineering Optimization**, 46: 1520-1537, (2014).
- [30] “ANSYS Topology Optimization ACT Extension, 17.2 release”. (2016). **ANSYS, Inc.**, (2016).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

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



A data mining application of local weather forecast for Kayseri Erkilet Airport

Yazar(lar) (Author(s)): Eda ÇINAROĞLU¹, Osman UNUTULMAZ

ORCID¹: 0000-0002-2904-3376

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article) : Çınaroğlu E. ve Unutulmaz O., “A data mining application of local weather forecast for Kayseri Erkilet Airport”, *Politeknik Dergisi*, 22(1): 103-113, (2019).

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

DOI: 10.2339/politeknik.391801

A Data Mining Application of Local Weather Forecast for Kayseri Erkilet Airport

Araştırma Makalesi / Research Article

Eda ÇINAROĞLU^{1*}, Osman UNUTULMAZ²

¹ Department of Aviation Management, Faculty of Aeronautics and Astronautics, Erciyes University, Turkey

² Retired, Department of Business, Faculty of Economics and Administrative Sciences, Erciyes University, Turkey

(Received : 08.11.2017 ; Accepted : 17.12.2017)

ABSTRACT

Data mining is a process used for the discovery of data correlation; the technique includes successful applications in the mass data field. Aeronautic meteorology is one of them. It includes the observation and forecast of meteorological events and parameters such as turbulence, rain, frost, fog, thunderstorm, etc. that affect flight operations. Aeronautic meteorology studies in the field of aviation. Understanding meteorological events is not possible without the observation of many parameters which are related to each other. Previous mass data should be overviewed for the future forecast. Expert opinions are also necessary in the process of analysis. At this point, data mining makes a great contribution to the analysis of mass data. This study aims at revealing the correlation between meteorological parameters that affect aviation and finding rules by classification. Forecasts were improved with relational analysis. As a result, reliable rules were identified that include estimation of fog, rain, snow, hail and thunderstorm events for Kayseri Erkilet Airport and these rules were analyzed in terms of their accuracy and reliability.

Keywords: Data mining, aeronautical meteorology, classification, finding rules.

1. INTRODUCTION

Meteorological information has great importance for aviation sector and has improved rapidly in recent years. This information is necessary not only for the preparation of flight plans but also for the management of ground operations with minimum cost. Aeronautic meteorology studies the observation and forecast of meteorological events that affect flight operations. It is the field of analyzing mass data. Clever tools are needed in the process of overviewing previous mass data for future forecast. At this point, data mining makes a great contribution to the analysis of mass data [1].

Data mining can be defined as a discipline which is related to statistics, machine learning, data management and artificial intelligence. It is a process used for the discovery of data correlation by using correlation recognition technology with statistical and mathematical techniques [2].

Data mining is a result of the natural improvement of information technology. Data collection and database building, data management and data analysis are the three basic functions in data mining. In the past, simple file processing was used. In the 1960s, data collection systems were popular and in the 1970s relational data bases were developed. Related tables were stored by using indexes and data organization techniques. Moreover, data access was possible for users with the usage of a judging language. At the beginning of the 1980s, data base management systems started to be used and at the end of the 1980s different data mining techniques were introduced. Since the 1990s, web mining applications have been developed [3].

Data mining is a stage of the information discovery process. This process starts with understanding the application domain and identifying the goal of the process. The second stage is the selection of a suitable sample set. Incoherent and inaccurate data are known as noise. The third stage involves data cleaning and it is aimed at increasing the quality of data which will be discovered at the last stage. It includes basic operations like removing noise if appropriate, collecting the necessary information to model or account for noise and deciding on strategies for handling missing data. The fourth stage includes data integration, that is turning different units into one kind. Data reduction is conducted in the fifth stage. It focuses on the detection of the most effective attributes in model forming. Normalization or standardization is required when these attributes have different means and variances. This stage is called as data transformation. The following stage involves the determination and usage of suitable algorithms on data. In the last stage, it is necessary to evaluate algorithms and correlations in terms of accuracy, consistency and simplicity [4].

Data mining models are classified into three groups: classification and regression, clustering and association rules. Clustering and association rule models are descriptive while classification and regression models are estimative [5].

In this study, data mining techniques in the WEKA packet program were used. WEKA is a free software which is written in JAVA programming language. It was developed by Waikato University in New Zealand. It includes different algorithms for data mining and machine learning. Among these algorithms, decision trees are used to determine the correlations between categorical attributes and rules. Finally, rules related to fog, rain, snow, hail and thunderstorm were obtained.

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : ecinaroglu@erciyes.edu.tr

A number of researchers focused on techniques for the determination of meteorological parameters for a long time. There are many studies on this subject in the literature. These studies include the usage of artificial neural networks, genetic algorithms, decision trees and regression for the analysis and forecast of parameters. Some of these studies may be summarized as follows.

Allen and LeMarshall (1994) revealed the successful usage of neural networks for rainfall forecast. They built a model on the basis of 665 days' data. This model, which can estimate the potential for rain in a 24 hour period, could only reach a 70% accuracy rate [6].

McGullag and colleagues (1997) conducted a study which reflects the fact that the neural network is a good method for similar problems. They preferred to use the genetic reduction method to decrease the number of input parameters from 62 to 18. The result of this classification method is that there is rain or there is no rain. The accuracy rate of this model is higher than that achieved by the model developed by Allen and LeMarshall (1994) [7].

Stern and Parkyn (1999) studied fog estimation for Melbourne Airport to determine visibility. In this research, with two objectives in mind, the logistic regression method was employed. The first objective was to develop a classification rule for foggy conditions by using synoptic data; the second was to develop a technique which estimates the probability of fog in a specific period of time [8].

Mitsukura, Fukumi and Akamatsu (2000) conducted research about fog estimation. They used the Learning Vector Quantization (LVQ) method in their study and input parameters were selected by the genetic algorithm to increase the reliability of the study [9].

Trafalis and colleagues (2002) used data mining for rainfall estimation. They developed a neural network model using the data that they obtained from Oklahoma Mesonet [10].

Solomantine and Dulal (2003) investigated model trees for rainfall estimation. Model trees are very similar to decision trees. The significant difference between decision and model trees is that there are regression functions on the leaves of model trees whereas there are classification labels on the leaves of decision trees [11].

According to Lee and Liu (2004), fuzzy logic is suitable for meteorological estimation. The attributes of their rainfall forecast model are temperature, dew temperature, humidity, wind speed, wind direction and average sea level pressure [12].

Jareanpon and his colleagues (2004) used the radial basis neural network and genetic algorithms together for rainfall estimation in their study. Thirty years monthly rainfall values dating between 1971 and 2000, which were obtained from the Thailand Meteorology Office were used [13].

Suvichakorn and Tatnall (2005) conducted research on rainfall estimation by using cloud structure and

movement. They used the k-nearest neighbor algorithm based on supervised learning in their study [14].

Banik and colleagues (2008) state that the neural network and genetic algorithm methods are more useful than multi-linear regression models for Bangladesh's monsoon rainfall estimation because of the dynamic, multi-dimension and nonlinear functions of precipitation data [15].

Pan and Wu (2009) developed a model which includes the Bayes technique and neural networks for rainfall estimation. Like earlier studies, they used pressure, temperature, wind speed and direction as input parameters [16].

Moreover, in another study conducted by Aktaş and Erkuş (2009), the researchers preferred to use logistics regression analysis for Eskişehir fog estimation. The research aimed at finding the equation showing the possibility of fog event occurring [17].

Bartok and colleagues (2010) state in their research that data mining applications are successful at fog and cloud base estimation. They used synoptic and metar observations along with air satellite images in their model. They also emphasized that the information obtained would be useful for airports and traffic services [18].

Zazzaro and Mercogliano (2010) developed a new classification algorithm for rarely seen meteorological events. Fog forecast data were evaluated by a new algorithm based on Bayes Network. The study aimed at minimum incorrect classification cost [19].

Wu (2011) emphasized the fact that rainfall problems involved complicated system dynamics because of the linear and nonlinear meteorological factor effects. As a result, he developed a semi-parametric and hybrid regression model with a high accuracy rate [20].

Lee and Seo (2013) used a multiple linear regression method to build a statistical forecasting model for Changma, the Korean portion of the East Asia summer monsoon system. The predictors in the model were selected by a forward-stepwise regression method using three criteria that minimized overfitting. The prediction skill of the model for the years 1994–2012 was very high with the correlation coefficient $R=0.85$ [21].

In this study, the first section includes information about data mining and different meteorological applications in the literature. In the second section problem definition, methods, results and rules' assessment are presented. The conclusion and discussion are found in the last section.

2. DATA MINING APPLICATION

2.1. Problem Definition

The aim of this study is to develop rules that can be used for the local forecast of fog, precipitation and thunderstorm events at Kayseri Erkilet Airport. These rules were developed by using data mining classification methods.

2.2. Data Set

The data set includes 15330 days’ values collected from 1970-2012. The measurements were taken twice a day at 2 am and 2 pm. The 2 am measurements were preferred since night measurements are more reliable and robust. The data were taken from the TUMAS archive system. It was formed from observations, measurements and calculations by the Head Office of the Turkish Meteorological Department. The free observation values issued by Wyoming University Atmosphere Science Department were also included in the project.

Metar, rawinsonde and climate observations were used in this research. Metar observations, which are measured by the meteorology department of airports, include ground values. Rawinsonde observations are high level values acquired by using balloons. Climate observations show ground values like metar observations and they are used for climate studies.

Climate observations include pressure, min-max temperature difference, cloudiness, temperature, relative humidity, vapor pressure, wind speed, the amount of vaporization, rainfall, sun exposure and its duration.

The rawinsonde observations for Kayseri were needed while climate and metar observations were taken from the database. Rawinsonde observations are measured in eight centers in Turkey. The values of the surrounding cities of Samsun, Ankara, Adana, Diyarbakır and Erzurum were used to estimate Kayseri values, which have regional variation. At this point, nearest neighborhood, surface trend analysis and inverse distance weighting methods were tested on the data. It was tried to detect the method with minimum error, regarding one of the city’s values are not known at every turn and obtaining estimation for this city. The inverse distance weighting method was found as the most suitable for the data structure. The interpolation weights of neighboring cities were found as follows:

Samsun: 20%

Ankara: 24%

Adana: 30%

Diyarbakır: 14%

Erzurum: 12%

Rawinsonde observations include meteorological information recorded at different atmospheric pressures, in other words, at different height levels. Such basic levels as 1000 mb, 850 mb, 700 mb, 500 mb, 400 mb, 300 mb, 200 mb and 100 mb are included in the database. The data between 1000 mb-300 mb levels were used in this study since 1000 mb-300 mb is the flying zone and no meteorological events occur above 20000 feet.

The data of different height levels are named as follows:

PRES: Atmospheric pressure (HPa)

HGHT: Height (mt)

TEMP: Temperature (°C)

DWPT: Dew temperature (°C)

RELH: Relative humidity (%)

MIXR: Mix ratio (gr/kg)

DRCT: Wind direction (degree)

SKNT: Wind speed (knot)

THTA: Potential temperature (Kelvin)

THTE: Equivalent potential temperature (Kelvin)

THTV: Virtual potential temperature (Kelvin)

Some meteorological parameters and indexes are used in the study while forming the rules for precipitation and thunderstorm. The explanations of these values are given as follows:

- Showalter Index (SSI): This is an index which reflects the stability/instability of the atmosphere. The lower the index value, the higher the probability of precipitation and thunderstorm occurring.

The calculation of this index value is given in Equation 1 and Table 1 shows the relationship between the SSI index and atmospheric instability condition.

$$SSI = T(500mb_{environment}) - T(500mb_{parcel}) \quad (1)$$

Table 1. Showalter Index value and instability condition

SSI Index Value	Instability Condition
>0	Stability
-3 and 0	Mid level instability
-6 and -4	High level instability
<-6	Ultra high level instability

- K Index (K): This is used with the TT index for the estimation of thunderstorm event. Generally, the higher the value of the K index, the higher the probability of thunderstorm and hail occurring.

The calculation of this index value is given in Equation 2.

$$K = T(850mb) + T_d(850mb) - T(500mb) - DD(700mb) \quad (2)$$

The variables in Equation 2 are as follows:

T: Temperature

T_d: Dew temperature

DD: Difference between temperature and dew temperature at the level of 700 mb.

Table 2 shows the relationship between K index and expected intensity of thunderstorm.

- Lifted Index (LI): This is used to determine atmospheric instability. There is a strong correlation between low levels of the index and bad weather conditions.

Calculation of this index value is given in Equation 3 and Table 3 shows the relationship between the LI index and atmospheric conditions.

$$LI = T(500mb_{environment}) - T(500mb_{parcel}) \quad (3)$$

Table 2. K Index value and expected thunderstorm power

K Index Value	Expected Thunderstorm Power
≤ 30	Low
30-40	Medium
≥ 40	High

Table 3. Lifted Index value and atmospheric conditions

Lifted Index Value	Atmospheric Condition
>0	Stability
-3 and 0	Low level instability
-6 and -3	Mid level instability
-9 and -6	High level instability
<-9	Ultra high level instability

- Vertical Totals Index (VT): This gives the vertical difference between the temperatures at 850 mb and 500 mb.

The calculation of this index value is given in Equation 4.

$$VT = T(850mb) - T(500mb) \quad (4)$$

The probability of heavy storm is high if the VT value is higher than 28.

- Total Totals Index (TT): This is used for the estimation of thunderstorm.

The calculation of this index value is given in Equation 5 and Table 4 shows the relationship between the TT index value and thunderstorm estimation.

$$TT = T(850mb) + T_d(850mb) - 2[T(500mb)] \quad (5)$$

Table 4. Totals Totals Index value and thunderstorm estimation

TT Index Value	Thunderstorm Estimation
45-50	Probable Thunderstorm
50-55	Highly Probable Thunderstorm
55-60	Very Highly Probable Thunderstorm

- Cross Totals Index (CT): This is used for the estimation of thundery rain and thunderstorm.

The calculation is given in Equation 6 and Table 5 shows the relationship between the CT index value and the potential for heavy atmospheric events.

$$CT = T_d(850mb) - T(500mb) \quad (6)$$

- CAPE Index (Convective available potential energy): CAPE is the measure of the amount of energy available for convection

The calculation of this index value is given in Equation 7.

$$CAPE = g \int_{Z_{LFC}}^{Z_{EL}} \left(\frac{T_{vp} - T_{ve}}{T_{ve}} \right) dz \quad (7)$$

The symbols in this equation are as follows:

g: gravity acceleration,

Z_{EL} : height of equivalence level as meter,

Z_{LFC} : height of free convection level as meter,

v: virtual temperature,

p: parcel,

e: environment.

Table 5. Cross Totals Index value and heavy atmospheric events estimation

CT Index Value	Atmospheric Conditions Estimation
<18	Low potential for thundery rain
18-19	Middle potential for thundery rain
20-21	High potential for thundery rain
22-23	Low potential for heavy thundery rain
24-25	Middle potential for heavy thundery rain
>25	High potential for heavy thundery rain

Table 6 shows the relationship between the CAPE index value and instability analysis of atmosphere.

Table 6. CAPE value and instability

CAPE Value	Instability Analysis
0-500	Low level instability
500-1500	Mid level instability
1500-2500	High level instability
2500 +	Ultra high level instability

The difference or superiority between the CAPE index and other instability indexes like K or Lifted is that CAPE evaluates not only one level but all levels together.

- CIN Index (Convective Inhibition): This is a numerical measure in meteorology that indicates the amount of energy that will prevent an air parcel from rising from the surface to the level of free convection.

The calculation of this index value is given in Equation 8.

$$CIN = g \int_{Z_{SFC}}^{Z_{LFC}} \left(\frac{T_{vp} - T_{ve}}{T_{ve}} \right) dz \quad (8)$$

The symbols in this equation are as follows:

g: gravity acceleration

Z_{SFC} : height of ground level in meters.

Z_{LFC} : height of free convection level in meters.

v: virtual temperature

p: parcel,

e: environment.

If CIN is less than 25, the air has the potential to form a tornado. If CIN is more than 100, a thunderstorm event cannot occur unless serious instability exists.

- Dew point (Td): This is the temperature at which the water vapor in a sample of air at constant pressure condenses into liquid water at the same rate at which it evaporates.

- LCL (Lifting Condensation Level): The condensation level is the level at which water vapor turns into water driblets when the air parcel moves up. The closeness of LCL level to the ground and the effect of 0-1 km vertical wind increase the potential of tornado event.

Table 7 shows the relationship between LCL and the potential for tornado.

Table 7. Lifting condensation level and tornado potential

LCL	Tornado Potential
>1500	Low
1250-1499	Medium
1000-1249	High
<1000	Very High

- Equilibrium Level (EL): The height at which the temperature of the moving air parcel is equal to the temperature of the environment.
- Precipitable Water (PW): This parameter shows the total humidity of the troposphere.

The calculation of PW value is given in Equation 9.

$$PW = (dP * w)/98 \tag{9}$$

The symbols in Equation 9 are as follows:

dP: pressure difference between any two levels

w: mix ratio

Table 8 shows the relationship between PW value and humidity level.

Table 8. Precipitable water and humidity analysis

PW Value (mm)	Humidity Analysis
≤ 12	Very low level humidity
13-37	Low level humidity
38-43	Mid level humidity
44-50	High level humidity
≥ 51	Very high level humidity

Experts state that new attributes should be added to the attribute set. These new attributes are as follows: temperature differences between pressure levels, height differences between 1000mb ground level and other pressure levels and the difference between 1000 mb ground level temperature and 1000 mb ground level dew temperature.

The aim of the analysis is to determine the parameters that affect precipitation, fog and thunderstorm events and establish rules for the forecasting of these meteorological events.

2.3. Method

In this study, classification models in data mining techniques are used. Classification is the separation of data in accordance with the common features. In this process, initially, classification rules are set up by using

a part of the data for training. At the following stage, the obtained rules are analyzed on the test data. If successful results are obtained, these rules are used for future forecasts. Decision trees are preferred because the dependent attributes that will be forecasted have categorical futures. This preference can be related to simplicity of configuration and understanding [22].

Decision trees are similar to flow charts. Each quality is symbolized by one node. The components of a tree structure are the leaves and branches. Each node is separated into branches taking the classification criteria into consideration. The groups obtained by this separation are leaves [23].

Many algorithms have been developed for building decision trees. These algorithms differ from each other in the way that they use for the selection of root, node and branching criteria. We found that the ID3 and C4.5 algorithms, which use the entropy concept as branching criteria, were very suitable for our data set.

The ID3 is a mathematical algorithm used to set up decision trees. It was developed by J. Ross Quinlan in 1979 and based on Shannon’s information inquiry. It is predicated on entropy in the selection of most suitable attributes for classification.

The advanced algorithm of ID3 developed by Quinlan is C4.5. The classification of numeric attributes, which cannot be done by ID3, can be managed by C4.5. Moreover, it is useful when an inadequate dataset is used. Thus, it is possible to set up trees that have more sensitive and meaningful rules.

2.4. Data Mining Process

2.4.1. Data preprocessing

Data cleaning, data integration, data transformation and attributes selection are the basic steps of preprocessing.

In the study, the database used doesn’t include any noisy data and the data are recorded with similar units. This reduced the time for preprocessing. The edit section of the Explorer/Preprocess screen in the WEKA packet program provides ordering for the selected attributes. This ordering operation is fulfilled for all the attributes in the data set and thereby it is controlled if the attribute has contrary values or not.

Attributes selection is the stage in which features that will be included in the model are selected. It makes the modeling process simpler and faster.

Various algorithms with different attribute sets are tested and the aim is to maximize the performance level in model forming. Different algorithms in the “Select Attributes” screen are tried in this stage. The aim is to select the most effective parameters among 10 units of features in climate observations, 66 units of sample level features in metar and rawinsonde observations, 11 units of new added attributes and 12 units of meteorological indexes.

Table 9 shows the accuracy rates of the fog modeling algorithms with different attribute selection approaches. As seen in Table 9, the highest accuracy rate is reached

with the “Wrapper” attributes selection method when fog forecasting algorithms are used. The basic attributes are given in Table 10.

Table 11 shows the accuracy rates of the thunderstorm modeling algorithms with different attribute selection approaches. As seen in Table 11, the highest accuracy rate is reached with the “Info Gain” attributes selection method when thunderstorm forecasting algorithms are used. The basic attributes are given in Table 12.

Table 9. Accuracy rates of fog modeling algorithms with different attribute selection methods

Accuracy Rates	Modeling Algorithms					
Attribute selection Method	Simpl eCAR T	Ridor	Random Tree	J48	Naive Bayes	K Star
GainRatio	75.1	79.9	82.2	87.7	54.4	77.9
One R	80	79.1	82.5	73.9	62.8	62.1
Wrapper	84.8	81.8	85.4	89.9	78.8	79.7
CFS	68.3	78.6	75.6	80	72.2	54.7
InfoGain	58.1	72.3	65.6	84.7	68.1	67.9

Table 10. Basic attributes of fog forecasting model

Attribute Code	Attribute Definition	Unit	Included Attribute Selection Algorithms
CBL	Cloud base level	feet	GainRatio, Wrapper, One R
TEMPDF (850mb-1000mb)	Temperature difference between 850 mb and 1000 mb levels	°C	InfoGain, Wrapper, One R
SKNT (1000mb)	Wind speed at 1000 mb level	knot	Wrapper, CFS
TEMPDW PTDF (1000mb)	Difference between temperature and dew temperature at 1000 mb level	°C	Wrapper, One R

Table 11. Accuracy rates of thunderstorm modeling algorithms with different attribute selection methods

Accuracy Rates	Modeling Algorithms				
Attribute Selection Method	Simple CART	ZeroR	Random Tree	J48	Decision Stump
InfoGain	93	91	91.4	97.8	89.6
GainRatio	90	87.6	90.2	94.4	82.2
Wrapper	89.9	88.2	90.3	93.5	86.3
CFS	92.3	89.3	90.5	96.1	88.1
One R	88.8	90.1	91.2	92.3	88.2

Table 12. Basic attributes of thunderstorm forecasting model

Attribute Code	Attribute Definition	Unit	Included Attribute Selection Algorithms
K	K Index value	°C	InfoGain, GainRatio, CFS
CAPE	CAPE Index value	J/kg	InfoGain, GainRatio, Wrapper, CFS, One R

Table 13 shows the accuracy rates of the precipitation modeling algorithms with different attribute selection approaches. As seen in Table 13, the highest accuracy rate is reached with the “Wrapper” attributes selection method when precipitation forecasting algorithms are used. The basic attributes are given in Table 14.

Different attributes selection approaches were tested for the forecast of precipitation type. Selected attributes with these approaches and the comparison of accuracy rates of models are given in Table 15. As seen in Table 15, the highest accuracy rate is reached with the “Wrapper” attributes selection method when precipitation type forecasting algorithms are used. The basic attributes are given in Table 16.

Table 13. Accuracy rates of precipitation modeling algorithms with different attribute selection methods

Accuracy Rates	Modeling Algorithms				
Attribute Selection Method	Simple CART	Random Tree	ZeroR	J48	Ridor
InfoGain	91.1	87.2	84.2	82.2	80.4
GainRatio	88.7	87.4	80.3	82.3	79.8
Wrapper	92.5	88.7	87.3	83.1	81.6
CFS	89.9	88.1	85.5	81.1	79.3
OneR	90.1	87.8	86.3	80.9	80.2

Table 14. Basic attributes of precipitation forecasting model

Attribute Code	Attribute Definition	Unit	Included Attribute Selection Algorithms
CBL	Cloud base level	feet	InfoGain, GainRatio, Wrapper, One R
RELH(700mb)	Relative humidity at 700 mb level	%	GainRatio, Wrapper

Table 15. Accuracy rates of precipitation type modeling algorithms with different attribute selection methods

Accuracy Rates	Modeling Algorithms					
	Simple CART	ZeroR	Random Tree	J48	Naive Bayes	K Star
Attribute Selection Method						
InfoGain	82.1	80.1	84.3	90.5	89.2	84.4
CFS	80.8	79.8	86.9	90.2	90.2	83.2
Wrapper	85.1	82	86.9	92	90.5	85.4
Filtered Att. E.	83.2	81.4	86.8	90.2	90.6	82.2
OneR	79.9	80.6	85.4	91.1	86.5	85.1

Table 16. Basic attributes of precipitation type forecasting model

Attribute Code	Attribute Definition	Unit	Included Attribute Selection Algorithms
CAPE	CAPE index value	J/kg	InfoGain, Wrapper, CFS
PW	Precipitable water	mm	InfoGain, Wrapper, CFS, One R
CBL	Cloud base level	feet	InfoGain, GainRatio, WrapperOne R
HGHTDF (500mb-1000mb)	Height difference between 500 mb and 1000 mb levels	mt	Wrapper
TEMP (850mb)	Temperature at 850 mb level	°C	GainRatio, Wrapper
TEMP (700mb)	Temperature at 700 mb level	°C	InfoGain, Wrapper
TEMP (500mb)	Temperature at 500 mb level	°C	Wrapper

2.4.2. Classification Analysis and Rule Mining

Different classification algorithms in the WEKA program were tested for fog, precipitation and thunderstorm events after data preprocessing. Rules were formed using with the most successful algorithms.

The parameter values of the compared algorithms are the default values of the program. A 10 fold cross validation test was used for the accuracy comparison. This method divides the data set into 10 equal size parts. Of these 10 parts, a single part is retained as the validation data for testing the model, and the remaining nine parts are used as training data. The cross-validation process is then repeated 10 times, with each of the 10 parts used exactly

once as the validation data. This decision is taken via trial and error after an iterative deepening search.

The outputs provided by WEKA for the evaluation of classification algorithms results are as follows:

Confusion matrix: This reflects the success level of test results. The rows in this matrix show the current number of samples in the test data and the columns show the forecast of the model as seen in Table 17.

Table 17. Confusion Matrix

		Estimated Class	
		Class = 1	Class = 0
Real Class	Class = 1	TP	FN
	Class = 2	FP	TN

Accuracy, true positive rate, false positive rate, precision, recall and F measure are the criteria of the confusion matrix. They take values between 0 and 1. The model performance increases when they are close to 1 [24].

Accuracy: This is the rate of the correct classified number over the total number of sample numbers. It is known as the simplest and most popular method in model performance evaluation. The calculation is shown in Equation 10.

$$AccuracyRate = (TP + TN)/(TP + TN + FP + FN) \tag{10}$$

True positive rate (TP): This shows the percentage of samples assigned to a class by the algorithm which truly belongs to that class.

False positive rate (FP): This shows the percentage of samples assigned to a class by the algorithm which doesn't truly belong to that class.

True negative rate (TN): This shows the percentage of samples not assigned to a class by the algorithm which doesn't truly belong to that class.

False negative rate (FN): This shows the percentage of samples not assigned to a class by the algorithm which truly belongs to that class.

Precision: This is the percentage of truly classified positive sample number over positively classified sample number. The calculation is shown in Equation 11.

$$Precision = TP/(TP + FP) \tag{11}$$

Recall: This is the rate of the correct classified positive sample number over positive sample number. The calculation is shown in Equation 12.

$$Recall = TP/(TP + FN) \tag{12}$$

F Measure: This is the harmonic mean of precision and recall. It gives more reliable results regarding these two criteria. The calculation is shown in Equation 13.

$$F - Measure = (2 * Precision * Recall)/(Precision + Recall) \tag{13}$$

Cloud base level, TEMPDF(850mb- 1000mb), SKNT(1000mb) and TEMPDWPTDF(1000mb) are the attributes selected as input parameters by data preprocessing and they are used in fog forecasting models. The output parameter is fog event. The aim is to find the rules which explain the relationship between the input and output parameters. In the WEKA program, different classification algorithms were analyzed and the results of more successful ones are compared in Table 18.

Precision, recall and F measure criteria are transferred to this table based on the weighted average numbers that are given in the algorithm result tables. It was found that J48 is the most successful decision tree algorithm for fog analysis according to both accuracy rate and F measure criteria. The rule obtained from this algorithm is shown in Table 19.

Meteorology experts state that improved rules can be generalized for estimation. There should be enversion for fog event. Enversion is the increase in temperature instead of decrease when moving up in the atmosphere. Fog event occurs related to the increase in temperature by height because of vapor. Furthermore, air temperature and dew temperature should be close. Wind is a parameter which prevents fog events and calm weather is ideal for this event. Fog can be defined as stratus cloud at ground level so it is important to detect the low cloud base level for fog forecast.

CAPE and K indexes are the attributes selected as input parameters by data preprocessing and they are used in thunderstorm forecasting models. The output parameter is the thunderstorm event. The aim is to find the rules which explain the relationship between the input and output parameters. Different classification algorithms in the WEKA program were analyzed and the more successful ones are compared in Table 20.

Precision, recall and F measure criteria are transferred to this table based on the weighted average numbers that are given in the algorithm result tables. It was found that J48 is the most successful decision tree algorithm for thunderstorm analysis according to both accuracy rate and F measure criteria. The rule obtained from this algorithm is understandable to the user and is given in Table 21.

Meteorology experts state that CAPE and K indexes can reflect the instability of atmosphere. The K index is based on the difference between temperature and dew temperature at different pressure levels. The higher the K index , the more potential of precipitation occurring. CAPE is the measure of the amount of energy available for convection. Due to the fact that CAPE has positive values, it shows the potential of vertical movement of an air parcel and the possibility of precipitation. The basic threshold value of this index is 300 and the other threshold values are 1000, 2500 and 3500. As the index value increases, the potential of thunderstorm event increases, too.

Table 18. Efficiency rates of classification algorithms for fog analysis

Algorithms	Truly Classified Sample Number	Accuracy Rate	Precision	Recall	F-Measure
Simple CART	13286	0.867	0.984	0.867	0.917
Ridor	12605	0.822	0.982	0.822	0.892
Random Tree	13294	0.868	0.986	0.867	0.923
J48	13870	0.905	0.983	0.905	0.939
Naive Bayes	12188	0.795	0.979	0.795	0.874
KStar	12226	0.797	0.979	0.797	0.876

Table 19. Obtained rule for fog analysis

Algorithm	Obtained Rule for Fog Analysis
J48	If CBL> 700 then FOG = NO. If CBL≤700 and TEMPDF(850mb-1000mb) >0 and SKNT(1000mb) <3 and TEMPDWPTDF(1000mb) < 1 then FOG = YES.

Table 20. Efficiency rates of classification algorithms for thunderstorm analysis

Algorithms	Truly Classified Sample Number	Accuracy Rate	Precision	Recall	F-Measure
Simple CART	14260	0.930	0.97	0.929	0.944
ZeroR	13958	0.91	0.97	0.91	0.931
RandomTree	14020	0.914	0.966	0.914	0.933
J48	14997	0.978	0.976	0.978	0.977
Decision Stump	13744	0.896	0.967	0.896	0.922

Table 21. Obtained rule for thunderstorm analysis

Algorithm	Obtained Rule for Thunderstorm Analysis
J48	If K>24 and CAPE>300 then THUNDERSTORM=YES

Cloud base level and RELH(700mb) are the attributes selected as input parameters and are used when developing precipitation forecasting models. The output parameter is the precipitation event. The aim is to find the rules which explain the relationship between the input and output parameters. Different classification algorithms in the WEKA program were analyzed and the more successful ones are compared in Table 22.

Precision, recall and F measure criteria are transferred to this table based on the weighted average numbers that are given in the algorithm result tables. The evaluation was done by using the values of 15330 days. It was found that SimpleCART is the most successful decision tree algorithm for precipitation analysis with 14186 truly classified sample numbers. The rule obtained by following nodes is given in Table 23.

Table 22. Efficiency rates of classification algorithms for precipitation analysis

Algorithms	Truly Classified Sample Number	Accuracy Rate	Precision	Recall	F-Measure
Simple CART	14186	0.925	0.926	0.925	0.925
RandomTree	13603	0.887	0.886	0.887	0.886
ZeroR	13391	0.873	0.876	0.873	0.873
J48	12743	0.831	0.844	0.831	0.833
Ridor	12512	0.816	0.831	0.816	0.819

Table 23. Obtained rule for precipitation analysis

Algorithm	Obtained Rule for Precipitation Analysis
SimpleCART	If CBL \geq 3000 then PRECIPITATION = NO If CBL<3000 and RELH (700mb)>70 then PRECIPITATION = YES.

Meteorology experts agree that cloud base level and humidity level are considered as the basic parameters for precipitation. Rainfall doesn't occur when the cloud base level is over 3000. Rainfall is developed in low and middle level clouds. The potential of rainfall increases as the cloud base level decreases. One of the necessary parameters for the occurrence of rainfall is low and high level humidity. The vertical movement of an air parcel is related to middle level humidity. For rainfall development, humidity plays an important role. At 700 mb its threshold value is 65-70%.

Cloud base level, CAPE, PW, HGHTDF (500mb-100mb), TEMP (800mb), TEMP (700mb) and TEMP (500mb) are the attributes selected as input parameters by data preprocessing and they are used in precipitation type forecasting models. The output parameter is the precipitation event type which includes rain, snow and hail categories. Our main aim here is to find the rules which explain the relationship between input and output parameters. Different classification algorithms in the WEKA program were analyzed and the most successful ones are compared in Table 24. There are 5844 days in which precipitation occurred and these data are used for testing.

Precision, recall and F measure criteria are transferred to this table based on the weighted average numbers that are given in the algorithm result tables. It was found out that J48 is the most successful decision tree algorithm for the analysis of precipitation events type, according to both accuracy rate and F measure criteria. The rule obtained from this algorithm is understandable to the user and is given in Table 25.

Table 24. Efficiency rates of classification algorithms for precipitation type analysis

Algorithms	Truly Classified Sample Number	Accuracy Rate	Precision	Recall	F-Measure
Simple CART	4973	0.851	0.895	0.850	0.866
ZeroR	4789	0.820	0.834	0.820	0.824
Random Tree	5082	0.869	0.897	0.871	0.878
J48	5379	0.920	0.946	0.920	0.929
Naive Bayes	5290	0.905	0.920	0.905	0.908
KStar	4993	0.854	0.879	0.854	0.863

Table 25. Obtained rule for precipitation type analysis

Algorithm	Obtained Rule for Precipitation Type Analysis
J48	<p>If CBL<3000 and HGHTDF(500mb-1000mb)\leq5400 or TEMP (850mb)<1 or TEMP(500mb)<-22 then PRECIPITATION =RAIN.</p> <p>If CBL<3000 and HGHTDF(500mb-1000mb)\leq5400 and TEMP (850mb)<1 and TEMP(500mb)<-22 then PRECIPITATION = SNOW.</p> <p>If CAPE>2000 and PW>38 and TEMP(700mb)<1 then PRECIPITATION = HAIL.</p>

The meteorology experts state that these rules can be generalized. Precipitation doesn't occur when the cloud base level is higher than 3000 feet. Snow occurs when the temperature at 850mb level is less than 1°C and the temperature at 500mb level is less than -22°C. Hail occurs if the temperature at 700mb level falls below 1°C and the CAPE index value exceeds the critical threshold value 2000.

2.4.3. Rules Assessment with New Data

The data used in the classification algorithms included 15330 days' values obtained between the years 1970 and 2012. A new data set was used to confirm the accuracy and validity of the forecasting rules attained with the former data set. For this purpose, estimations were made using the data of November 2016 and January 2017. The accuracy rates of the Kayseri Office of the Turkish State

Meteorological Service regarding these meteorological events were obtained from the forecasting and warning center authoritative. The comparisons of results among the estimations, real meteorological events and estimates of the Kayseri Regional Office are as follows:

- Fog event occurred on 42 days out of 61 days of observation. Fog on 40 days was correctly estimated by the obtained rules. Fog didn't occur on 19 of 61 days of observation. Of these 19 days, estimation was correct on 14 days. The fog analysis had a success rate of 89%. The accuracy rate of fog event obtained by the Kayseri Regional Office was observed as 85% for these two months.
- Thunderstorm event didn't occur during the 61 days of observation. All estimations were totally correct. The thunderstorm analysis had a success rate of 100%. The accuracy rate of thunderstorm event obtained by the Kayseri Regional Office was observed as 100% for these two months.
- Precipitation event occurred on 18 of 61 days of observation. It was correctly estimated on 16 days by the obtained rules. Precipitation event didn't occur on 43 of 61 days of observation. Of these 43 days, estimation was correct on 39 days. The precipitation analysis had a success rate of 90.2%. The accuracy rate of precipitation event obtained by the Kayseri Regional Office was observed as 89.1% for these two months.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Risk is a factor that must be minimized to the lowest degree for the aviation sector. For this reason, decisions should be taken according to meteorological information. Understanding meteorological events is only possible with the observation of many parameters which are related to each other. Previous mass data should be overviewed for the future forecast. Expert opinions are also necessary in the analysis process. At this point, it is believed that data mining makes a great contribution to the analysis of mass data and it increases the rate of accuracy and speed.

This study aims at revealing the correlation between meteorological parameters that affect aviation and finding rules by classification. The basic benefits of the study are the usage of high level values without maps and expert opinion, obtaining the local forecast for Kayseri Erkilet Airport and mining rules for the estimation of fog, precipitation and thunderstorm events.

The user can simply understand and interpret these rules. They can be used for future forecasts without expert opinion.

The study proves that data mining is a suitable method for meteorological data analysis. Rules may be formed for other different meteorological events by enlarging the concept of analysis in future studies.

REFERENCES

- [1] Hand D., Mannila H. and Smyth P., "Principles of data mining", *The Mit Press*, England, (2001).
- [2] Akpınar H., "Veri tabanlarında bilgi keşfi ve veri madenciliği", *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, 29: 1-22, (2000).
- [3] Han J. and Kamber M., "Data mining: concepts and techniques", *Morgan Kaufmann Publishers*, USA, (2001).
- [4] Fayyad U., Piatetsky-Shapiro G. and Smyth P., "From data mining to knowledge discovery in databases", *American Association for Artificial Intelligence*, 37-54, (1996).
- [5] Özkes S., "Veri madenciliği modelleri ve uygulama alanları", *İstanbul Ticaret Üniversitesi Dergisi*, 4: 65-82, (2003).
- [6] Allen G. and LeMarchall J., "An evaluation of neural networks and discriminant analysis methods for application in operational rain forecasting", *Australian Meteorological Magazine*, 43: 17-28, (1994).
- [7] McGullagh J., Choi B. and Bluff K., "Genetic evolution of a neural networks input vector for meteorological estimations", *ICONIP'97*, New Zealand 1046-1049, (1997).
- [8] Stern H. and Parkyn K., "Predicting the likelihood of fog at Melbourne Airport", *8th Conference on Aviation, Range and Aerospace Meteorology*, American Meteorological Society, Dallas, 174-178, (1999).
- [9] Mitsukura Y., Fukumi M. and Akamatsu N., "A design of genetic fog occurrence forecasting system by using LVQ network", *Proc. of IEEE SMC'2000*, USA, 3678-3681, (2000).
- [10] Trafalis T. B., Richman M. B. and A. White A., "Data mining techniques for improved WSR-88D rainfall estimation", *Computers & Industrial Engineering*, 43: 775-786, (2002).
- [11] Solomatine D. and Dulal K. N., "Model trees as an alternative to neural networks in rainfall—runoff modelling", *Hydrological Sciences Journal*, 48: 399-411, (2003).
- [12] Lee R. and Liu J., "iJADEWeatherMAN: A weather forecasting system using intelligent multiagent-based fuzzy neuro network", *IEEE Transactions On Systems, Man and Cybernetics – Part C: Applications and Reviews*, 34: 369-377, (2004).
- [13] Jareanpon C., Pensuwon W. and Frank R. J., "An adaptive RBF network optimised using a genetic algorithm applied to rainfall forecasting", *International Symposium on Communications and Information Technologies 2004 (ISCK 2004)*, 1005-1010, Japan, (2004).
- [14] Suvichakorn A. and Tatnall A., "The application of cloud texture and motion derived from geostationary satellite images in rain estimation—A study on mid-latitude depressions", *Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 1682-1685, (2005).
- [15] Banik S., Anwer M., Khan K., Rouf R. A. and Chanchary F. H., "Neural network and genetic algorithm approaches for forecasting Bangladeshi monsoon rainfall", *Proceedings of 11th International Conference on*

- Computer and Information Technology (ICCIT 2008)*, Khulna-Bangladesh, 735-740, (2008).
- [16] Pan X. and Wu J., “Bayesian neural network ensemble model based on partial least squares regression and its application in rainfall forecasting”, *2009 International Joint Conference on Computational Sciences and Optimization*, Chine, 49-52, (2009).
- [17] Aktaş C. and Erkuş O., “Lojistik regresyon analizi ile Eskişehir’in sis kestirimini incelenmesi”, *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 16: 47-59, (2009).
- [18] Bartok J., Habala O., Bednar P., Gazak M. and Hluchy L., “Data mining and integration for predicting significant meteorological phenomena”, *Procedia Computer Science*, 1: 37-46, (2010).
- [19] Zazzaro G., Pisano F. M. and Mercogliano P., “Data mining to classify fog events by applying cost-sensitive classifier”, *2010 International Conference on Complex, Intelligent and Software Intensive Systems*, Poland, (2010).
- [20] Wu J., “An effective hybrid semi-parametric regression strategy for artificial neural network ensemble and its application rainfall forecasting”, *2011 Fourth International Joint Conference on Computational Sciences and Optimization*, China, 1324-1328, (2011).
- [21] Lee S. E. and Seo K. H., “The development of a statistical forecast model for Changma”, *Weather and Forecasting*, 28: 1304-1321, (2013).
- [22] Agrawal R., Imielinski T. and Swami A., "Mining associations between sets of items in large databases", *ACM SIGMOD Int'l Conf. on Management of Data*, Washington D.C., 207-216, (1993).
- [23] Giudici, P., “Applied data mining statistical methods for business and industry”, *John Wiley&Sons Ltd.*, England, (2003).
- [24] Baykal A. and Coşkun C., “Veri madenciliğinde sınıflandırma algoritmalarının bir örnek üzerinde karşılaştırılması”, *Akademik Bilişim*, Malatya, <http://ab.org.tr/ab11/bildiri/67.pdf>, (2011).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

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



Bir askeri hizmet taşıtında kullanılan parabolik yaprak yayın yay karakteristiğinin doğrusal olmayan sonlu elemanlar analizi yardımıyla belirlenmesi

Determinaton of the spring characteristic of a parabolic leaf spring used in a military vehicle by using non-linear finite element analysis

Yazar(lar) (Author(s)): Mehmet Murat TOPAÇ¹, İlker BAHAR²

ORCID¹: 0000-0002-7462-1796

ORCID²: 0000-0002-5636-6031

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Topaç M. M., Bahar İ., “Bir askeri hizmet taşıtında kullanılan parabolik yaprak yayın yay karakteristiğinin doğrusal olmayan sonlu elemanlar analizi yardımıyla belirlenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 22(1): 115-120, (2019).

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

DOI: 10.2339/politeknik.389639

Bir Askeri Hizmet Taşıtında Kullanılan Parabolik Yaprak Yayın Yay Karakteristiğinin Doğrusal Olmayan Sonlu Elemanlar Analizi Yardımıyla Belirlenmesi

Araştırma Makalesi / Research Article

Mehmet Murat TOPAÇ^{1*}, İlker BAHAR²

¹Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Dokuz Eylül Üniversitesi, Türkiye

²Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Dokuz Eylül Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 09.11.2017 ; Kabul/Accepted : 12.01.2018)

ÖZ

Dört tekerlekten çekişli çok amaçlı bir hizmet taşıtının sabit ön süspansiyonunda kullanılan parabolik yaprak yayların yük-şekil değişimi karakteristiği, doğrusal olmayan sonlu elemanlar analizi yardımıyla belirlenmiştir. Bu amaçla, taşıtın mevcut parabolik yaprak yaylarının ayrıntılı sonlu elemanlar modeli oluşturulmuş ve sistemin doğrusal olmayan sonlu elemanlar analizi gerçekleştirilmiştir. Bu şekilde yaprak yayın, düşey kuvvete bağlı şekil değişimi karakteristiği elde edilmiştir. Doğrusal olmayan sonlu elemanlar simülasyonundan elde edilen sonuçlar, düşey yükleme testi sonuçlarıyla oldukça uyumludur. Tekerleğin 146 mm'lik düşey yer değişiminde, sonlu elemanlar analizinden hesaplanan yay katsayısının, test sonuçlarından olan sapmasının, % 3,3 değerini aşmadığı belirlenmiştir. Çalışmanın son aşamasında, yay küpesinin yay karakteristiğine etkisi incelenmiştir. Sunulan uygulama yardımıyla, taşıt gövdesi için hedeflenen düşey titreşim frekansını sağlayacak yaprak yayın tasarım boyutlarının belirlenmesi mümkündür.

Anahtar Kelimeler: Parabolik yaprak yay, yay karakteristiği, taşıt süspansiyonu, doğrusal olmayan sonlu elemanlar analizi, bilgisayar destekli mühendislik.

Determinaton of the Spring Characteristic of a Parabolic Leaf Spring Used in a Military Vehicle by Using Non-Linear Finite Element Analysis

ABSTRACT

The load-deflection characteristic of the parabolic leaf springs used in the solid front suspension of a four-wheel-drive multi-purpose service vehicle is determined by using nonlinear finite element analysis. For this purpose, a detailed finite element model of the parabolic leaf springs of the vehicle was created and the non-linear finite element analysis of the system was carried out. By this way, vertical force-deflection characteristic of the leaf spring was obtained. Results obtained from the non-linear finite element simulation are in good agreement with the results of the vertical loading test. It was determined that the deviation between the spring coefficient obtained from the finite element analysis and the test results does not exceed 3.3% for 146 mm of the wheel travel. In the final stage of the work, the influence of shackle on the spring characteristic was investigated. By using the present application, it is possible to determine the leaf spring design dimensions that will provide the targeted vertical vibration frequency for vehicle body.

Keywords: Parabolic leaf spring, spring characteristic, vehicle suspension, non-linear finite element analysis, computer aided engineering.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

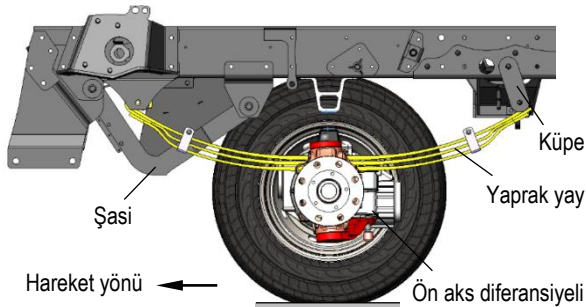
Yaprak yaylar; yüksek yük taşıma kapasiteleri, tekerlek temas noktasına tüm yönlerde etkiyen kuvvetleri karşılayabilmeleri, birden fazla bağlantı noktasına sahip olmaları, kuvvetleri şasiye daha düşük zorlama altında iletmeleri gibi avantajları nedenleriyle, sabit süspansiyon sistemine sahip taşıtların önemli bir bölümünde halen

uygulanmaktadır [1, 2]. Sabit süspansiyonlu bir genel maksat taşıtının ön aksı için örnek bir parabolik yaprak yay uygulaması, Şekil 1'de, yayın temel yapı elemanları ise Şekil 2'de verilmektedir. Yaprak yay uygulamada, bir ya da merkezleme pimiiyle birleştirilmiş birden fazla yay yaprağından oluşmaktadır. Katmanlar temel olarak, sürtünmeler ihmal edilirse, yük altında eğilmeye çalışmaktadır.

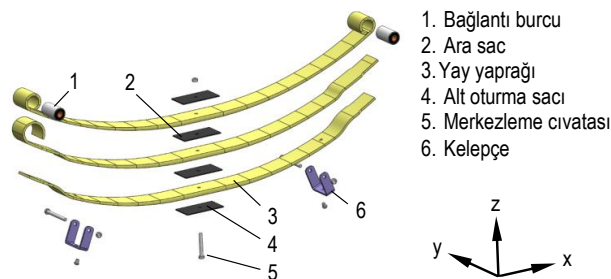
Taşıt süspansiyonunda kullanılacak yayın katsayısı ve amortisör sönüm değeri, gövdenin titreşim davranışını,

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : murat.topac@deu.edu.tr

dolayısıyla taşıtın konfor ve kontrol karakteristiklerini doğrudan etkileyen faktörlerdir. Bu nedenle de seçilecek yayın, tasarım aşamasında belirlenen yay katsayısı ihtiyacını karşılıyor olması gerekir. Sonlu elemanlar analizi yardımıyla, bu ihtiyaca uygun bir yayın tasarlanması mümkündür. Açık literatürde, parabolik yaprak yayların yay karakteristiğinin sonlu elemanlar yöntemi yardımıyla elde edilmesine ve sistemin bilgisayar destekli tasarımına ilişkin çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Qin ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada, Hotchkiss tipi sabit bir süspansiyonda kullanılan parabolik yaprak yay üzerinde oluşan gerilme ve şekil değişimini farklı yükleme koşulları için doğrusal olmayan sonlu elemanlar analizi yardımıyla incelemişler ve sayısal olarak elde ettikleri yay karakteristiğini test sonuçlarıyla karşılaştırmışlardır [3]. Kong ve arkadaşları, yayınladıkları çalışmalarında, parabolik tip bir yaprak yayın yükleme karakteristiğini, eksplisit doğrusal olmayan sonlu elemanlar yöntemiyle belirlemişlerdir [4]. Bhandarkar ve arkadaşları, arkadan motorlu bir taşıtın arka aks parabolik yaprak yayının tasarımını ve gerilme analizini sonlu elemanlar yöntemiyle gerçekleştirmişlerdir [5]. Literatürde sunulan çalışmalar genellikle, yayın süspansiyon sistemine ya da bir şasiye bağlanmadığı serbest durum için gerçekleştirilmiştir. Ancak yayın aks ve şasi bağlantılarının tipi; (yay oturma uzunluğu, yayın etkin yaylanma boyu ve yay küpesi) yayın karakteristiğini etkilemektedir [6].



Şekil 1. Bir genel maksat taşıtının sabit ön aksı (Solid front axle of a general purpose vehicle)



Şekil 2. Yaprak yayın yapı elemanları ve kullanılan eksen takımı (Structural elements of the leaf spring and the axis convention)

Bu çalışmada, parabolik yaprak yay karakteristiklerinin, doğrusal olmayan sonlu elemanlar analizi yardımıyla elde edilmesine yönelik örnek bir inceleme sunulmuştur.

Çalışmanın ilk aşamasında, mevcut bir askeri hizmet taşıtının ön aksında kullanılan parabolik yaprak yayın ayrıntılı katı modeli oluşturulmuştur. Daha sonra bu model, ANSYS® Workbench ticari sonlu elemanlar yazılımına aktarılmıştır. Yay bağlantı bölgeleri için gerekli sınır koşulları tanımlandıktan sonra, sistemin doğrusal olmayan sonlu elemanlar analizi gerçekleştirilmiş ve yükleme-şekil değişimi (F-δ) karakteristiği elde edilmiştir. Bu sonuçlar, aynı yayın yükleme testlerinden elde edilen karakteristikle doğrulanmıştır. Çalışma kapsamında ayrıca, etkin yay uzunluğunun (L_{ef}) ve serbest yay gözünün yaylanma sırasında taşıt boyuna eksenindeki hareketini mümkün kılan küpenin yay karakteristiğine etkileri de incelenmiştir. karşılaştırılmıştır.

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

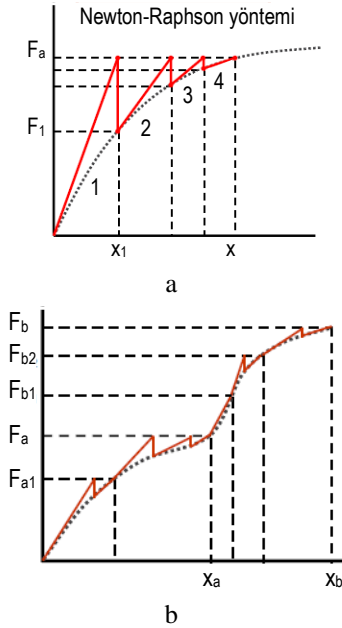
Elastik bir sisteme etkiyen kuvvet $\{F\}$ ve bunun oluşturduğu şekil (ya da yer) değişimi $\{u\}$ arasındaki doğrusal ilişki:

$$\{F\} = [K]\{u\} \quad (1)$$

şeklinde [7]. “Hooke Kanunu” olarak bilinen bu ifade $[K]$, yapının elastikiyetini temsil eden direngenlik matrisidir. Uygulamada ise sistemler, geometrik olarak ya da malzeme açısından doğrusal olmayan özellik gösterebilir. Ayrıca, artan şekil değişimine bağlı olarak temas yüzeylerinin birbirinden ayrılması veya yeni temas yüzeylerinin oluşması, incelenen yapının katılığını, dolayısıyla da $[K]$ matrisini değiştirmekte ve sistemi doğrusal olmayan hale getirmektedir. Sistemin yapısına göre, sayılan bu üç durumun, aynı anda ortaya çıkabilmesi mümkündür. Kuvvet etkisi altında, sistemde çok büyük şekil değişimleri ortaya çıkıyorsa, bu sistem geometrik olarak doğrusal olmayan özellikte kabul edilir.

Parabolik yaprak yayın yük altındaki şekil değişimi analizi de yukarıda sayılan durumları içerdiğinden, bu çalışmada doğrusal olmayan analizi uygulanmıştır. Doğrusal olmayan şekil değişimi etkisi, doğrusal denklem sistemlerinin bir araya getirilmesiyle oluşturulabilir. Denklem sistemlerinin çözümü ise iterasyonlar yardımıyla gerçekleştirilir [8]. ANSYS® sonlu elemanlar paketi, bu iterasyonları, Newton-Raphson algoritmasını kullanarak gerçekleştirmektedir. Çözüm sırasında gerçekleştirilen her iterasyon, “denge iterasyonu” olarak adlandırılır. Newton-Raphson metodunda, sisteme ilk olarak bir F_a kuvveti uygulanır. Daha sonra bu kuvvetin oluşturduğu şekil değişimi x_1 ve iç kuvvet (F_1) hesaplanabilir (Şekil 3.a). Eğer $F_a = F_1$ eşitliği sağlanamazsa, sistem dengede değildir. Bu durumda, o koşullar için yeni bir $[K]$ matrisi hesaplanır. Sistemin kararlı hale gelmesi için F_a ile F_1 arasındaki farkın, seçilen bir tolerans değerine kadar azaltılması gerekir. İterasyon, bu koşul sağlanan kadar sürer. Şekil 3.a’da görülen örnekte sistem, dört adet denge iterasyonu ile dengeye ulaşmaktadır. Problem

çözümlerinde yakınsamayı kolaylaştırmak amacıyla uygulanan kuvvetler ya da şekil değişimleri, kendi içinde parçalara bölünebilir. Bu parçalar, zamana bağlı olarak ya da alt adımlar şeklinde uygulanabilir. Şekil 3.b'de, problem çözümü için F_a ve F_b olmak üzere iki adet kuvvet adımı uygulanmıştır. F_a kuvveti, F_{a1} alt adımıyla uygulanırken, F_b kuvveti, F_{b1} ve F_{b2} alt adımlarıyla uygulanmıştır. Diyagram üzerinde, kırmızı ve siyah karakteristiklerin kesişim noktaları, problem çözümünde yakınsamanın sağlandığı değerleri göstermektedir. Kuvvet alt adımlarının, zamana bağlı olarak uygulanması da mümkündür.



Şekil 3. a. Newton-Raphson yönteminin şematik gösterimi b. Doğrusal olmayan analizi için kuvvet alt adımları [7, 8] (a. Schematic for Newton-Raphson method b. force substeps for non-linear finite element analysis)

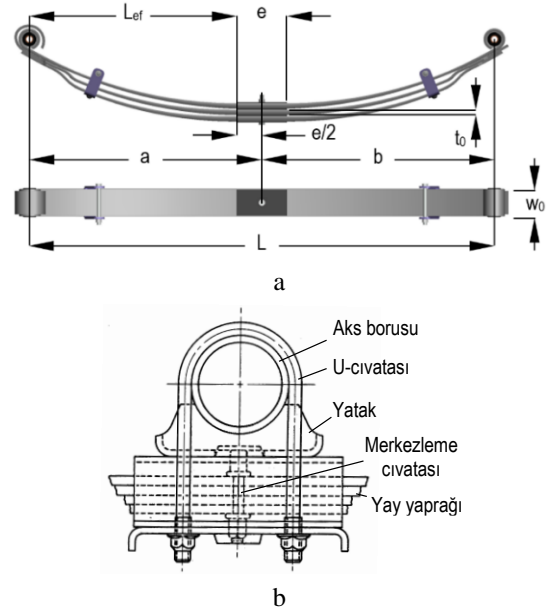
3. SONLU ELEMANLAR MODELİ (FINITE ELEMENT MODEL)

Çalışma kapsamında incelenen parabolik yaprak yayın, imalat resimleri yardımıyla oluşturulan katı modeli ve temel boyutları, Şekil 4.a'da verilmektedir. Oluşturulan katı model, toplam yirmi üç yapı elemanından oluşmaktadır (Şekil 2). Yay yaprağının merkezdeki kalınlığı, t_0 (mm):

$$t_0^3 = c_F \frac{4a^2b^2}{Ew_0L c_v} \quad (2)$$

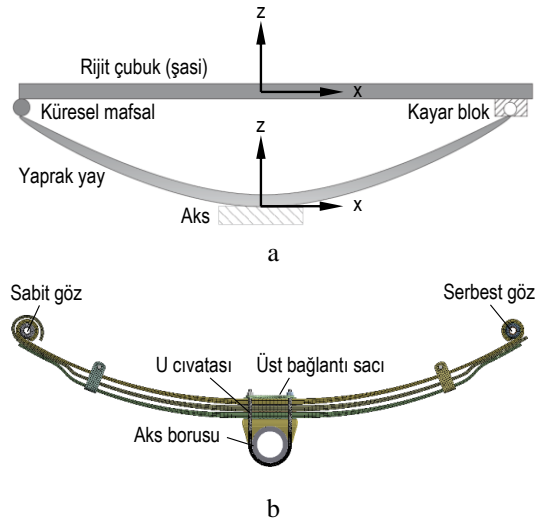
denklemleriyle verilmektedir. Burada, c_F , serbest halde yay katsayısı (N/mm), a ve b , sabit ve serbest gözlerin merkezleme civatası eksenine uzaklığı (mm), E , elastisite modülü, w_0 , yaprak genişliği (mm), L , yaprak yay boyu (mm), c_v , düşey yay katsayısı için faktör [6] şeklindedir. Yayın temel boyutları kullanılarak, yayın serbest durumdaki katsayısı hesaplanabilir. Yaprak yaylar uygulamada, sabit akslara, Şekil 4.b'de görülen U civataları ve diğer yardımcı yapı elemanları yardımıyla bağlanır. Bu bağlantı, yayın serbest yaylanan boyunu

(L_{ef}) kısaltmakta ve yay karakteristiğinin belirli ölçüde değişmesine neden olmaktadır. Buna ilave olarak, yay bağlantı küpesinin de (Şekil 1.b) yay katsayısı üzerinde %50'ye varan ölçüde etkisi olduğu literatürden bilinmektedir [6].



Şekil 4. a. Parabolik yaprak yayın boyutları b. yayın aks bağlantısı [6] (a. Dimensions of parabolic leaf spring b. axle mounting of the spring [6])

Yayın doğrusal olmayan sonlu elemanlar analizinde, Omar ve arkadaşları tarafından önerilen ve Şekil 5.a'da görülen sınır koşulları uygulanmıştır [9]. Ancak bu modelden farklı olarak, yayın taşıyıcı gövdesine bağlı sabit gözünde, küresel mafsalları yerine, yalnızca y ekseninde dönme serbestliği sağlayan döner mafsalları tanımlanmıştır. Hareketli göz ise x ekseninde boyunca y ekseninde serbest bırakılmıştır. Yaprak yayın sonlu elemanlar modeli Şekil 5.b'de görülmektedir.



Şekil 5. a. Yaprak yay için sınır koşulları [9] b. Sonlu elemanlar modeli (a. Boundary conditions for leaf spring [9] b. finite element model)

Sonlu elemanlar modelinin oluşturulmasında, genellikle doğrusal olmayan problemler için tercih edilen bir eleman tipi olan SOLID186 kullanılmıştır. Yirmi düğüm noktasına sahip bu kare eleman, yüksek dereceli yer değiştirme içeren sonlu elemanlar simülasyonlarına olanak sağlamaktadır. Yay malzemesine ait, elastisite modülü (E), Poisson oranı (ν), akma sınırı (R_p), çekme dayanımı (R_m) ve kopma uzaması (A) gibi temel mekanik değerler, Çizelge 1’de verilmektedir.

Düşey yükleme testini simüle etmek için $F= 17.000$ N değerindeki düşey kuvvet, sonlu elemanlar modeline, alt oturma sacından z ekseninde ve basamaklar halinde uygulanmıştır. Yer değişimi ve kuvvet için elde edilen iteratif yakınsama adımları, örnek olarak Şekil 6.a ve Şekil 6.b’de verilmektedir.

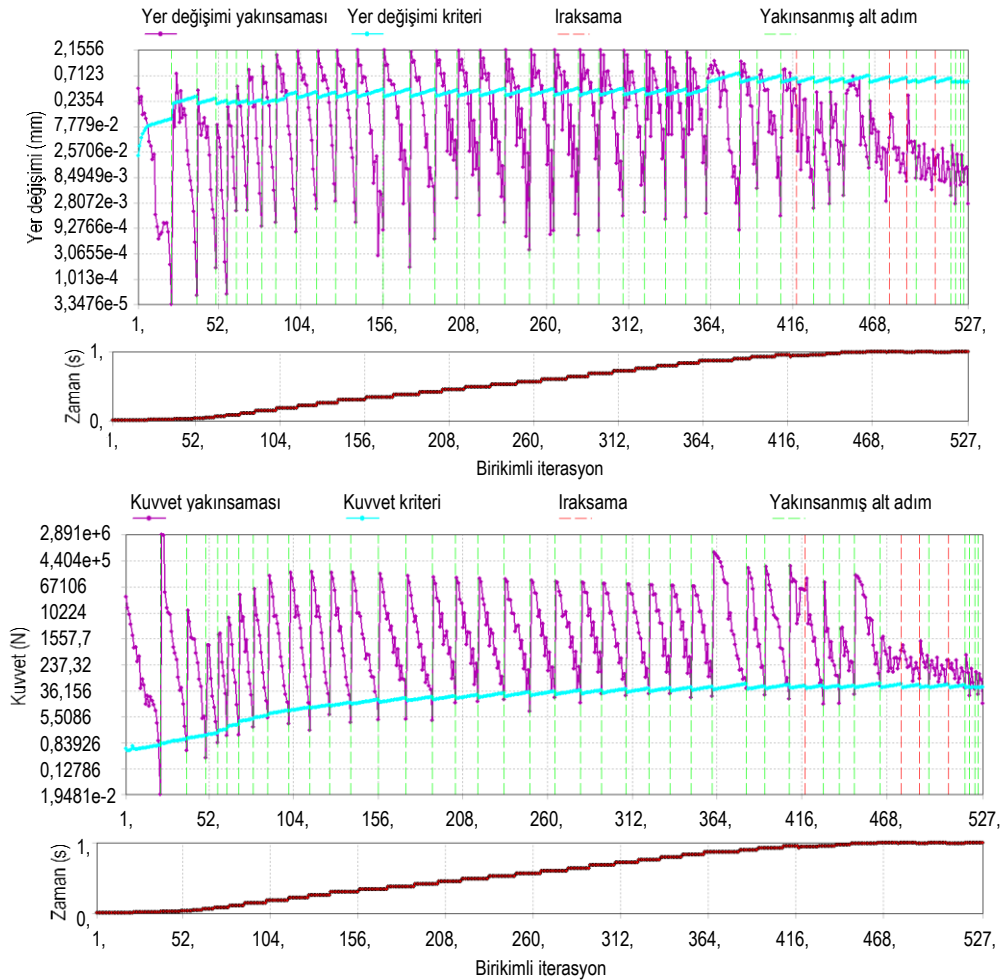
4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS and DISCUSSION)

Yaprak yayın, aksa bağlanmamış durumda ve $F= 17.000$ N değerinde düşey yük altında, 146 mm’lik düşey şekil değişimi simülasyonu, Şekil 7.a’da verilmektedir. Şekil 7.b’de ise Denklem 2’ye (SAE) göre hesaplanmış yay katsayısı ($c_F= F / \delta$) ve doğrusal olmayan sonlu elemanlar analizinden elde edilen yay karakteristiği (SE), üretilmiş yayın düşey yükleme testinden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmaktadır.

$z= 0-45$ mm düşey şekil değişimi (δ) aralığı için her üç karakteristik arasındaki fark, ihmal edilebilir düzeydedir. 100 mm’lik şekil değişimi için denklem 2’ye göre yapılan hesaplama ile test sonuçları arasında %5,7 fark olduğu görülmektedir. Yayın $z=146$ mm’lik düşey şekil değişimi aralığında, doğrusal olmayan sonlu elemanlar

Çizelge 1. 50CrV4 (DIN17221) Malzemesinin mekanik özellikleri [10] (Mechanical properties of 50CrV4 (DIN17221) [10])

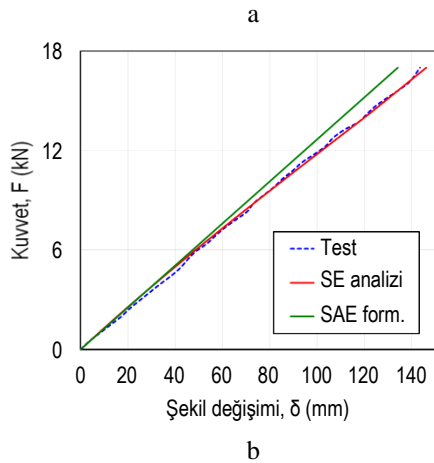
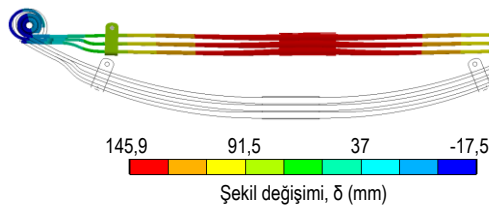
Malzeme	E (GPa)	ν (-)	R_p (MPa)	R_m (MPa)	A(%)
50CrV4 (1.8159)	210	0,3	1180	1370-1670	6



Şekil 6. Doğrusal olmayan sonlu elemanlar analizi için iterasyon adımları: a. yer değişimi b. kuvvet (iteration steps for non-linear finite element analysis: a. displacement b. force)

analizi yardımıyla elde edilen yay karakteristiğinin test sonuçlarından olan sapmasının, % 3,3 değerini aşmadığı belirlenmiştir.

Her üç yöntemden elde edilen yay katsayıları Çizelge 2’de karşılaştırılmaktadır. Buna göre doğrusal olmayan analizinden elde edilen ortalama yay katsayısı, test sonuçlarından %1 kadar saptmaktadır. SAE formülü için ise bu sapma %7,3 mertebesindedir. Ortaya çıkan bu sapmanın nedeni, Denklem 2’de, göz burçlarının elastik özelliğinin ve iç sürtünmelerin dikkate alınmaması olarak açıklanabilir. Üretim sırasında yay çeliğine uygulanan ısıl işlemin, elastisite modülü ve dolayısıyla da yay katsayısı üzerinde dikkate değer bir etkisi bulunmamaktadır.



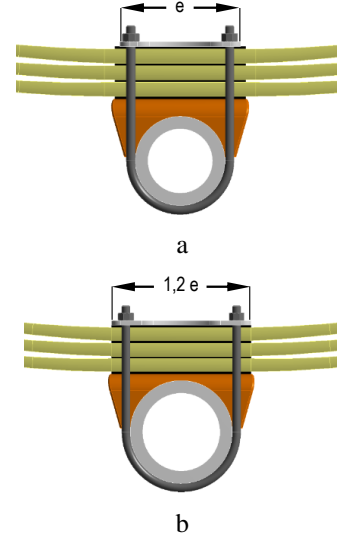
Şekil 7.a. Yaprak yayın elastik şekil değişimi simülasyonu b. yay karakteristikleri (a. Elastic deformation simulation of leaf spring b. spring characteristics)

Çizelge 2. SAE formülasyonu, doğrusal olmayan sonlu elemanlar analizi (DO-SEA) ve test sonuçlarının karşılaştırılması (Comparison of the results of SAE formulation, non-linear finite element analysis and test)

Model tipi	Analitik	DO-SEA	Test
$c_{F,ort}$ (N/mm)	126,93	116,5	117,63

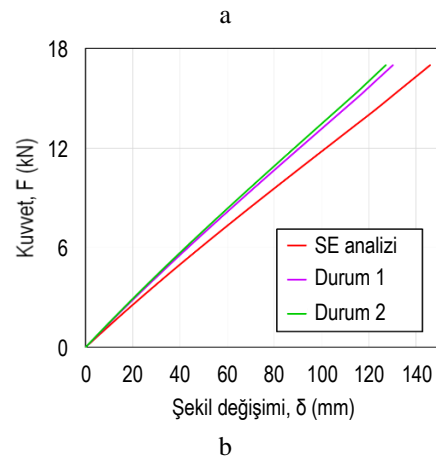
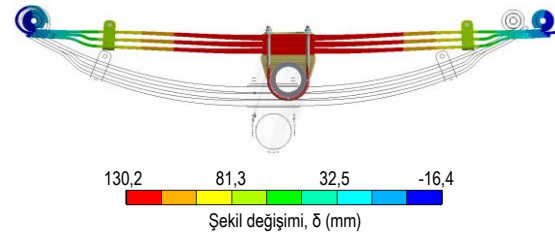
Bir sonraki aşamada, doğrusal olmayan sonlu elemanlar analizi, yayın aks bağlantı konstrüksiyonu (Şekil 8.) dikkate alınarak tekrarlanmıştır (Durum 1). Bu analizden elde edilen şekil değişimi, Şekil 9.a’da görülmektedir. Yay, $z=130$ mm’lik düşey şekil değişiminde düzlemsel konuma gelmektedir. Çalışmanın bir sonraki aşamasında, süspansiyon sistemi için seçilen aks borusu çapının aks oturma uzunluğunda, dolayısıyla serbest yay uzunluğunda meydana getirdiği değişimin, yay katsayısı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu amaçla oluşturulan model, Şekil 8.b’de görülmektedir. Yeni modelde, üst

bağlantı sacının yay oturma uzunluğu e , %20 mertebesinde artırılmış (Durum 2) ve düşey yükleme simülasyonu, yük koşulları ve yay geometrisi aynı kalacak şekilde yinelenmiştir. Gerçekleştirilen bu değişikliğin, yay katsayısını %2,5 oranında artırdığı tespit edilmiştir.



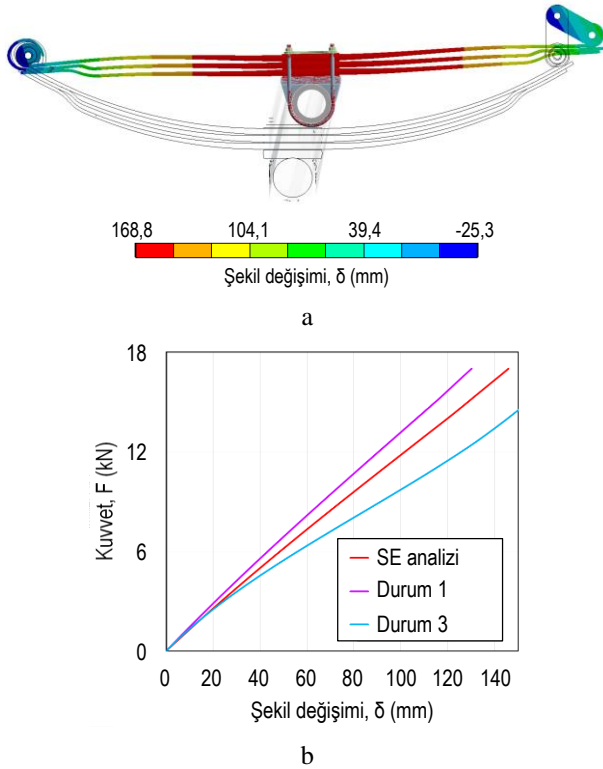
Şekil 8.a. Durum 1 b. durum 2 (a. Case 1 b. case 2)

Şekil 9.b’de, yayın serbest doğrusal olmayan sonlu elemanlar analizinden elde edilen karakteristiği, taşıtın mevcut aks borusu ve U-cıvatası bağlantısı dikkate alınarak gerçekleştirilen (Durum 1) analizden ve oturma uzunluğu %20 artırılmış üst bağlantı sacı uygulamasından (Durum 2) elde edilen karakteristiklerle karşılaştırılmaktadır.



Şekil 9.a. Yaprak yayın elastik şekil değişimi simülasyonu b. oturma uzunluğunun etkisi (a. Elastic deformation simulation of leaf spring b. effect of the seat length)

Son olarak, yay küpesinin yükleme karakteristiğine etkisi incelenmiştir. Bu amaçla, oluşturulan yay modeline, Şekil 10.a'da görülen küpe eklenmiştir. Küpenin statik yükleme durumunda düşey konumda olduğu varsayılmıştır. Bu modelde, Omar ve arkadaşları tarafından önerilen modelden [9] farklı olarak, yayın serbest bağlantı gözü, x eksenine ek olarak, z ekseninde de (Şekil 5.a'ya göre) konum değiştirebilmektedir. Şekil 10.b'de görüldüğü gibi, küpenin analize dahil edilmesiyle, aksa monte edilmiş yayın yay katsayısı, yaklaşık %20 oranında azalmaktadır (Durum 3).



Şekil 10.a. Yaprak yayın elastik şekil değişimi simülasyonu b. yay küpesinin etkisi (a. Elastic deformation simulation of leaf spring b. shackle effect)

6. SONUÇ (CONCLUSION)

Dört tekerlekten çekişli çok amaçlı bir askeri taşıtın sabit ön aksında kullanılan yaprak yayın yükleme karakteristiği, doğrusal olmayan analizi yardımıyla belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar, yay yükleme testinden elde edilen deneysel sonuçlarla karşılaştırılarak doğrulanmıştır. Çalışmanın ikinci bölümünde, aynı analiz, yayın süspansiyon sistemine U-cıvatalarıyla bağlandığı durum için tekrarlanmış ve bağlantı uzunluğunun karakteristiğe etkisi incelenmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar, aşağıda özetlenmektedir:

- Doğrusal olmayan sonlu elemanlar analizi yardımıyla, yay karakteristiğinin test sonuçlarına oldukça yakın olarak elde edilebildiği görülmüştür. Yayın 0-146 mm'lik düşey şekil değişimi aralığında, yay karakteristiğinin test sonuçlarından olan sapmasının, % 3,3 değerini aşmadığı belirlenmiştir.

- Aks gövdesi bağlantı cıvatasının (U cıvatası) yay rijitliğini, bu tasarım örneğinde, yaklaşık %12 oranında artırdığı belirlenmiştir.
- Yaprak yay oturma uzunluğunun, bu tasarım örneğinde, yay rijitliğini yaklaşık %2,5 oranına kadar değiştirebildiği belirlenmiştir. Dolayısıyla, aks borusu çapının da montajlı durumdaki yay karakteristiğine, dolaylı ve ihmal edilebilir ölçüde bir etkisi bulunmaktadır.
- Yay küpesinin bu tasarım örneğinde, aksa monte edilmiş yayın yay katsayısını yaklaşık % 20 oranında azalttığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla, yay küpesi etkisi de süspansiyon tasarımında dikkate alınması gereken bir unsurdur.

Bu çalışmada özetlenen yöntem kullanılarak, süspansiyon sisteminde kullanılacak yaprak yayın, ihtiyaca uygun şekilde boyutlandırılması mümkündür.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Reimpell J., "Fahrwerktechnik: Radaufhängungen", *Vogel Buchverlag*, Würzburg, (1988).
- [2] Reimpell J., Stoll H., Betzler J.W., "The Automotive Chassis: Engineering Principles", *Butterworth-Heinemann*, Oxford, (2002).
- [3] Qin P., Dentel G., Mesh M., "Multi-leaf spring and Hotchkiss suspension CAE simulation", *2002 ABAQUS Users' Conference*, Newport, 1-14, (2002).
- [4] Kong Y.S., Omar M.Z., Chua L.B., Abdullah S., "Explicit nonlinear finite element geometric analysis of parabolic leaf springs under various loads", *The Scientific World Journal*, Article ID 261926, (2013).
- [5] Bhandarkar D.K., Shekhawat S.P., "Design, analysis and optimization of leaf spring", *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 3: 13658-13666, (2014).
- [6] SAE Spring Committee, "Spring Design Manual", *Society of Automotive Engineers*, Warrendale, (1990).
- [7] "ANSYS Mechanical, Introduction to Structural Nonlinearities", *ANSYS, Inc.*, (2014).
- [8] Yıldız H., Kırılı O., "Derin çekme işleminin doğrusal olmayan sonlu elemanlar metodu yardımıyla modellenmesi", *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 10: 317-326, (2004).
- [9] Omar M.A., Shabana A.A., Mikkola A., Loh W.Y., Basch R., "Multibody system modeling of leaf springs", *Journal of Vibration and Control*, 10: 1601-1638, (2004).
- [10] DIN 17221, "Hot rolled steels for quenched and tempered springs quality specifications", (1972).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

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



Experimental study of thermal performance and pressure differences of different working fluids in two-phase closed thermosyphons using solar energy

Yazar(lar) (Author(s)): Engin ÖZBAŞ

ORCID: 0000-0003-4922-7890

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Özbaş E., “Experimental study of thermal performance and pressure differences of different working fluids in two-phase closed thermosyphons using solar energy”, *Politeknik Dergisi*, 22(1): 121-128, (2019).

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

DOI: 10.2339/politeknik.407258

Experimental Study of Thermal Performance and Pressure Differences of Different Working Fluids in Two-phase Closed Thermosyphons Using Solar Energy

Araştırma Makalesi / Research Article

Engin ÖZBAŞ*

Yeşilyurt Demir Çelik Vocational School, Ondokuz Mayıs University, 55330 Samsun, Turkey

(Geliş/Received : 20.02.2017 ; Kabul/Accepted : 06.06.2017)

ÖZ

Farklı çalışma akışkanları ile doldurulan yerçekimi destekli ısı borusunun basınç dağılımı ve termal performansının araştırılması için deneysel bir çalışma yapılmıştır. Farklı kaynama noktasına, yoğunluğa ve viskoziteye sahip olan metanol, su ve Mono-Etilen-Glikol (MEG), çalışma sıvıları olarak seçilmiştir. Üç ısı borusu için deneysel bir düzenek tasarlanmış ve buharlaştırıcı bölümünün ısıtılması güneş enerjisi ile sağlanmıştır. Isı borusunun basınç ve sıcaklık dağılımları için boru yüzeyinden gerekli ölçümler yapılmıştır. Yüksek kaynama noktasına sahip saf antifriz ile termosifon tipi ısı borularında yaygın olarak kullanılan su ve metanol çalışma akışkanı olarak seçilmiştir. Isı boruları, yüksek sıcaklıklar elde etmek için parabolik odaklı vakumlu cam tüp içine konulmuş ve 11 gün boyunca güneş enerjisi ile çalıştırılmıştır. Dene sonuçları için saat 06.30 ile 18.30 arasında alınan veriler dikkate alınmıştır. Dene sonuçları, en yüksek ve en düşük güneş ışınımına sahip (i) güneşli ve (ii) bulutlu günler seçilerek değerlendirilmiştir. (i) Güneşli günlerde, metanol, su ve antifriz için en yüksek depolama suyu sıcaklıkları 90.0°C, 83.5°C ve 86.7°C, ve basınç değerleri sırasıyla 6.7 bar, 1.6 bar ve 1.9 bar şeklinde gerçekleşmiştir. (ii) Bulutlu gün için ise, ilgili sıcaklık ve basınç değerleri; 43.9°C, 39.3°C, 29.0°C ve 2.0 bar, 0.2 bar ve -0.3 bar olmuştur.

Anahtar Kelimeler: Isı borusu, güneş enerjisi, ısıtma, performans.

Experimental Study of Thermal Performance and Pressure Differences of Different Working Fluids in Two-phase Closed Thermosyphons Using Solar Energy

ABSTRACT

An experimental study is carried out to investigate the pressure distribution and thermal performance of gravity assisted heat pipe charged with different working fluids. Methanol, water and Mono-Ethylene-Glycol (MEG) are chosen as working fluids which have different boiling point, density and viscosity. An experimental test apparatus is designed and produced including three heat pipes that heat input on the evaporator section are provided by solar energy. Measurements are conducted on the heat pipe surface for pressure and temperature variations. Pure antifreeze is chosen as working fluid, due to its high boiling point, along with water and methanol which are widely used in thermosyphon type heat pipes. Heat pipes are put into parabolic focused vacuumed glass tube and operated by solar energy for 11 days in order to achieve high temperatures. Data taken from 06.30 to 18.30 is taken into consideration for experimental results. Experimental results are evaluated for two days as (i) sunny and (ii) cloudy days by choosing days with the highest and lowest solar radiation. (i) As for the sunny day, the highest storage water temperatures for methanol, water and antifreeze were 90.0°C, 83.5°C and 86.7°C and the pressure values were 6.7 bar, 1.6 bar and 1.9 bar respectively. (ii) And for the cloudy day, the respective values of temperature and pressure were measured as; 43.9°C, 39.3°C, 29.0°C, and 2.0 bar, 0.2 bar and -0.3 bar.

Keywords: Heat pipe, solar energy, heating, performance.

1. INTRODUCTION

70% of the energy in the world is consumed as heat. It is important to shrink the carbon footprint by reducing

the energy use and the irreversibilities due to heating and friction, because the energy costs are going up continuously. This reduction can be obtained by using heat exchangers or by heat pipes [1,2]. Heat pipe is a heat transfer device that allows a high heat transfer between the evaporator and condenser during the liquid-vapor

*Sorumlu yazar (Corresponding Author)
e-posta : engin.ozbas@omu.edu.tr

phase change of the fluid [3]. A heat pipe can transfer the heat from one end to the other many times faster than a metal bar with the same material and size [4]. Heat pipes are used in electronic devices, in hospitals, hotels etc. in heating and ventilation (HVAC) systems, in space and nuclear technologies as a completely natural cooling apparatus and in some other industrial sectors [3].

Heat pipes have advantages of high thermal conductivity and a high heat flux. A high temperature difference between the heat source and the heated place is not needed for an effective heat transfer with heat pipes [5]. Transfer of the working fluid from the evaporator to the condenser is driven by the vapor pressure and becomes in vapor phase. Fluid condensed by phase change in the condenser is transferred to the evaporator by an installed wick or by the gravity [6]. Heat pipes are the best solutions that can be chosen for the thermal control by their affordable costs and excellent heat transfer abilities. Various types of heat pipes are used in thermal engineering applications [7]. One of them is gravity driven heat pipes. This type of heat pipes are called two-phase closed thermosyphon (TPCT). There is no capillary structure in this kind of devices and the heat transfer is accomplished by transferring the latent heat of evaporation and condensation through a two-phase closed cycle [8]. In the TPCT type, vapor pressure drives the motion from the evaporator to condenser, while it returns back from condenser to evaporator by the gravity [9,10].

Schematic in Fig.1 shows the physical mechanism of the TPCT. Basically they have three main parts as evaporator section, condenser section and adiabatic section. Heat flow through the pipes defines the performance of TPCT [8]. In such kind of devices, liquid working fluid in the evaporator is heated by the heat at the outer surface of the evaporator. The liquid fluid reaches to the boiling point by this heat and goes to the condenser forced upward by the pressure. Working fluid in vapor phase touches to the pipe surface which is colder than the fluid and leaves its latent heat to the pipe. Working fluid begin to condense as it loses heat. Condensed fluid takes the shape of a film membrane due to the low vapor speed and goes downward to the evaporator by the gravity [11].

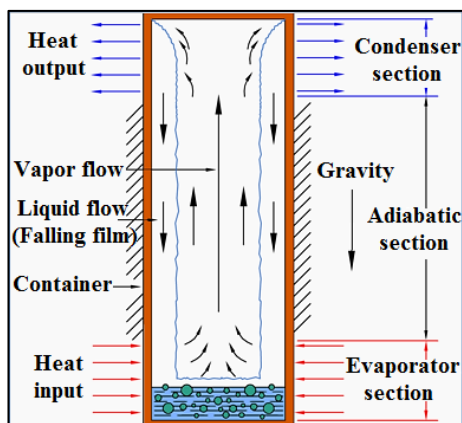


Figure 1. Physical mechanism of the TPCT [12].

There are many studies in the literature on TPCTs which are on the use of different working fluid, on filling rate, and on the tilt angle. Many of them use electrical energy and hot gases while some others use solar energy as the heat source [13]. Some of the studies are as follows;

Abreu and Colle, investigated the thermal behavior of TPCTs experimentally using electrical energy. They analyzed the effects of evaporator length, filling rate, cooling temperature and tilt angle on the performance [14].

W. Chun et al. compared wicked and thermosyphon type heat pipes with different working fluids. They used water, methanol, acetone and ethanol as the working fluid in the experiments and they also compared the collector surface areas and storage tank capacities [15]. Esen and Esen, used R134a, R407C, R410A as the working fluid in TPCT for sunny days using solar energy. They obtained the best performance with the heat pipe using R410A as the working fluid [16]. Nuntaphan et al. investigated the critical heat flux in the thermosiphon type heat pipe using triethylene glycol (TEG)-water solution [17]. Jahanbakhsh et al. experimentally investigated the effects of tilt angle and using water-ethanol solution in TPCT type heat pipes on the thermal performance with both electrical and solar energy [4].

Although the effect of various parameters such as inclination angle, filling ratio, different working fluid on the thermal performance of TPCT has been studied theoretically and experimentally in the literature, there are few papers examining the pressure variation in solar assisted heat pipes.

The main objective of the present study is to investigate not only the temperature values of the working fluid in the gravity assisted solar heat pipe but also the pressure values. Thus, we will have an idea of how much the working fluid evaporates and contributes to the heat transfer. For this aim an experimental apparatus was designed and built. Obtained results from experimental test were discussed in detail using graphical illustration. The evaporation time and amount for the working fluid is examined by measuring not only the temperature distribution but also the pressure distribution in the heat pipe.

2. MATERIALS AND METHOD

2.1. Experimental system

In the present study, the thermal performance and pressure change for various types of working fluids in two-phase closed thermosyphons were investigated experimentally by using heat input as solar energy. Methanol, water and Mono-Ethylene-Glycol (MEG) with different boiling point, liquid density and liquid viscosity were used as the working fluid. Table 1 gives some important physical properties related to the working fluid used. Evacuated glass tubes are commercially available with 1800 mm length and 37 mm inner diameter. Therefore the heat pipe is made of steel

pipe with 28 mm of outer diameter, 1.5 mm of wall thickness and 2200 mm of length. 1800 mm of the pipe inside the glass tube is designed as the evaporator region, the next part of 200 mm length is adiabatic region and the rest 200 mm is the condenser region. In the condenser region, a heat exchanger with another steel pipe with 42.4 mm diameter, 3.6 mm thickness and 200 mm length as shown in Figure 2. The heat pipe is aimed to heat a total of 3.5 L water including the cubic storage tank and the heat exchanger. All three systems are identical in shape, size and material using only different working fluids.

Table 1. Physical properties of the working fluids at 20°C [18, 19].

Fluid	Boiling Point (1 atm) (°C)	Liquid Density (ρ) (kg/m ³)	Liquid Viscosity (N·s/m ²)
Methanol	64.7	791.5	0.587x10 ⁻³
Water	100.0	1000.0	1.002x10 ⁻³
Mono Ethylene Glycol (MEG)	197.6	1113.5	19.800x10 ⁻³

Working fluid is charged into the heat pipe by two ways. (i) first the inside air is vacuumed and then the fluid is filled. (ii) Pipe is filled with working fluid and then the pipe is heated to the boiling point of the fluid, and the open end of the pipe is closed [2]. In this study, the first method is applied and one third of the 1800 mm heat pipe inside the glass tube is charged with 295 ml, 100% purity methanol, distilled water and 100% purity MEG. Fig.2 shows the locations of temperature and pressure measurements required for the thermal performance analyses.

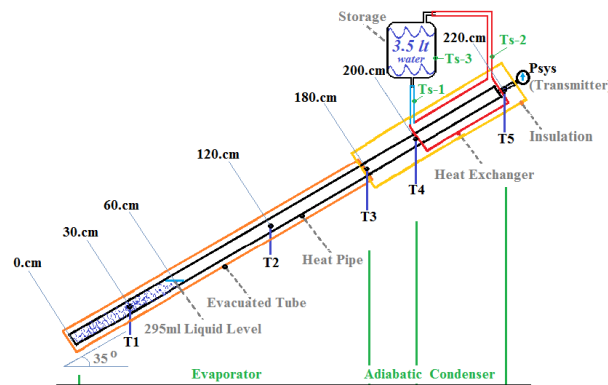


Figure 2. Schematic diagram of the system

All temperature measurements are conducted by K-type thermocouples placed at appropriate locations. DeltaOhm LP PYRA 02 pyranometer is used for measuring incident solar radiation and Keller PA-21Y pressure transmitter with ± 0.25 %FS linearity was used for pressure measurements. All experimental data is gathered at five-minute intervals and recorded by

ORDEL UDL100 universal Data Logger with 0.2% accuracy.

Experimental setup in Fig.3 was designed and produced, and tested for 11 days at the same time and under the prevailing weather conditions of Samsun, on the north coast of Turkey with the exact location 41°14'N 36°26'E with sea level. Data measured from 05:30 to 19:30 is taken into consideration as the experimental results. Days with the maximum and minimum solar radiation incidents are chosen for the consideration of the experimental results for (i) sunny days and (ii) cloudy days.

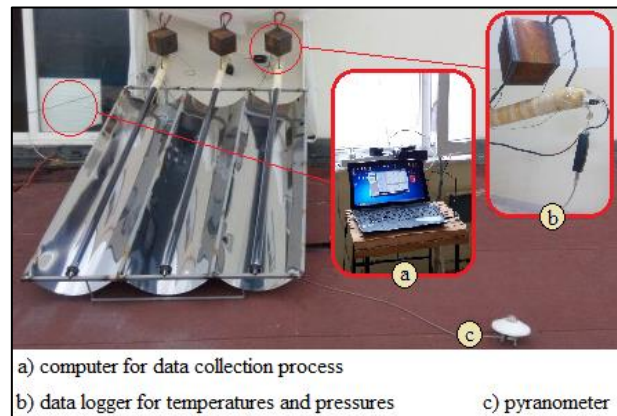


Figure 3. Experimental setup

2.2. Theoretical calculations

The thermal resistance and efficiency calculations of heat pipes using the data obtained from the experiments are determined using the following equations:

The temperature difference between the condenser and the evaporator reveals the relationship between the working fluid in the heat pipe and boiling point, density and viscosity of the working fluid. ΔT is the difference between the mean evaporator temperature and the mean temperature of heat pipe condenser and can be calculated by:

$$\Delta T = (T1 + T2 + T3)/3 - (T4 + T5)/2 \tag{1}$$

The total amount of solar energy incident falling onto the heat pipe during the experiment can be calculated by heat pipe surface area and the amount of global radiation.

$$Q_{incident} = A \int_1^2 I dt \tag{2}$$

Where, A is vacuumed glass tube surface area (m²), I is the global irradiance (W/m²). The surface area of vacuumed tube used in the experiment is calculated as 0,1332 m².

The thermal resistance of the heat pipes according to working fluids can be calculated by;

$$R = \Delta T / Q_{incident} \tag{3}$$

The amount of heat transferred from heat pipe to storage can be calculated using temperature difference in the storage, amount of water and specific heat of water;

$$Q_{col} = m_w c_{p,w} (T_{w2} - T_{w1}) \quad (4)$$

where, m_w is the amount of storage water (kg), $c_{p,w}$ is the specific heat of water (kJ/kg°C), T_{w1} is the initial water temperature according to the measurement range (°C), T_{w2} is the last temperature (°C).

The efficiency (η) can be calculated as the ratio of heat transferred from the heat pipe to the storage (Q_{col}) to the total amount of solar energy incident falling onto the heat pipe ($Q_{incident}$);

$$\eta = Q_{col} / Q_{incident} \quad (5)$$

3. RESULTS AND DISCUSSION

Experiments started on June 26 and continued for 11 days until July 06. Data measured from 06:30 to 18:30 is used for comparing the thermal performance and pressure values of the heat pipes. Fig.4 gives the distribution of solar radiation for 11 days. According to the mean solar radiation values the highest mean solar radiation was on June 29, and the lowest one was on July 02. Thermal performance and pressure values of the heat pipes according to the working fluid were investigated based on these two days which were chosen as Sunny (June 29) and Cloudy (July 02) days.

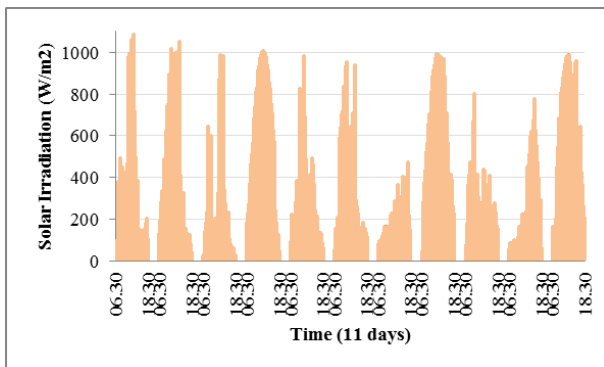


Figure 4. Distribution of solar radiation for 11 days

Fig.5 shows the pressure distribution in the heat pipes for the sunny day. The highest pressure value was obtained by the heat pipe using methanol as the working fluid which has a low boiling point. The peak pressure values for methanol, water and MEG are measured as; 6.7bar, 1.6bar and 1.9bar for sunny day.

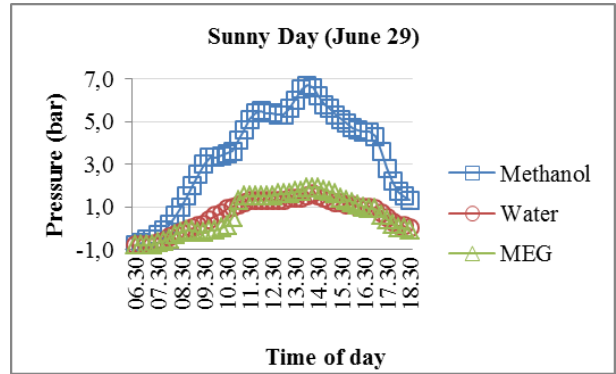


Figure 5. Distribution of pressure for sunny day

Figures 6, 7 and 8 show the temperature distributions of the measurement points of methanol, water and MEG heat pipes, respectively. T1, T2 and T3 are the temperature measurement points of the evaporator region of the heat pipe. As can be seen from figures 6, 7 and 8, the most homogeneous temperature distribution in the evaporator region is in the methanol-heat pipe. Because of the low boiling point, it can be said that the entire amount of methanol contributes to heat transfer. Since MEG has the highest boiling point, it is understood that the temperature difference between points T1, T2 and T3 is higher. The inlet and outlet temperature values of the condenser zone are defined by T4 and T5. It is understood that the heat transfer from T3 to T4 is good for all three heat pipes. It is seen that the T5 temperature is over 80°C in the methanol-heat pipe, while it is below 80°C in the water and MEG heat pipes.

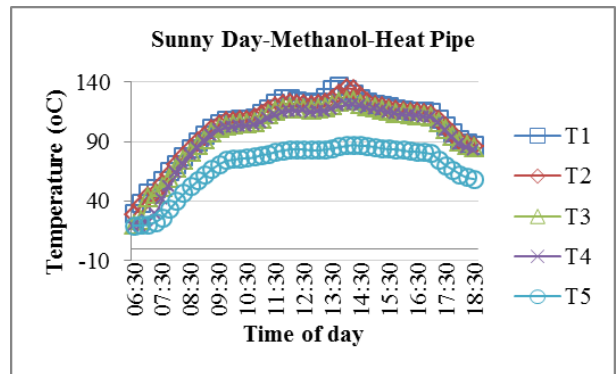


Figure 6. Distribution of methanol-heat pipe temperatures for sunny day

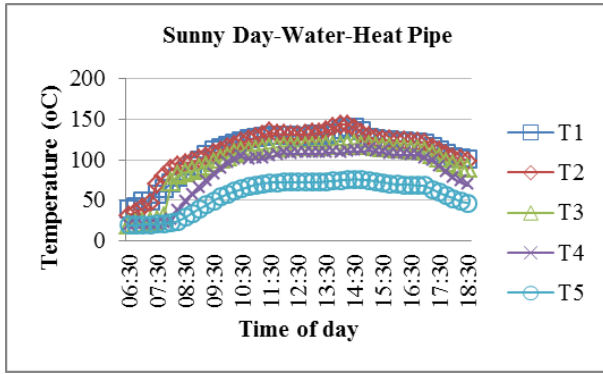


Figure 7. Distribution of water-heat pipe temperatures for sunny day

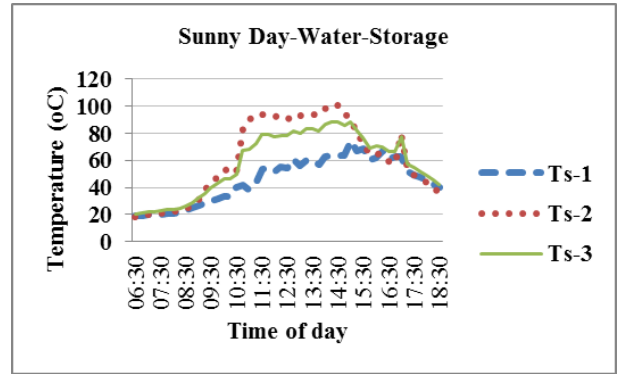


Figure 10. Distribution of water-storage temperatures for sunny day

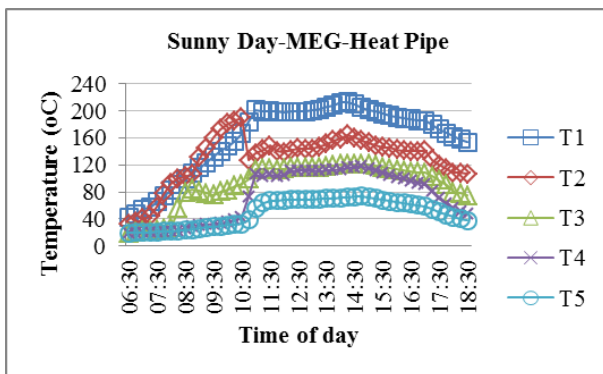


Figure 8. Distribution of MEG-heat pipe temperatures for sunny day

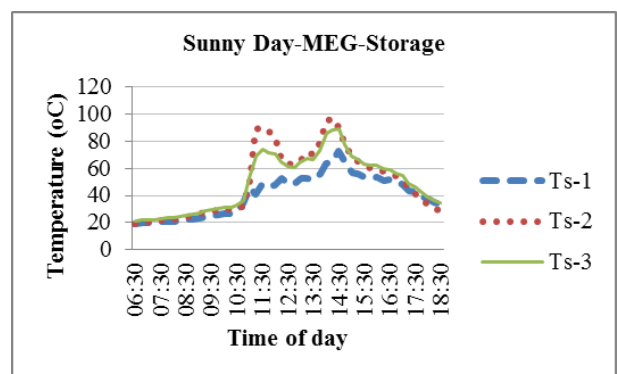


Figure 11. Distribution of MEG-storage temperatures for sunny day

Figures 9, 10 and 11 show the distributions of temperature measurement points of storages for methanol, water and MEG, respectively. Ts-1 indicates the condenser inlet and storage outlet temperature point, and Ts-2 indicates the condenser outlet and storage inlet temperature point. The storage temperature measurement point is Ts-3. While the highest water temperature (Ts-3) in the reservoirs was 97.1°C, 88.6°C and 89.0°C for methanol, water and MEG heat pipes, respectively, the average maximum temperatures in the reservoirs reached 90.0°C, 84.6°C and 86.7°C.

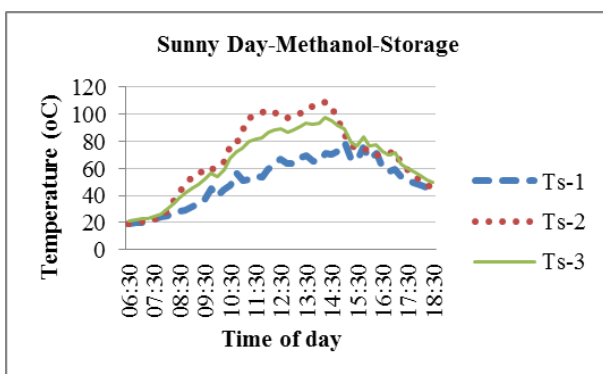


Figure 9. Distribution of methanol-storage temperatures for sunny day

The pressure distributions of the heat pipes for the cloudy day are given in Figure 12. High pressure values have not been reached since there is not enough solar radiation intensity. After then 14:00 o'clock, with the decrease of cloudiness, methanol with low boiling point has started to evaporate and pressure increase has occurred. The peak pressure values for methanol, water and MEG heat pipes were measured as 2.0bar, 0.2bar and -0.3bar, respectively.

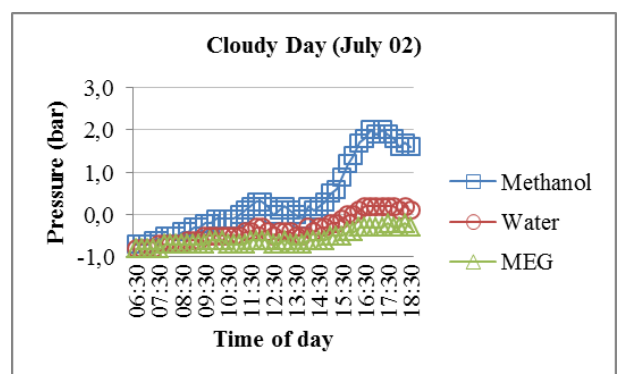


Figure 12. Distribution of pressure for cloudy day

Figures 13, 14 and 15 show the temperature distribution of the points (T1, T2, T3, T4 and T5) of methanol, water and MEG heat pipes, respectively. When Fig.13 is

examined, it appears that evaporation in methanol immediately begins because it has a low boiling point. Despite the fact that the air does not turn on, the temperature at T5 has risen to 40°C. With the opening of the air it is seen that this value has reached over 60°C.

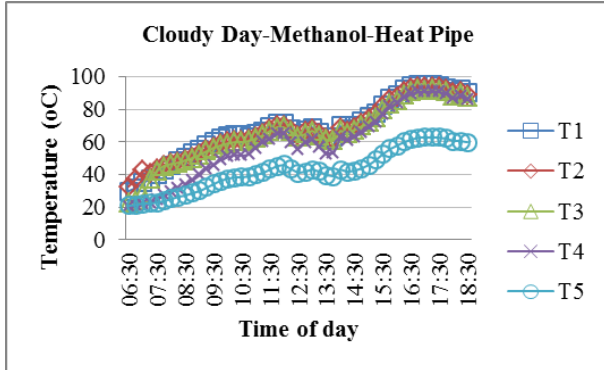


Figure 13. Distribution of methanol-heat pipe temperatures for cloudy day

In Fig.14, it is understood that the pressure in the water-heat pipe rises above 0 and the evaporation begins at the same time. However, due to the high boiling point (100°C), it is clear from the temperature of T5 that it cannot make a full contribution to heat transfer. Partly with the increase in solar (after 14:00 o'clock), T5 temperature was reached about 50°C.

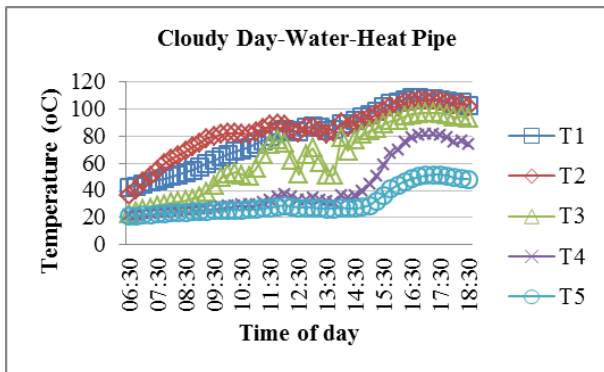


Figure 14. Distribution of water-heat pipe temperatures for cloudy day

It is understood from the pressure values and Fig.15 that there is almost no evaporation in the cloudy day-long experiment of the MEG-heat pipe. Therefore, there was no significant increase in T4 and T5 temperature values and were remained around 25-35°C.

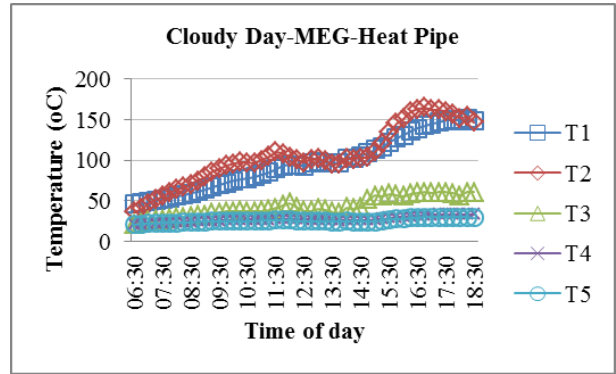


Figure 15. Distribution of MEG-heat pipe temperatures for cloudy day

Figures 16, 17 and 18 show the distributions of the storage temperatures (Ts-1, Ts-2 and Ts-3) for methanol, water and MEG, respectively. As seen by the temperature distribution of the heat pipe, the MEG-tank was nearly unheated. Although in water-storage temperature (Ts-3) increased above 40°C, the best heating occurred at methanol-storage temperature (approx. 50°C).

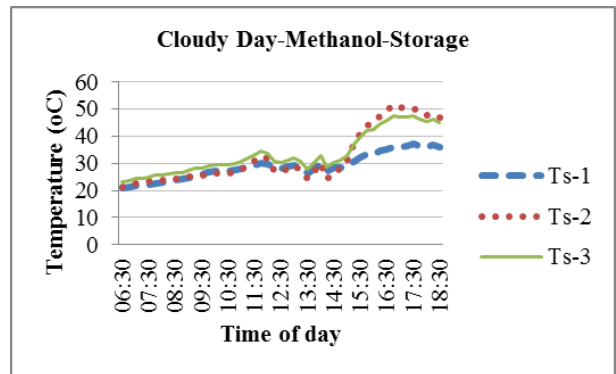


Figure 16. Distribution of methanol-storage temperatures for cloudy day

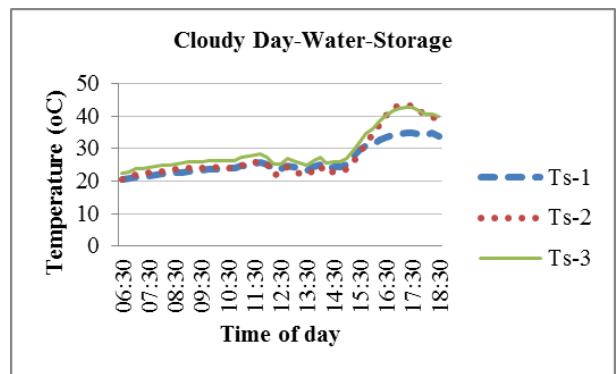


Figure 17. Distribution of water-storage temperatures for cloudy day

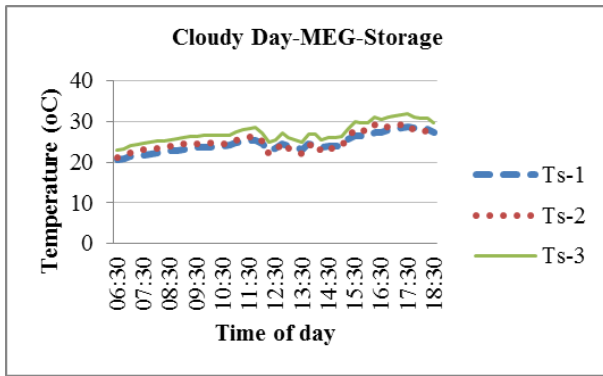


Figure 18. Distribution of MEG-storage temperatures for cloudy day

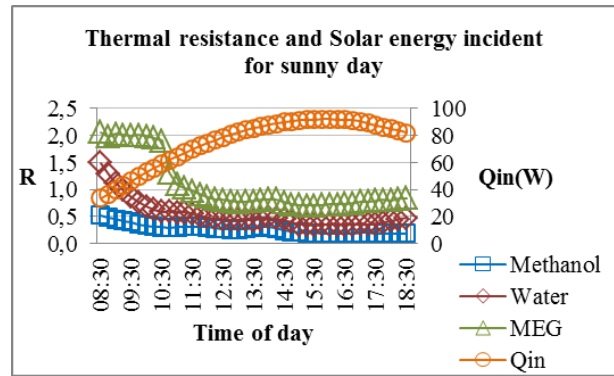


Figure 20. Distribution of thermal resistance of heat pipes for sunny day

It is not the right approach to do about efficiency and thermal resistance calculations for cloudy days. Therefore, efficiency and thermal resistance calculations have been done only for sunny days. Figure 19 shows the efficiency distribution of heat pipes. As can be understood from the graph, the efficiency decreases as the difference between the heat pipe temperatures (T1, T2, T3, T4 and T5) and the storage temperatures (Ts-1, Ts-2 and Ts-3) increases. The highest storage temperatures were reached at between 14:10 and 14:20. The efficiency for methanol, water and MEG calculated 0.37, 0.33 and 0.35, respectively.

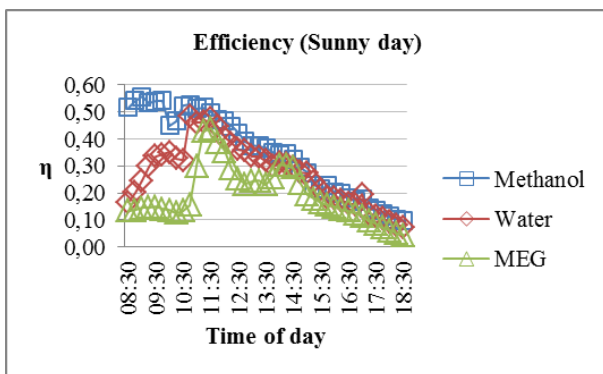


Figure 19. Distribution of efficiency of heat pipes for sunny day

As the temperature difference between the evaporator region (T1, T2 and T3) and the condenser region (T4 and T5) increases, the thermal resistance increases. Therefore, a low and stable distribution of the thermal resistance is an indication that the heat pipe fluid works well. Fig.20 shows that the best working fluid is methanol. It is seen that the fluid that reaches the latest stabilize and has the highest thermal resistance is MEG.

4. CONCLUSION

The aim of this study is to compare the thermal performance and pressure changes of heat pipes by solar energy. For this, methanol, water and MEG were chosen as working fluids which have different boiling point, density and viscosity. Identical heat pipes were manufactured and tested for 11 days at the same conditions inside parabolic trough collector to reach high temperatures. Temperature and pressure changes of the working fluid were investigated and compared for both sunny and cloudy days and their thermal performance has been examined.

Examining the pressure values along with temperatures made it possible to understand the heat transfer between the measurement points better. The temperature difference between the bottom (T1) and the top (T5) of the heat pipe were reached 49.1oC, 63.8oC and 139.4oC for methanol, water and MEG, respectively. So we can say that, in terms of temperature, pressure and heat transfer, methanol is the most and MEG is the least active fluids.

According to the pressure and temperature values, the best result for both cloudy and sunny days was obtained with methanol. Methanol may be preferred in solar water heating systems where high temperatures are not desired.

Pressure measurement in heat pipes gave us an idea of the amount of fluid that evaporates. In special work requiring high temperature, the amount of MEG in the heat pipe can be reduced and more evaporation can be achieved. Thus, much higher temperature values can be achieved in the condenser region.

REFERENCES

- [1] Leriche M., Harmand S., Lippert M., Desmet B., "An experimental and analytical study of a variable conductance heat pipe: Application to vehicle thermal management", *Applied Thermal Engineering*, 38: 48-57, (2012).

- [2] Chan C.W., Siqueiros E., Ling-Chin J., Royapoor M., Roskilly A.P., "Heat utilization technologies: A critical review of heat pipes", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 50: 615-627, (2015).
- [3] Zohuri B., Heat Pipe Design and Technology, CRC Press (2011).
- [4] Jahanbakhsh A., Haghgou H.R., Alizadeh S., "Experimental analysis of a heat pipe operated solar collector using water-ethanol solution as the working fluid", *Solar Energy*, 118: 267-275, (2015).
- [5] Yang X., Yan Y.Y., Mullen D., "Recent developments of lightweight, high performance heat pipes", *Applied Thermal Engineering*, 33-34: 1-14, (2012).
- [6] Vasiliev L., Vasiliev Jr L., "Sorption heat pipe-a new thermal control device for space and ground application", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 48: 2464-2472, (2005).
- [7] Vasiliev L.L., Kakac S., "Heat pipe and solid sorption transformation, fundamentals and practical applications", *Taylor&Francis Group*, LLC (2013).
- [8] Jafari D., Franco A., Filippeschi S., Di Marco P., "Two-phase closed thermosyphons: A review of studies and solar applications", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53: 575-593, (2016).
- [9] Franco A., Filippeschi S., "Closed loop two-phase thermosyphon of small dimensions: are view of the experimental results", *Microgravity Science and Technology*, 24: 165-179, (2012).
- [10] Filippeschi S., "Comparison between miniature periodic two-phase thermosyphons and miniature LHP applied to electronic cooling equipment", *Applied Thermal Engineering*, 31: 795-802, (2011).
- [11] Reay D.A., Kew P., "Heat pipes (5th edition)", Oxford, UK, Butterworth-Heinemann, (2006).
- [12] Faghri A., "Heat Pipe Science and Technology", *Taylor & Francis*, Washington, DC, (1995).
- [13] Gedik E., Yılmaz M., Kurt H., "Experimental investigation on the thermal performance of heat recovery system with gravity assisted heat pipe charged with R134a and R410a", *Applied Thermal Engineering*, 99: 334-342, (2016).
- [14] Abreu S.L., Colle S., "An experimental study of two-phase closed thermosyphons for compact solar domestic hot-water systems", *Solar Energy*, 76: 141-145, (2004).
- [15] Chun W., Kang Y.H., Kwak H.Y., Lee Y.S., "An experimental study of the utilization of heat pipes for solar water heaters", *Applied Thermal Engineering*, 19: 807-817, (1999).
- [16] Esen M., Esen H., "Experimental investigation of a two-phase closed thermosyphon solar water heater", *Solar Energy*, 79: 459-468, (2005).
- [17] Nuntaphan A., Tiansuwan J., Kiatsiriroat T., "Enhancement of heat transport in thermosyphon air preheater at high temperature with binary working fluid: A case study of TEG-water", *Applied Thermal Engineering*, 22: 251-266, (2002).
- [18] Yue H., Zhao Y., Ma X., Gong J., "Ethylene glycol: properties, synthesis, and applications", *Chemical Society Reviews*, 41: 4218-4244, (2012).
- [19] Peyghambarzadeh S.M., Shahpouri S., Aslanzadeh N., Rahimnejad M., "Thermal performance of different working fluids in a dual diameter circular heat pipe", *Ain Shams Engineering Journal*, 4: 855-861, (2013).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

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



Kriyojenik işlem uygulanmış millerin yuvarlanmalı ve kaymalı yataklarda deneysel titreşim analizi

Experimental vibration analysis of cryogenic treated shafts supported by journal and rolling element bearings

Yazar(lar) (Author(s)): Menderes KAM¹, Hamit SARUHAN²

ORCID¹: 0000-0002-9813-559X

ORCID²: 0000-0002-6428-8117

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz(To cite to this article): Kam M. ve Saruhan H. “Kriyojenik işlem uygulanmış millerin yuvarlanmalı ve kaymalı yataklarda deneysel titreşim analizi”, *Politeknik Dergisi*, 22(1): 129-134, (2019).

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

DOI: 10.2339/politeknik.385565

Kriyojenik İşlem Uygulanmış Millerin Yuvarlanmalı ve Kaymalı Yataklarda Deneysel Titreşim Analizi

Araştırma Makalesi / Research Article

Menderes KAM^{1*}, Hamit SARUHAN²

¹Dr. Engin PAK Cumayeri Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Tek., Düzce Üniversitesi, Türkiye

²Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Düzce Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 11.11.2017 ; Kabul/Accepted : 20.12.2017)

ÖZ

Bu çalışmada, kriyojenik işlem ve temperleme işlemi uygulanmış millerin yuvarlanmalı ve kaymalı yataklarda aynı yüklenme şartlarında ve çalışma hızlarında titreşim davranışlarının ne olabileceği ve nedenleri deneysel olarak incelenmiştir. Bu amaçla yapılan deneysel çalışmada yuvarlanmalı ve kaymalı yatak destekli millerden deplasman ölçerler aracılığıyla alınan veriler analiz edilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Yuvarlanmalı ve kaymalı yatak destekli millerden elde edilen sonuçlara göre; en düşük genlik değerleri kaymalı yatak destekli kriyojenik işlemlenmiş millerde görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Kriyojenik işlem, kaymalı yatak, yuvarlanmalı yatak, mil, titreşim analizi.

Experimental Vibration Analysis of Cryogenic Treated Shafts Supported by Journal and Rolling Element Bearings

ABSTRACT

In this study, the effects of cryogenic treatment and tempering on the vibration behaviors of rotating shafts mounted on the rolling element and journal bearings were investigated for the same loading conditions and operating speeds. In this experimental study, the data obtained with the help of proxy probes were analyzed and the results were compared. The results showed that the lowest amplitude values were obtained for the cryogenic treated shaft mounted on the journal bearing. The amplitude values of journal bearing are significantly superior to the rolling element bearings having stability in account.

Keywords: Cryogenic treatment, journal bearing, rolling element bearing, shaft, vibration analysis.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Endüstride dönen makine sistemlerinde yaygın olarak kullanılan AISI 4140 (42CrMo4) çeliği uygulanan ısı işlemleri ile kazandığı mekanik özelliklerinden dolayı krank mili ve aks mili olarak kullanılmaktadır. Bu bağlamda, soğuk işlem yöntemi olan kriyojenik işlem, geleneksel ısı işlemi tamamlayıcı bir işlemdir. Kriyojenik işlem düşük sıcaklıklarda malzemeleri soğutma ve bekletme işlemidir. Bu işlemle malzemenin sertlik ve tokluğunu aynı anda arttırmak mümkündür. Aynı zamanda kaplamalara göre parçanın tüm bölümünün olumlu yönde etkileyen kalıcı bir işlemdir [1-8].

Literatürde kriyojenik işlem ile ilgili çok sayıda çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarda genel olarak araştırmacılar kriyojenik işlemin malzemenin mekanik özelliklerini (sertlik, tokluk ve aşınma direnci) iyileştirdiği özellikle aşınma direncini ve sertliğini önemli derecede artırdığını tespit etmiştir. Bazı malzemelerde kriyojenik işlemin bekletme süreleri arasında en uygun olanın 36 saat olduğu belirtilmiştir [5, 9-14].

Literatürde mil-yatak sistemleri ile ilgili yapılan çalışmalarda çok sayıda matematik model bulunmasına rağmen deneysel çalışma sayısı oldukça azdır. Genelde yapılan çalışmalar mil-yatak sisteminin kritik hızları ve kararlılığı alanında olmuştur. Jecott [15] mil-yatak sisteminde sönümleyici kullanarak milin kararlılığını incelemiştir. Mil-yatak sistemlerinin kararlılığı alanında Robertson [16] ve Smith [17] çalışmıştır. Dimentberg [18] dinamik rijitliği hesaplayan metodu tanıtmıştır. Lunda ve Strenlicht [19] mil-yatak sistemi çalışmalarına rijitlik ve sönümlenme özelliklerini dahil ederek bir çalışma yapmıştır. Aktürk ve ark. [20] mil-yatak sisteminde titreşimleri incelemek için matematiksel model oluşturmuştur. Aktürk ve Gohar [21] mil-yatak sisteminde bilge boyutundaki değişimin milin titreşimine olan etkisini incelemiştir. Dai ve ark. [22] bir milin dinamik davranışlarını analiz etmiştir. Perret [23] ve Meldau [24] yuvarlanmalı yatakların titreşim analizlerini detaylı bir şekilde yapmıştır. Gustafsson ve Tallian [25] yuvarlanmalı yatakların titreşim oluşturan karakteristik özellikleri ile ilgili incelemelerde bulunmuş, Gupta ve ark. [26], Meyer ve ark. [27], Yamamoto ve ark. [28], McFadden ve Smith [29] yataklarda titreşim karakteristikleri üzerinde çalışma

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

yapmıştır. Taplak ve Uzmay [30] dönen mekanik sistemlerin dinamik davranışlarının analizini gerçekleştirmek için bir düz bağlantılı mil sistemi imal etmiş ve farklı işletme şartları için titreşim parametreleri yönünden incelemiştir. Karahan [31] ve Mechevske [32] yapmış oldukları çalışmalarda endüstride kullanılan makinelerde titreşim analizi ile makinelerde arıza teşhisini analiz etmiş, Whalley ve Abdul-Ameer [33] bir mil-yatak sisteminin kritik hızını, dönme frekansını ve rezonansını hesaplamıştır.

Kılınç ve Saruhan [34] kaymalı ve yuvarlanmalı yataklarla desteklenmiş millerin farklı yük düzeyleri için kritik hız analizini gerçekleştirmiştir. Gümüştaş ve Saruhan [35] kaymalı yatakların dinamik davranışlarını etkileyen geometrik boyutların ve mil-yatak arasındaki boşluk ölçülerinin mil-yatak sistemi çalışma kararlılığı üzerinde etkisinin incelenmesi için farklı yük düzeyleri ve farklı çalışma hızlarında deneyler gerçekleştirmiş ve elde edilen verileri ayrıntılı olarak analiz etmiştir.

Bu çalışmada kriyojenik işlem ve temperleme işlemi uygulanmış AISI 4140 çeliğinden imal edilen millerin kaymalı ve yuvarlanmalı yataklarda aynı yüklem şartlarında ve çalışma hızlarında yapılan deneysel çalışmada elde edilen bulgular analiz edilmiştir.

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL AND METHOD)

AISI 4140 çeliğinin kimyasal kompozisyonu Çizelge 1’de verilmiştir. Bu çalışmada kullanılmak üzere AISI 4140 çeliği miller hazırlanmıştır. Bu millerin ısıtma süreçleri Çizelge 2’de verilmiştir. Hazırlanan millerden, ilk mil standart olarak kullanılmış ek olarak herhangi bir işlem uygulanmamıştır. Diğer millere ise ilk önce geleneksel ısıtma işlemi (Conventional Heat Treatment - CHT) uygulanarak istenilen sertlik değerine getirilmiştir. Geleneksel ısıtma işlemi uygulanan üçüncü ve dördüncü mile, geleneksel ısıtma işlemi tamamlayıcı bir işlem olan kriyojenik işlem (Cryogenic Treatment - DCT36) -140 °C’de 36 saat olmak üzere gerçekleştirilmiştir.

Dördüncü mile ise kriyojenik işlem sonrasında 200 °C’de 2 saat temperleme işlemi (Cryogenic Treatment and Tempering - DCTT36) uygulanmıştır.

Şekil 1’de deneylerde kriyojenik işlem uygulanmış millere destek olarak yataklanmaları için kullanılan yuvarlanmalı yatak ve pirinç malzemeden imal edilmiş kaymalı yataklar verilmiştir.



Şekil 1. Yuvarlanmalı ve kaymalı yataklar (Rolling element bearing and journal bearing)

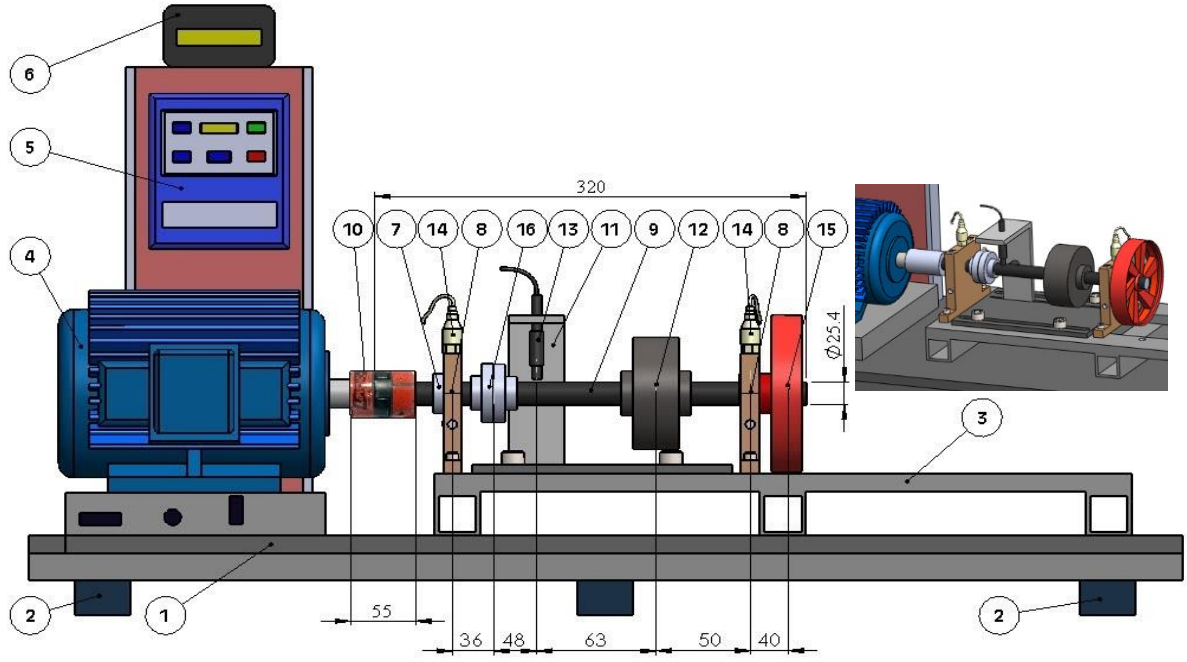
Şekil 2’de gösterilen deney düzeneği oluşturulmuştur. Deneysel çalışmada ilk deney serisi için S, ikinci deney serisi için CHT, üçüncü deney serisi için DCT36 ve dördüncü deney serisi için DCTT36 kodlu numune miller kullanılmıştır. Titreşim genliğini artırmak için 126,25 mm çapında ve 5040 gr ağırlığında, 65 mm çapında ve 684 gr ağırlığında diskler ve milin ucuna takılmış fan kullanılmıştır. Deney düzeneği oluşturularak aynı yüklem ve çalışma şartlarında kaymalı ve yuvarlanmalı yataklarla desteklenmiş, kriyojenik işlem uygulanmış ve kriyojenik işlem sonrasında temperleme işlemi uygulanmış millerin titreşim verileri VibraQuestTM yazılım ve donanım sistemi kullanılarak toplanmıştır. Sistemden millerin rezonansa (tınlaşım) girdiği hızları belirleyen Bode eğrisi değerleri ve milin yatak içindeki hareketine bağlı olarak merkezinin Orbit (yörünge) değerleri alınmıştır.

Çizelge 1. AISI 4140 çeliğin kimyasal bileşimi (Chemical composition of AISI 4140 steel)

Element	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Al
(%)	0,39	0,27	0,74	0,008	0,01	1,06	0,2	0,03

Çizelge 2. AISI 4140 çeliği millerin ısıtma süreci (Heat process of AISI 4140 steel shafts)

No	Mil Kodu	Uygulanan Isıtma İşlemler
1	STANDART	-
2	CHT	CHT
3	DCT36	DCT36 (36 saat)
4	DCTT36	DCTT36 (36 saat) Temperleme (2 saat)



No	Parça adı	No	Parça adı
1	Gövde	9	Mil
2	Plastik takoz	10	Esnek kaplin
3	Bilye yatağı desteği	11	Deplasman ölçer aparatı
4	½ HP Motor	12	Disk 1 (5.04 kg)
5	Hız kontrol ünitesi	13	Deplasman ölçer
6	Takometre	14	İvme ölçer
7	Yuvarlanmalı yatak- Kaymalı yatak	15	Fan
8	Yatak yuvası	16	Disk 2 (0.684 kg)

Şekil 2. Deney düzeneği (Experimental set-up)

3. BULGULAR VE TARTIŞMA (FINDINGS AND DISCUSSION)

Yapılan deneysel çalışmada mil-yatak sisteminde kriyojenik işlem ve temperleme işlemi uygulanmış millerden deplasman ölçerler (proxy probes) ile alınan veriler ayrıntılı olarak analiz edilerek karşılaştırılmıştır. Aynı çalışma şartlarında yuvarlanmalı ve kaymalı yatak destekli miller için düşey (Ch 1) ve yatay (Ch 2) doğrultuda çalışma hızlarının durma (0 rpm) durumundan 3000 rpm'e yükselerek gelmesi sırasında yakalanan titreşim genlik değerleri alınmış ve yatay yönde elde edilen veriler düşey yöndeki verileri doğrulamak amacıyla kullanılmıştır.

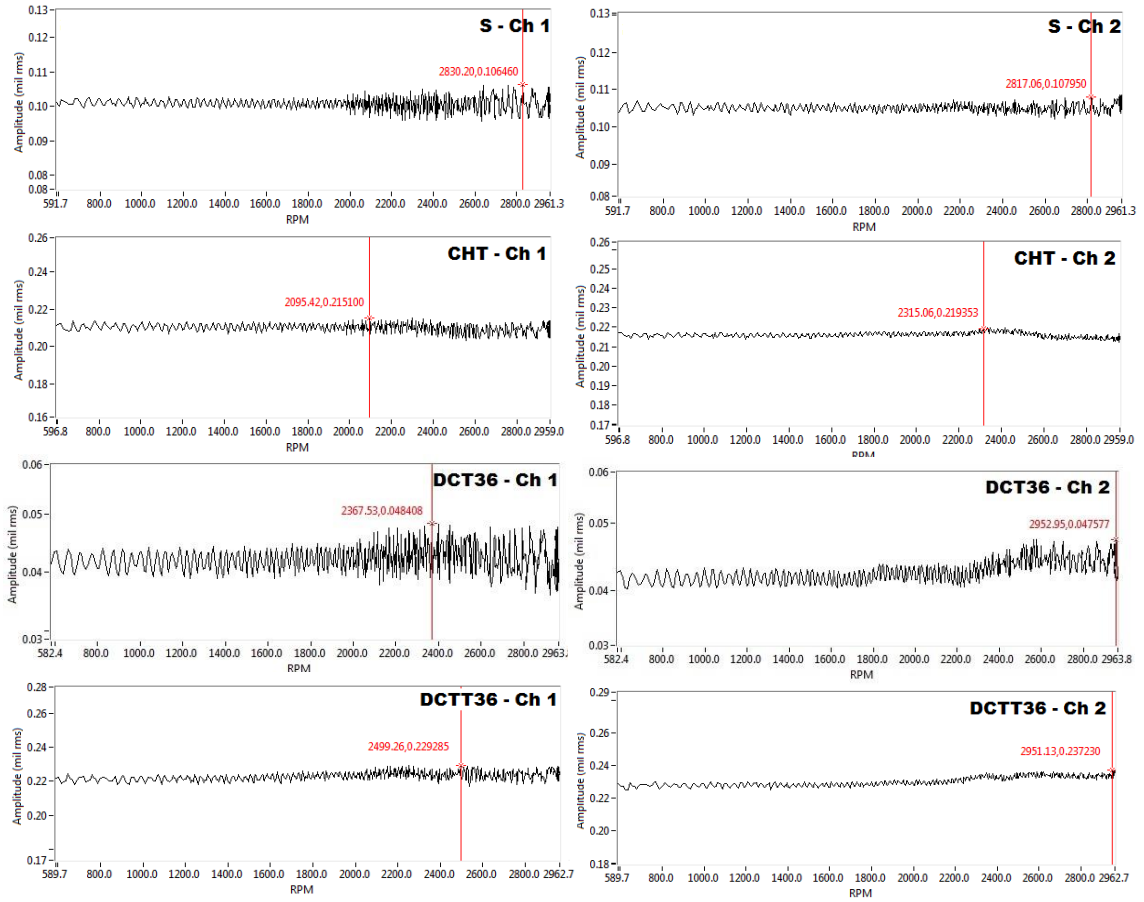
Şekil 3 ve Şekil 4'te yuvarlanmalı ve kaymalı yataklar ile desteklenmiş, kriyojenik işlem ve temperleme işlemli miller için bode eğrileri verilmiştir. Şekillerde görüldüğü gibi düşey (Ch 1) yönde genlik değerleri sırasıyla yuvarlanmalı yatak destekli DCT36 milinde 2367,53 rpm'de (revolution per minute – dakikadaki devir sayısı) 0,048 mil (0,0254 mm), S milinde 2830,20 rpm'de 0,106 mil, CHT milinde 2095,42 rpm'de 0,215 mil ve DCTT36

milinde ise 2499,26 rpm'de 0,229 mil olarak bulunmuştur.

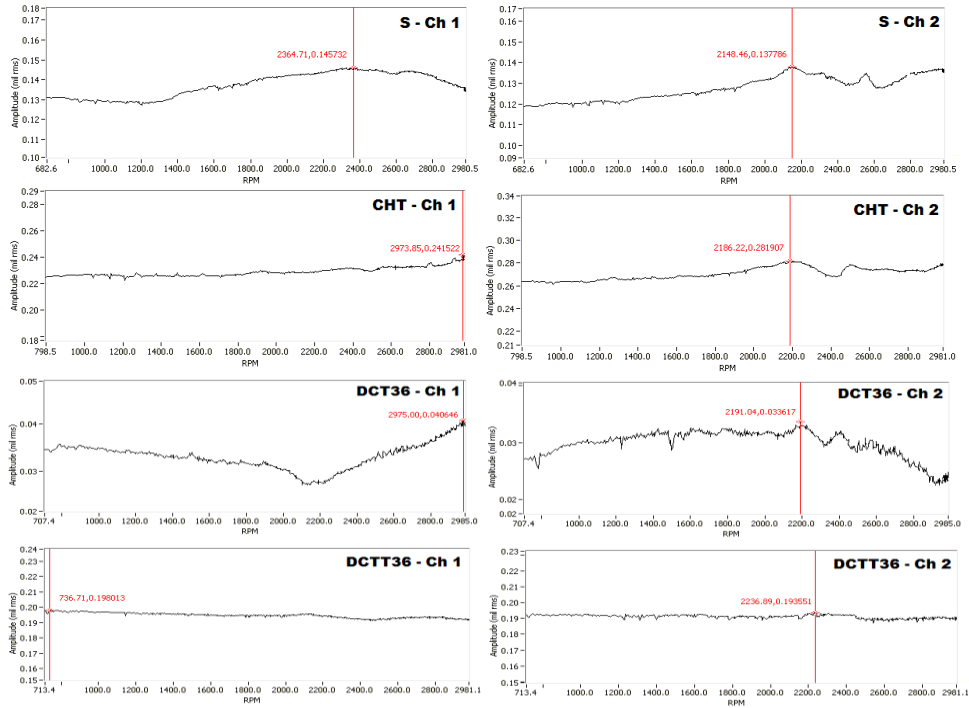
Kaymalı yatak destekli millerde ise genlik değerleri sırasıyla DCT36 milinde 2975,00 rpm'de 0,040 mil, S milinde 2364,71 rpm'de 0,145 mil, DCTT36 milinde 736,71 rpm'de 0,198 mil ve CHT milinde ise 2973,85 rpm'de 0,241 mil olarak bulunmuştur.

Düşey yönde en düşük genlik değerleri sırasıyla kaymalı yatak destekli millerde DCT36 ve S milinde, yuvarlanmalı yatak

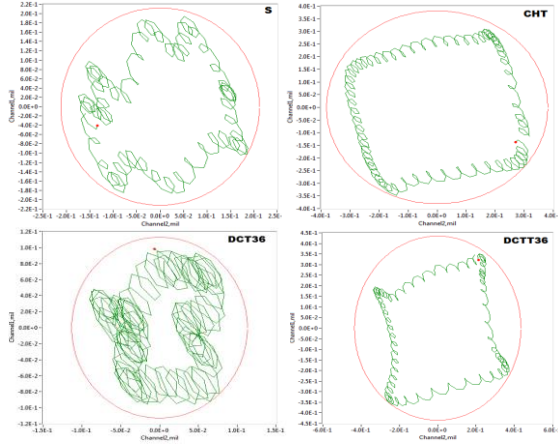
destekli millerde ise DCT36 ve S millerinde bulunmuştur. Bu verilere göre kriyojenik işlem uygulanmış miller kaymalı yataklarda daha az salınım yaptığı ve daha düşük genlik değerlerine sahip olduğu görülmüştür.



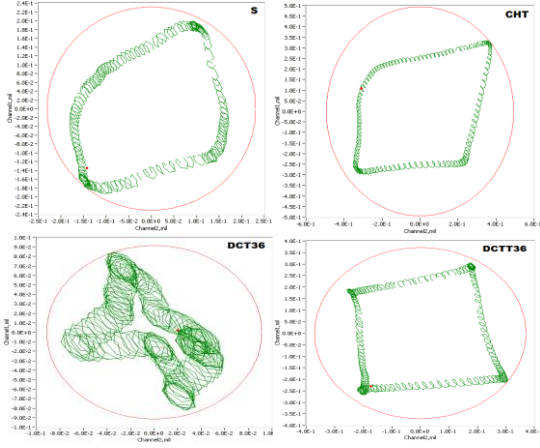
Şekil 3. Yuvarlanmalı yatak destekli millerden elde edilen düşey ve yatay doğrultuda genlik değerleri(Amplitude values obtained from shafts supported on rolling element bearing)



Şekil 4. Kaymalı yatak destekli millerden elde edilen düşey ve yatay doğrultuda genlik değerleri(Amplitude values obtained from the shafts supported on journal bearing)



Şekil 5. Yuvarlanmalı yatak destekli millerin orbit grafikleri (Orbit plots of shafts supported on rolling element bearings)



Şekil 6. Kaymalı yatak destekli millerin orbit grafikleri (Orbit plots of shafts supported on journal bearings)

4. SONUÇLAR (CONCLUSION)

Bu çalışmada yuvarlanmalı yatak ve kaymalı yatak destekli kriyojenik işlemler ve temperleme işlemlerinden elde edilen veriler analiz edilmiş ve karşılaştırılmıştır. Deneylemlerden elde edilen sonuçlar, yuvarlanmalı ve kaymalı yatakların çalışma kararlılıkları arasında önemli farklılıklar olduğu görülmüştür. Elde edilen verilere göre en düşük genlik değerleri kaymalı yatak destekli kriyojenik işlemlerle millerde oluşmuştur. Kaymalı yatak destekli kriyojenik işlemlerle millerin yuvarlanmalı yatak destekli kriyojenik işlemlerle millere göre daha az yer değiştirme yaptığı ve genlik değerlerinin daha düşük olduğu görülmüştür. Kriyojenik işlem sonrası temperleme işlemlerle millerde ise kaymalı yatak destekli millerin genlik değerlerinin yuvarlanmalı yatak destekli millere göre daha düşük olduğu görülmüştür.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENTS)

Bu çalışma, Düzce Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP - 2015.06.05.351) kapsamında

yapılmıştır. UMAS'17 Sempozyumunda sunulmuş ve genişletilmiş bildiridir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Kam M., "Kriyojenik işlem görmüş millerin dinamik davranışlarının deneysel analizi", Doktora Tezi, Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim dalı, Düzce, (2016).
- [2] Kam M., Saruhan H. ve Kara F., "Isıl işlem görmüş millerin dinamik davranışlarının deneysel analizi", *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 5(1): 80-90, (2016).
- [3] Kam M., Saruhan H. ve Güney T., "Kriyojenik işlem ve sıcak dövme işlemi uygulanmış millerin deneysel titreşim analizi", *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 5(3): 21-30, (2016).
- [4] Pekgöz B., Sarıdemir S., Uygur İ. ve Aslan Y., "Sementasyon işleminin farklı çeliklerin mikroyapı ve sertlik değerlerine etkileri", *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 10(1): 19-24, (2013).
- [5] Kara F., "AISI 52100 çeliğinin yorulma ömrü ve taşlanabilirliğine kriyojenik işlem parametrelerinin etkilerinin araştırılması", Doktora Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, (2014).
- [6] Kara F., Çiçek A. and Demir H., "Multiple regression and ANN models for surface quality of cryogenically-treated AISI 52100 bearing steel," *J. Balkan Tribol. Assoc.*, 19(4): 570-584, (2013).
- [7] Senthilkumar D. and Rajendran I., "Optimization of deep cryogenic treatment to reduce wear loss of 4140 steel," *Materials and Manufacturing Processes*, 27(5): 567-572, (2012).
- [8] Senthilkumar D., Rajendran I., Pellizzari M. and Siirainen J., "Influence of shallow and deep cryogenic treatment on the residual state of stress of 4140 steel," *J. Mater. Process. Technol.*, 211(3): 396-401, (2011).
- [9] Gunes I., Cicek A., Aslantas K. and Kara F., "Effect of deep cryogenic treatment on wear resistance of AISI 52100 bearing steel," *Transactions of the Indian Institute of Metals*, 67(6): 909-917, (2014).
- [10] Senthilkumar D., "Effect of deep cryogenic treatment on residual stress and mechanical behaviour of induction hardened En 8 steel," *Advances in Materials and Processing Technologies*, 1: 10, (2016).
- [11] Idayan A., Gnanavelbabu A. and Rajkumar K., "Influence of deep cryogenic treatment on the mechanical properties of AISI 440C bearing steel," *Procedia Engineering*, 97: 1683-1691, (2014).
- [12] Das D., Dutta A. K., Ray K. K., "Optimization of the duration of cryogenic processing to maximize wear resistance of AISI D2 steel," *Cryogenics*, 49: 176-184, (2009).
- [13] Das D., Dutta A. K. and Ray K. K., "Sub-zero treatments of AISI D2 steel: Part I. Microstructure and hardness," *Mater. Sci. Eng. A*, 527: 2182-2193, (2010).
- [14] Özbek N.A., Çiçek A., Gülesin M. Özbek O., "Investigation of the effects of cryogenic treatment applied at different holding times to cemented carbide inserts on tool wear", *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, 86, 34-43, (2014).

- [15] Jeffcott H. H., "The lateral vibration of loaded shafts in the neighborhood of a whirling speed-the effect of want of balance," *Phil. Mag.*, 37: 304, (1919).
- [16] Robertson D., "Whirling of a journal in a sleeve bearing," *Phil. Mag.*, 15: 113-130, (1933).
- [17] Smith, D. M., "The motion of a rotor carried by a flexible shaft in flexible bearings," *Proc. Roy. Soc., Series A*, 142: 92-118, (1933).
- [18] Dimentberg F. M., "Flexural vibrations of rotating shafts," *Butterworth Co.*, London, England, (1961).
- [19] Lunda J. W. and Sternlicht B., "Rotor-bearing dynamics with emphasis on attenuation," *American Society of Mechanical Engineers*, 61-68, (1961).
- [20] Aktürk N., Uneeb M. and Gohar R., "The effects of number of balls and preload on vibrations associated with ball bearings," *Journal of Tribology*, 119: 747-753, (1997).
- [21] Aktürk N. and Gohar R., "The effect of ball size variation on vibrations associated with ball-bearings," *Proc. I. Mech. E.*, 101-109, (1998).
- [22] Dai X., Jin Z. and Zhang X., "Dynamic behavior of the full rotor/stop rubbing: numerical simulation and experimental verification," *J. Vib. Control*, 251: 807-822, (2002).
- [23] Perret H., "Die lagerluft als bestimmungsgröße für die beanspruchung eines walzagers", *Werkstatt Betr.*, 83(4): 131, (1950).
- [24] Meldau E., "Elastische spielschwingungen konstant belasterer walzager" *Werkstatt Betr.*, 85(2): 56, (1952).
- [25] Gustafsson O. G. and Tallian T., "Research report on study of the vibration characteristics of bearings," *SKF Ind. Inc.*, (1963).
- [26] Gupta L. W. and Wilcock D. F., "Vibration characteristics of ball bearings P.K.," *Trans. ASME J. of Lubrication Technology*, 284-289, (1977).
- [27] Meyer L. D., Ahlgren F. F. and Weichbrodt B., "An analytical model for ball bearing vibrations to predict vibration response to distributed defects," *Trans. ASME J. Mechanical Design*, 102: 205-210, (1980).
- [28] Yamamoto T. and Ishida Y., "The particular vibration phenomena due to ball bearings at the major critical speeds," *Bull. of JSME*, 17(103): 59-67, (1974).
- [29] McFadden P. D. and Smith J. D., "The vibration produced by a multiple point defect in a rolling element bearing," *Journal of Sound and Vibration*, 98(2): 263-273, (1985).
- [30] Taplak H. ve Uzman İ., "Titreşim parametrelerinin dönen mekanik sistem dinamiğine etkilerinin araştırılması," *Teknoloji Dergisi*, 7(3): 427-434, (2004).
- [31] Karahan M. F., "Titreşim analiziyle makinalarda arıza teşhisi," Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Manisa, (2005).
- [32] Mechefske C. K., "Machine condition monitoring and fault diagnostic," Quens's University, (2005).
- [33] Whalley R. and Abdul-Ameer A., "Contoured shaft and rotor dynamics," *Mechanism and Machine Theory*, 44(4): 772-783, (2009).
- [34] Kılınç S. ve Saruhan H., "Kaymalı ve yuvarlanmalı yataklarda mil kritik hız analizi", *6.Bakım Teknolojileri Kongresi ve Sergisi*, 209-218, (2013).
- [35] Gümüştas E. ve Saruhan H., "Kaymalı yatak boyutlarının çalışma kararlılığına etkisinin deneysel incelenmesi", *7th International Advanced Technologies Smposium (IATS'13)*, 765-770, (2013).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

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



Çarpışma kutularının üzerine açılan oyukların çarpışma performansı üzerine etkisinin incelenmesi

Investigation of the effect of corrugated on crash performance in crash boxes

Yazar(lar) (Author(s)): Murat ALTIN

ORCID: 0000-0002-2404-2614

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Altın M. “Çarpışma kutularının üzerine açılan oyukların çarpışma performansı üzerine etkisinin incelenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 22(1): 135-139, (2019).

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

DOI: 10.2339/politeknik.403989

Çarpışma Kutularının Üzerine Açılan Oyukların Çarpışma Performansı Üzerine Etkisinin İncelenmesi

Araştırma Makalesi / Research Article

Murat ALTIN*

Teknoloji Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi, Türkiye
(Geliş/Received : 14.11.2017 ; Kabul/Accepted : 23.02.2018)

ÖZ

Pasif güvenlik sistemi elemanlarından birisi olan çarpışma kutuları olası bir kaza durumunda hasarın minimum seviyede oluşmasını sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Yapılan bu çalışmada çarpışma kutusunun üzerine açılan oyukların çarpışma performansı üzerine etkisi sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Çalışmada farklı oyuk genişliklerine sahip çarpışma kutusu tasarımları gerçekleştirilmiştir. Oyukların genişlikleri 1 mm, 2 mm, 3 mm, 4 mm ve 5 mm olarak belirlenmiş ve çarpışma kutularının üzerine farklı sayıda açılmıştır. Her bir çarpışma kutusunun et kalınlığı 2 mm olarak alınmıştır. Tasarımları gerçekleştirilen çarpışma kutuları Hypermesh programı ile sonlu elemanlarına ayrılmış, Ls-PrePost programı ile malzeme kartları, kontaklar ve sınır şartları gibi özelliklerin belirlenmiş ve Ls-Dyna ile dinamik analizleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda çarpışma kutularının üzerine oyuk açmanın çarpışma performansı üzerinde olumlu etki gösterdiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çarpışma kutusu, sonlu elemanlar analizi, çarpışma performansı.

Investigation of the Effect of Corrugated On Crash Performance In Crash Boxes

ABSTRACT

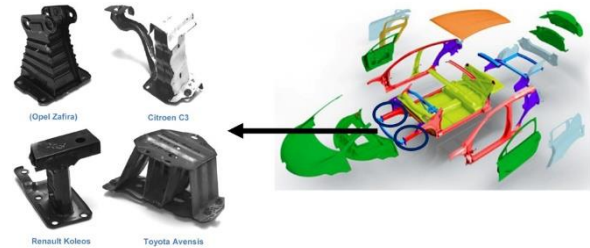
Crash boxes, one of the components of passive safety systems, will ensure that damage is minimized in the event of an accident. In this study, the impact on the crash performance of the corrugated on the crash box was investigated using the finite element method. Crash box designs with different corrugate widths were modeled. The widths of the corrugate were determined as 1 mm, 2 mm, 3 mm, 4 mm and 5 mm, and were opened at different numbers on the crash boxes. The wall thickness of each crash box is taken as 2 mm. Designed crash boxes are divided into finite elements with Hypermesh program, Ls-PrePost program has been used to determine material cards, properties such as contacts and boundary conditions and dynamic analyses were carried out with Ls-Dyna. As a result of the analyses made, it has been found that corrugate on crash boxes has a positive effect on crashworthiness performance.

Keywords: Crash box, Finite element analysis, crash performance .

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Toplumsal gelişimin sağlanmasında önemli role sahip olan otomobiller 18. yüzyılın sonlarına doğru icat edilmiştir. Otomobillerin icadıyla birlikte başta ekonomi olmak üzere birçok alanda toplumsal gelişime katkı sağlamıştır. Teknolojinin gelişmesi seri üretimin önünü açmış ve böylelikle dünya üzerindeki otomobil sayıları hızlı bir şekilde artmaya başlamıştır. Bu durum olumlu etki sağlasa da meydana gelen trafik kazalarının da artmasına sebep olmuştur. Kazaların artması otomobil üreten firmaların gerek pasif gerekse aktif güvenlik sistemleri üzerine yaptıkları çalışmalara daha fazla önem vermelerine neden olmuştur. Otomobiller gündelik hayatta çeşitli kazalara karışmaktadır. En çok karşılaşılan kaza türlerinden biriside önden çarpmalı kazalardır. Önden çarpmalı kazalarda olası hasarları en aza indirmek amacıyla çarpışma kutuları kullanılmaktadır. Ön tampon

üzerinde yer alan çarpışma kutuları kaza anında deforme olarak ortaya çıkan kinetik enerjiyi sönmüleyebilme yeteneğine sahip bağlantı elemanlarıdır (Şekil 1).



Şekil 1. Çarpışma kutusu örnekleri (Sample of crash boxes) [1]

Kaza anında çarpışma kutularının maruz kaldığı darbe kuvvetlerinin yeterince sönmülememesi bu kuvvetlerin doğrudan araç içerisindeki yolcu bölümüne aktarılmasına sebebiyet verir. Bu durum hem araç içerisindeki yolcuların ölümcül yaralanmalarına neden olacak ve hem de araçta üzerinde yüksek miktarda maddi

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

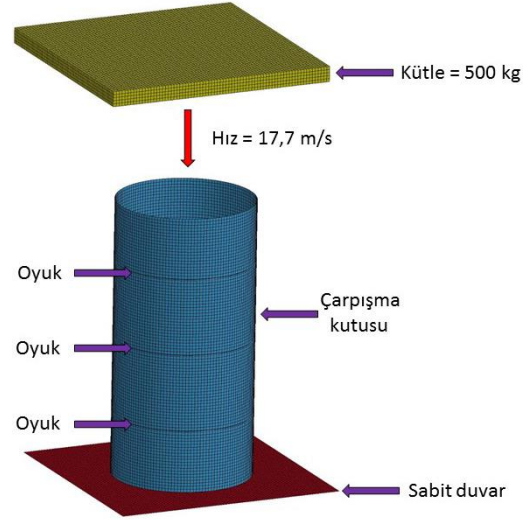
hasara yol açacaktır. Çarpışma kutularının enerji sönümlenme kapasitelerinin artırılmasına yönelik geçmişten günümüze çok çeşitli çalışmalar yapılmıştır [2-9]. Bu çalışmalardan bazıları çarpışma kutularının geometrik özellikleri üzerinedir. Çalışmalarda kullanılan çarpışma kutuları genellikle dairesel, kare ve dikdörtgen kesitle sahiptir. Aktay ve arkadaşları [10], dairesel kesitli çarpışma kutularının içerisinde bal petek yapı ile doldurmuş ve uygulanan yükler altındaki enerji sönümlenme kapasitelerini araştırmışlardır. Isaac ve arkadaşları [11], dairesel kesite sahip çarpışma kutularının aksel ve farklı açıdaki deformasyon yükleri karşısındaki enerji sönümlenme kapasiteleri üzerindeki etkiyi incelemiştir. Langseth ve Hopperstad [12] yaptıkları bir çalışmada kare kesite sahip farklı temperleme sıcaklıklarında ekstrüze edilmiş, farklı et kalınlıklarına sahip çarpışma kutularını statik ve dinamik yükler altındaki performanslarını incelemiştir. Nagel ve Thanbiratman [13], dikdörtgen kesitli çarpışma kutularının et kalınlıklarını ve koniklik açılarını değiştirerek farklı hızlardaki dinamik yükler altındaki enerji sönümlenme kapasitesindeki değişimleri incelemiştir. Yapılan bazı çalışmalarda [14-17] ise farklı geometrilerdeki çarpışma kutularının enerji sönümlenme kapasiteleri farklı parametreler kullanılarak (et kalınlığı, koniklik açısı vs.) araştırılmıştır. Çarpışma kutularının performanslarını arttırmak için çeşitli değişiklikler yapılmaktadır. Bunlardan bir tanesi de çarpışma kutularının üzerine oyuk açmaktır. Çarpışma kutularında katlanmanın başlayabilmesi için gerekli olan ilk deformasyon kuvvetinin açılan oyuklar sayesinde azaltıldığı ve buna bağlı olarak ezilme kuvveti veriminin arttırıldığı bilinmektedir [18-20].

Yapılan bu çalışma kapsamında çarpışma kutularının üzerine bir, iki ve üç adet oyuk açılmıştır. Açılan her bir oyukun genişliği 1 mm, 2 mm, 3 mm, 4 mm ve 5 mm olarak belirlenmiş ve tüm durumlar için ayrı ayrı analizler gerçekleştirilerek çarpışma performansları incelenmiştir. Sonuç olarak en yüksek ezilme kuvveti verimi ve özgül enerji sönümlenme kapasitesine sahip çarpışma kutusu belirlenmiştir. Literatür çalışmaları ile karşılaştırıldığında çarpışma kutularının üzerine oyuk

açmanın ezilme kuvveti verimi arttırdığı tespiti doğrulanmış yenilik olarak oyuk genişliğinin ve sayısının ezilme kuvveti verimi ile özgül enerji sönümlenme kapasitesi üzerine etkisi incelenmiştir.

2. SONLU ELEMANLAR MODELİ (FINITE ELENET MODEL)

Tasarımı gerçekleştirilen çarpışma kutularının sonlu elemanlar modelleri Hypermesh programı ile oluşturulmuştur. Sonlu elemanlar modeli oluşturulan örnek bir çarpışma kutusu Şekil 2’de verilmektedir.



Şekil 2. Çarpışma kutusunun sonlu elemanlar modeli (Finite element model of the crash box)

Üzerine oyuklar açılmış çarpışma kutularına 500 kg’lık bir kütle 17,7 m/s’lik hız ile çarpıtılmıştır. Üzerine birden fazla oyuk açılan çarpışma kutularında oyuklar arası mesafe eşit uzaklıkta alınmıştır. Tek oyuklu çarpışma kutularında ise oyuk orta kısımda olacak şekilde açılmıştır. Çarpışma kutularının çapı 90 mm, yüksekliği 180 mm ve et kalınlıkları 2 mm ve malzemesi standart çelik olarak alınmıştır. Standart çeliğe ait mekanik özellikler Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Standart çelik malzemeye ait mekanik özellikleri (Mechanical properties of standard steel)

Malzeme Türü	Yoğunluk (ρ)	Elastik Modülü (E)	Poisson Oranı (ν)	Akma Gerilmesi (σ_y)
Standart Çelik	7,85 g/cm ³	210 GPa	0,3	0,31 GPa

Çarpışma kutularının sonlu elemanlar modeli için elasto-plastik malzeme yapısından oluşan ve Ls-Dyna programının içerisinde yer alan “MAT 24 (Piecewise Linear Isotropic Plasticity) malzeme kartı seçilmiştir.

Standart çeliğin plastik bölgede yer alan davranışlarını temsil eden gerçek gerilme-gerinme eğrisine ait veriler

Çizelge 2. Standart çelik malzemeye ait gerçek gerilme- gerçek gerinim değerleri (True effective stress-true effective plastic strain values for standard steel)

σ (GPa)	0,310	0,358	0,373	0,398	0,413	0,430	0,459
ϵ	0	0,002	0,004	0,016	0,024	0,034	0,061

Çizelge 2’de verildiği gibidir. Mesh işlemi yapılırken 4 nodlu Belytschko-Tsay ince kabuk (shell) elemanlar kullanılmış, bu kabuk elemanların kesitine 4 integrasyon noktası uygulanmıştır. Çarpışma kutularının kendi üzerlerinde katlanmalarını kontrol etmek amacıyla Automatic Single Surface Contact kontak algoritmaları kullanılmıştır.

3. SONUÇ (CONCLUSION)

Çalışma kapsamında farklı oyuk boyut ve sayılarına sahip çarpışma kutularının 130 mm'lik deformasyon mesafesinde toplam sönmölenen enerji, maksimum (pik) deformasyon kuvveti, ortalama ezilme kuvveti, ezilme kuvveti verimi (EKV) ile özgül enerji sönmöleme (ÖES) kapasiteleri belirlenmiştir. Bu belirleme işlemleri yapılırken bazı formüllerden yararlanılmıştır.

Toplam sönmölenen enerji: Çarpışma kutularının çarpışma sonunda sönmölediği toplam enerji (TSE), çarpma kuvvetinin yaptığı iş olarak tanımlanabilir [21].

$$T_{SE} = \int_{\delta_p}^{\delta} P d\delta \quad (1)$$

Burada P ezilme kuvvetini, δ ve δP yapılan işin hesaplanacağı ezilme aralığını ifade etmektedir. Çarpma enerjisi yük-yer değiştirme grafiğinin altında kalan alanın integrali olarak ifade edilmektedir.

Özgöl enerji sönmöleme (ÖES): Özgöl enerji sönmöleme kapasitesi toplam sönmölenen enerjini çarpışma kutusunun deformasyona uğramadan önceki kütlesine oranı olarak tanımlanmaktadır.

$$\text{ÖES} = \frac{T_{SE}}{m} \quad (2)$$

Ortalama ezilme kuvveti (F_{ort}): Toplam enerji sönmöleme miktarının eksenel yöndeki toplam deformasyon mesafesine oranı olarak tanımlanır.

$$F_{ort} = \frac{T_{SE}}{S} \quad (3)$$

Ezilme kuvveti verimi (EKV): Ezilme kuvveti verimi, ortalama ezilme kuvvetinin maksimum ezilme kuvvetine oranı olarak tanımlanır.

$$EKV = \frac{F_{ort}}{P_{max}} \quad (4)$$

Maksimum deformasyon kuvveti: Çarpışma kutuları üzerine eksenel yönde gelen ilk kuvvetler çarpışma kutularının kalıcı deformasyona uğramalarını sağlayan kuvvetlerdir ve bu kuvvetlerin en büyüğüne maksimum deformasyon kuvveti denilir. Bu kuvvet ilk deformasyon anında oluşabileceği gibi nadir de olsa deformasyon esnasında da ortaya çıkabilir. Maksimum deformasyon kuvvetin yüksek çıkması istenen bir durum değildir. Bu değerin yüksek çıkması çarpışma kutusunun görevini yerine getirememesi, darbe kuvvetinin direk olarak aracın şasisine ilemesi anlamına gelecektir. Dolayısıyla tasarım çalışmaları bu değeri minimum düzeyde tutabilecek şekilde yapılmalıdır.

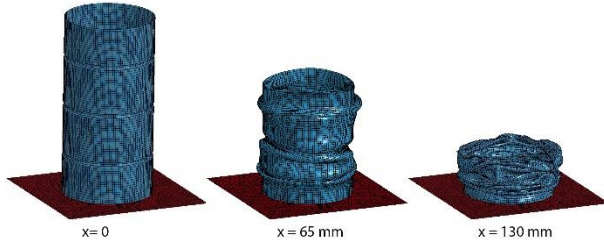
Tasarlanan her bir çarpışma kutusu farklı isimler ile adlandırılmıştır. Bu adlandırmalarda "OG..." oyuk genişliğini, "...S." ise oyuk sayısını belirtmektedir. Örneğin "OG5S3" üzerine 5 mm genişliğinde 3 adet oyuk açılan çarpışma kutusunun ifade etmektedir. Yapılan analizlerle elde edilen sonuçlar yukarıda verilen formüller ile hesaplanmış ve Çizelge 3'de ki gibi elde edilmiştir.

Çizelge 3. Analiz sonuçları (Results of the analysis)

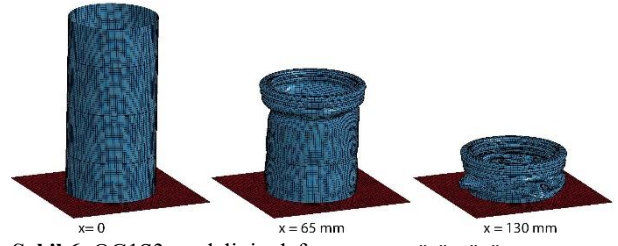
Çarpışma Kutusu	Oyuk Genişliği (mm)	Oyuk Sayısı	Deformasyon Mesafesi (mm)	Toplam Sönmölenen Enerji (kJ)	Maksimum Deformasyon Kuvveti (kN)	Ortalama Ezilme Kuvveti (kN)	Ezilme Kuvveti Verimi (%)	Özgöl Enerji Sönmöleme (kJ/kg)	Çarpışma Kutusunun Ağırlığı (kg)
OG0S0	0	0	130	26.201	426.76	201.55	0.47	32.75	0.798
OG1S1	1	1	130	25.607	416.45	196.98	0.47	31.98	0.800
OG1S2	1	2	130	26.171	414.81	201.32	0.49	32.61	0.802
OG1S3	1	3	130	26.819	412.74	206.30	0.50	33.34	0.804
OG2S1	2	1	130	21.335	405.44	164.12	0.40	26.35	0.802
OG2S2	2	2	130	21.446	392.16	164.97	0.42	26.48	0.806
OG2S3	2	3	130	21.742	384.00	167.25	0.44	26.86	0.809
OG3S1	3	1	130	22.629	381.24	174.07	0.46	28.14	0.804
OG3S2	3	2	130	23.071	356.13	177.47	0.50	28.51	0.809
OG3S3	3	3	130	23.564	353.87	181.26	0.51	28.93	0.814
OG4S1	4	1	130	21.760	369.36	167.38	0.45	26.94	0.807
OG4S2	4	2	130	22.083	354.59	169.87	0.48	27.05	0.816
OG4S3	4	3	130	23.844	339.60	183.42	0.54	28.90	0.825
OG5S1	5	1	130	22.040	365.07	169.54	0.46	27.22	0.809
OG5S2	5	2	130	22.916	340.75	176.28	0.52	27.94	0.820
OG5S3	5	3	130	23.913	324.80	183.95	0.57	28.78	0.830

Çizelge 3'ü genel olarak değerlendirilecek olunursa 1-5 mm arasındaki tüm oyuk genişliğine sahip çarpışma kutularının oyuk sayılarını arttırmanın toplam enerji sönmöleme kapasitesini arttırdığı görölmektedir. Enerji sönmöleme kapasitesindeki artış özgül enerji sönmöleme miktarını da arttırmıştır. Oyuk sayısının artması aynı zamanda maksimum deformasyon kuvvetinin de kayda değer şekilde azalmasını sağlamıştır. Maksimum deformasyon kuvvetinin azalması çarpışma kutularının

kütlelerindeki bir miktar artışa rağmen ezilme kuvveti verimini de arttırmıştır. Tasarımı gerçekleştirilen çarpışma kutuları içerisinde en yüksek ezilme kuvveti verimine sahip olan çarpışma kutusunun OG5S3 olan çarpışma kutusudur. OG5S3 çarpışma kutusunun 130 mm'lik deformasyon mesafesinde farklı zaman aralıklarındaki katlanma görüntüleri Şekil 3'de verilmiştir.

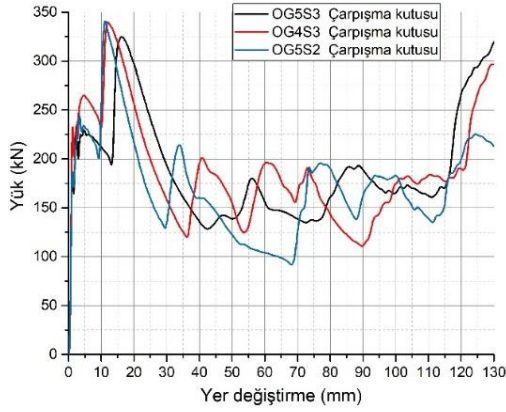


Şekil 3. OG5S3 modelinin deformasyon görüntüsü
(Progressive collapse of model OG5S3)

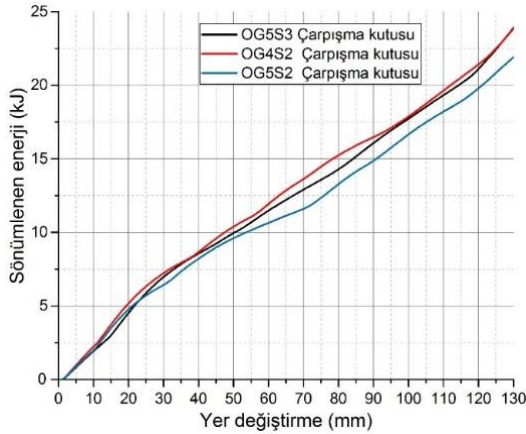


Şekil 6. OG1S3 modelinin deformasyon görüntüsü
(Progressive collapse of model OG1S3)

Bu çarpışma kutusunu OG4S3 ve OG5S2 çarpışma kutularının takip ettiği görülmektedir. Bu üç çarpışma kutusunun 130 mm'lik deformasyon mesafesi içerisindeki sırasıyla yük-yer değiştirme ve enerji-yer değiştirme grafikleri Şekil 4 ve Şekil 5'De verilmiştir.



Şekil 4. Çarpışma kutularının yük-yer değiştirme grafiği
(Load-displacement curves for crash boxes)



Şekil 5. Çarpışma kutularının sönmülenen enerji -yer değiştirme grafiği (Absorb energy –displacement curves for crash boxes)

Özgül enerji sönmüleme kapasiteleri bakımından incelendiğinde en iyi sonuca oyuk genişliği 1 mm olan OG1S3 çarpışma kutusunun sahip olduğu görülmektedir. OG1S3 çarpışma kutusunun 130 mm'lik deformasyon mesafesinde farklı zaman aralıklarındaki katlanma görüntüleri Şekil 6'da verilmiştir.

Oyuk genişliğinin az olması çarpışma kutusunun deformasyonu esnasında sönmülemiş olduğu toplam enerji miktarının fazla olmasına yol açmıştır. Buna karşılık bu durum maksimum deformasyon kuvvetinin fazla çıkmasına yol açmıştır.

Yapılan çalışma neticesinde aşağıda belirtilen sonuçlar elde edilmiştir;

- Çarpışma kutularının üzerindeki oyuk sayısı ve oyuk genişliğini arttırmak maksimum deformasyon kuvvetinin azalmasını sağlamıştır. Örneğin OG5S3 çarpışma kutusunun maksimum deformasyon kuvveti 324,80 kN iken OG1S1 çarpışma kutusunun 416,45 kN'a çıkmıştır.
- Çarpışma kutularının üzerindeki oyuk sayısını arttırmak ezilme kuvveti verimi ve özgül enerji sönmüleme kapasitesini her durumda arttırmıştır.
- En yüksek ezilme kuvveti verimine sahip çarpışma kutusu (OG5S3) en düşük olan çarpışma kutusundan (OG2S1) % 42,5 daha fazla çıkmıştır.
- En yüksek özgül enerji sönmüleme kapasitesine sahip çarpışma kutusu (OG1S3) en düşük olan çarpışma kutusundan (OG2S1) % 26,5 daha fazla çıkmıştır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Pit S., Werner S., Zerbe J. and Gohlich D., "Robust Optimization of Vehicle Crashboxes", *SAE Technical Paper*, No. 2014-01-0397, (2014).
- [2] Sharifi S., Shakeri M., Fakhari H. E. and Bodaghi M., "Experimental investigation of bitubal circular energy absorbers under quasi-static axial load", *Thin-Walled Structures*, 89: 42-53, (2015).
- [3] Othman A., Abdullah S., Ariffin A. K. and Mohamed N.A.N., "Investigating the crushing behavior of quasi-static oblique loading on polymeric foam filled pultruded composite square tubes", *Composites Part B: Engineering* 95: 493-514, (2016).
- [4] Mohammadiha O. and Ghariblu H., "Crush response of variable thickness distribution inversion tubes under oblique loading", *Thin-Walled Structures*, 109: 159-173, (2016).
- [5] Rezvani M. and M. Nouri., "Axial Crumpling of Aluminum Frusta Tubes with Induced Axisymmetric Folding Patterns" *Arabian Journal for Science & Engineering*, 39(3): 2179-2190, (2014).
- [6] Sun G., Xu F., Li G. and Li Q., "Crashing analysis and multiobjective optimization for thin-walled structures with functionally graded thickness", *International Journal of Impact Engineering*, 64: 62-74, (2014).

- [7] Zhu G., Li S., Sun G., Li G. and Li Q., "On design of graded honeycomb filler and tubal wall thickness for multiple load cases", *Thin-Walled Structures*, 109: 377-389, (2016).
- [8] Xiong Z. and Zhang H., "Relative merits of conical tubes with graded thickness subjected to oblique impact loads", *International Journal of Mechanical Sciences*, 98: 111-125, (2015).
- [9] Zhang X. and Zhang H., "Experimental and numerical investigation on crush resistance of polygonal columns and angle elements", *Thin-Walled Structures*, 57: 25-36, (2012).
- [10] Aktay L., Çakıroğlu C. and Güden M., "Quasi-static axial crushing behavior of honeycomb-filled thin-walled aluminum tubes", *The Open Materials Science Journal*, 5: 184-193 (2011).
- [11] Isaac W. and Oluwole O., "Energy absorption improvement of circular tubes with externally press-fitted ring around tube surface subjected under axial and oblique impact loading", *Thin-Walled Structures*, 109: 352-366, (2016).
- [12] Langseth M. and Hopperstad O.S., "Static and dynamic axial crushing of square thin-walled aluminium extrusions", *International Journal of Impact Engineering*, 18: 7-8, (1996).
- [13] Nagel G. M. and D. P. Thambiratnam. "Computer simulation and energy absorption of tapered thin-walled rectangular tubes", *Thin-walled structures*, 43(8): 1225-1242, (2005).
- [14] Abbasi M., Reddy S., Nazari G.A. and Fard M., "Multiobjective crashworthiness optimization of multi-cornered thin-walled sheet metal members" *Thin-walled structures*, 89: 31-41, (2015).
- [15] Jusuf A., Dirgantara T., Gunawan L. and Putra I.S., "Crashworthiness analysis of multi-cell prismatic structures", *International Journal of Impact Engineering*, 78: 34-50, (2015).
- [16] Tarlochan F., Samer F., Hamouda A.M.S., Ramehs S. and Khalid K., "Design of thin wall structures for energy absorption applications: Enhancement of crashworthiness due to axial and oblique impact forces", *Thin-Walled Structures*, 71: 7-17, (2013).
- [17] Xiong Z. and Zhang H., "Energy absorption of multi-cell stub columns under axial compression" *Thin-Walled Structures*, 68: 156-163, (2013).
- [18] Deepak A., Rawat S. and A. K. Upadhyay., "Crashworthiness of Circular Tubes with Structurally Graded Corrugations", *SAE Technical Paper*, No. 2016-28-0050, (2016) .
- [19] Asanjarani A., Dibajian S. H. and Mahdian A., "Multi-objective crashworthiness optimization of tapered thin-walled square tubes with indentations" *Thin-Walled Structures*, 116: 26-36, (2017).
- [20] Rawat, Sharad, et al. "Collapse Behavior and Energy Absorption in Elliptical Tubes with Functionally Graded Corrugations." *Procedia Engineering* 173 (2017): 1374-1381.
- [21] Alkoles O.M.S., Mahdi E. and Hamouda A.M.S., "Sahari, B.B., "Ellipticity Ratio Effects in the Energy Absorption of Axially Crushed Composite Tubes", *Applied Composite Materials*, 10: 339-363, (2003).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

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



Farklı geometrik yapılardaki çarpışma kutularının içerisine yerleştirilen alüminyum köpük malzemenin enerji sönmleme kapasitesi üzerine etkisinin incelenmesi

The effect of aluminum foam material on the energy absorption capacity of different geometric structure crash boxes

Yazar(lar) (Author(s)): Murat ALTIN¹, H. Serdar YÜCESU²

ORCID¹: 0000-0002-2404-2614

ORCID²: 0000-0002-7805-6085

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Altın M. ve Yücesu H. S., “Farklı geometrik yapılardaki çarpışma kutularının içerisine yerleştirilen alüminyum köpük malzemenin enerji sönmleme kapasitesi üzerine etkisinin incelenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 22(1): 141-148, (2019).

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

DOI: 10.2339/politeknik.426642

Farklı Geometrik Yapılardaki Çarpışma Kutularının İçerisine Yerleştirilen Alüminyum Köpük Malzemenin Enerji Sönümlenme Kapasitesi Üzerine Etkisinin İncelenmesi

Araştırma Makalesi / Research Article

Murat ALTIN*, Hüseyin Serdar YÜCESU

Teknoloji Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 14.11.2017 ; Kabul/Accepted : 24.04.2018)

ÖZ

Otomobillerde kullanılan çarpışma kutuları olası bir kaza durumunda ortaya çıkan darbe enerjisini sönümleyerek otomobil içerisine en az seviyede iletilmesini sağlayan bağlantı elemanlarıdır. Bu görevlerinden dolayı çarpışma kutuları otomobiller üzerinde önemli bir komponent durumundadır. Yapılan çalışmada daire, kare, beşgen ve altıgen kesite sahip çarpışma kutularının içerisine alüminyum esaslı metalik köpük malzeme yerleştirilmiş ve sonlu elemanlar analizleri ile enerji sönümlenme kapasitesindeki değişimler incelenmiştir. Yapılan tüm analizler Ls-Dyna programı ile gerçekleştirilmiştir. Gerçek kaza koşullarının canlandırılması amacıyla çarpışma kutularına 500 kg'lık kütle 17,7 m/s'lik bir hız ile çarpıtılmıştır. Çalışmanın sonucunda içi boş çarpışma kutularının içerisine yerleştirilen alüminyum esaslı metalik köpük malzemelerin enerji sönümlenme kapasitesini önemli derecede arttırdığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çarpışma kutusu, Alüminyum köpük, Sonlu elemanlar analizi, Alüminyum tüp kiriş.

The Effect of Aluminium Foam Material on the Energy Absorption Capacity of Different Geometric Structure Crash Boxes

ABSTRACT

Crash boxes used in automobiles are connecting elements that can transmit the impact energy to the automobile at the minimum level by damping the impact energy that arises in case of a possible accident. Due to this role, crash boxes are an important component on automobiles. In the study, aluminum based metallic foam material was placed in crash boxes with circle, square, pentagonal and hexagonal sections and the changes in energy absorption capacity were investigated using finite elements analysis. All analyses were performed with Ls-Dyna program. In order to simulate real accident conditions, a mass of 500 kg was hit at a speed of 17.7 m/s to the crash boxes. As a result of the study, it has been found that the aluminum based metallic foam materials placed in the hollow crash boxes have been found to significantly increase the energy absorption capacity.

Keywords: Crash box, Aluminum foam, Finite element analysis, Aluminum tube beam.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Otomobiller icadı ile birlikte yaşamımızda önemli bir yer kaplamış ve bize sundukları yararlarından dolayı hayatımızın vazgeçilmezleri arasına girmiştir. 20. Yüzyılın başlarından itibaren otomobiller pahalı ulaşım aracı statüsünden çıkarak yaygın bir kitlenin kullanmaya başladığı temel ulaşım araçları haline dönüşmüşlerdir [1]. Otomobillere duyulan ihtiyaç beraberinde trafik kazalarında artmasına yol açmıştır. Karayollarında meydana gelen kazaların büyük bir çoğunluğu önden

çarpmalar şeklinde gerçekleşmektedir. Bunun neticesinde otomobil üzerinde en büyük darbeler öncelikle ön kısımlarda meydana gelmektedir.

Hal böyle olunca kaza anında darbe kuvvetlerine maruz kalan otomobil parçalarının tasarımının önemi ortaya çıkmaktadır.

Otomobillerde kullanılan ve ön tampon üzerinde yer alan çarpışma kutuları deforme olarak önden çarpmalı kazalarda ortaya çıkan kinetik enerjini emebilme yeteneğine sahip bağlantı elemanlarıdır. Kaza anında çarpışma kutularının maruz kaldığı darbe kuvvetlerinin yeterince sönümlenememesi bu kuvvetlerin doğrudan

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

araç içerisindeki yolcu bölümüne aktarılmasına sebebiyet verir. Bu durum hem araç içerisindeki yolcuların ölümcül yaralanmalarına neden olacak ve hem de araçta üzerinde yüksek miktarda maddi hasara yol açacaktır.

Çarpışma kutularının enerji sönümleme kapasitelerinin artırılmasına yönelik geçmişten günümüze çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmalar genellikle çarpışma kutularının geometrisi üzerine olmuştur. Bazı çalışmalarda dairesel kesitli [2-4] çarpışma kutuları kullanılırken bazılarında dikdörtgen ve kare [5-7] ve bazılarında ise çok değişik geometriler [8-10] ele alınmıştır. Çarpışma kutularının geometrik özelliklerinin değiştirilmesi enerji sönümleme kapasitesi üzerine etkili olduğu bilinmektedir. Bunun yanında yapılan diğer çalışmalarda çarpışma kutularının malzemesi [11-12], et kalınlıkları [13-15] ve koniklik açısı [16-18] değişken parametreler olarak kullanılmıştır. Öztürk ve diğerleri, sonlu elemanlar yöntemini kullanarak LS-DYNA yazılımıyla darbe emici sistemler üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada % 40 ofsetten oluşan bir tampon çarpışma modeli LS-DYNA üzerinde oluşturulmuştur. Çalışmanın sonucunda analiz edilen model için 10 m/s'lik süre içerisinde sönümlenen enerji kapasitesi 4.21×10^6 J olarak bulunmuştur. Bununla birlikte 1000 kg'lık kütleyle sahip blok 15,8 m/s'lik hızla tampona çarptığı varsayılırsa ortaya çıkan toplam enerjinin yaklaşık %3,4'lük bölümünün çarpışma kutusu tarafından sönümlendiğini belirlenmiştir [19].

Demirci ve diğerleri, farklı geometrilerdeki çarpışma kutularının önden çarpmalı kaza durumlarında enerji sönümleme kapasitelerini belirleyebilmek amacıyla sonlu elemanlar analizi yapmışlardır. Çarpışma kutularının malzemesini çelik olarak belirlenmiş ve LS-DYNA yazılımı ile 15,6 m/s lik hızda 80 kg lık kütleyle sahip rijit bir duvara aksel doğrultuda çarptırarak sonlu elemanlar analizi yapılmıştır. Tasarımı gerçekleştirilen modellerden en iyisinin mevcut modele göre daha üstün olduğunu, 6,66 kJ olan enerji sönümleme kapasitesinin 6,7 kJ'la çıktığı ve maksimum deformasyon kuvvetinin 107 kN'dan 106 kN'a indiği tespit edilmiştir [20].

Toksoy, içerisinde kapalı hücreli alüminyum köpük malzeme doldurulmuş kare kesitli çarpışma kutularının deformasyonlarını incelemiştir. Toksoy çalışmasında kullanacağı her bir çarpışma kutusunun et kalınlığını 2 mm, 2,5 mm ve 3 mm, boyutlarını $70,6 \times 73,2 \times 125,2$ mm ve $60 \times 70,4 \times 122,6$ mm olarak belirlemiştir. Çalışma sonucunda Dolu profillerdeki ortalama ezilme miktarının boş tüplere göre % 55, özgül enerji sönümleme kapasitesinde ise %9,8 arttığını belirtmiştir. En yüksek enerji sönümleme kapasitesinin ise 3 mm et kalınlığındaki alüminyum köpük ile dolu çarpışma kutusunun sağladığı belirtilmiştir [21].

Zarei ve diğerleri, boş ve alüminyum köpük malzeme ile doldurulmuş profillerin aksel ve eğik yükler altındaki enerji sönümleme kapasitelerini incelemiştir. Çalışma sonucunda yapılan testler ile köpük malzeme ile dolu çarpışma kutularının özgül enerji sönümleme kapasitesi diğerlerine göre daha iyi olduğunu belirtmişlerdir. Buna

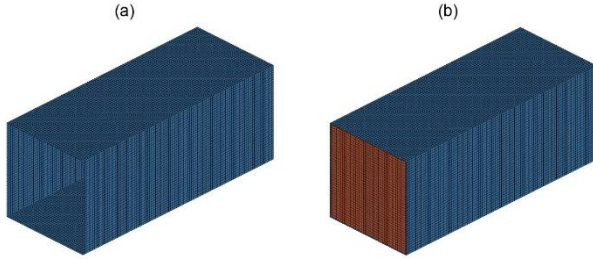
karşın kullanılan köpük malzemenin yoğunluğunun optimum değerden fazla olması ezilme kuvveti verimi ile özgül enerji sönümleme kapasitesinin azalmasına neden olacağını dile getirmişlerdir [22].

Malzeme teknolojisini gelişmesiyle birlikte çarpışma kutularının enerji sönümleme kapasitelerinin artırılmasında yeni bir materyal olan metalik köpük malzemeler kullanılmaya başlanmıştır. Gerek mekanik özellikleri gerekse fiziksel özellikleri bu malzemeleri kullanışlı hale getirmektedir. Hafif olmaları ve enerji sönümleme kapasitelerinin yüksek olması en büyük avantajları arasında sayılabilmektedir. Metalik köpük malzemeler gaz fazındaki baloncukların sıvı haldeki metal fazı içerisinde hapsolarak gözenekler oluşturmasıyla meydana gelir. Bu baloncuklar daha sonra sıvı fazdan katı faza geçerken önceki oluşturdukları şekilleri korumakta ve katı haldeki köpük malzemeyi oluşturmaktadır [23]. Hücre yapısına göre metalik köpük malzemeler açık hücreli ve kapalı hücreli olarak ikiye ayrılmaktadır. Köpük malzemelerde gözenekler arasında bir bağlantı varsa bu tür köpüklere açık hücreli, gaz hücreler içerisinde hapsedilmiş ve sızdırmazlık derecesinde birbirlerinden duvarlarla ayrılıyorsa kapalı hücre olarak adlandırılmaktadır [24]. Metalik köpük malzemeler çarpışma kutularının içerisine yerleştirilerek çarpışma esnasında ortaya darbe enerjisini daha fazla sönümlemesi amacıyla kullanılmaktadır. Genellikle $0,5 \text{ g/cm}^3$ ile $0,7 \text{ g/cm}^3$ arasında yoğunluğa sahip metalik köpük malzemelerin çarpışma kutularının enerji sönümleme kapasitelerini arttırdığı görülmektedir [25-27]. Metalik köpük malzemelerin yanında sentetik bazlı köpük malzemelerde kullanılmaktadır [28-29].

Bu çalışmada otomobillerde kullanılan farklı geometrik yapıdaki çarpışma kutularının içerisine alüminyum köpük malzeme yerleştirilmiş ve darbe kuvveti altında ki çarpışma performansı sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak incelenmiştir.

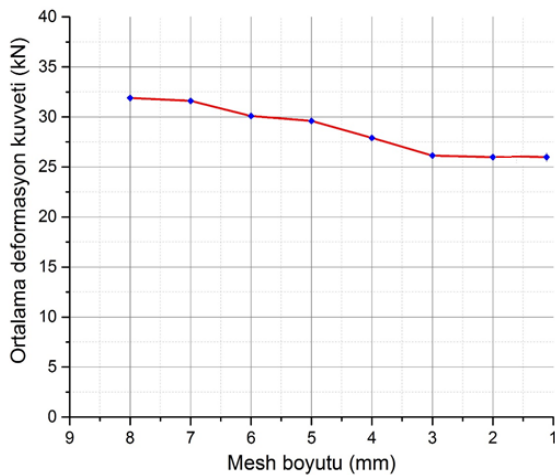
2. SONLU ELEMANLAR MODELİ (FINITE ELEMENT MODEL)

Çalışmanın bu bölümünde tasarımı gerçekleştirilen çarpışma kutularının sonlu elemanlar analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizlerin yapılabilmesi için bir dizi ön hazırlık gerekmektedir. Tüm çarpışma kutularının uzunlukları 200 mm ve et kalınlıkları 1,5 mm olarak alınmıştır. İlk olarak tasarlanan çarpışma kutularının kabuk modelleri Solidworks programı yardımıyla çizilmiştir. Daha sonra çarpışma kutularının sonlu elemanlar modelinin oluşturulabilmesi için Hypermesh programından yararlanılmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Temsili içi boş (a) ve içi dolu (b) çarpışma kutularının sonlu elemanlar modeli (Representative finite element models empty (a) and foam filled (b) crash box)

Sonlu elemanlar analizinde mesh (bölüntüleme) işlemi yapmak fiziksel olarak tanımlanan bir bölgeyi belli büyüklüklerde parçalara bölme işlemi olarak tanımlanmaktadır. Kullanılacak mesh boyutu yapılan analizin sonucunu etkilemektedir. Yapılan çalışmada kullanılacak mesh boyutunu belirlemek amacıyla örnek olarak alınan içi boş kare çarpışma kutusu farklı boyutlarda (2 mm, 3 mm, 4 mm, 5 mm, 6 mm, 7 mm ve 8 mm) mesh işlemine tabi tutulmuş ve aynı koşullar altında analizleri gerçekleştirilmiştir. Mesh işlemi yapılırken 4 nodlu Belytschko-Tsay ince kabuk (shell) elemanlar kullanılmış, bu kabuk elemanların kesitine 5 integrasyon noktası uygulanmıştır. Çarpışma kutularının kendi üzerlerinde katlanmalarını kontrol etmek amacıyla Automatic Single Surface Contact algoritmaları ile çarpışma kutusu ve alüminyum köpük arasındaki bağlantıyı sağlamak için Automatic Surface to Surface kontak algoritmaları kullanılmıştır. Kullanılan kontak algoritmalarında statik sürtünme katsayısı 0,3, dinamik sürtünme katsayısı 0,2 alınmıştır. Yapılan analiz neticesinde Şekil 2’de verilen sonuçlar elde edilmiş ve 2 mm mesh boyutu tüm analizlerde kullanılmak üzere seçilmiştir.



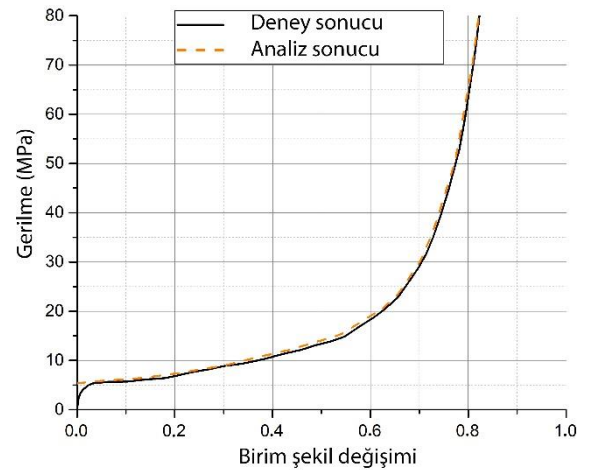
Şekil 2. Ortalama deformasyon kuvvetine bağlı olarak yakınsak mesh boyutunun belirlenmesi (Determination of convergence mesh size depending on mean crush force)

Sonlu elemanlar modeli oluşturulan çarpışma kutularının malzeme kartları ve sınır şartları Ls-PrePost programı yardımıyla oluşturulmuştur. Çarpışma kutularının sonlu elemanlar modeli için elasto-plastik malzeme yapısından oluşan ve Ls-Dyna programının içerisinde yer alan “MAT 24 (Piecewise Linear Isotropic Plasticity), alüminyum köpük malzemeler için “MAT 154 (Deshpande and Fleck) malzeme kartları seçilmiştir. “MAT 154” malzeme kartı için gerekli olan parametreler belirlenirken üretilen köpük malzemelere basma testi uygulanmıştır. Basma testi yapılan köpük malzemenin kesit görüntüsü Şekil 3’te verildiği gibidir.



Şekil 3. Üretilen köpük malzemenin kesit görüntüsü

Basma testi sonucunda elde edilen gerilme-birim şekil değiştirme grafiği LS-DYNA simülasyonu sonucunda elde edilen gerilme-birim şekil değiştirme grafiği ile karşılaştırılmıştır. Şekil 4’te görüldüğü gibi deney sonucu ile simülasyon sonucu birbirine çok yakın çıkmıştır.



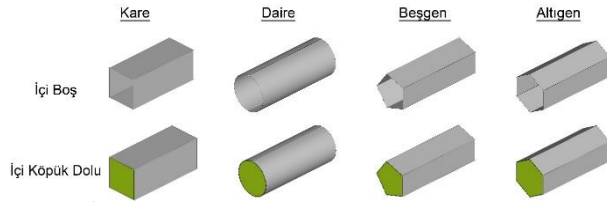
Şekil 4. Al köpük malzemenin gerilme-birim şekil değişimi grafiğinin karşılaştırılması (Comparison of stress-strain curve of Al foam material)

Yapılan bu karşılaştırma çalışması sonucunda analizlerde kullanılacak köpük malzemeye ait parametreler belirlenmiştir. Çarpışma kutularının malzemesi Al 6063 olarak belirlenmiştir. Kullanılan malzemelere ait mekanik özellikler Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri
(Mechanical properties of materials)

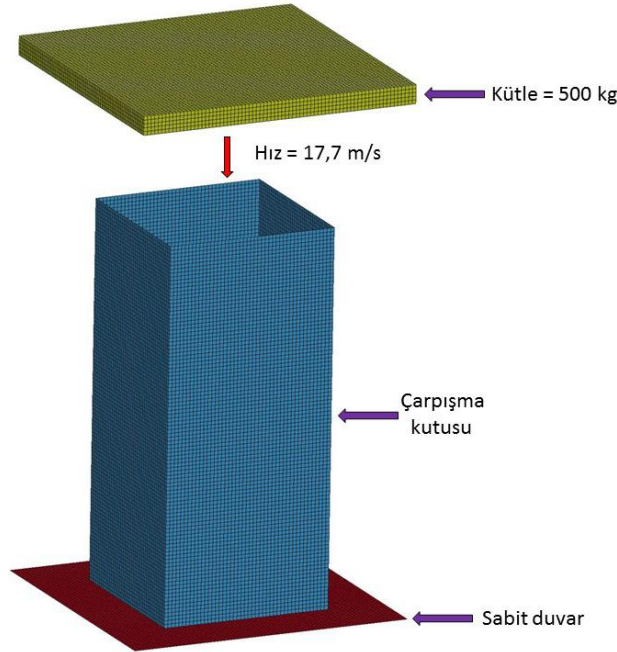
Malzeme Türü	Yoğunluk (ρ)	Elastik Modülü (E)	Poisson Oranı (ν)
Al 6063	2,7 (g/cm ³)	68,2 (GPa)	0,3
Al Köpük	0,628 (g/cm ³)	0,806 (GPa)	0

Oluşturulan içi boş ve alüminyum köpük malzeme ile dolu çarpışma kutuları Şekil 5’de verilmektedir.



Şekil 5. İçi boş ve içi köpük dolu çarpışma kutuları

Son olarak sonlu elemanlar modelleri ile malzeme kartları oluşturulan çarpışma kutuları Ls-Dyna ile analiz edilmiştir. Analizler yapılırken tüm çarpışma kutularına 500 kg’lık kütle 17,7 m/s’lik bir hız ile çarpıtılmıştır (Şekil 6).



Şekil 6. Çarpışma kutusunun sonlu elemanlar modeli (Finite element model of the crash box)

3. ANALİZ SONUÇLARI VE TARTIŞMA (ANALYSIS RESULTS & DISCUSSION)

Yapılan bu çalışmada farklı geometrik özelliklere sahip içi boş ve içi alüminyum köpük malzeme ile dolu toplam sekiz adet çarpışma kutusu 120 mm boyunca deforme edilerek sönmölenen enerji, maksimum deformasyon

kuvveti, ortalama deformasyon kuvveti, ezilme kuvveti verim ve özgül enerji sönmöleme kapasiteleri belirlenmiştir.

Analiz sonuçları belirlenirken bazı veriler program çıktılarından alınırken bazı veriler ise çeşitli hesaplamalar sonucu elde edilmiştir. Bu hesaplamalarda kullanılan formüller aşağıdaki eşitliklerde verilmiştir.

Sönmölenen Enerji: Çarpışma kutularının çarpışma sonunda sönmölediği toplam enerji (S_E), çarpma kuvvetinin yaptığı iş olarak tanımlanabilir [30].

$$S_E = \int_{\delta_p}^{\delta} P d\delta \quad (1)$$

Burada P ezilme kuvvetini, δ ve δP yapılan işin hesaplanacağı ezilme aralığını ifade etmektedir. Sönmölenen enerji veya yük- yer değiştirme grafiğinin altında kalan alan olarak ifade edilmektedir.

Özgöl Enerji Sönmöleme (ÖES): Özgöl enerji sönmöleme kapasitesi sönmölenen enerjinin (S_E) çarpışma kutusunun deformasyona uğramadan önceki kütlelerine (m) oranı olarak tanımlanmaktadır.

$$\text{ÖES} = \frac{S_E}{m} \quad (2)$$

Tasarım esnasında malzeme seçimi, çarpışma kutusunun enerji sönmöleme kapasitesini direkt olarak etkileyeceğinden önemli bir parametre olarak karşımıza çıkmaktadır. Çarpışma kutusunu kütle ne kadar hafif olursa özgül enerji sönmöleme kapasitesi o kadar yüksek olacaktır.

Ortalama Deformasyon Kuvveti: Sönmölenen enerji miktarının (S_E) aksenal yöndeki toplam yer değiştirme mesafesine (X) oranı olarak tanımlanır.

$$F_{ort} = \frac{S_E}{X} \quad (3)$$

Ezilme Kuvveti Verimi (EKV): Ezilme kuvveti verimi, ortalama ezilme kuvvetinin maksimum ezilme kuvvetine oranı olarak tanımlanır.

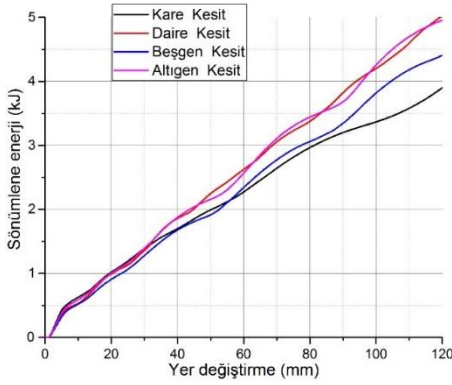
$$EKV = \frac{F_{ort}}{P_{max}} \quad (4)$$

3.1. Çarpışma kutularının sonlu elemanlar analiz sonuçları (The result of analysis of the empty crash boxes)

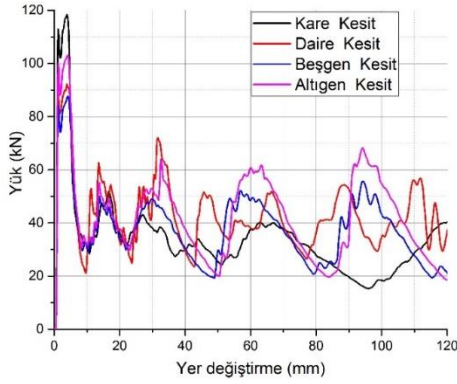
İçi boş çarpışma kutuları 500 kg’lık bir kütle 17,7 m/s’lik bir hızla deforme edilmiş ve Çizelge 2’de verilen sonuçlar elde edilmiştir. Aynı zamanda 120 mm’lik deformasyon mesafesi içerisinde yük-yer değiştirme ve sönmölenen enerji-yer değiştirme grafikleri Şekil 7 ve Şekil 8’de verildiği gibi tespit edilmiştir

Çizelge 2. Analiz sonuçları (Results of the analysis)

İçi Boş Çarpışma Kutuları							
Geometri	Toplam yer değiştirme (mm)	Sönümlenen enerji (kJ)	Maksimum deformasyon kuvveti (kN)	Ortalama deformasyon kuvveti (kN)	Ezilme kuvveti verimi (%)	Özgül enerji sönümleme (kJ/kg)	Et kalınlığı (mm)
Daire	120	4,851	92,21	40,43	0,44	23,80	1,5
Kare	120	3,899	118,40	32,49	0,27	15,04	1,5
Beşgen	120	4,705	87,68	39,21	0,45	24,68	1,5
Altıgen	120	4,955	103,09	41,29	0,40	21,90	1,5

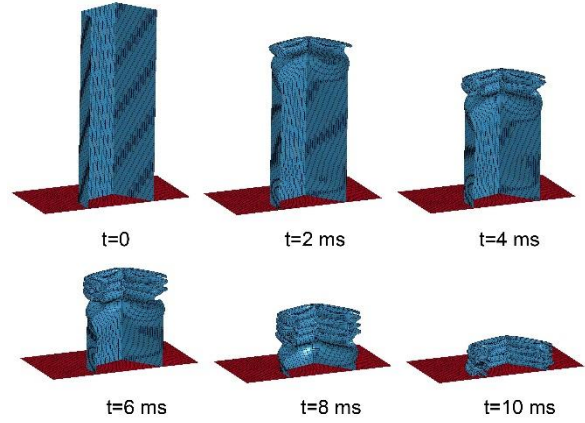


Şekil 7. İçi boş çarpışma kutularının sönümlenen enerji-yer değiştirme grafiği (Absorb energy – displacement curves for empty crash boxes)



Şekil 8. İçi boş çarpışma kutularının yük-yer değiştirme grafiği (Load-displacement curves for empty crash boxes)

Analiz sonuçlarına göre en iyi çarpışma performansına beşgen kesitli çarpışma kutusunun sahip olduğu belirlenmiştir. Beşgen kesite sahip çarpışma kutusunun 120 mm'lik deformasyon mesafesi içerisinde farklı zaman aralıklarında çekilmiş görüntüleri Şekil 9'da verildiği gibi elde edilmiştir.



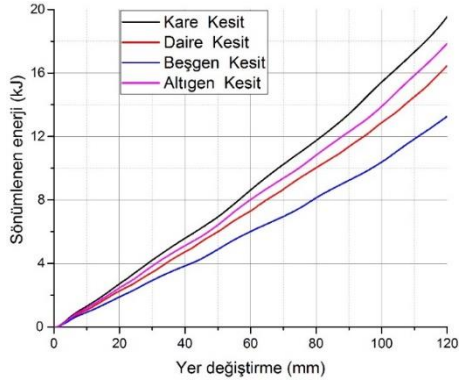
Şekil 9. İçi boş çarpışma kutularının deformasyon görüntüsü (Progressive collapse of empty model)

İçi boş çarpışma kutularının sonlu elemanlar analizlerinin bitmesiyle birlikte içi alüminyum köpük dolu çarpışma kutularının analizleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler neticesinde elde edilen sonuçlar Çizelge 3'de verilmiştir.

Çizelge 3. Analiz sonuçları (Results of the analysis)

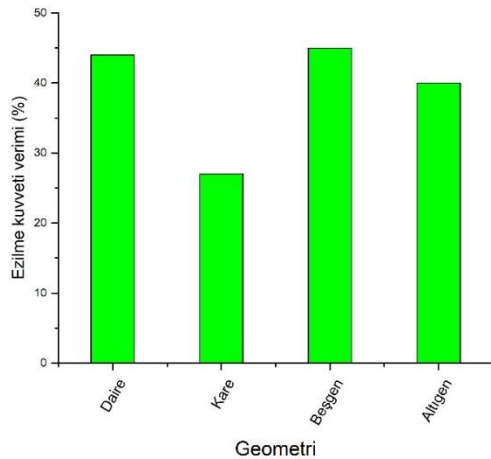
İçi Alüminyum Köpük Dolu Çarpışma Kutuları							
Geometri	Toplam yer değiştirme (mm)	Sönümlenen enerji (kJ)	Maksimum deformasyon kuvveti (kN)	Ortalama deformasyon kuvveti (kN)	Ezilme kuvveti verimi (%)	Özgül enerji sönümleme (kJ/kg)	Et kalınlığı (mm)
Daire	120	16,463	225,44	137,19	0,61	20,64	1,5
Kare	120	19,547	260,22	162,89	0,63	19,08	1,5
Beşgen	120	13,276	161,60	110,63	0,68	20,72	1,5
Altıgen	120	17,862	226,39	148,85	0,66	19,88	1,5

İçi köpük dolu çarpışma kutularının arasında en yüksek performansa sahip çarpışma kutusu içi boşlarda olduğu gibi beşgen kesitli çarpışma kutusu çıkmıştır. Sönümlenen enerji bakımından en fazla artışı kare kesitli çarpışma kutusu sağlasa da maksimum deformasyon kuvveti ve çarpışma kutusunun kütleindeki artışın çok fazla olması özgül enerji sönümleme kapasitesi ile ezilme kuvveti veriminin azalmasına yol açmıştır. İçi alüminyum köpük malzeme ile dolu çarpışma kutularının sönümlenen enerji-yer değiştirme ve yük-yer değiştirme grafikleri sırasıyla Şekil 10 ve Şekil 11’de verilmiştir.

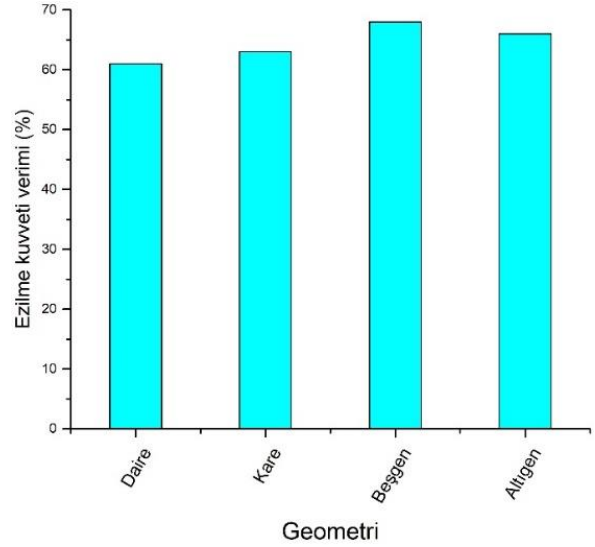


Şekil 10. İçi alüminyum köpük dolu çarpışma kutularının sönümlenen enerji-yer değiştirme grafiği (Absorb energy -displacement curves for aluminum foam filled crash boxes)

Beşgen kesitli çarpışma kutusunun her ne kadar sönümlenen enerji miktarı düşük olsa bile maksimum deformasyon kuvvetinin diğer çarpışma kutularından çok daha az olması ezilme kuvveti verimini arttırmıştır. Şekil 12 ve 13 te içi boş ve içi köpük dolu çarpışma kutularının ezilme kuvveti verimindeki değişim görülmektedir.

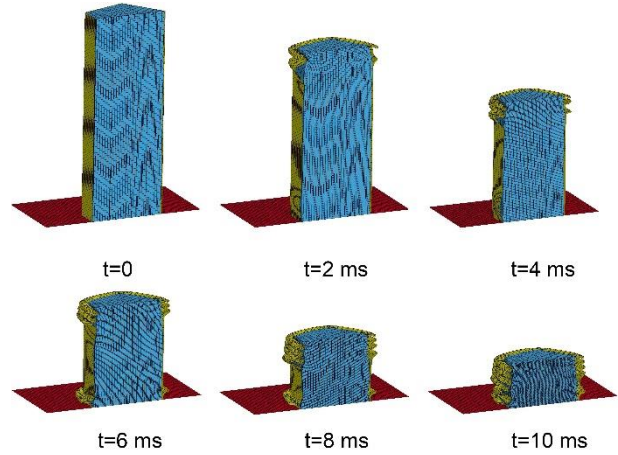


Şekil 12. İçi köpük dolu geometrilerin ezilme kuvveti verimleri (Crush force efficiency for foam filled geometries)



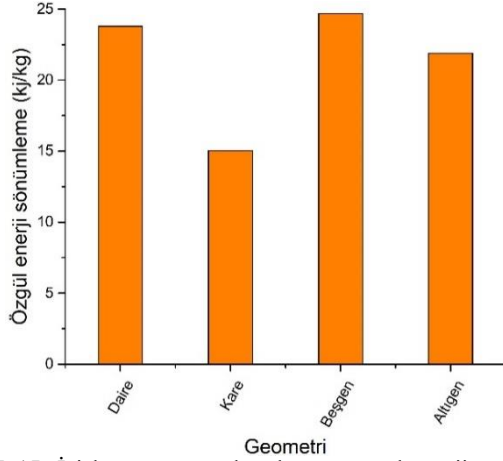
Şekil 13. İçi boş geometrilerin ezilme kuvveti verimleri (Crush force efficiency for empty geometries)

Benzer şekilde çarpışma kutularının içerisine köpük yerleştirme çarpışma kutularının toplam kütlelerinde artış meydana getirirse de bu artıştan en az etkilenen çarpışma kutusu beşgen kesitli çarpışma kutusu olmuştur. Beşgen kesitli çarpışma kutusunun farklı deformasyon süreleri içerisindeki davranışı Şekil 14’deki gibi olmuştur.

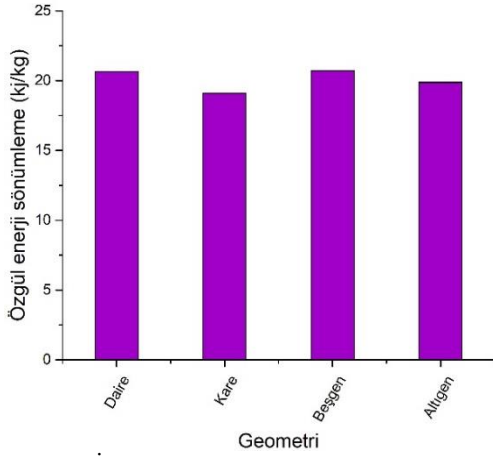


Şekil 14. İçi alüminyum köpük dolu çarpışma kutularının deformasyon görüntüsü (Progressive collapse of aluminum foam filled model)

Özgül enerji sönümleme kapasitesi çarpışma kutularının deformasyon mesafesi boyunca sönümlendiği enerji ve ağırlıkları ile değişim göstermektedir. Buna bağlı olarak içi boş ve içi köpük dolu çarpışma kutularının özgül enerji sönümleme kapasitelerindeki değişim sırasıyla Şekil 15 ve Şekil 16’da verilmiştir.



Şekil 15. İçi boş çarpışma kutularının özgül enerji sönümlenme kapasiteleri (Specific energy absorption capacity curves for empty crash boxes)



Şekil 16. İçi alüminyum köpük dolu çarpışma kutularının özgül enerji sönümlenme kapasiteleri (Specific energy absorption capacity curves for foam filled crash boxes)

4. SONUÇLARI (RESULTS)

Yapılan çalışma neticesinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

- Çarpışma kutularının geometrilerindeki değişim enerji sönümlenme kapasiteleri üzerinde önemli derecede farklılık sağlamaktadır.
- İçi boş çarpışma kutuları içerisinde en yüksek ezilme kuvveti verimi ve özgül enerji sönümlenme kapasitesine sahip olanı beşgen kesitli çarpışma kutusu olduğu tespit edilmiştir.
- Çarpışma kutularının içerisine alüminyum köpük malzeme yerleştirmek enerji sönümlenme kapasitesini yaklaşık 4 kat arttırmıştır.
- Çarpışma kutularının içerisine yerleştirilen köpük miktarının artması ezilme kuvveti verimini arttırmıştır. Ancak bu durum maksimum deformasyon kuvvetinin de artmasına neden olmuştur.
- İçi boş beşgen kesitli çarpışma kutusunun 0,45 olan ezilme kuvveti verimi içerisini alüminyum köpük malzeme ile doldurmanın sonucunda 0,68 olmuştur.

- İçi boş beşgen kesitli çarpışma kutusunun 24,68 kJ/kg olan özgül enerji sönümlenme kapasitesi içerisini alüminyum köpük malzeme ile doldurmanın sonucunda toplam kütlede çok fazla artması sonucunda 20,72 kJ/kg'a kadar düşmüştür.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Altın M., "Taşıtlarda kullanılan metalik köpük içeren çarpışma kutularının enerji sönümlenme kapasitelerinin araştırılması" , *Doktora Tezi*, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, (2017).
- [2] Javad M., Abdollahpoor A. and Mashadi B., "Effects of the triggering of circular aluminum tubes on crashworthiness", *International Journal of Crashworthiness*, 14(6): 591-599, (2009).
- [3] Zarei H. R. and M. Kröger, "Multiobjective crashworthiness optimization of circular aluminum tubes" *Thin-walled structures*, 44(3): 301-308, (2006).
- [4] Guillow S. R., Lu G. and Grzebieta R. H., "Quasi-static axial compression of thin-walled circular aluminium tubes", *International Journal of Mechanical Sciences*, 43(9): 2103-2123, (2001).
- [5] Zou X., Gao G., Dong H., Xie S., Chen G. and Tan T., "Crashworthiness analysis and structural optimisation of multi-cell square tubes under axial and oblique loads", *International Journal of Crashworthiness*, 22(2): 129-147, (2017).
- [6] Xie S., Yang W., Li H. and Wang N., "Impact characteristics and crashworthiness of multi-cell, square, thin-walled, structures under axial loads", *International Journal of Crashworthiness*, 22(5): 1-15, (2017).
- [7] Mamalis A. G., Manolakos D. E., Spentzas K. N., Loannidis M. B., Kautrobakis S. and Kostazos P. K., "The effect of the implementation of circular holes as crush initiators to the crushing characteristics of mild steel square tubes: experimental and numerical simulation", *International Journal of Crashworthiness*, 14(5): 489-501, (2009).
- [8] Yin H., Wen G., Hou S. and Chen K., "Crushing analysis and multiobjective crashworthiness optimization of honeycomb-filled single and bitubular polygonal tubes", *Materials & Design*, 32(8): 4449-4460, (2011).
- [9] Zhang X., Cheng G., You Z. and Zhang H., "Energy absorption of axially compressed thin-walled square tubes with patterns", *Thin-Walled Structures*, 45(9): 737-746, (2007).
- [10] Reddy S., Abbasi M. and Fard M., "Multi-cornered thin-walled sheet metal members for enhanced crashworthiness and occupant protection", *Thin-Walled Structures*, 94: 56-66, (2015).
- [11] Hussain N., Nasir S. P. and Rao Y. V. D., "Comparative Study of Trigger Configuration for Enhancement of Crashworthiness of Automobile Crash Box Subjected to Axial Impact Loading", *Procedia Engineering*, 173: 1390-1398, (2017).

- [12] Hussain N., Nasir S. P. and Rao Y. V. D., “Low velocity Impact Characterization of Glass Fiber Reinforced Plastics for Application of Crash Box”, *Materials Today: Proceedings*, 4(2): 3252-3262, (2017).
- [13] Sun G., Pang T., Xu G., Zheng G. and Song J., “Energy absorption mechanics for variable thickness thin-walled structures”, *Thin-Walled Structures*, 118: 214-228, (2017).
- [14] Xu F., “Enhancing material efficiency of energy absorbers through graded thickness structures”, *Thin-Walled Structures*, 97: 250-265, (2015).
- [15] Fang J., Gao Y., Sun G., Zheng G. and Q. Li, “Dynamic crushing behavior of new extrudable multi-cell tubes with a functionally graded thickness”, *International Journal of Mechanical Sciences*, 103: 63-73, (2015).
- [16] Asanjarani A., Dibajian S. H. and A. Mahdian, “Multi-objective crashworthiness optimization of tapered thin-walled square tubes with indentations”, *Thin-Walled Structures*, 116: 26-36, (2017).
- [17] Li G., Xu F., Sun G. and Li Q., “A comparative study on thin-walled structures with functionally graded thickness (FGT) and tapered tubes withstanding oblique impact loading”, *International Journal of Impact Engineering*, 77: 68-83, (2015).
- [18] Qi C., Yang S. and Dong F., “Crushing analysis and multiobjective crashworthiness optimization of tapered square tubes under oblique impact loading”, *Thin-Walled Structures*, 59: 103-119, (2012).
- [19] Öztürk, İ., Kaya, N., “Otomobil ön tampon çarpışma analizi ve optimizasyonu”, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 13(1), 119-127, (2008).
- [20] Demirci, E., Yıldız, A.R., Semerci, F., “Taşıtlarda önden çarpışma performansını etkileyen enerji yutucularının optimum tasarımı”, *7. Otomotiv Teknolojileri Kongresi*, Bursa, 56 (663), 40-45, (2014).
- [21] Toksoy, A.K., “Optimization of the axial crushing behavior of closed-cell aluminum foam filled welded 1050 al square-cross section crash boxes”, *Yüksek Lisans Tezi*, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Fen Bilimleri, İzmir, 20-138. (2009).
- [22] Zarei, H., Kröger, M. “Optimum honeycomb filled crash absorber design”, *Materials and Design*, 29(1): 193-204, (2006).
- [23] Sezer Ş. D., “Kompakt toz ergitme tekniği ile alüminyum köpük üretimi”, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, (2009).
- [24] A. A. Sertkaya “Alüminyum köpüğün ısı değiştiricisi olarak tasarımı ve ısı transferi modeli”, *Doktora Tezi*, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, (2008).
- [25] Ahmad Z. and Thambiratnam D. P., “Crushing response of foam-filled conical tubes under quasi-static axial loading”, *Materials & Design*, 30(7): 2393-2403, (2009).
- [26] Toksoy A. K. and Güden M., “Partial Al foam filling of commercial 1050H14 Al crash boxes: The effect of box column thickness and foam relative density on energy absorption”, *Thin-walled structures*, 48(7): 482-494, (2010).
- [27] Hanssen A. G., Langseth M. and Hopperstad O. S., “Optimum design for energy absorption of square aluminium columns with aluminium foam filler”, *International Journal of Mechanical Sciences*, 43(1): 153-176, (2001).
- [28] Azarakhsh S., Rahi A., Ghamarian A. and Motamedi H., “Axial crushing analysis of empty and foam-filled brass bitubular cylinder tubes”, *Thin-Walled Structures*, 95: 60-72, (2015).
- [29] Haorongban B., Deb A. and Grupta N. K., “Behaviour of polyethylene foam-filled steel hat sections under axial loading: testing and simulation”, *11 th International Symposium on Plasticity and Impact Mechanics*, Delhi, 1349-1356, (2017).
- [30] Jin S. Y. and Altenhof W., “ Comparison of the load/displacement and energy absorption performance of round and square AA6061-T6 extrusions under a cutting deformation mode”, *International Journal of Crashworthiness*, 12: 265-278, (2007).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

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



Pasif filtre kullanılarak elektronik balastlı floresan lambanın harmoniklerinin azaltılması ve simülasyonu

Simulation and harmonics reduction of electronic ballast fluorescent lamp by using passive filter

Yazar(lar) (Author(s)): Bahadır ERDOĞAN¹, Ali Bekir YILDIZ²

ORCID¹: 0000-0002-0600-0488

ORCID²: 0000-0003-4043-7859

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Erdoğan B. ve Yıldız A.B., “Pasif filtre kullanılarak elektronik balastlı floresan lambanın harmoniklerinin azaltılması ve simülasyonu”, *Politeknik Dergisi*, 22(1): 149-155, (2019).

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

DOI: 10.2339/politeknik.389640

Pasif Filtre Kullanılarak Elektronik Balastlı Floresan Lambanın Harmoniklerinin Azaltılması ve Simülasyonu

Araştırma Makalesi / Research Article

Bahadır ERDOĞAN, Ali Bekir YILDIZ*

¹Elektrik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Kocaeli Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 14.11.2017 ; Kabul/Accepted : 25.12.2017)

ÖZ

Elektrik tesislerinde elektrik enerjisine olan ihtiyaç kadar enerjinin kalitesi de büyük önem taşımaktadır. Güç kalitesini etkileyen en önemli unsurlardan biri, sistemdeki lineer olmayan yüklerden kaynaklanan harmoniklerdir. Son yıllarda güç elektroniğinin gelişimiyle artan lineer olmayan yükler, elektrik tesislerinde dalga şekillerinin bozulmasına ve harmoniklerin oluşmasına neden olmaktadır. Sistemdeki harmonikler ekonomik ve teknik zararlara neden olmaktadır. Bir tesisin tasarımı aşamasında alınacak bazı önlemler dışında, harmoniklerin azaltılması için en önemli yöntem harmonik filtrelerin kullanılmasıdır. Bu çalışmada, elektronik balastlı bir floresan lambanın çalışma durumlarına ilişkin harmonik ölçümleri alınmıştır. Daha sonra, ölçülen harmonikleri azaltmak amacıyla pasif filtreler tasarlanarak etkileri ve Toplam harmonik bozunum (THB) değerlerindeki azalmalar gözlemlenmiştir. Filtre tasarımında tek ayarlı ve çift ayarlı modeller kullanılmıştır. Aynı sistem, Matlab/Simulink ortamında modellenerek, ölçüm ile teorik sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Filtre, güç kalitesi, harmonik, THB.

Simulation and Harmonics Reduction of Electronic Ballast Fluorescent Lamp by Using Passive Filter

ABSTRACT

The quality of energy is great importance as much as the electricity is required in power systems. One of the most important factors affecting the power quality is the harmonics resulting from non-linear loads in the system. In recent years, the development of the power electronics causes non-linear loads to increase. Correspondingly, it causes waveform distortions and harmonics in power systems. Harmonics cause technical and economical losses in the system. Except for some precaution to take in the design phase of a power system, the most important method for reducing harmonics is the use of harmonic filters. In this study, harmonic measurements of fluorescent lamp with electronic ballast are taken. Thereafter, passive filters are designed to reduce harmonics, their effects and decreases in Total Harmonics Distortion (THD) values are observed. Single-tuned and double-tuned models are used in filter design. The same system is modeled in Matlab/Simulink, the theoretical results are compared with measurement results.

Keywords: Filter, power quality, harmonics, THD.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Elektrik tesislerinde elektrik enerjisine olan ihtiyaç kadar enerjinin kalitesi de büyük önem taşımaktadır. Güç kalitesini etkileyen en önemli unsurlardan biri sistemdeki lineer olmayan yüklerden kaynaklanan harmoniklerdir. Elektrik enerji sistemlerinde; akım, gerilim gibi büyüklüklerin dalga şekli temel frekanslı sinüsoidal bir değişime sahip olmalıdır. Bunun için de sistemin sinüsoidal bir kaynakla beslenmesi ve yüklerin lineer olması gereklidir. Sisteme bağlı elektrik enerjisiyle çalışan cihazların doğru ve verimli bir şekilde çalışması için dalga şeklinin ve frekansının değişmeden kullanılması önemlidir. Fakat sistemde var olan ve her geçen gün sayısı artan lineer olmayan yükler sistemde

harmonik akım bileşenlerinin oluşmasına neden olurlar. Eğer herhangi bir önlem alınmazsa harmonik akım bileşenlerinin oluşturduğu harmonik gerilimler sisteme bağlı bütün yükler üzerinden harmonik akımlar akıtır. Böylece herhangi bir tüketici harmonik bozunuma neden olmasa bile sistemdeki bozulmalardan etkilenmiş olacaktır. Harmonik bozunum, enerji sisteminde ve bu sisteme bağlı bütün elemanların üzerinde teknik ve ekonomik olumsuzluklar meydana getirir. Ekonomik olumsuzluk olarak iletim hatları, dağıtım sistemleri, motor ve generatör gibi elemanlarda ek kayıplara neden olması, teknik olumsuzluk olarak ise sistem elemanlarının zarar görüp sistemin çalışamaz duruma gelmesi ya da anahtarlama elemanlarının yanlış anlarda anahtarlama yapıp doğru çalışmamasına neden olması örnek olarak verilebilir. Ayrıca sistemde harmonikler nedeniyle değişik frekanslarda akım ve gerilimler

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : abyildiz@kocaeli.edu.tr

olacağından, harmonikler sistemde rezonans olayına yol açarak aşırı gerilim ve akımların oluşmasına neden olabilirler. Aşırı gerilim ve akımlar sistemdeki elemanlara büyük zararlar vereceklerdir. Harmoniklerin oluşturacağı bu olumsuzluklardan etkilenmemek için harmonikli sistemlerin analiz edilip buna uygun önlemlerin alınması büyük önem taşımaktadır. Ref.[1-6]'da güç sistemlerindeki harmoniklerin nedenleri, etkileri incelenmiş ve analizleri verilmiştir.

Harmoniklerin yok edilmesi veya etkilerinin azaltılması için iki farklı yöntem vardır. Bunlardan birincisi harmonik üreten elemanların harmonik üretmeyecek ya da mümkün olduğunca az harmonik üretecek şekilde tasarlanması veya şebeke bağlantılarının uygun şekilde yapılmasıdır. İkinci yöntem ise harmoniklerin üretildikten sonra filtreler yardımıyla yok edilmesidir. Ref.[7-12]'de harmoniklerin azaltılması için çeşitli filtreleme teknikleri önerilmiştir.

Elektrik tesislerinde pek çok harmonik üreten eleman söz konusudur. Bunlar arasında en yaygın olanı ve bilineni, elektronik balastlı floresan lambalardır. Bu yük çeşidi, hem konutlarda hem sanayide yaygın olarak kullanılmaktadır. Ref.[13-17]'de floresan lambaların ürettiği harmonikler incelenmiş, çeşitli harmonik modelleri elde edilmiş, simülasyonları yapılmış, filtreleme teknikleri incelenmiştir.

Bu çalışmada, yaygın kullanılan elektronik balastlı floresan lambanın çalışma durumlarına ilişkin harmonik ölçümleri alınmıştır. Daha sonra, ölçülen harmonikleri azaltmak amacıyla pasif filtreler tasarlanarak etkileri ve Toplam Harmonik Bozunum (THB) değerlerindeki azalmalar gözlemlenmiştir. Bu çalışmanın temel katkısı, filtre tasarımında tek ayarlı ve çift ayarlı modeller kullanılarak, sistemin Matlab/Simulink ortamında modellenmesi, ölçüm ile teorik sonuçların karşılaştırılmasıdır.

2. TOPLAM HARMONİK BOZUNUMU (TOTAL HARMONIC DISTORTION)

Toplam harmonik bozunumu (THB), harmonik içeren periyodik dalga şeklinin tam bir sinüs dalga şeklinden ne kadar saptığını belirlemek için kullanılır. THB gerilim ve akım ifadeleri, sırasıyla denk.(1.a) ve denk.(1.b)'deki gibidir. Bu oran genellikle yüzde olarak ifade edilir [18]

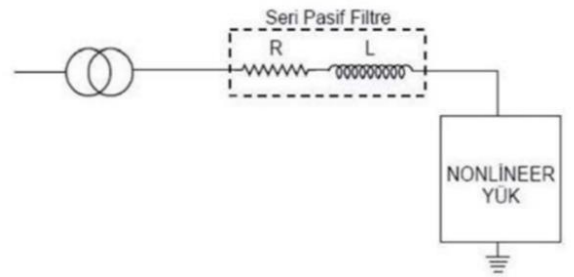
$$THB_V = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2}}{V_1} \quad (1.a)$$

$$THB_I = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \quad (1.b)$$

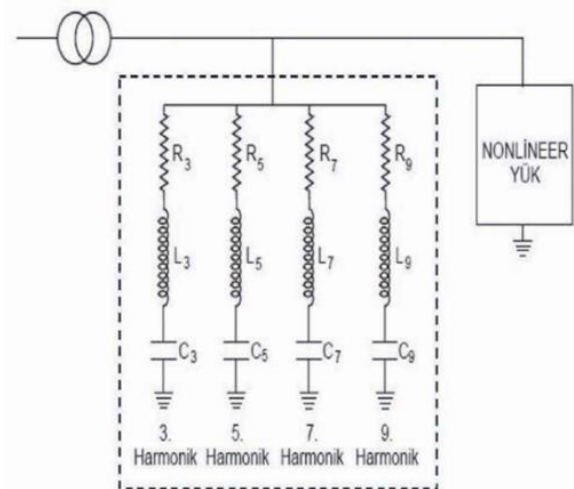
Denk. (1.a) ve (1.b)'de, THB_V gerilim harmoniklerini, THB_I akım harmoniklerini, V_n ve I_n sırasıyla n. gerilim ve akım harmoniğini ifade etmektedir.

3. PASİF HARMONİK FİLTRELER (PASSIVE HARMONIC FILTERS)

Günümüzde harmoniklerin zararlı etkilerinden korunmak için en etkili yöntem harmonik filtrelerin kullanılmasıdır. Harmonik filtreler tasarlanırken, kullanılan elemanlara göre iki sınıfa ayrılır. Bunlar; R, L, C elemanları kullanılarak tasarlanan pasif filtreler ve güç elektroniği anahtarlama elemanları kullanılarak tasarlanan aktif filtrelerdir. Pasif filtreler uzun yıllardır kullanılmakta olup ekonomik olmaları nedeniyle tercih edilmektedir. Pasif filtreler R, L ve C elemanları kullanılarak tasarlanır. Tasarımında devredeki endüktans ve kapasite elemanlarının reaktanslarının frekansa bağlı değişiminden ve rezonans frekansındaki tepkilerinden faydalanılır. Pasif filtreler, seri pasif filtreler ve paralel pasif filtreler olmak üzere ikiye ayrılır. Seri pasif filtreler genellikle AC motor sürücü ve yüksek güçlü AC/DC dönüştürücülerin önlerinde kullanılır. Paralel pasif filtreler ise harmonik kaynağı ile şebeke arasına paralel olarak bağlanarak, harmoniklere düşük empedanslı bir yol oluşturup yük yerine filtre üzerinden akmasını sağlarlar. Şekil 1'de bu filtrelerin bağlantı şekilleri gösterilmiştir.



(a)



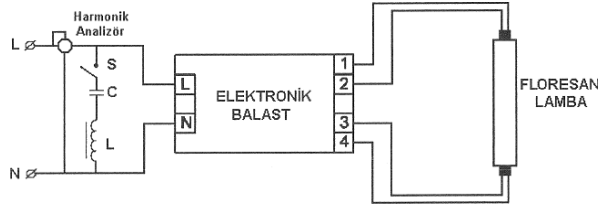
(b)

Şekil 1. (a) Seri filtre bağlantısı (b) Paralel filtre bağlantısı ((a) Connection of series passive filter (b) Connection of parallel filters)

4. ELEKTRONİK BALASTLI FLORESAN LAMBANIN HARMONİK ÖLÇÜMÜ VE FİLTRE UYGULAMALARI (HARMONIC MEASUREMENT OF FLUORESCENT LAMP WITH ELECTRONIC BALLAST AND FILTER APPLICATIONS)

Aydınlatmada kullanılan elemanlardan elektronik balastlar filtresiz kullanıldığında harmonik üretirler. Filtresiz kullanılan yüksek frekanslı elektronik balastlarda en etkin harmonik bileşenler 3, 5, 7. ve 9. harmoniklerdir.

Yapılan çalışmada Fluke 434 Güç Kalitesi Analizörü kullanılarak elektronik balastlı bir floresan lambanın çalışma durumuna ilişkin harmonik ölçümleri alınmıştır. Daha sonra, ölçülen harmonikleri azaltmak amacıyla pasif filtreler tasarlanarak THB değerlerindeki azalmalar gözlemlenmiştir. Filtre tasarımında tek ayarlı ve çift ayarlı pasif filtreler kullanılmış, filtreler sisteme ayrı ayrı uygulanarak etkileri karşılaştırılmıştır. Kurulan deney montaj şeması Şekil 2’de gösterilmiştir. Filtresiz ölçüm sonuçları Şekil 3’te verilmiştir.



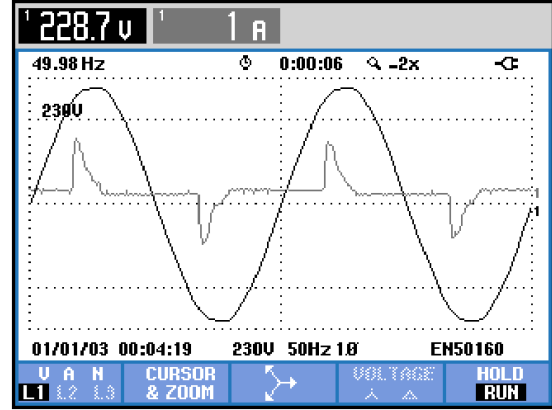
Şekil 2. Deney montaj şeması (Installation diagram of experiment)

Şekil 3’te görüldüğü gibi, akım dalga şekli sinüs şeklinden oldukça uzaklaşmıştır. THB değeri %80,9 olarak ölçülmüştür. Sistemdeki en etkin harmonik bileşen 3. harmoniktir ($f_3=150\text{Hz}$). Sisteme ait gerekli filtreleme işlemi için L ve C yük bankaları kullanılmıştır. Tek ayarlı filtreler için denk.(2), çift ayarlı filtreler içinse, buna ilave olarak denk.(3) ve denk.(4) de kullanılmıştır [19]. Tek ve çift ayarlı filtre yapıları Şekil 4’de görülmektedir. Üç farklı filtre uygulaması gerçekleştirilmiştir. Sadece 3. harmonik için tek ayarlı bir filtre, 100Hz frekansına sahip tek ayarlı bir filtre, 3. ve 5. harmonikleri yok etmek için çift ayarlı filtre uygulamaları yapılmıştır.

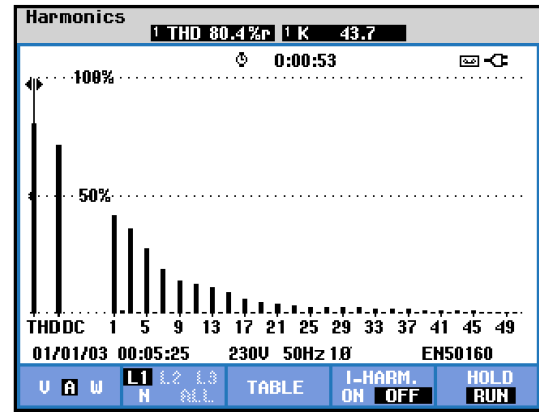
$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (2)$$

Çizelge 1. Kullanılan Filtreler ve L-C değerleri (The used filters and values of L-C)

Filtre Çeşidi	C1 (uF)	L1 (mH)	C2 (uF)	L2 (mH)
Tek ayarlı 3. harmonik (150Hz) filtresi	3,4	300	–	–
Tek ayarlı 100Hz’lik filtre	8,5	300	–	–
3. ve 5. harmonikler için Çift Ayarlı filtre	4,25	150	4,25	150



(a)



(b)

Şekil 3. Filtresiz ölçüm sonuçları (a) Akım ve Gerilim Dalga Şekli (b) Akım Harmonik Spektrumu (Results of measurements without filter (a) Current and Voltage Waveforms (b) Current Harmonic Spectrum)

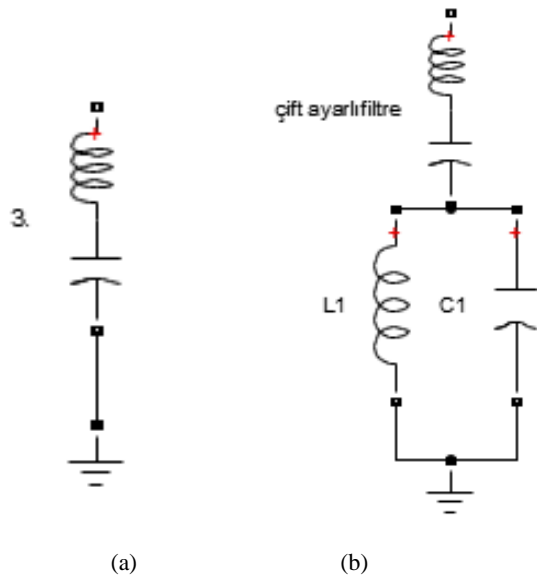
$$\text{Bant Genişliği: } BG = f_{c2} - f_{c1} \quad (3)$$

Köşe frekansları:

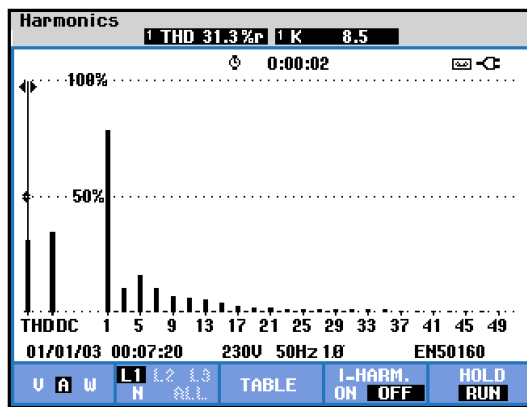
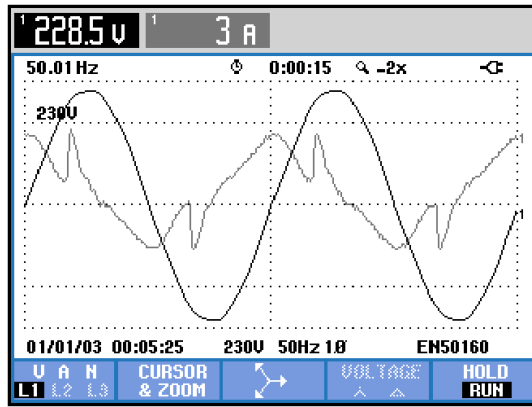
$$f_{c1} = f_r - \frac{BG}{2}, \quad f_{c2} = f_r + \frac{BG}{2} \quad (4)$$

Denk.(2)’de f_r rezonans frekansını, denk.(3) ve denk.(4)’de f_{c1} ve f_{c2} alt ve üst kesim frekanslarını ifade etmektedir.

Her üç filtre uygulaması için kullanılan L-C eleman değerleri Çizelge 1’de verilmiştir. Filtreler bağlandıktan sonra alınan ölçümler, sırasıyla Şekil 5, Şekil 6 ve Şekil 7’de gösterilmiştir.

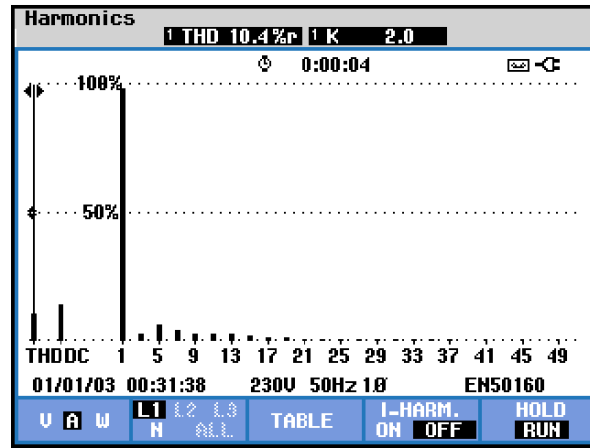
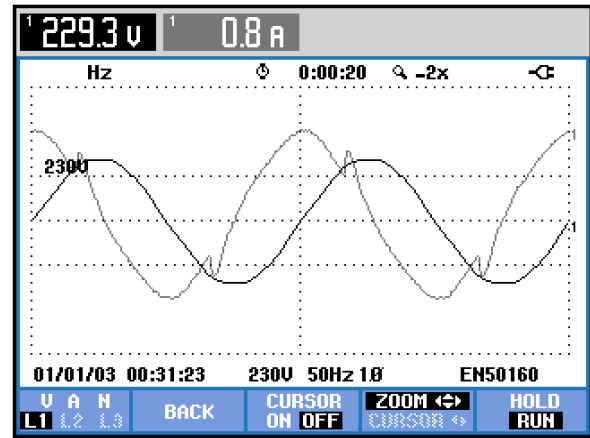


Şekil 4. (a) Tek ayarlı filtre (b) Çift ayarlı filtre ((a) Single tuned filter (b) Double tuned filter)

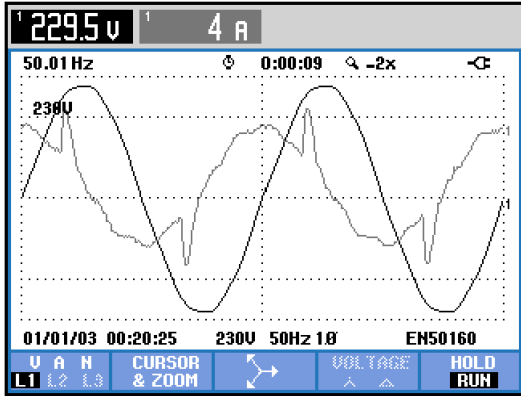


Şekil 5. 150Hz'lik (3. Harmonik) tek ayarlı filtreye ait ölçüm sonuçları (a) Akım ve gerilim dalga şekli, (b) Akım harmonik spektrumu (150 Hz (3rd Harmonic) measurement results of single tuned filter (a) Current and voltage waveforms (b) Current harmonic spectrum)

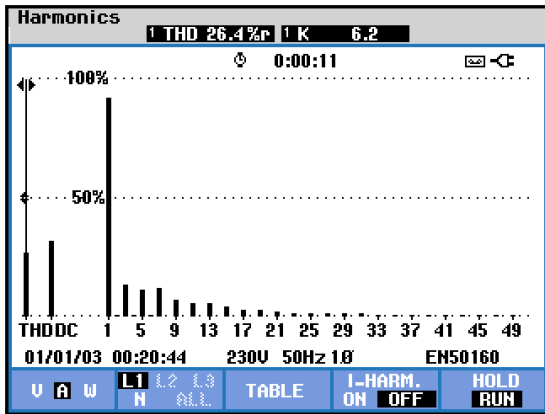
Şekil 5'ten de görülebileceği gibi, 3. harmonik için filtre bağlandıktan sonra, akım dalga şekli önemli oranlı düzelmiştir. THB %80,9 dan %31,3'e düşmüştür. $f_3=150\text{Hz}$ frekansındaki 3. harmonik, Şekil 5.b'de görüldüğü gibi sönümlenmiştir. Şekil 7'de, Çift ayarlı filtre bağlandıktan sonra 3 ve 5. harmoniğin beraber sönümlendikleri, THB oranının ise %26,4 e düştüğü gözlemlenmiştir. Şekil 6'da, filtre bağlandıktan sonra, 100 Hz ve üzeri neredeyse bütün harmoniklerin sönümlendiği gözlemlenmiş, THB oranı %10,4'e düşmüştür. Dalga şeklini düzeltmek açısından en iyi sonucu bu filtre vermiştir, fakat sistemin eşdeğer empedansı değiştiğinden şebekeden çekilen akım 8 katına çıkmıştır.



Şekil 6. 100 Hz'lik tek ayarlı filtreye ait ölçüm sonuçları (a) Akım ve gerilim dalga şekli, (b) Akım harmonik spektrumu (100 Hz measurement results of single tuned filter (a) Current and voltage waveforms (b) Current harmonic spectrum)



(a)

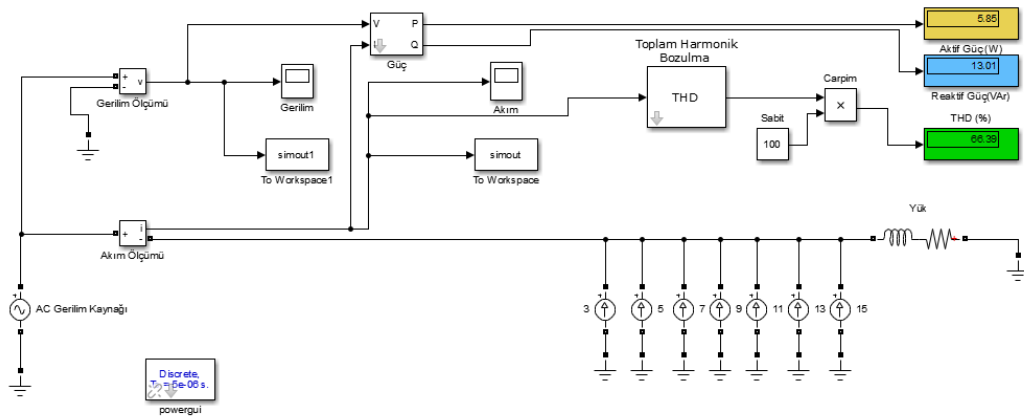


(b)

Şekil 7. Çift ayarlı filtreye (3. ve 5. harmonikler için) ait ölçüm sonuçları (a) Akım ve gerilim dalga şekli, (b) Akım harmonik spektrumu (Measurement results of double tuned filter (for 3rd and 5th harmonics) (a) Current and voltage waveforms (b) Current harmonic spectrum)

5. SİMÜLASYON ÇALIŞMASI (SIMULATION STUDY)

Bu bölümde harmonik ölçümü yapılan elektronik balastlı floresan lamba içeren sistem



Şekil 8. Elektronik balastlı floresan lamba MATLAB/Simulink modeli (MATLAB/Simulink model of Fluorescent Lamp with Electronic Ballast)

MATLAB/Simulink ile modellenmiş ve sistem üzerine çeşitli filtreler ayrı ayrı eklenerek sonuçlar gözlemlenmiştir.

Sistemin modellenmesinde, lineer olmayan yükü temsil etmesi için ise her bir harmonik derecesi için o frekanstaki akım kaynakları kullanılmıştır [20]. Yüke ait eleman değerleri için deneysel ölçümdeki; $R = 1389,649 \Omega$ ve $L = 9,84 H$ olarak alınmıştır. Nonlineer yüke ait akım kaynaklarının değerleri, denk.(5) ile bulunmuştur. Sonuçlar, Çizelge 2’de verilmiştir.

$$\%I_n = \frac{I_n}{I_{rms}} \quad (5)$$

Denk.(5)’te, I_n n. harmonik bileşenini, I_{rms} akımın etkin değerini ifade etmektedir.

Çizelge 2. Harmonik Akımlarının Tepe Değerleri (Peak values of harmonic currents)

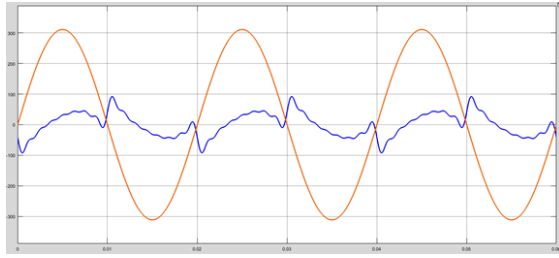
n. harmonik akım	Tepe Değeri (mA)	Frekans
3	39,739	150 Hz
5	30,8299	250 Hz
7	21,496	350 Hz
9	15,981	450 Hz
11	14,2836	550 Hz
13	12,59	650 Hz
15	10,041	750 Hz

Çizelge 3. Deneysel ve Simülasyon Sonuçlarının Karşılaştırması (Comparison of test and simulation results)

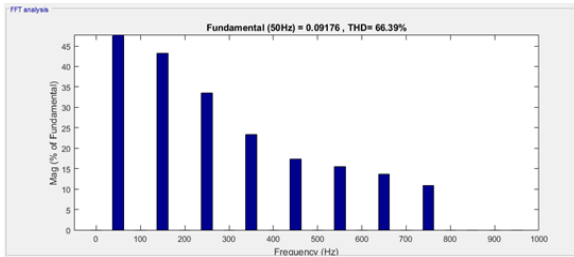
Filtreler	Deneysel THB (%)	Simülasyon THB (%)
Filtresiz durum	80,9	66,39
Tek ayarlı 3. harmonik (150Hz) filtresi	31,9	18,41
Tek ayarlı 100Hz’lik filtre	10,4	5,99
3. ve 5. harmonikler için Çift Ayarlı filtre	27,6	15,55

Matlab/Simulink'te kurulan devre modeli, Şekil 8'de verilmiştir. Görüldüğü gibi, harmonik kaynaklar, yük paralel olarak bağlanmıştır.

Simülasyondan alınan sonuçlar, Şekil 9 ve Çizelge 3'te gösterilmiştir. Simülasyon sonuçlarının deney sonuçlarıyla aynı paralellikte ilerlediği görülmüştür. Başlangıçta filtresiz THB'nin simülasyonda düşük çıkmasının sebebi simülasyonda sadece 15. harmoniğe kadar akım kaynağı kullanılması olduğu düşünülmüştür.



(a)



(b)

Şekil 9. Filtresiz ölçüm sonuçları, (a) Akım ve gerilim dalga şekli (b) Akım harmonik spektrumu (Results of measurements without filter (a) Current and Voltage Waveforms (b) Current Harmonic Spectrum)

6. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada harmonikleri engelleme yöntemlerinden biri olan filtreler üzerinde durulmuş ve filtresiz bir sistemle harmonik filtre uygulanmış bir sistem deneysel ve simülasyon ortamında karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda pasif filtre uygulamalarının THB üzerindeki olumlu etkileri gözlemlenmiştir. THB bakımından en iyi sonucu 100Hz'lik tek ayarlı filtre kullanımı vermiştir. Fakat bu filtrenin, devrenin eşdeğer empedansını olumsuz yönde değiştirmesiyle hattın çekilen akım artmıştır. Bu yüzden en etkili çözüm, devrede filtreleme işlemi yapılırken aynı zamanda kompanzasyon ihtiyacının da dikkate alınmasıdır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

[1] Zhang J., Wen H., Tang L., Teng Z., Chen Z., "Frequency Shifting and Filtering Algorithm for Power System Harmonic Estimation", *IEEE Int. Workshop on Applied Measurements for Power Systems (AMPS)*, UK, 1-6, (2017).

- [2] Lee T.L., Hu S.H., "An Active Filter with Resonant Current Control to Suppress Harmonics Resonance in a Distribution Power System", *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, 4(1): 198-209, (2016).
- [3] Markovska M., Taskovski D., "Polyphase Representation of QMF Filter Bank for Power System Harmonics Analysis", *IEEE Int. Conf. on Computer as a Tool (EUROCON)*, Spain, 1-6, (2015).
- [4] Chen C., Chen Y.C., "Discussion on Covariance Matrix of Kalman Filter for Power System Harmonic Analysis", *Int. Symp. on Computer, Consumer and Control*, Taiwan, 589-592, (2014).
- [5] Kocatepe C., Uzunoğlu M., Yumurtacı R., "Elektrik Tesislerinde Harmonikler", Birsen Yayınevi, İstanbul, (2003).
- [6] Efe S.B., "Güç Sistemlerinde Harmonikler ve Harmoniklerin Analizi", *Yüksek Lisans Tezi*, İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya, (2006).
- [7] Parthasarathy S., Kanakavel S.C., Karthickkumar S.A., "A harmonic distortion analysis of power distribution systems with hybrid power filter", *Int. Conf. on Circuit, Power and Computing Technologies (ICCPCT)*, India, 1-11, 82016).
- [8] Rani R.S., Rao C.S., Kumar M.V., "Analysis of Active Power Filter for Harmonic Mitigation in Distribution System", *Int. Conf. on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques (ICEEOT)*, India, 1338-1446, (2016).
- [9] Shen H., et al., "Analysis Power Filter Equivalent to an Infinite Feeder for Harmonic Suppression in Radial Distribution Systems" *IET Power Electronics*, 9(7): 1331-1340, (2016).
- [10] Su C.L., Hong C.J., "Design of Passive Harmonic Filters to Enhance Power Quality and Energy Efficiency in Ship Power Systems", *49th IEEE/ IAS Industrial & Commercial Power Systems Technical Conference*, USA, 1-8, (2013).
- [11] Taskovski D., Koleva L., "Measurement of Harmonics in Power Systems Using near Perfect Reconstruction Filter Banks", *IEEE Transactions on Power Delivery*, 27(2): 1025-1026, (2012).
- [12] Rüstemli S., Okuducu E., Efe S.B., "Elektrik Tesislerinde Harmoniklerin Pasif Filtre Kullanılarak Azaltılması ve Simülasyonu", *EMO Enerji Verimliliği ve Kalitesi Semp.*, (2011).
- [13] Alboyacı B., Gencer Ö.Ö., "Elektronik Balastlı Floresan Lamba Harmoniklerinin Ölçümü, Yok edilmesi ve Simülasyonu İçin Yeni Bir Yöntem", *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 4: 57-66, (2003).
- [14] Moulahoum S., Houassine H., Kabache N., "Parallel active filter to eliminate harmonics generated by compact fluorescent lamps", *21st Mediterranean Conference on Control and Automation*, Greece, 143-148, (2013).
- [15] Nassif A.B., Acharya J., "An investigation on the harmonic attenuation effect of modern compact fluorescent lamps"; *13th International Conference on Harmonic and Quality Power*, Australia, 1-6, (2008).
- [16] Colin A.J., Djokic S.Z., Cresswell C.E., "Cancellation of harmonics between groups of modern compact fluorescent lamps", *International Symposium on Power*

- Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion*, Italy, 1190-1194, (2014).
- [17] Molina J., Sainz L., "Compact fluorescent lamp modelling for large-scale harmonic penetration studies", *IEEE Transactions on Power Delivery*, 30(3): 1523-1531, (2015).
- [18] Gencer Ö.Ö., Yörükeren N., Alboyacı B., İnan E., "Dağıtım Sistemlerinde Kullanılan Aydınlatma Aygıtlarındaki Harmoniğin Ölçümü, Yok edilmesi ve Simüle Edilmesiyle İlgili Yeni Bir Algoritma", *Türk Aydınlatma Milli Komitesi*, (2002).
- [19] Yıldız A.B., "Elektrik Devreleri Teori ve Çözümlü Örnekler Kısım 2", Volga Yayınları, Kocaeli, (2006).
- [20] Keçecioglu Ö.F., Açıkgoz H., Şekelli M., "Harmonik Bozunum Kompanzasyonu için Melez ve Çift Ayarlı Pasif Güç Filtresi Tasarımı ve Performans Analizi", *Eleco Elektrik-Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu*, Bursa, (2014).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

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



Wood property improvement of siberian pine by combination of boric acid impregnation and in-situ polymerization of ϵ -caprolactone

Yazar(lar)(Author(s)): Mahmut Ali ERMEYDAN¹, Eylem DİZMAN TOMAK², Zeynep NurKARTAL³

ORCID¹: 0000-0001-6389-2649

ORCID²: 0000-0001-8654-0005

ORCID³: 0000-0002-4696-242X

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Ermeydan M. A., Tomak E. D. ve Kartal Z. N., "Wood property improvement of siberian pine by combination of boric acid impregnation and in-situ polymerization of ϵ -caprolactone", *Politeknik Dergisi*, 22(1): 157-161, (2019).

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

DOI: 10.2339/politeknik.386966

Wood Property Improvement of Siberian Pine by Combination of Boric Acid Impregnation and *In-Situ* Polymerization of ϵ -Caprolactone

Araştırma Makalesi / Research Article

Mahmut Ali ERMEYDAN*, Eylem DİZMAN TOMAK, Zeynep Nur KARTAL

Forest Industry Engineering Department, Faculty of Forestry, Bursa Technical University, Turkey

(Geliş /Received : 14.11.2017 ; Kabul /Accepted : 07.12.2017)

ABSTRACT

Wood is an excellent engineering material with its light weight and high mechanical properties. However, it is susceptible to biodegradation due to its hygroscopic nature and chemical composition that limits both its indoor and outdoor usage. Boron compounds which are known as eco-friendly wood preservatives have limited utility at outdoor conditions since they are easily leached out from wood by water. The aim of this study is to prevent boron leaching by creating a polymer network that encapsulates boron compound inside the wood cell walls, thus decay resistance, dimensional stability and water repellence are improved. In the study, Siberian pine samples were impregnated with 1% boric acid in DMF(N,N-Dimethylformamide) and further ϵ -caprolactone monomer (1% SnOct2 as initiator) mixture for further in-situ polymerization were carried out in the oven at 150°C for 3 hours. Prior to decay testing, leaching test was conducted in order to evaluate any loss in effectiveness in decay resistance against to *C. puteana* and *C. versicolor* attack due to possibility of boron leaching from wood. The results showed that leached samples had lower weight loss than unleached samples after *C. puteana* attack, however, the weight loss by *C. versicolor* attack increased in leached samples. Decay resistance of treated samples was found to be 7-99% in comparison with references. Boric acid and polymer combination increased dimensional stability (25% ASE), and water repellence (15%) of wood compared to references without deformation. This method showed that curing may be an alternative for wood modification with in-situ polycaprolactone polymerization in order to use hazardous solvent media for polymerization.

Keywords: Poly(ϵ -caprolactone), wood modification, dimensional stability, decay resistance.

1. INTRODUCTION

Outdoor utilization of wood has natural limits due to the low durability of most wood species against biological organisms. Wood density, mechanical strength and aesthetic appearance change and reduce because of fungal growth in wood. Therefore, wood preservatives are used to protect wood products from fungal attack, thus service-life of the products may be increased [1]. As mentioned above several chemicals or methods have been used so far to protect wood partially, e.g. surface, or total timber can be treated to eliminate biological degradation. Heat treatment, impregnation of wood preservatives and chemical modification are some of the wood conservation methods. The old and most common methods are impregnation of some toxic chemicals like copper, cobalt, zinc or arsenic into the wood structure due to their effectiveness and price. Even though most of those chemicals are very effective against biodegradation; there is a huge environmental concern due to the utilization of those toxic preservatives. Besides, for the last decades, people start to research and apply an alternative method for wood protection. One of those methods is chemical modification of wood. Chemical modifications both improve durability of wood without the use of conventional biocides, and other wood

properties such as dimensional stability and water repellence. There are even commercial methods have been already established to chemically modify wood. Acetylation, furfurylation and dimethylol dihydroxy ethylene urea (DMDHEU) modification are some modification methods [2]. There are still several investigations are carried out to find more effective and cheaper modification methods.

Boron compounds as a wood protection agent are known to be an active fire retardant and effective against both insect and fungi attacks [3]. Effects of boron compounds on mechanical, biological and dimensional stability of wood and wood products have already been investigated in detail [4]. In addition, it is well known that boron compounds can be leached out when used for outdoor purposes, thus wood products become vulnerable to biological organisms [5]. To overcome this problem researchers have studied to keep boron compounds into the wood cell wall and tried to fix it inside [4-8]. In those studies, the general purpose was in-situ polymerization of various polymers to fix boron compounds into the cell walls.

Contrary to conventional hydrophobic polymers like styrene/acrylates, ϵ -caprolactone can enter and be polymerized inside the wood cell walls. Recently, hydrophobic ϵ -caprolactone monomer was successfully achieved to graft into the wood cell walls and introduced as a successful novel modification method [9] which

* Soumlu azar (Corresponding Author)
e-mail : mahmut.ermeydan@btu.edu.tr

increase hydrophobicity (35%) and dimensional stability (40%) of wood. ϵ -caprolactone can be grafted from the –OH groups of the cell wall polymers to form hydrophobic polycaprolactone polymer. In this study, Siberian pine samples were modified with a combination of boric acid impregnation and further polycaprolactone grafting in wood to reduce boric acid leaching from wood cell walls by blocking wood cell cavities by polymer, thus we aim to get better fungal resistance in the long term and outdoor usage of wood. It is thought that boron compounds may be trapped inside wood cell walls by polycaprolactone modification and this may have a potential to limit boron leaching. Modified wood has improved water absorption and dimensional stability properties, and thus we found that curing even at high temperature may be an alternative to polymerize ϵ -caprolactone (CL) in order to use solvent-based modification.

2. MATERIAL and METHOD

Bu çalışmada, düz tip yutucu plakalı (Model I) ve düz Wood material: Siberian pine sapwood samples with dimensions of 15 mm (radial) x 5 mm (tangential) x 30 mm (longitudinal) were supplied from Osmanlı Mobilya, Bursa, Turkey.

Chemicals: Boric acid (BA), epsilon-caprolactone (CL), tin(II) 2-ethylhexanoate (TEH), dimethyl formamide (DMF) were ordered from Sigma and used as delivered. Malt extract-agar and sterile plastic petri dishes (90 mm diameter) were used for decay test. Distillated water was used for all necessary cases.

Modification of Wood: The ϵ -caprolacton polymerization in wood was applied as reported before with some modifications [9]. Wood samples were soaked in DMF over night to swell wood structure. This step was applied for better chemical uptake into the cell walls in the further steps. DMF was poured out and later on, 1% boric acid (BA) was dissolved in DMF, than poured onto already swelled wood and BA was impregnated in wood cell walls 30 minutes under vacuum. Than BA solution were decanted from the samples. Same amount of CL monomer, DMF and 1% TEH as catalyst were mixed together and poured onto samples, again 30 minutes of vacuum were applied for better uptake monomer by wood cell walls and waited overnight for better impregnation. Than the monomer solution were removed

and samples were covered with aluminum foil. Polymerization reaction was started by heating samples in a sealed oven at 150°C. After reaction for 3 hours, wood samples were washed half an hour with acetone which is a good solvent for polycaprolactone, then washed with distillated water for four hours. In Figure 1, impregnation steps were explained. 25 replicate samples were used.

Weight Percentage Gain (WPG) and Volume Change: Weight and volume changes caused by the chemical treatments were measured before and after each treatment (ϵ -caprolactone polymerization, water immersion, and oven drying).

Water Uptake (WU), Mass Loss, Swelling Coefficient (S), and Anti-Swelling Efficiency (ASE): The reference and modified wood samples were soaked into distillated water for five days with a fair shaking (Soaking cycle 1). Then samples were dried into an oven at 103°C over night (Drying cycle 1). Samples were soaked again into distillated water for the second water-soaking and drying cycles. The dimensional stability of the modified wood samples was obtained by calculating the S and the ASE values as reported [9, 10]. The equations for swelling, anti-swelling efficiency, and WU calculations are given in [9]. The water repellence ability of modified wood is described by the WU calculations.

Leaching Test: Leaching test was performed to treated samples according to EN 84 standard in order to evaluate any loss in effectiveness in biological resistance for 14 days.

Decay Resistance Test: Decay test was performed according to principles of EN 113, with some modifications on sample dimensions, kolle flasks, and total test period. Malt extract agar of 4.8% concentration and samples were sterilized in an autoclave at pressure of about 0.1 MPa at 120°C for 25 minutes. A brown-rot fungus, *Coniophora puteana* and white rot fungus, *Coriolus versicolor* was inoculated to sterile malt extract agar medium in the petri dishes. Two samples (treated and untreated) were placed on the growing mycelium in each petri dish and then were incubated at 20°C and 65% RH for 8 weeks. At the end of the test, samples were removed from the petri dishes, cleaned, and dried at a temperature of 103°C. Weight loss was calculated on the basis of oven-dry weight before and after decay test.

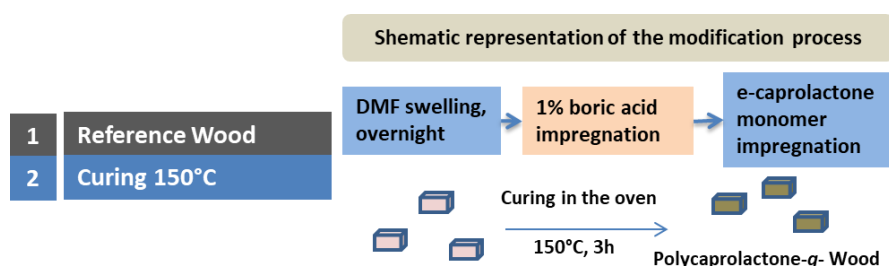


Figure 1. Left: 2 sets of samples, numbering and nomenclatures which were used during the study. Right: Schematic description of ϵ -caprolactone modification.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Physical Changes and Stability: ϵ -caprolactone polymerization to graft polycaprolactone into wood cell walls is a novel modification method which achieved for the first time insertion of a hydrophobic monomer into the cell walls [9]. Use of DMF as a solvent, one of the critical parameter for a successful wood cell wall modification, because DMF like polar aprotic solvent swells wood structure up to 12-14% [9, 12]. Swelling of wood provides ease to insert molecules into cell wall structure. Success of this process was proved in [9]. This principle was carried out to get better results during impregnation of boric acid as well. On the other hand, we already reported several combinations of BA+CL modification in [13] which introduces different modification sets to find the best method for boric acid and polycaprolactone combination. However, in this study [13], there was no information on dimensional stability and water repellence properties of modified wood. In the current study only one type of modification was studied. BA first impregnated and later CL was polymerized in the oven at high temperature to get better linkage of polymer to cell wall polymers. The method reported in [13] was slightly modified, the modification temperature and the reaction time increased from 2h to 3h to get better WPG%, dimensional stability and durability. Besides, addition to [13], two fungi species were tested in this study. By curing wood samples for 3h in order to make polymerization reaction at 150°C, we aimed to find the optimum reaction time for modification without making any deformation in wood structure. Wood polymers, especially hemicelluloses and lignin, can start to degrade above temperatures above 120°C. Curing is basically oven heating of already impregnated samples which is more practical and environmentally safe than making reactions in organic solvents.

Contrary to [13], we found better WPG% and volume increase%, $9 \pm 1,5\%$ and $6,9 \pm 1\%$, respectively (Figure 2). This is probably due to the increased reaction time (2 to

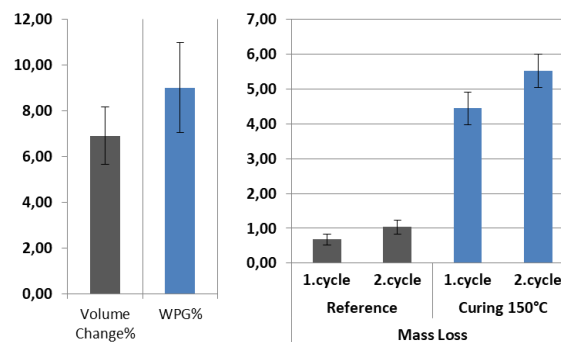


Figure 2. Left: WPG% and volume change% of samples after ϵ -caprolactone modification. Right: Mass loss of samples during water immersion cycles.

3 hours) and better heating (95 to 150°C). However, as shown in Figure 1, mass loss occurred during water immersion and drying cycles is rather high than reference (9% and 2% respectively). This is probably due to the combination of boric acid and tin (II) 2-ethylhexanoate which increase acidity of the reaction mixture. Thus, increased acidity may spoil cellulose glycosidic bonds and further deform wood structure. Also, some of the homopolymer which cannot be removed from the lumen area during the initial washing steps, may be removed from wood structure.

ϵ -caprolactone modification is known to be an effective method in terms of dimensional stability and water repellence as already reported [9]. Water repellence of cured samples is shown in Figure 3. Water absorption of modified samples reduced about 15% compared to reference wood which proves that there is a certain amount of polymer inside the cell walls. Another important analysis is anti-swelling efficiency calculation which shows dimensional stability of the modified samples. The weight percent gain (WPG%) and volume change (%) shown in Figure 2 already provided a first indication on the success of the modification in terms of dimensional stability. However for a better

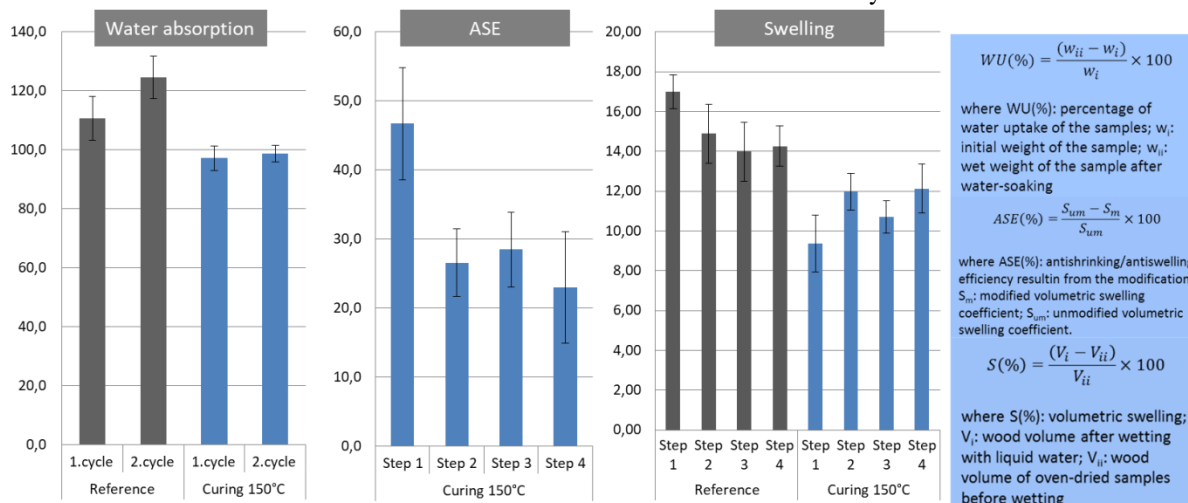


Figure 3. Left: Water absorption of control and modified samples during ASE cycles in 14 days, Middle: ASE values of Right: WPG% and volume change after modification reaction. WU, ASE, S calculations are given in blue boxes on the right.

understanding of dimensional stability, swelling and ASE measurements were carried out. Low swelling values between 10-12% is belong to modified samples as shown in Figure 3, where swelling of the reference is about 14-16% at all water soaking-oven drying cycles. Volumetric S values of modified samples are reduced 25% levels which already show the first indication of better dimensional stability. ASE of the modified samples are calculated for each water immersion and drying step (totally four steps) [9, 10]. As shown in Figure 3, ASE of modified sample became almost stable 25% after first step which means modified sample has better dimensional stability than references.

Decay Resistance of Samples: The results of the decaying test are shown in Figure 4. The unleached and leached test samples exposed to *C. puteana* attack showed 6.21 and 0.33% weight loss, respectively. In the case of *C. versicolor* attack, weight loss was found to be 5.56 and 24.18% for unleached and leached test samples, respectively. The weight loss of the references exposed to decay fungi verified the decay test was valid according to EN 113, and the test conditions were suitable for the growth of fungi (Figure 4). As can be seen from the Figure 4, modified test samples exhibited biological resistance against both fungi attack. The biological resistance of unleached and leached test samples in comparison to references was found as 67 and 99% after *C. puteana* attack and 81 and 7% after *C. versicolor* attack, respectively. However, the average weight loss of test samples should be less than 3% of their initial dry weight for a suitable decay resistance needed from a potential wood preservative against decay fungi according to EN 113 test. Only one group (leached and exposed to *C. puteana* attack) exhibited a relatively low weight loss (<0.5) among the test groups, and met the EN 113 criteria. Surprisingly, unleached test samples had greater weight loss than leached samples after *C. puteana* attack. The probable reason for this finding could be *C. puteana* might digest the polymer in the lumens of

unleached samples. In the leached samples, polymer in the lumens might leach out from wood during the leaching procedure and the amount of retained polymer and tin(II) 2-ethylhexanoate in the cell wall protected wood against *C. puteana* attack. Possible mechanisms of decay resistance of ϵ -caprolacton are well explained in our previous study [13].

Organotin compounds are effective against brown-rot fungi [14, 15]. In the case of *C. versicolor* attack, similar statements could also be possible for unleached samples. Polymer in the lumens might be digested by *C. versicolor* attack. Opposite to findings in *C. puteana* degradation, *C. versicolor* caused a great weight loss in leached samples. Tin(II) 2-ethylhexanoate in the cell wall might be not toxic for *C. versicolor*. Another reason could be retained tin(II) 2-ethylhexanoate in wood after leaching might not be sufficient level for protection against *C. versicolor* attack. Both chemical (boron, tin(II) 2-ethylhexanoate and polymer) leaching during the test and weight loss of wood components due to white rot decay itself, could be possible two reasons for higher weight loss in leached samples than unleached samples. White rot fungi have an ability to adsorb and accumulate heavy metals and therefore can be used as bioremediation purposes of contaminated substances. Some fungal melanins are efficient bioabsorbers of copper [15, 16] or toxic tin compounds [15, 17]. *T. versicolor* was found to be resistant to metals (Cd, Zn, Ni, Co, Cr, Mo, Pb, Hg, and Sn), whereas *A. mellea*, *Lentinus* sp., *Pholiota* nameko, *Pleurotus* sp., *Pycnoporus sanguineus*, and *S. commune* were less resistant [18]. In this study, boric acid supposed to be leached out from wood due to high weight loss of leached samples by *C. versicolor*. Boric acid is known as a toxic chemical for *C. versicolor* attacks. If boric acid presented inside wood after leaching, *C. versicolor* degradation would not be occurred such a high level (weight loss of 24.18%) in wood. Further studies such as boron detection in wood after leaching and Raman spectroscopy are needed to confirm this observation.

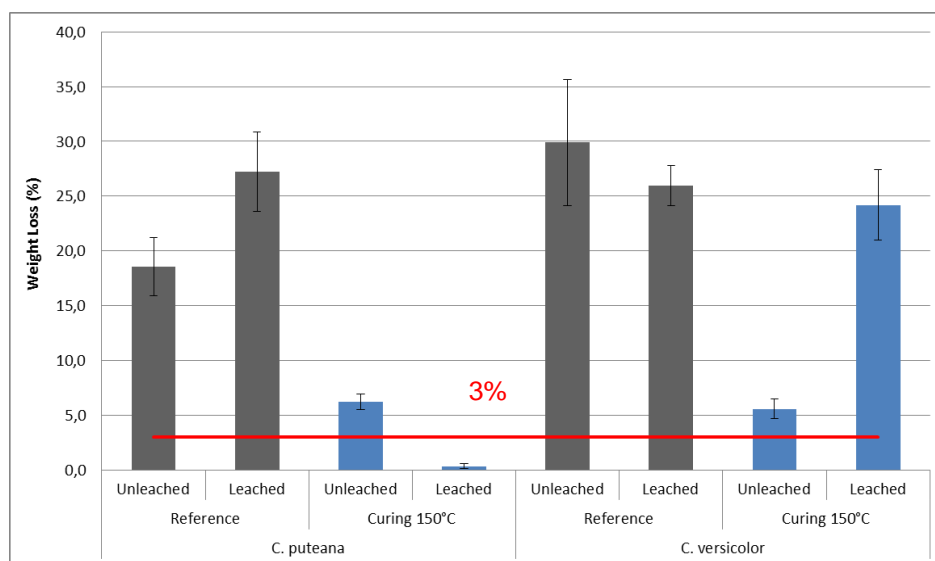


Figure 4. Weight loss (%) of samples after *C. puteana* and *C. versicolor* attack

6. CONCLUSION

In this study, Siberian pine samples were treated with 1% boric acid and ϵ -caprolactone monomer solution for further polymerization of ϵ -caprolactone at 150°C in the oven to find out the efficiency of curing modification and boric acid- polycaprolactone method. Modified samples have stable and good dimensional stability in the various immersion cycles and better water repellence than reference. However, probably due to the acidity of the boric acid, wood structure was degenerated and mass loss due to water immersion cycles is still significant. Decay test of the samples showed that the modification is successful against fungi growth in comparison to references. Modified samples exhibited excellent protection against *C. puteana* after leaching, however, *C. versicolor* caused a great weight loss in the leached samples. Tin(II) 2-ethylhexanoate in the modification process might play an important role on decay resistance. Boric acid supposed to be leached out from wood during leaching procedure. Further studies are still required to fully unravel mechanism of decay resistance.

ACKNOWLEDGEMENT

This research was supported by the TÜBİTAK research grant (Project No: 116O578). We would like to thank Mert Babacan from BTU, Bursa.

REFERENCES

- [1] Hill C. A. S., “*Wood modification : chemical, thermal and other processes*”, John Wiley & Sons, Chichester, England, Hoboken, NJ, (2006).
- [2] Rowell R. M., “*Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites*”, CRC Press, Boca Raton, FL, (2000).
- [3] Kartal S. N., Yoshimura T., Imamura Y., “Decay and termite resistance of boron-treated and chemically modified wood by in situ co-polymerization of allyl glycidyl ether (AGE) with methyl methacrylate (MMA)”, *International Biodeterioration & Biodegradation*, 53(2): 111-117, (2004).
- [4] Yalinkilic M. K., Gezer E. D., Tkahashi M., Demirci Z., Ilhan R., Imamura Y., “Boron addition to non or low-formaldehyde cross-linking reagents to enhance biological resistance and dimensional stability of wood”, *Holz als Roh- und Werkstoff*, 57: 351-357, (1999).
- [5] Dauvergne E. T., Soulounganga P., Gerardin P., Loubinoux B., “Glycerol/glyoxal: a new boron fixation system for wood preservation and dimensional stabilization”, *Holzforschung*, 54: 123–126, (2000).
- [6] Temiz A., Alfredsen G., Eikenes M., Terziev N., “Decay Resistance Of Wood Treated With Boric Acid And Tall Oil Derivates”, *Bioresource Technology*, 99: 2102-2106, (2008).
- [7] Kartal S. N., Yoshimura T., Imamura Y., “Modification of wood with Si compounds to limit boron leaching from treated wood and to increase termite and decay resistance”, *International Biodeterioration & Biodegradation*, 63:187–190, (2009).
- [8] Jebrane M. and Heinmaa I., “Covalent fixation of boron in wood through transesterification with vinyl ester of carboxyphenylboronic acid”, *Holzforschung*, 70(6): 577-583, (2015).
- [9] Ermeydan M. A., Cabane E., Hass P., Koetz J., Burgert I., “Fully biodegradable modification of wood for improvement of dimensional stability and water absorption properties by poly(ϵ -caprolactone) grafting into the cell walls”, *Green Chemistry*, 16(6): 3313-3321, (2014).
- [10] Rowell R. M. and Ellis W. D., “Determination of dimensional stability of wood using the water-soaking method”, *Wood and Fiber*, 10(2): 104-111, (1978).
- [11] Zabel R. A., Morrell J. J., “*Wood Microbiology Decay and Its Prevention*”, Academic Press: San Diego, (1992).
- [12] Mantanis G. I., Young R. A., and Rowell R. M., “Swelling of wood, part II. Swelling in organic liquids”, *Holzforschung*, 48: 480-490, (1994).
- [13] Ermeydan M. A., Tomak E. D., “The Combined Effects of Boron and Polymer Modification on Decay Resistance and Properties of Wood”, *16th International Materials Symposium*, Denizli, 1574-1581, (2016).
- [14] Reinprecht L., Kizlink J., “Synthesis and anti-fungal screening test of organotin dithiocarbamates”, *Drevársky Věskum*, 44: 67–74, (1999).
- [15] Baldrian P., “Interactions of heavy metals with white-rot fungi”, *Enzyme and Microbial Technology*, 32(1): 78-91, (2003).
- [16] Gadd G. M., De Rome L., “Biosorption of copper by fungal melanins”, *Applied Microbiology and Biotechnology*, 29(6): 610–617, (1988).
- [17] Gadd G. M., Gray D. J., Newby P.J., “Role of melanin in fungal biosorption of tributyltin chloride”, *Applied Microbiology and Biotechnology*, 34: 116–121, (1990).
- [18] Palmans E., Mares G., Poppe J., Höfte M., “Biodegradation of xenobiotics by heavy metal resistant higher fungi”, *Med Fac Landbouww Univ Gent*, 60: 2563, (1995).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

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



A numerical study on determination of the optimal hole diameter and pitch value for the unglazed transpired solar collectors

Yazar(lar) (Author(s)): Ataollah KHANLARI¹, İlker AY²

ORCID¹: 0000-0001-9691-9799

ORCID²: 0000-0002-3077-5355

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Khanları A. ve Ay İ., “A numerical study on determination of the optimal hole diameter and pitch value for the unglazed transpired solar collectors”, *Politeknik Dergisi*, 22(1): 163-168, (2019).

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

DOI: 10.2339/politeknik.477094

A Numerical Study on Determination of the Optimal Hole Diameter and Pitch Value for the Unglazed Transpired Solar Collectors

(Bu çalışma Uluslararası Mühendislik Araştırmaları Sempozyumu'nda (UMAS'17) sunulmuştur. / This study has been presented in International Engineering Research Symposium.)

Araştırma Makalesi / Research Article

Ataollah KHANLARI^{1*}, İlker AY²

¹Department of Clean Energy, Institute of Science, Hacettepe University, Ankara, Turkey

²Hacettepe Ankara Chamber of Industry 1st Organized Industrial Zone Vocational School, Sincan, Ankara, Turkey

(Geliş/Received : 14.11.2017 ; Kabul/Accepted : 12.07.2018)

ABSTRACT

This investigation is concerned with the unglazed transpired solar collector (solar wall) type. With this purpose, the optimum hole arrangement has been determined by investigating the effect of hole diameter and pitch on the thermal efficiency of the system for different environmental condition. A thermodynamic model is used to simulate the heating process within the system. As a result, for extremely small hole diameters or extremely large hole pitches, the system works as a Trombe wall (glazed thermal storage wall) rather than an unglazed transpired solar collector because of the fact that there is not enough air flow through the absorber.

Keywords: Unglazed solar collectors, solar wall, hole diameter, pitch, efficiency.

1. INTRODUCTION

The unglazed transpired collector (UTC) is a subsystem which is used to heating the building. Unlike the Trombe walls, it has provided continuously fresh air. A Trombe wall absorb heat from the sun during the day and transfer it into the interior space of building during the night and no fresh air provided. The UTC system is providing preheating by heating the fresh air which is passing through the system. Thus, the load of the building heating system is decreased generating energy saving and it provides comfortable living environment with getting fresh air into the building.

The solar wall acts as a barrier between the surrounding air and outer wall surface of the building. It causes minimization of the heat loss from building walls due to heat transmission. Solar wall systems minimize the heat loss from building walls due to heat transmission by providing a barrier between the surrounding air and outer wall surface of the building. In addition to ventilating and air-conditioning systems, this system is also used for drying of agricultural products and preventing the overheating of photovoltaic cells [1].

The first application of the UTC was reported in 1981 by a company in Germany named Wieneke for providing preheated air for ventilating and air-conditioning of the building. Later, it was used for drying of agricultural products by another Germany company Schulz in 1988 [2]. These systems have spread slowly around the world [1].

Economic and technical characteristics of system such as solar wall structure, usage areas, increasing efficiency

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : ata_khanlari@yahoo.com

have been studied by many researchers [3-14]. For example; Hollick summarized working principle of UTC, examples of applications, monitoring results, and the potential use of this technology [3, 4]. Shukla et al. reviewed the transpired solar collector. Various types of TSCs introduced and working principle explained. Authors indicate that most critical factors affecting TSC efficiency are wind velocity, flow rate, porosity, absorptivity and porosity [5]. Augustus Leon and Kumar developed a mathematical model to analyze the thermal performance of the unglazed transpired solar collectors. The results have been used to develop nomograms, that could be a valuable tool for designers. Also, observations show that absorptivity, collector pitch, and airflow rate have the strongest effect on collector efficiency [7]. Summers proposed thermal simulation and economic assessment of unglazed transpired collector systems. A simple energy balance model used to simulate the UTC system. The author indicated that the UTC systems are economically feasible for large buildings and they should be considered for new buildings [8]. Barker and Kiatreungwattana investigated pressure drop as a function of air flow rate for transpired solar collectors with different porosities experimentally. They collected pressure drop, air flow rate, air temperature, and air relative humidity data during the tests. The data were fit to a model that can be used to predict pressure drop across the absorber. Using these models can help designers in ensuring that transpired collector systems are designed for optimal thermal efficiency [13]. Fleck et al. studied the wind effects on the performance of an unglazed transpired solar collector experimentally. They observed that peak efficiencies did not occur at the lowest wind speeds [14].

2. SYSTEM PROPERTIES

A Schematic drawing of a solar wall is shown as Figure 1. UTC system has a transpired absorber plate. It is fixed on a steel construction as parallel to the building surface which supplies the air flow in vertical direction pointing upwards and it has air vents which are located at the up and down-sides of the collector for using air ventilating in summer. The UTC system has a plenum between the outer wall surface of the building and the collector. The system has also a heated air distribution channels and a fan system.

The parameters that affectsystem efficiency can be grouped in 5 categories; such as, climatic conditions, location limitations, surface coating, fan power, hole diameter and pitch.

Climatic conditions: The most important factors are the amount of solar radiation and wind speed. Efficiency increases with increasing the amount of solar radiation until a certain amount of solar radiation which leads to a fixed efficiency. A further increase in solar radiation, would increase the heat losses by radiation, that's why efficiency is decreased [7].

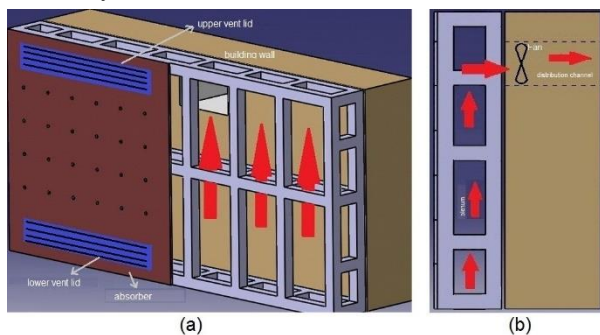


Figure 1. Mounting an unglazed transpired solar collector on building facade a. perspective, b. right view

The incoming velocity is depended on the wind speed so, the increasing wind speed causes to increase incoming velocity. In this case experimental studies shows that the efficiency is increased with increasing incoming velocity until the incoming velocity reaches the 0,05 m/s and then the efficiency increase is fixed. If the incoming velocity is further increased, the cooling effect of the wind will be observed on the collector and it causing a decrease of the system efficiency [11].

Location limitations: To get the best efficiency of the system in the northern hemisphere the collector should be mounted on the south facing facade of the building; and in southern hemisphere mounted on north facing facade of the building. It is important to avoid any shading on these surfaces.

Surface coating: Surface coatings can be divided into two groups. The first method is the paint coating: For this method, the surface is coated with a black matte paint. Black matte paint has a high absorption rate (90-98%); but its emissivity is high (85-92%), consequently heat losses increases. To eliminate this problem, selective surface coating is used as the second method of the

surface coating. In this method, the selective surface is used to completely absorb short wavelength radiation and minimize long wavelength radiation emission. So, irradiation decreases at high temperatures and efficiency increases [15, 16]. Generally, in the UTC paint coating are used, due to comparable low cost and easy manufacturability.

Fan power: Fan power affects the air flow rate proportionally but the efficiency is inversely proportional with the air flow rate. This means, the increase in flow rate causes a decrease in efficiency and vice versa. When high temperature is needed in the building, the fan speed should be reduced whereas, when low temperatures are needed in the building, fan speed should be increased. Changing the fan power, affects the air flow rate in the plenum in addition to changing the achievable efficiency. That's why to adjust the air flow rate in the plenum, the hole diameter and pitch on the collector must be determined.

Hole diameter and pitch: Thermal efficiency reduces, when the hole diameter is enlarged. If the hole diameter is constant, then the thermal efficiency decreases, if the hole pitch increased. That's why an optimum value for hole diameter and pitch should be determined. Wind speed and fan power are important factors for determining these values. Moreover, the geographical condition must be considered while choosing the hole diameter of the system. The hole diameter designation process is limited by conditions which mention above. Because particles such as, sand, sawdust and dust, which are found around the systems, can clog the holes of system. So, the smallest hole diameter should be chosen firstly and then proper hole pitch is determined.

3. HEAT TRANSFER MECHANISMS OF THE UTC

The heat transfer model of the UTC is shown in Figure 2. This type of modeling has been investigated by many researchers [5-12].

For the investigation of the heat transfer model of the UTC, some assumptions for the calculations have been done;

- Air moves only in the upward direction in the plenum
- Plenum temperature and room input temperature are equal ($T_p = T_{in}$)
- Plenum air temperature (T_p) and collector temperature (T_c) are distributed uniformly.

The energy balance equation for the collector and the outer wall surface can be written as [10]:

$$q_{in} + q_{rad,w-c} = q_{conv,c-p} + q_{conv,loss} + q_{rad,loss} \quad (1)$$

$$q_{cond,w} = q_{conv,w-p} + q_{rad,w-c} \quad (2)$$

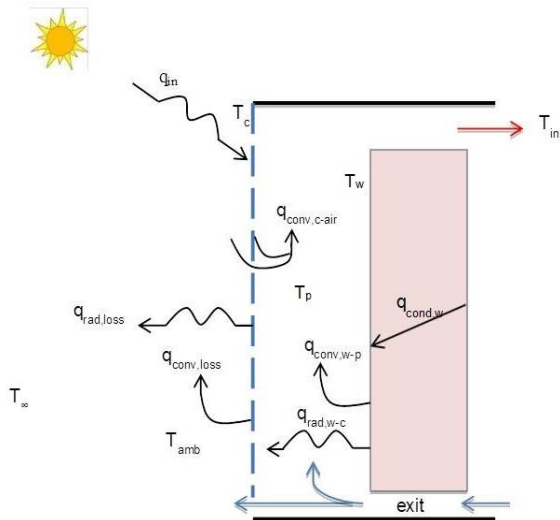


Figure 2. Heat transfer model for UTC

Where q_{in} , is the absorbed energy by the collector; $q_{rad,w-c}$, is the radiation from the outer wall surface to the collector; $q_{conv,c-air}$, is the convective heat transfer when the air flowing through the collector into the plenum; $q_{conv,loss}$, is the convective heat losses from the collector to the surrounding air; $q_{rad,loss}$, is the radiation heat losses from the collector to the surrounding air; $q_{cond,w}$, is the conduction heat transfer from the inside room to the outside surface of the wall; $q_{conv,w-p}$, is the convective heat transfer from outer wall surface to the plenum air.

$$k_{i,d}A(T_{in} - T_w) = \frac{kNu_y}{Y}A \left(T_w - \left(T_{amb} + \left[(T_c - T_{amb}) \left(1 - \exp \left(-\frac{kNu_D(1-\sigma)}{D\rho V_s C_p} \right) \right) \right] + \frac{\sigma_{sb}A(T_w^4 - T_c^4)}{\frac{1}{\epsilon_w} + \frac{1}{\epsilon_c} - 1} \right) \right) \quad (4)$$

There are two unknowns in Eqs. 3 and Eqs. 4, outer wall temperature of the surface of the building (T_w) and the collector temperature (T_c). The thermophysical properties of air in these equations are calculated from using a polynomial curve, which is given as $f(T) = AT_{amb}^4 + BT_{amb}^3 + CT_{amb}^2 + DT_{amb} + E$ and the constants are given in Table 1. Also, the air density can be obtained from $\rho = 360.7782T_{amb}^{-1.00336}$ (kg/m^3) [10]. After the thermophysical properties of air calculated the Newton's methods are used to calculate two unknowns [18]. Then the results are inserted into the thermal efficiency expression resulting in the following expression for thermal efficiency [7,10].

$$\eta = \frac{\dot{m}_c C_p}{I_T A} (T_c - T_{amb}) \left[1 - \exp \left(-\frac{kNu_D(1-\sigma)}{D\rho V_s C_p} \right) \right] \quad (5)$$

Table 1. Properties of air

f(T)	A	B	C	D	E
C_p (J/kg.K)	1.933E-10	-7.999E-07	1.141E-03	-4.489E-01	1.058E+03
ν (m^2/s)	0	-1.156E-14	9.573E-11	3.760E-08	-3.448E-06
k (W/m.K)	0	1.521E-11	-4.857E-08	1.018E-04	-3.933E-04
α (m^2/s)	0	0	9.102E-11	8.820E-08	-1.065E-05

Table 2. UTC parameters and their values used in the study

Adjustable Parameter	Value	Unadjustable Parameter	Value
Collector Height	2(m)	Ambient Temperature (T_{amb})	10°C
Collector Length	3(m)	Indoor Temperature (T_{in})	22°C
Hole Diameter (D)	Variable	Approach Velocity (V_s)	0,02 m/s
Hole Pitch (P)	Variable	Outdoor Air Flow Rate (V_∞)	1,2 m/s
Absorptivity of Collector (α_c)	0,9	Solar Radiation (I_T)	400 W/m ²
Emissivity of Collector (ϵ_c)	0,9	Overall Heat Transfer Coefficient ($k_{i,d}$)	1,2 W/m ² .K
Corrugation Factor (C_f)	1		
Wall Emissivity(%)	90		

4. NUMERICAL ANALYSIS OF UTC MECHANISM

If the terms in Eqs. 1 and Eqs. 2 are substituted by terms previously defined in literature [7,10] and some arrangements are made, then the final equations are found:

$$\alpha_c I_T A_c + \frac{\sigma_{sb}A(T_w^4 - T_c^4)}{\frac{1}{\epsilon_w} + \frac{1}{\epsilon_c} - 1} = \dot{m}_c C_p \left[1 - \exp \left(-\frac{kNu_D(1-\sigma)}{D\rho V_s C_p} \right) \right] (T_c - T_{amb}) + \epsilon_c \sigma_{sb} A_c (T_c^4 - T_\infty^4) + \frac{Nu_{loss} k}{Y} A (T_c - T_{amb}) \quad (3)$$

There are many variables in Eqs. 3, Eqs. 4 and Eqs. 5, but some of these variables such as ambient temperature, wind speed and solar radiation depend on climatic conditions, the others such as collector size, hole diameter and pitch, collector absorption and collector emission constants are adjustable and completely depend on the design conditions.

In this study the numerical calculations using the Eqs.3, Eqs. 4 and Eqs. 5, are carried out by employing the values of the parameters provided in Table 2.

All adjustable parameters affect the thermal efficiency, but hole diameter and pitch are the most important adjustable parameters. Both parameters depend on each other. However, the first hole diameter must be designated, because it determines the air flow rates and the amount of air which is transferred to the building.

5. RESULTS AND DISCUSSION

Figure 3 indicates the dependence of the thermal efficiency on variation of the hole diameters for a fixed hole pitch. An asymptotic behavior is seen in the thermal efficiency variation in Figure 3. In the left part of the curve, because of the quite small hole diameter, sufficient fresh air can't be provided to the building. Therefore, the system works as a Trombe wall.

Looking the right side of the asymptote in Figure 3, the system works as an UTC and shows the dependence of the thermal efficiency on variation of the hole diameter. There is minimum hole diameter (D_{min}) which leads to a minimum in thermal efficiency. When slight incrementing the hole diameter starting from this point (D_{min}), thermal efficiency is rapidly increase and reaching its maximum (D_{max}). However, if the hole diameter increases continuously then the increment in thermal efficiency will be down slowly. If the increase of hole diameter reaches large value then thermal efficiency will start to decrease.

The same behavior is observed for different hole pitches as shown in Figure 4. As shown in Figure 4, the point D_{min} is reaching even smaller values with decreasing the hole pitch. In addition, hole diameter values for each hole pitch value are inserted, where the maximum thermal efficiency is obtained. These hole diameter values (D_{max}) are increasing with the hole pitch proportionally. However, the particles such as, sand, sawdust and dust which are located around the systems can clog the holes of system, that's why the hole diameter value can't be choose so small.

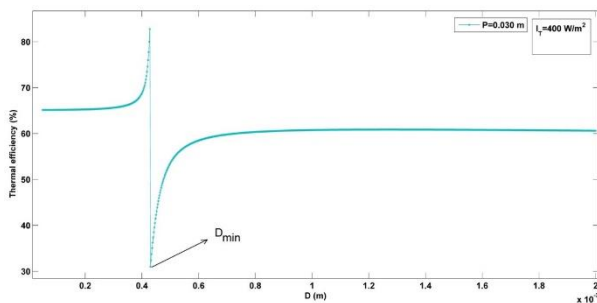


Figure 3. Variation of thermal efficiency with hole diameter

The right side of the asymptotic peaks in Figure 4 are identified as D_{min} and D_{max} point for each hole pitch. If the hole's diameter is smaller than the D_{min} point for choosing hole pitch, the system will not work properly, in this case sufficient fresh air can't be provided.

Accordingly, while $D < D_{min}$ the system works as a Trombe wall, for $D > D_{min}$ the system works as an UTC

for a fix hole pitch. Also, when the hole diameter is equal to the D_{min} point, the efficiency can be written as:

$$\eta = \lim_{D \rightarrow D_{min}^-} \frac{\dot{m}_c C_p}{I_T A} (T_c - T_{amb}) \left[1 - \exp\left(-\frac{kNu_D(1-\sigma)}{D\rho V_s C_p}\right) \right] = +\infty \tag{6}$$

$$\eta = \lim_{D \rightarrow D_{min}^+} \frac{\dot{m}_c C_p}{I_T A} (T_c - T_{amb}) \left[1 - \exp\left(-\frac{kNu_D(1-\sigma)}{D\rho V_s C_p}\right) \right] = -\infty \tag{7}$$

Figure 5 indicates the variation of the thermal efficiency with hole pitch for different hole diameters. As shown in figure 5 for small hole diameter ($D < 0,25\text{mm}$), the thermal efficiency does not change and the collector works as a Trombe wall. Whereas, for a hole diameter larger than 0,25 mm ($D \geq 0,25\text{mm}$), with slight increase the hole pitch, thermal efficiency increases. But, for larger values of the hole pitch thermal efficiency decrease. When the thermal efficiency reaches the minimum value for a fixed hole diameter, the hole pitch value is called critical hole pitch (P_c).

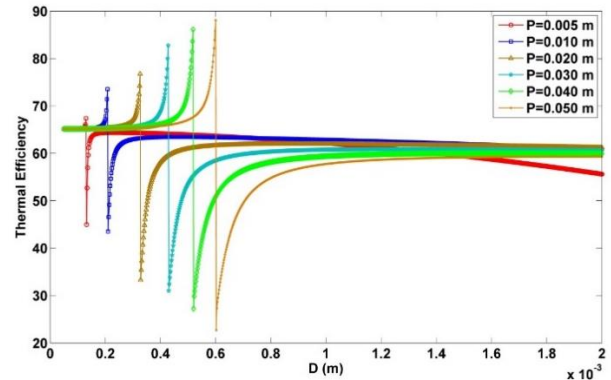


Figure 4. Variation of thermal efficiency with hole diameter for different pitches

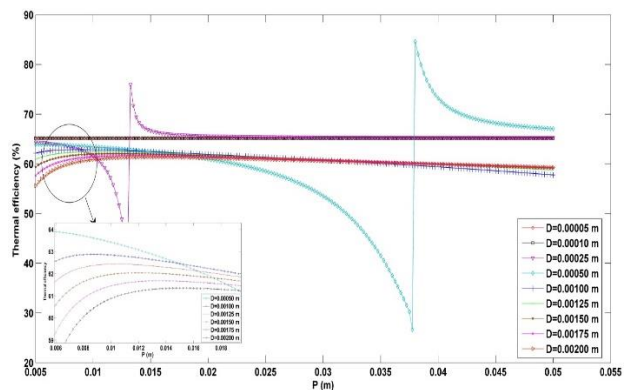


Figure 5. Variation of thermal efficiency with hole pitch for different hole diameters

In the left side of the asymptote that is shown in Figure 5, the system works as a UTC. Because of the distance between the holes is too large in the right side of the asymptote, the system works as a Trombe wall and the

thermal efficiency fixed. In this case the amount of fresh air which is supplied to the building, is limited.

While $P < P_c$, the system works as UTC, for $P > P_c$ the system works like a Trombe wall for a fixed hole diameter. When the hole pitch is equal to the critical hole pitch value (P_c), the efficiency can be written as:

$$\eta = \lim_{P \rightarrow P_c^-} \frac{\dot{m}_c C_p}{I_T A} (T_c - T_{amb}) \left[1 - \exp\left(-\frac{kNu_D(1-\sigma)}{D\rho V_s C_p}\right) \right] = -\infty \quad (8)$$

$$\eta = \lim_{P \rightarrow P_c^+} \frac{\dot{m}_c C_p}{I_T A} (T_c - T_{amb}) \left[1 - \exp\left(-\frac{kNu_D(1-\sigma)}{D\rho V_s C_p}\right) \right] = +\infty \quad (9)$$

Analysis Figure 4 and 5, it is obvious, that hole pitch and hole diameter cannot be studied independently from each other. To find the optimum values of D and P Figure 4 and Figure 5 should be combined and a 3D graphic with boundaries of $D > D_{min}$ and $P < P_c$ should be drawn. Before drawing the graphic, the boundaries must be identified. As mentioned above, the thermal efficiency is at its maximum for hole diameter of 0,25 mm; this value, however, is so small, that particles around the system can clog the holes of system easily. Therefore, sufficient air cannot be provided and the system works as a Trombe wall. Therefore, for choosing the hole diameter, the geographical condition must be considered carefully. In this study minimum hole diameter of the system is found to be 0,8 mm ($D_{min}=0,8mm$). The P_c value can be extracted from the Figure 5. Using these boundaries, Figure 6 gives a 3D view on the variation of thermal efficiency with the hole diameter and the hole pitch. A maximum thermal efficiency of 63.26% is obtained for $D=0,8$ mm, $P=7$ mm using the values in Table 2. Similar results were obtained by Augustus Leon and Kumar (2007) and Motahar and Alemrajabi (2010). Also, it has been indicated that optimum hole diameter and hole pitch should be determined simultaneously [7,10].

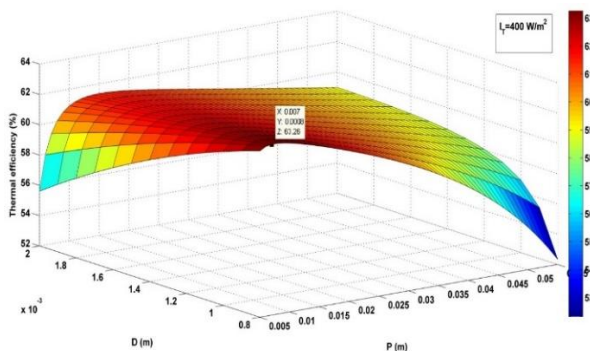


Figure 6. Variation of thermal efficiency with hole diameter and pitch

6. CONCLUSIONS

Solar wall systems are used in buildings that need continuous ventilation. This system is suitable for places which have long winter season with sunny days. In winter, the tilt angle of the sunrays is come more tilted. Therefore, high efficiency can be obtained in winter using solar wall system.

To obtain high efficiency from solar wall system; climate conditions of location such as temperature, wind speed and solar radiation must be determined firstly. Secondly, the collector dimensions determined using building dimensions and the minimum hole diameter is chosen considering the geographical condition. Then finally, the variation of the thermal efficiency with the hole pitch for D_{min} value has been plotted. Thus, the proper hole pitch for choosing the minimum hole diameter considering the geographical condition can be determined. Consequently, we can find out the optimum hole diameter and pitch for obtaining maximum efficiency.

The optimum hole diameter and pitch values were achieved as $D=0,8$ mm and $P=7$ mm with maximum thermal efficiency of 63.26%.

Using such systems, the energy resources can be used more efficiently. Also, these systems can be helpful to reduces the amount of CO_2 emissions and helps for protecting the environment.

REFERENCES

- [1] www.solarwall.com.
- [2] Kutscher C.F., "An investigation of heat transfer for air flow through low porosity perforated plates", Ph.D. Thesis, University of Colorado, Department of Mechanical Engineering, Colorado, USA, (1992).
- [3] Hollick J.C. "Unglazed solar wall air heaters", *Renewable Energy*, 5, 415-421, (1994).
- [4] Hollick J.C. "Solar cogeneration panels", *Renewable Energy*, 15, 195-200, (1998).
- [5] Shukla A., Nkwetta D.N., Cho Y.J., Stevenson V. and Jones P., "A state of art review on the performance of transpired solar collector", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 3975-3985, (2012).
- [6] Kutscher C.F. "Heat exchange effectiveness and pressure drop for air flow through perforated plates with and without crosswind", *Journal of Heat Transfer*, 116, 391-399, (1994).
- [7] Augustus Leon M. and Kumar S., "Mathematical modeling and thermal performance analysis of unglazed transpired solar collectors", *Solar Energy*, 81, 62-75, (2007).
- [8] Summers D.N. "Thermal Simulation and Economic Assessment of Unglazed Transpired Collector Systems", M.Sc. Thesis, University of Wisconsin-Madison, USA, (1995).
- [9] Van Decker G.W.E., Hollands K.G.T., and Brunger A.P., "Heat-exchange relations for unglazed transpired solar collectors with circular holes on a square or triangular pitch", *Solar Energy*, 71, 33-45, (2001).
- [10] Motahar S., and Alemrajabi A.A., "An Analysis of Unglazed Transpired Solar Collectors Based on Exergetic Performance Criteria", *International Journal of Thermodynamics*, 13, 153-160, (2010).
- [11] Kutscher C.F., Christensen C., and Barker G., "Unglazed transpired solar collectors: heat loss theory", *Journal of Solar Engineering*, 115, 182-188, (1993).
- [12] Moaveni S., Tebbe P.A., Schwartzkopf L., Dobmeier J., Gehrke J., and Simones M.A., "numerical model for

- thermal performance of an unglazed transpired solar collector,” *ASME 5th International Conference on Energy Sustainability*, 1-5, (2011).
- [13] Gunnewiek L.H., Brundrett E., and Hollands K.G.T., “Flow distribution in unglazed transpired plate solar air heaters of large area”, *Solar Energy*, 58, 221-237, (1996).
- [14] Fleck B.A., Meier R.M., and Matovic M.D., “A field study of the wind effects on the performance of an unglazed transpired solar collector,” *Solar Energy*, 73, 209-216, (2002).
- [15] Tırıs Ç., and Söhmen H.M., “Türkiye’de üretilen güneş enerjili su ısıtma sistemlerinde kullanılan güneş kolektörleri,” *Güneş günü sempozyomu*, 99, 1999, 25-27, (1999).
- [16] Goswami D.Y., Kreith F., and Kreider J.F., “*Principles of Solar Engineering*”, Second Edition. Taylor & Farnicis Publishing Company, (2000).
- [17] Incropera F.P., DeWitt D.P., Bergman T.L., and Lavine AS., “*Fundamentals of Heat and Mass Transfer*”, 6th Edition. John Wiley&SonsPublishing Company, (2007).
- [18] Balagurusamy E., “*Numerical Methods*”, 25th Reprint. Tata McGraw-Hill Publishing Company, (2008).

NOMENCLATURE

α_c	Collector absorptivity	Nu_D	Nusselt number of hole
A	Total frontal collector area (m^2)	Nu_{loss}	Loss Nusselt number
A_c	Collector surface area (m^2)	Nu_y	Nusselt number depends on the height of the collector
C_p	Specific heat capacity (J/kg.K)	P	Hole pitch (m)
D	Hole Diameter (m)	P_c	Critical hole pitch (m)
D_{max}	Max. Hole Diameter (m)	$q_{conv,w}$	Conduction heat transfer from the inside room to the outside surface of the wall (W)
D_{min}	Min. Hole Diameter (m)	$q_{conv,c-p}$	Convective heat transfer from the collector to the air when the air flowing through the plenum (W)
ϵ_c	Collector Emissivity	$q_{conv,loss}$	Convective heat losses from the collector to the surrounding air (W)
ϵ_w	Wall Emissivity	$q_{conv,w-p}$	The convective heat transfer from outer wall to plenum air (W)
η	Thermal efficiency (%)	q_{in}	Absorbed energy by the collector (W)
I_T	Solar radiation (W/m^2)	$q_{rad,loss}$	Radiation heat losses from the collector to the surrounding air (W)
k	Thermal conductivity (W/m.K)	$q_{rad,w-c}$	Radiation from the outer wall surface to the collector (W)
$k_{i,d}$	Overall heat transfer coefficient ($W/m^2.K$)	ρ	Density of air (kg/m^3)
\dot{m}_c	Mass air flow rate through the collector into the plenum (kg/s)	ν	Kinematic viscosity of air (m^2/s)
		σ	Porosity
		σ_{sb}	Stefan-Boltzmann constant
		T	Temperature (K)
		T_∞	Surrounding temperature (K)
		T_{amb}	Ambient temperature (K)
		T_c	Collector surface temperature (K)
		T_{in}	Room input temperature (K)
		T_w	Outer wall surface of the building temperature (K)
		V_s	Approach velocity (m/s)
		Y	Collector height (m)



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

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



Co₂B nanopartikülleri ile Kaplanmış S235JRC karbon çelik malzemelerin farklı kesme yöntemleri ile işlenebilirlik özelliklerinin araştırılması

Investigation of the machinability properties of Co₂B nanoparticles coated S235JRC carbon steel materials with different cutting methods

Yazar(lar) (Author(s)): Mustafa BARIŞ¹, Tuncay ŞİMŞEK², Adnan AKKURT³

ORCID¹: 0000-0002-2119-0697

ORCID²: 0000-0002-4683-0152

ORCID³: 0000-0002-0622-1352

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Barış. M, Şimşek T. ve Akkurt A., “Co₂B nanokristalleri kaplanmış S235JRC karbon çelik malzemelerin farklı kesme yöntemleri ile işlenebilirlik özelliklerinin araştırılması”, *Politeknik Dergisi*, 22(1): 169-177, (2019).

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

DOI: 10.2339/politeknik.403990

Co₂B Nanopartikülleri ile Kaplanmış S235JRC Karbon Çelik Malzemelerin Farklı Kesme Yöntemleri ile İşlenebilirlik Özelliklerinin Araştırılması

Araştırma Makalesi / Research Article

Mustafa BARIŞ¹, Tuncay ŞİMŞEK^{2*}, Adnan AKKURT³

¹Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü, Ankara, 06010, Türkiye

²Endüstri Ürünleri Tasarımı Bölümü, Mersin Üniversitesi, Mersin 33343, Turkey

³Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi, Ankara, 06500, Türkiye

(Geliş/Received : 14.11.2017; Kabul/Accepted : 05.02.2018)

ÖZ

Makine imalat sanayinde makine parçalarına genellikle nihai şekil verildikten sonra kaplama işlemi uygulanmaktadır. Ancak kimi zaman parçaların kesme işlemleri ile yeniden şekillendirilmesi gerekebilmektedir. Bu gibi durumlarda kaplama tabakasına zarar vermeden ya da en az zararla işlemin gerçekleştirilebilmesi için seçilen kesme yöntemi büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmada, mekanokimyasal yöntemle sentezlenen Co₂B nanopartiküller kullanılarak CO₂ lazeri ile S235JRC (St37-2) malzeme yüzeyine kaplama yapılmıştır. Kaplanmış numunelerin işlenebilirlik karakteristiklerini belirleyebilmek amacıyla numuneler sırasıyla aşındırıcı su jeti, tel erozyon, aşındırıcı disk ve lazerle kesilmiştir. Kesme işlemleri ile elde edilen yüzey özellikleri değerlendirildiğinde, Co₂B nanopartikülleri kullanılarak kaplanmış çelik malzemenin işlenmesinde en uygun yöntemin aşındırıcı diskle kesme olduğu tespit edilmiştir. Kaplama karakterizasyonu ve metalografik incelemelerde X ışını kırınımı (XRD), taramalı elektron mikroskopu (SEM), optik mikroskop ve mikrosertlik test cihazı kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yüzey özellikleri, işlenebilirlik, nano kaplama, Co₂B, mekanokimyasal yöntem

Investigation of the Machinability Properties of Co₂B Nanoparticles Coated S235JRC Carbon Steel Materials with different cutting methods

ABSTRACT

In the machine manufacturing industry, machine parts are generally coated after taking their final shape. However, in some cases it may be necessary to reshape the parts obtained in this way with cutting operations. In such cases, the cutting method chosen is of great importance to carry out the process with minimum damage or without damaging to the coating layer. In this study, Co₂B nanoparticles synthesized by mechanochemical method were coated to the surface of S235JRC (St37-2) material by CO₂ laser. In order to determine the machinability characteristics of the coated layers, samples were cut with abrasive water jet, wire-electrical discharge machining, abrasive disc and laser, respectively. When the surface properties obtained by the cutting process are evaluated, it is determined that the abrasive disc cutting is the most suitable method for Co₂B nanoparticle coated S235JRC (St37-2) materials. The characterization and metallographic investigations of the coating layers were carried out with X-Ray diffraction spectroscopy (XRD), scanning electron microscopy (SEM), optical microscope and micro hardness tester.

Keywords: Surface properties, machinability, nano coating, Co₂B, mechanochemical method.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Malzeme üretim çalışmalarına temel teşkil eden iki önemli parametre yapı ve özelliktir. Malzemenin performansını belirleyen bu iki parametre aynı zamanda işlenebilirliğini de etkilemektedir. Özellikle günümüz imalat sanayinde daha hızlı, kaliteli ve ekonomik işlenebilirlik tercih edilmektedir.

Üretim süreçleri planlanırken en önemli unsurlardan biri malzemenin işlenebilirliğidir. Malzemenin iyi bir

işlenebilirliğe sahip olması, işlem sonrası yüzey özelliklerinin yanı sıra kesici takımın ömrüne minimum olumsuz etki olarak tanımlanabilir. Ayrıca günümüz malzeme bilimine konu olan yeni malzeme geliştirme çalışmalarının endüstriye ve imalata yönelik olması için işlenebilirlik özelliklerinin göz ardı edilmemesi gerekir. Bor ve bor bileşiklerinin malzeme alanında; plastik, seramik ve metal esaslı kompozit malzemelere sağladığı yüksek dayanım, bu malzemelerin uzay, havacılık ve savunma sanayi vb. birçok özel alanda kullanılmasını mümkün hale getirmektedir. Borun ikili ve üçlü bileşikleri korozyon, aşınma ve yüksek sıcaklık dayanımı istenen yüzeylerin kaplama uygulamalarının yanı sıra

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : tuncaysimsek@mersin.edu.tr

benzer özellik gerektiren kompozit malzemelerin elde edilmesinde de kullanılmaktadır [1-2].

Nano boyutta bor bileşikleri elde edilmesine yönelik yapılan çalışmalar değerlendirildiğinde; Kanomata ve arkadaşları, termal yöntemle Co_2B üretmiş ve manyetik özelliklerini incelemiş ve ürettikleri Co_2B 'nin manyetik özelliğe sahip olduğunu belirlemişlerdir [3]. Petit ve arkadaşları, $\text{Co}(\text{AOT})_2$ ve NaBH_4 başlangıç malzemelerinden yola çıkarak Ar atmosferinde çözelti ortamında Co_2B üretmişlerdir. Deneylerde Co_2B partiküllerinin tane boyutunun, çözelti ekleme hızı ve eklenen çözelti büyüklüğü ile bağlantılı olduğunu gözlemiş ve Co_2B 'lerin tane boyutu küçüldükçe süper manyetik özellikler sergilediğini tespit etmişlerdir [4]. Krishnan ve arkadaşları ise LiCoO_2 'den elde edilen Co_2B 'nin hidroliz için iyi bir katalizör olduğunu, Co_3O_4 'ten elde edilen Co_2B 'nin ise yeterli hidrolizi sağlayamadığını ayrıca katalizör içerisindeki kirliliklerin ve katalizörün kristal yapısının hidrolize önemli ölçüde etki ettiğini göstermişlerdir [5].

Malzeme yüzeyinin kaplanmasına yönelik yapılan çalışmalar değerlendirildiğinde; Paul ve arkadaşları, ağırlıkça %12 Co içeren WC-Co toz karışımını düşük karbonlu çelik üzerine Nd:YAG lazeri ile kaplamış ve kaplama tabakasını karakterize ederek numuneler üzerinde çatlak ve çukur oluşumu, WC partiküllerinin Co matris içerisindeki ergime oranı gibi konuları araştırmışlardır [6]. Meng ve arkadaşları, ağırlıkça %6 oranında alüminyum, %4 vanadyum ve geri kalanı titanyumdan oluşan Ti-6Al-4V malzemesinin yüzeyini, $\text{NiCrBSi} + \%5 \text{B}_4\text{C}$ seramik-metal toz karışımıyla ön kaplamışlardır. Maksimum gücü 1,5 kW olan CO_2 lazeriyle, 750 W gücünde, 5 mm/s tarama hızında ve 3 mm ışın çapında yaptıkları kaplamalarda gözeneksiz ve çatlaksız, ana metal yüzeyi ile oldukça iyi metalürjik bağ oluşturan kaplama tabakası elde etmişlerdir [7]. Du ve arkadaşları, AISI 1010 çeliğinin yüzeyine %60,73 ferrotitanyum ve %39,27 ferrobordan oluşan toz karışımı lazerle kaplamışlar. Elde ettikleri gözeneksiz ve çatlaksız kompozit kaplamanın, ana metal yüzeyine çok iyi bağlandığını, lazerle kaplama işleminde soğuma esnasında çekirdeklenme büyümesi mekanizmasıyla oluşan sert TiB_2 fazının, sertliği ve aşınmaya karşı direnci önemli oranda arttırdığını tespit etmişlerdir [8]. Anjons ve arkadaşları, SAE 1013 karbon çeliğinin yüzeyini, ASTM S31254 paslanmaz çelik malzemenin tozlarını kullanarak CO_2 lazeri ile kaplamışlardır. Yaptıkları metalürjik incelemelerde Cr, Ni, Mo ve N gibi alaşım elementlerinin kaplama bölgesinde homojen ve hatasız olarak dağıldığını tespit etmişlerdir. Yapının östenit olduğunu ve uzun süreli korozyon testlerinde, kaplamanın ana malzemeye göre daha dayanıklı olduğunu rapor etmişlerdir [9]. Li-li ve arkadaşları, orta karbonlu çelik malzeme yüzeyini %1, %3 ve %5 Co içeren Fe toz karışımlarını ile lazerle kaplamışlar ve yüzeyde $\text{Fe}_{0,64}\text{Ni}_{0,36}$ dentritleri ve $(\text{Fe,Cr})_7(\text{C,B})_3$ interdentrik bileşikler içeren sert kaplama tabakası elde etmişlerdir. Metalografik incelemelerde %3 Co içeren tozlarla yapılan kaplamanın, %1 ve %5 Co içeren

tozlarla yapılan kaplamalara göre çelik yüzeyiyle daha iyi bağ dayanımına sahip olduğunu belirlemişlerdir. Kaplama tabakasını oluşturan interdentrik bölgede Co içeriğinin artması ile mikrosertliğin arttığı sonucuna varmışlardır [10].

Nano ve mikron boyutta metal borür bileşikler üretiminde solvotermal, magnezotermal, fiziksel buhar biriktirme (PVD), kimyasal buhar biriktirme (CVD), kendiliğinden ilerleyen yüksek sıcaklık sentezi (SHS) ve karbotermal gibi yöntemlerin kullanıldığı bilinmektedir. Literatürde yer alan çalışmalarda, bu yöntemlerle üretilen metal borür bileşikler ile katalitik aktivasyon ve kaplama uygulamaları yapıldığı, kaplama uygulamalarında birbirinden farklı metal tozlarının ve metal borürlerin karıştırılarak veya tek başlarına metal yüzeylerine başarılı bir şekilde kaplanarak yüzeylerde metal borür içeren kaplama tabakaları oluşturulduğu tespit edilmiştir. Sağladığı üstün özelliklerden dolayı son zamanlarda üretim yöntemi olarak mekanokimyasal yöntemin tercih edildiği çalışmaların arttığı ancak, şu ana kadar literatürde bu yöntemle başlangıç malzemesi olarak oksitlerden yola çıkılarak yapılmış nano boyutta Co_2B üretimi ile ilgili herhangi bir çalışmanın olmadığı belirlenmiştir. Yapılan çalışmada mekanokimyasal yöntemle başlangıç malzemesi olarak oksitlerden yola çıkılarak Co_2B nanopartikülleri üretilmiş ve lazer kaplama uygulamalarında üretilen nanopartiküller kullanılmıştır. Başarılı bir lazer kaplama işleminin, lazer gücü, ilerleme hızı, frekans, lazer cinsi, lazer çapı, kullanılan koruyucu gazın cinsi, basıncı ve ön kaplama işlemleri gibi parametrelere bağlı olduğu tespit edilmiştir. Kaplanmış numunelerin işlenebilirlik karakteristiklerini belirleyebilmek amacıyla numuneler sırasıyla aşındırıcı su jeti, tel erozyon, aşındırıcı disk ve lazerle kesilmiş ve metalografik incelemeler gerçekleştirilmiştir. Mekanokimyasal yöntemle nano boyutta Co_2B üretim koşullarının optimize edilmesi sonucunda elde edilecek parametrelerin, diğer geçiş metallerinin borür formlarının üretimine de veri sağlayacak nitelikte olacağını yapılan literatür değerlendirmesi ile söylemek mümkündür. Ayrıca üretilen tozun yüzey kaplamada kullanılması ile uygulamaya dönüştürülmesi ve kaplama ile geliştirilen malzemenin işlenebilirliğinin araştırılması ile çalışmanın endüstriyel nitelik kazanacağı ve imalat sanayine kaynak teşkil edecek veriler içereceği düşünülmektedir [11-12].

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

2.1. Malzeme ve kaplama işlemi (Materials and Coating Process)

Gerçekleştirilen çalışmada; makine imalat sanayi başta olmak üzere birçok alanda yaygın kullanıma sahip EN S235JRC (DIN ST37-2) düşük karbonlu çelik malzeme kullanılmıştır. Malzeme seçimi yapılırken geniş kullanım alanına sahip olmasının yanı sıra, mekanik ve fiziksel özellikleri değerlendirildiğinde diğer nitelikli malzemelere oranla daha yetersiz olmasının yanında,

halen kullanılan birçok sistem bileşenlerinin üretilmesinde benzer özelliklerde karbon çeliklerinin yaygın kullanımı da etkin olmuştur. Ayrıca birçok sistemde kullanılan parçaların tamamının üstün niteliklere sahip malzemeden üretilmesi ekonomik olmayacağı için bölgesel özelliklerinin geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu gibi durumlarda da ekonomik olan malzemeler yaygın olarak tercih edilmektedir. Bu malzemelerden üretilen parçaların belli bölgelerinde kaplama gerekliliği de sektör ihtiyaçlarının yorumlanmasında katkı sunacağı ön görüşü ile malzeme tercihi yapılmıştır.

Uygulamalarda alt malzeme olarak kullanılan S235JRC düşük karbonlu çelik, 5X25X150 mm boyutlarında hazırlanmıştır. Malzemenin kimyasal kompozisyonu Çizelge 1’ de verilmiştir.

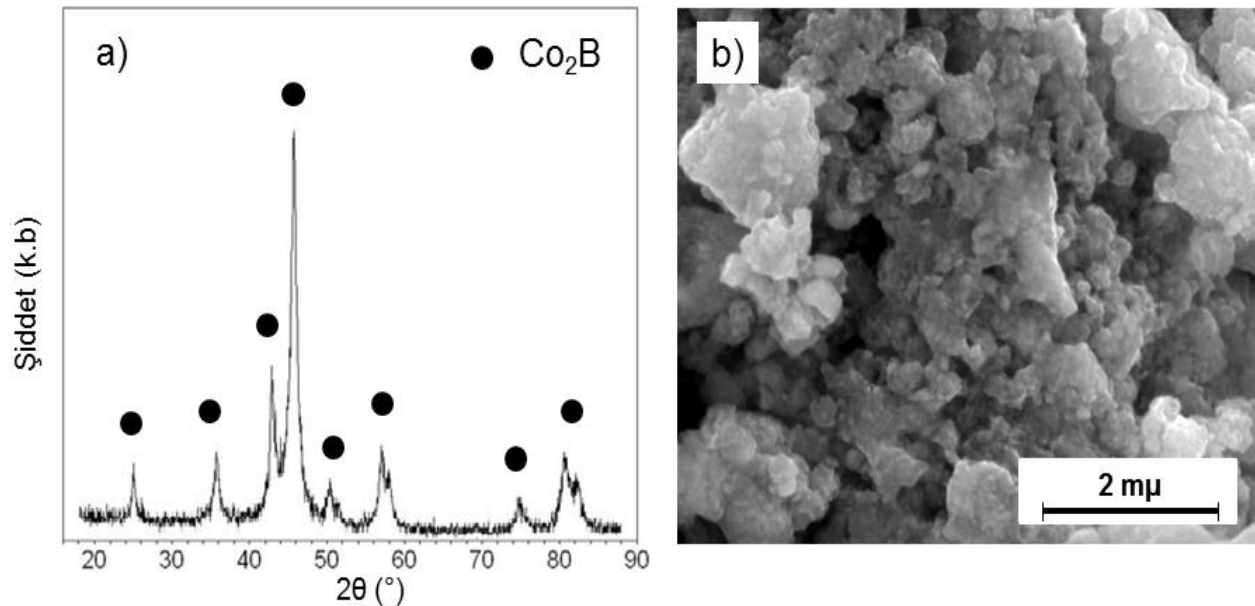
Çizelge 1. S235JRC düşük karbonlu çelik malzemenin kimyasal kompozisyonu (Chemical composition of S235JRC low carbon steel material)

Kimyasal Bileşim	Ağırlıkça Oranı %
C	0,080
Si	0,241
Mn	0,434
P	0,008
S	0,005
Cu	0,290
N	0,010
Fe	Kalan

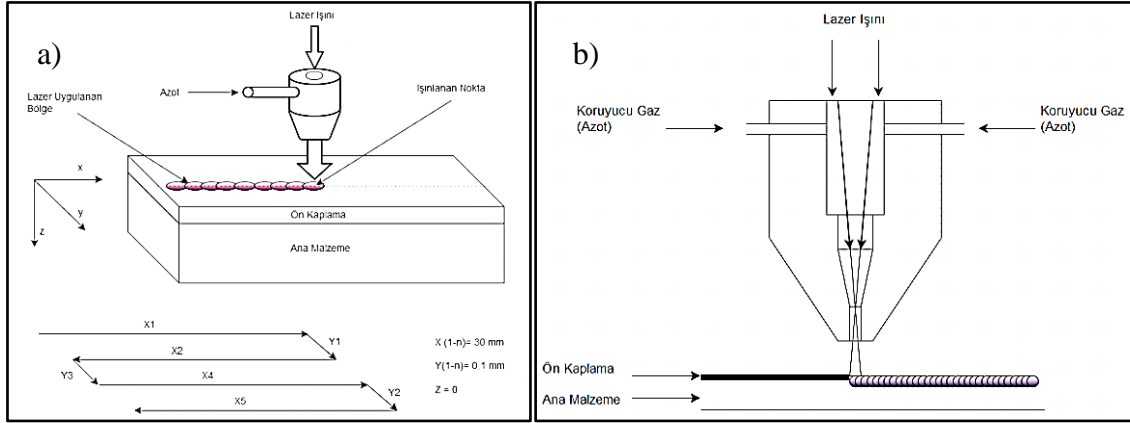
Kaplama malzemesi olarak, geçiş metallere Co elementinin ikili bor bileşiklerinden olan Co₂B, uydu tip yüksek enerjili bilyeli öğütücüde mekanokimyasal yöntemle üretilmiş ve karakterizasyonu yapılmıştır.

Üretilen Co₂B nanopartiküllerin XRD grafiği ve SEM görüntüsü Şekil.1’e verilmiştir. Faz yapısı Rigaku D/MAX-2200 XRD cihazında X-ışını kırınım analizi ile Cu-K α ışın kaynağı kullanılarak dakikada 4° tarama hızında 0-90° 2 θ aralığında yapılan tarama ile, morfolojik yapısı FEI Quanta 200F taramalı elektron mikroskopunda (SEM) belirlenmiştir. Co, B₂O₃ ve Mg başlangıç malzemelerinden, 350 rpm dönme hızında 40:1 bilye toz kütle oranında 15 saat süre ile yapılan yüksek enerjili bilyeli öğütme sonucunda elde edilen Co₂B nanopartikülleri asetik asit liçi ile saflaştırılmıştır. Nanopartikül üretim çalışmalarının ayrıntıları başka bir çalışmamızda verilmiştir [13].

Üretim ve karakterizasyon çalışmalarının tamamlanmasının ardından, S235JRC düşük karbonlu çelik malzeme yüzeyi, Co₂B kullanılarak farklı güçlerde CO₂ lazeri ile kaplama çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla; üretim sonrası elde edilen Co₂B ürünü kullanılarak düşük karbonlu çelik malzeme yüzeyine lazer kaplama uygulamaları yapılmıştır. Kaplama öncesi çelik malzemelerin yüzeyleri kumlama işlemi yapılarak temizlenmiştir. Kumlama sonrası malzemeler sırasıyla etanol ve asetonla yıkanıp kurutularak lazer kaplamaya hazır hale getirilmiştir. Kaplama işleminin ve kaplamada kullanılan nozulun şematik gösterimi Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 1. Lazer kaplamada kullanılan Co₂B nanopartiküllerin a)XRD grafiği, b) SEM görüntüsü (a) XRD graphs, b)SEM images of the Co₂B nanoparticles used in laser coating) [11]



Şekil 2. a) Kaplama işleminin şematik gösterimi, b) Kullanılan nozulun şematik gösterimi (The schematic view of a) coating process, b) nozzle) [11]

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

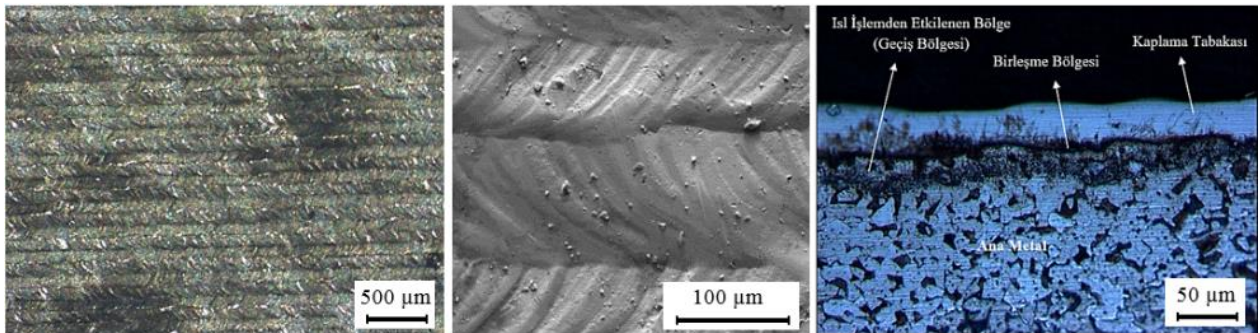
Lazer kaplamaya hazır hale gelen numunelere, 2000 W güce sahip CO₂ lazer cihazında, 600 kPa basınçla beslenen N₂ atmosferi altında, 125-174-220 W lazer güçlerinde üç farklı kaplama uygulaması gerçekleştirilmiştir. Lazer kaplamada uygulanan parametreler literatür dikkate alınarak belirlenmiştir [13].

Lazer kaplama uygulamalarında 10,64 µm dalga boyunda ve 1,5 mm çapında lazer ışını kullanılmıştır. Koruyucu gaz olarak azot beslenen lazer ışınının şekillendirildiği nozulun yüzeye olan mesafesi 0,5 mm olarak, yana kayma mesafesi (örtme mesafesi) 0,1 mm olarak ayarlanmıştır. Kaplama işlemi sonrası numune görüntüsü ve kaplanmış numunenin kesit görüntüsü Şekil 3'te verilmiştir [13].

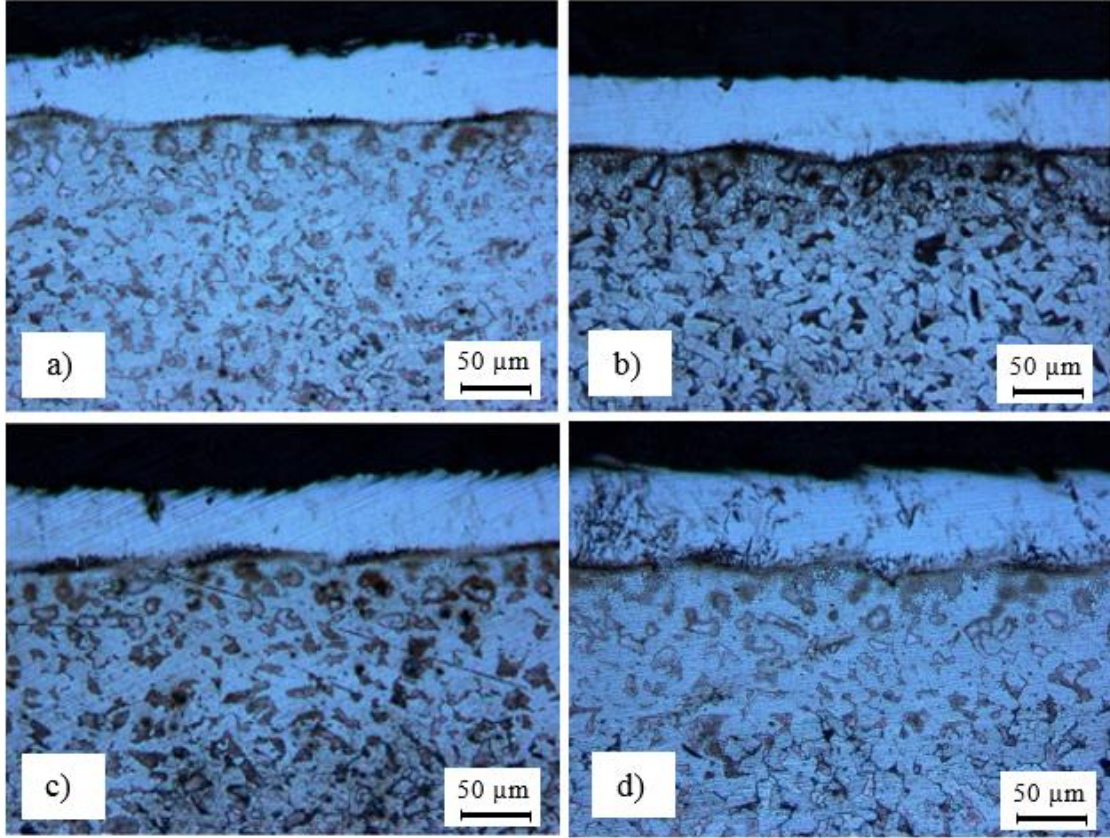
Kaplama kalitesini ortaya koymak için yapılan kesit alma işlemlerinde, seçilen kesme yönteminin etkisinin de olabileceği değerlendirilerek, çalışmada kullanılan dört farklı kesme yönteminden sonra her bir numunede kesit alma işlemi gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu işlemler

sonucunda elde edilen kesit görüntülerinden (Şekil 4) tüm kaplamalarda kaplama tabakası ile alt malzeme arasında bir bağ olduğu gözlenmiştir. Ayrıca, kaplama tabakası ve ana malzemenin bölgesel yapılarını ortaya koymak için kaplama yapılan malzemeler sıvı azotta yaklaşık 5 dakika süre ile bekletilmiş ve sonrasında kırılmıştır. Kırılan numunelerin SEM görüntüsü Şekil 5'deki verilmiştir. Şekilde ki kesit görüntüsünde malzemenin ana metal (a), geçiş bölgesi (b), birleşme bölgesi (c) ve kaplama tabakasından (d) oluştuğu görülmüştür.

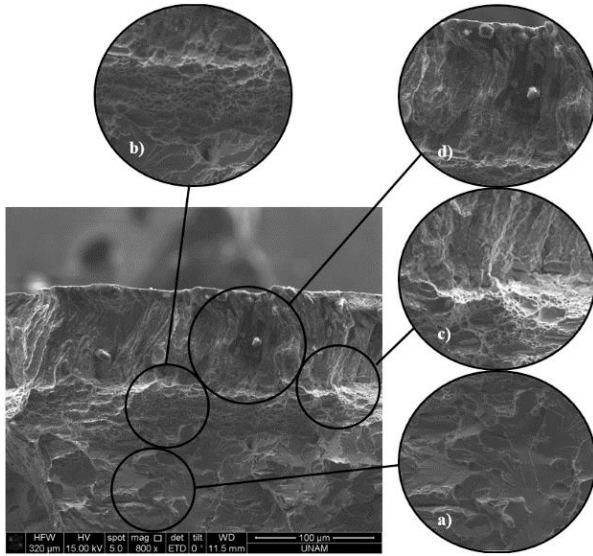
Kırılma sırasında ana metalde (a) gevrek kopmalar yaşandığı, geçiş bölgesinde (b) ise sünek kopmaların meydana geldiği morfolojik yapılardan tespit edilmiştir. Kaplama bölgesinin (d), lazer kaplama sırasındaki yüksek sıcaklıktan kaynaklı ana metalden yüzeye doğru anizotropik yönlü katılma ile sütunsal yapıdan oluştuğu ve kırma sırasında kopmaların sütunlara paralel şekilde gerçekleştiği tespit edilmiştir. Birleşme bölgesinde (c) ise homojen bağ yapan bölgelerin yanı sıra, ısıl genleşmeden kaynaklanan düzensiz boşluklar meydana geldiği belirlenmiştir.



Şekil 3. Kaplanmış numunenin üst yüzeyinin a) optik mikroskop görüntüsü, b) SEM görüntüsü, c) kesit görüntüsü (The images of the coated surfaces a) optic microscope b) scanning electron microscope c) cross-section image of the coated sample) [11]



Şekil 4. Kaplanan malzemenin kesiti görüntüleri a) Aşındırıcılı disk ile kesme, b) Tel Erozyon ile kesme, c) Lazer ile kesme, d) Su jeti ile kesme, (Cross-sectional views of coated material a) abrasive disc, b) wire-electrical discharge machining, c) laser, d) abrasive water-jet cutting)



Şekil 5. Kaplanan malzemenin kırma sonrası SEM görüntüleri (SEM images of coated material after breaking) [11]

2.2. Kaplanmış Numunelerin İşlenebilirliklerinin Araştırılması (Investigation of the Machinability of Coated Samples)

Makine imalat sanayinde yaygın kullanılan aşındırıcılı su jeti, tel erozyon, lazer ve aşındırıcılı disk ile kesme yöntemlerinin her birinin kendine özgün kesme

özellikleri olduğu ve bu özellikleri işlenen malzemenin temel özelliklerine doğrudan etki ettiği birçok çalışma ile ortaya konmuştur [14-23]. Ancak literatürde nano boyutta partiküller ile kaplanmış yüzeye etkilerini ortaya koyan her hangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Oysa ki imalat sanayindeki teknolojik gelişmeler bu tür uygulamaları zorunlu kılmaktadır. Hedeflenen yapılacak çalışmalar ile bu eksikliğin giderilmesi ön görülmektedir.

Kesme işlemlerinin kaplama tabakaları üzerindeki etkisini incelemek amacıyla kaplanmış numuneler, aşındırıcı disk ile kesme işleminin yanı sıra lazer, tel erozyon ve aşındırıcı su jeti ile kesilmiştir. Kaplamalarda meydana gelen tahribatlar optik mikroskop ve SEM analizleri ile belirlenmiştir. Ayrıca, farklı lazer güçlerinde elde edilen kaplamaların kalınlık ve sertlik ölçümleri, lazer, tel erozyon ve aşındırıcı su jeti ile kesme işlemlerinde elde edilen kesitlerde yapılmıştır. Mikroyapı, sertlik ve kalınlık belirleme analizleri öncesi numuneler, aşındırıcı disk ile kesme sonrası yapılan numune hazırlama işlemlerinden geçirilmiştir. Co₂B kaplanmış numunelerin kesildiği yöntemler için seçilmiş olan kesme parametreleri Çizelge 2’de verilmiştir. Parametrelerin seçiminde S235JRC düşük karbonlu çelik malzeme için endüstriyel açıdan en yaygın uygulanan kesme işlemleri ve özellikleri dikkate alınmıştır. Verilen parametrelerle yapılan kesme işlemleri sonrası elde edilen kesme bölgelerinin SEM (X800) ve optik mikroskop (X100) görüntüleri Şekil 6’da verilmiştir.

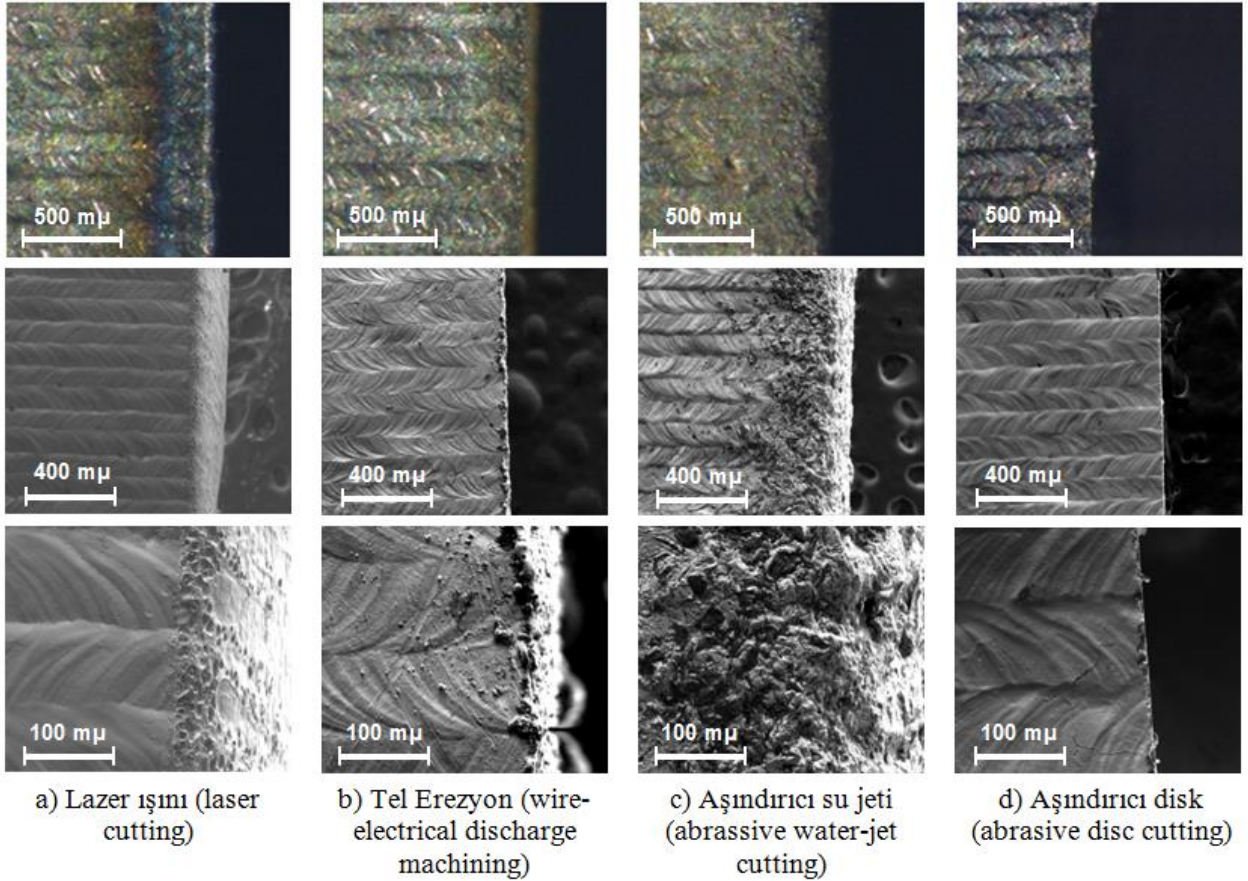
Çizelge 2. İşleme parametreleri (Processing parameters)

Aşındırıcı Disk ile Kesme Parametreleri	
Kullanılan Disk	SiC
Disk Ölçüleri (dış x iç çap x kalınlık)	250x32x1,6 mm
Devir	2840 rpm
İlerleme Hızı	1 mm/s
Kesme Sistemi	Otomatik
Soğutma	Bor yağı katkılı soğutma sıvısı

Lazer ile Kesme Parametreleri	
Lazer Gücü	2000 W
Kesme Hızı	1000 mm/min
Frekans	1000 Hz
Duty	55 %
Ortalama Güç	880 W

Tel Erozyon ile Kesme Parametreleri	
Tel Çapı	0,3 mm
Tel Cinsi	CuZn
Tel Hızı	6 m/min
Kesme Hızı	11 mm/min
Gerginlik	10 Cn
Enerji Verilen Süre	18 ms
Enerji Kesilen Süre	70 ms

Aşındırıcı Su Jeti ile Kesme Parametreleri	
Nozul Çapı	0,75 mm
Kum Debisi	250 g/min
Basınç	4000 bar
İlerleme Hızı	150 mm/min



Şekil 6. Lazerle kaplanmış St37 karbon çeliğinin kesme işlemleri sonrası optik mikroskop ve SEM (X100) görüntüleri (Optical microscope and SEM images of the laser coated St37 carbon steel after cutting processes) (X100)

Kesme işlemleri sonrası elde edilen optik mikroskop ve SEM görüntüleri, seçilen kesme yönteminin malzeme yüzeyinde oluşturduğu tahribatları ve yüzey etkileşimlerini ortaya koymuştur. Farklı yöntemlerle kesilen yüzeylere ait görüntüler değerlendirildiğinde;

- Lazer kesme işlemi uygulanan kesme bölgesinde kaplama bölgesi, geçiş bölgesi ve alt metal üzerinde

tahribatın az olduğu ancak ısıdan önemli ölçüde etkilenme olduğu açık bir şekilde görülmektedir.

- Tel erozyon ile kesme yöntemi ile elde edilen kesik bölgeleri incelendiğinde kaplama, geçiş bölgesi ve alt metal üzerinde ısıdan etkilenmenin daha sınırlı olduğu ancak düşük miktarda da olsa kesme yüzeyinde birikme olduğu gözlenmiştir.

- Su jeti ile kesme işleminde kaplama tabakasında önemli ölçüde tahribat yaşandığı ve kesme işleminde kullanılan aşındırıcı partiküllerin kaplama tabakasından sonraki geçiş bölgesine seyrek aralıklarla da olsa gömüldüğü gözlenmiştir.
- Aşındırıcı diskle kesme işleminde ise ısıdan etkilenme ve tahribatın minimum seviyede olduğu tespit edilmiştir.

Kesme işlemleri kıyaslandığında lazer ve aşındırıcı su jeti ile kesme işlemlerinin kaplama tabakasında ciddi tahribata neden olduğu, tel erozyonda düşük oranda tahribat yaşandığı, en az tahribatın ise aşındırıcı disk ile kesme işleminde görüldüğü anlaşılmaktadır.

Kesme yöntemlerinin yüzeye etkileri değerlendirildiğinde ise;

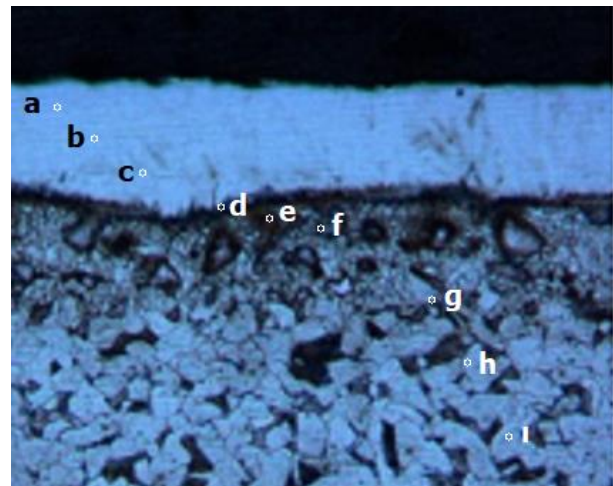
- Lazer ile kesme işleminde ani yüksek ısı girdisi ve ani soğumadan kaynaklı yüzeyde büyük çatlak ve kırıkların yanı sıra ısı yayılımından kaynaklı olarak geniş bir bölgede yapısal bozulmalar görülmüştür.
- Tel erozyon ile kesme yönteminde ise yüzeyde ısı bağlantılı daha küçük çatlak ve kırıklar mevcuttur. Ayrıca lazere kıyasla çok daha küçük bir bölge ısı etkisinde kalmış ve bunun sonucunda yapısal bozulmalar sınırlı kalmıştır.
- Aşındırıcı su jeti ile kesme yönteminde ise ısı girdisinin olmamasından kaynaklı termal deformasyon olmadığı, ancak kesme işleminin başlangıcında yüzeye çarpan su-aşındırıcı karışımının gelişi güzel sıçramaları sonucunda kaplama yüzeyinde belirgin kopma ve aşındırıcı tanecik batmaları ile büyük oranda fiziksel bozulmalar görülmüştür.
- Termal deformasyonlar ve fiziksel tahribatlar birlikte değerlendirildiğinde, aşındırıcı disk ile kesmenin çalışmada uygulanan yöntemler arasında en uygun yöntem olduğu tespit edilmiştir.

Co₂B kaplanmış S235JRC düşük karbonlu malzemelere uygulanan kesme yöntemlerini karşılaştırdığımızda, uygulanan yöntemler arasında en olumsuz yöntemin, neden olduğu yapısal değişikliklerden dolayı lazer ile kesme olduğu belirlenmiştir. Su jeti ile kesme işleminin kaplama tabakasında ciddi tahribata neden olduğu, tel erozyonda düşük oranda tahribat yaşandığı, en az tahribatın ise aşındırıcı disk ile kesme işleminde görüldüğü anlaşılmıştır. Uygulanan yöntemler arasında aşındırıcı disk ve tel erozyon ile kesme, diğer iki yöntemle göre ön plana çıkmaktadır. Fakat kaplamada yapısal değişimin en az olması istenen durumlarda, neden olduğu tahribatta dikkate alınarak, ısı girdisinin olmamasından dolayı su jeti ile kesme yöntemi tercih edilebilir.

Optik mikroskop görüntülerinden her üç kesme yönteminde de düzgün doğrusal yapıların elde edilebildiği ve kesme işlemlerinin başarılı gerçekleştiği anlaşılmıştır. Lazer ile kesme işleminde numunenin

ısıdan önemli ölçüde etkilendiği, yaklaşık 550 µm geçiş bölgesi olduğu ve özellikle kenara yakın bölgede önemli derecede ısıdan etkileşim olduğu görülmüştür. Tel Erozyon ile kesme işleminde geçiş bölgesinin yaklaşık 100 µm, su jeti ile kesme işleminde yüzeyden yansıma ve saçılma ile kaplama tabakasında yaklaşık 500 µm tahribat olduğu belirlenmiştir. Kesme işlemi sırasında en az sıcaklıktan ve tahribattan etkilenen bölge oluşumu yaklaşık 20 µm ile aşındırıcı disk ile kesme işleminde görülmüştür. Termal kesme yöntemleri olan lazer ve tel erozyonu ile kesmede, ısıdan dolayı tahribat meydana gelirken, aşındırıcı su jetinde ise aşındırıcı tanelerin ve basınçlı suyun etkisi söz konusudur. Aşındırıcı su jeti ile kesmede ısıdan dolayı tahribat olmamasına rağmen aşındırıcı tanelerin kaplama yüzeyine gelişigüzel çarpıp sıçraması sonucu kesme bölgesini ciddi şekilde deforme ettiği tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar yöntemlerin işlem kabiliyetinin uygun olduğu konularda aşındırıcı disk ile kesme yönteminin en uygun kesme yöntemi olduğunu ancak aşındırıcı diskin kullanılmayacağı karmaşık geometrili numunelerde ise tel erozyon yönteminin tercih edilmesi gerektiği ortaya konmuştur.

Kesilen numunelerin, kesitinden mikro sertlik ölçümü yapabilmek amacıyla metalografik uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Numune hazırlama işlemleri neticesinde, kesme yöntemlerinden kaynaklanan tahribat bölgelerinin aşındırıldığı, buna bağlı olarak ölçümlerin numunelerin iç bölgelerinden alındığı ve Şekil 7'de sertlik ölçüm bölgeleri şekil üzerinde gösterilmiştir. Sırasıyla a, b ve c kaplama tabakası, d, e ve f geçiş bölgesi ve g, h ve i ana metal deney numunesi üzerinden sertlik ölçümlerinin yapıldığı yaklaşık alanları göstermektedir. Kesme işlemleri sonrası numunelerin yüzeylerinden ve kesitlerinden ölçülen sertlik değerleri Çizelge 3'te verilmiştir.



Şekil 7. Sertlik ölçüm bölgeleri (Hardness measurement areas)

Çizelge 3. Kaplanmış numunelerin kesitinden alınan mikrosertlik değerleri (Microhardness values of coated samples taken from cross-sections)

İşlem Görmemiş Numune	Kaplama Lazer Gücü	Kesme Yöntemi	Sertlik (HV _{0,05})			
			Ana Metal	Geçiş Bölgesi	Kaplama Tabakası	Kaplama Yüzeyi
199,33 HV _{0,05}	125 W	Ortalama	215,33	308,22	483,66	566,70
		Su Jeti	211	310,3	478,6	564,9
		Tel Erozyon	215,6	312,6	487,6	574,2
		Aşındırıcı Disk	213	311	483	567,1
	Lazer	219	301,6	484,6	578,3	
	174 W	Ortalama	222,55	335,55	603,55	660,30
		Su Jeti	217,3	329,3	590,6	648,5
		Tel Erozyon	216	334,3	606,3	667,4
		Aşındırıcı Disk	221,6	335	595,6	651,7
	Lazer	234,3	343	613,6	681	
	220 W	Ortalama	217,66	343,88	647,00	687,30
		Su Jeti	212,3	361	641	679
Tel Erozyon		221	333	658	699,2	
Aşındırıcı Disk		220	338	650,6	688,3	
Lazer	219,6	337,6	662	703,2		

Çizelgeden, yapılan ölçümlerde mikro sertlik değerlerinin birbirlerine oldukça yakın olduğu görülmüştür. Numune sertliği yaklaşık olarak 125, 174 ve 220 W lazer güçlerinde yapılan kaplamalar için sırasıyla 483,5; 601,58 ve 647,91 HV olarak bulunmuştur.

Genel bir değerlendirme ile test numunelerinin hazırlanmasında kullanılan lazer gücü ile yüzey sertliğinin doğru orantılı olarak arttığı ve kesme yöntemlerinin sertlik değerleri üzerinde etkili oldukları tespit edilmiştir. Bu durum literatürde kesme yöntemlerinin karşılaştırıldığı çalışmalarla paralellik göstermektedir [14-23].

5. SONUÇ (CONCLUSION)

- İşlenebilirlik uygulamalarında kaplama bölgesi değerlendirildiğinde, en az tahribat ve en iyi yüzey özellikleri aşındırıcı diskle kesme ile elde edilmiştir.
- Lazer ile kesme işleminde açığa çıkan yüksek ısıdan dolayı, kaplama tabakasının alt malzemeden kopma eğiliminin azaldığı ancak kesme bölgesinde termal deformasyonların meydana geldiği tespit edilmiştir.
- Aşındırıcı su jeti, aşındırıcı disk ve tel erozyon ile kesme işlemleri sonrası, kesim bölgesinde kaplama tabakasının alt yüzeyden kopma eğiliminde olduğu belirlenmiştir.
- Kesme yüzeyindeki tahribat değerlendirildiğinde aşındırıcı su jetinin kaplama tabakasını en fazla deforme eden yöntem olduğu tespit edilmiştir.

- Kaplanmış yüzeylere uygulanan kesme yöntemlerinin genel olarak sertlikte aşırı bir değişime sebep olmadığı ancak lazer ile kesimin diğer yöntemlere göre kesim bölgesinde düşük miktarda sertliği arttırdığı belirlenmiştir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Çalışmaya verdiği destek için Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğüne teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Garrett D., "Borates: Handbook of deposits, processing, properties and use", 1-452, *Academic Press*, USA, (1998)
- [2] Riedel R., "Handbook of Ceramic Hard Metaterials", Editors: Swain M., Brook R.J., Structure and Properties of Ceramic, *Processing of Ceramics*, Wiley-VCH Verlag GmbH, 1, Germany, (2000)
- [3] Kanomata T., Ise Y., Kumagai N., Haga A., Kamishima K., Goto T., Kimura H.M., Yoshida H., Kaneko T. and Inoue A., "Magnetovolume effect of Co₂B", *Journal of Alloys and Compounds*, 259: L1-L4, 1997.
- [4] Petit C. and Pileni M.P., "Nanosize cobalt boride particles: control of size and properties", *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 166: 82-90, (1997)
- [5] Krishnan P., Advani S.G. and Prasad A.K., "Cobalt oxides as Co₂B catalyst precursors for the hydrolysis of sodium borohydride solutions to generate hydrogen for PEM fuel cells", *International Journal of Hydrogen Energy*, 33: 7095-7102, (2008)
- [6] Paul C.P., Alemohammad H., Toyserkani E., Khajepour A. and Corbin S., "Cladding of WC-12Co on low carbon steel using a pulsed Nd:YAG laser", *Materials Science and Engineering A*, 464 (1-2) : 170-176, (2007)

- [7] Meng Q.W., Geng L. And Zhang B.Y., “Laser cladding of Ni-base composite coatings on to Ti-6Al-4V substrates with pre-placed B₄C+NiCrBSi powders”, *Surface and Coatings Technology*, 200 (16-17): 4923-4928, (2006)
- [8] Du B., Zou Z., Wang X. and Qu S., “Laser cladding of in situ TiB₂/Fe composite coating on steel”, *Applied Surface Science*, 254 (20): 6489-6494, (2008)
- [9] Anjos M.A., Vilar R. and Qui Y.Y., “Laser cladding of ASTM S31254 stainless steel on a plain carbon steel substrate”, *Surface and Coatings Technology*, 92 (1-2): 142-149 (1997)
- [10] Li-li G., Xiu-fang B., Yong-sheng T. and Chun-xia F., “Effect of Co on microstructure and interfacial properties of Fe-based laser cladding”, *International Journal of Iron and Steel Research*, 16 (4): 84-88 (2009)
- [11] Barış M., “The Synthesis of Nano Cobalt Boride With High Energy Ball Milling and The Development of Mechanical Properties of Low Carbon Steel Surfaces With Coating”, *PhD Thesis*, Gazi University Graduate School of Natural and Applied Sciences, (2014)
- [12] Simsek T., “Investigation Of The Zirconium Diboride Nanocrystal Coated Different Materials Mechanic And Mechinability Properties”, *PhD Thesis*, Gazi University Graduate School of Natural and Applied Sciences, (2014)
- [13] Barış M., Simsek T., Akkurt A., “Laser surface treatment of S235JRC carbon steel with Co₂B nanocrystals”, *International Journal of Materials Research* 108 (6): 1-9, (2017)
- [14] Akkurt A., “Effect of cutting speed on surface roughness in AWJ cutting applications of comercial pure aluminium and Al-6061 Aluminium alloy”, *Journal of Polytechnic*, 8: 69-79, (2005)
- [15] Akkurt A., “Comparision of cut surface properties obtained from AISI 1030 steel by abresive water jet and by other methodologies”, *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 15: 142-152, (2009)
- [16] Dahil L., Dahil İ. and Karabulut A., “Comparison of Advanced Cutting Techniques on Hardox 500 Steel Material And The Effect of Structural Properties of The Material”, *Metallurgija*, 53 (3): 291-294, (2014)
- [17] Akkurt A., “Surface properties of the cut face obtained by different cutting methods from AISI 304 stainless steel materials”, *Indian Journal of Engineering and Materials Sciences*, 16: 373–384, (2009)
- [18] Engel S.L. and Labus T.J., “Industrial applications and comparison of lazer and abrasive waterjet technologies in Fluid Jet Technology” 2nd ed. St. Louis, *Fundamentals and Applications* WJTA, USA, (1993)
- [19] Krajcarz D., “Comparison Metal Water Jet Cutting with Laser and Plasma Cutting”, *Procedia Engineering*, 69: 838 – 843, (2014)
- [20] Harnicarova M., Zajac J. and Stoic A., “Comparison Of Different Material Cutting Technologies In Terms of Their Impact on The Cutting Quality of Structural Steel”, *Technical Gazette*, 17 (3): 371-376, (2010)
- [21] Hilton P.A. and Howse D.S., “Cutting process comparison”, *The Welding*, England, (1997)
- [22] Mukherjee I. and Ray Pn.K., "A review of optimization techniques in metal cutting processes", *Computers and Industrial Engineering*, 50 (1) : 15-34 (2006)
- [23] Akkurt A., “Experimental Investigation of the Surface Properties Obtained by Cutting Brass-353 ($\alpha+\beta$) with an Abrasive Water Jet and other Cutting Methods”, *Materials and Technology*, 48 (5): 725-734, (2014)



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

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



Geri dönüşlü DC-DC dönüştürücünün genelleştirilmiş düğüm denklemleri ile analizi

Analysis of flyback DC-DC converter by modified nodal equations

Yazar(lar) (Author(s)): Hakan KÖSENI¹, Ali Bekir YILDIZ²

ORCID¹: 0000-0002-4966-6896

ORCID²: 0000-0003-4043-7859

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Köseni H. ve Yıldız A.B., “Geri dönüşlü DC-DC dönüştürücünün genelleştirilmiş düğüm denklemleri ile analizi”, *Politeknik Dergisi*, 22(1): 179-184, (2019).

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

DOI: 10.2339/politeknik.403992

Gerilim Dönüşlü DC-DC Dönüştürücünün Genelleştirilmiş Düğüm Denklemleri ile Analizi

Araştırma Makalesi / Research Article

Hakan KÖSENİ, Ali Bekir YILDIZ*

Elektrik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Kocaeli Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 15.11.2017 ; Kabul/Accepted : 15.02.2018)

ÖZ

Bu çalışmada, güç elektroniği devrelerinde yaygın olarak kullanılan geri dönüşlü (Flyback) DC-DC dönüştürücü devresinin analizi için etkili bir yöntem ileri sürülmüştür. Yöntemin etkinliği, dönüştürücü içerisindeki temel elemanların uygun şekilde modellenmesinden kaynaklanmaktadır. Dönüştürücü devresinin en temel parçası olan transformatör bağımlı kaynaklarla, anahtarlama elemanları ise iki değerli eleman yaklaşımı ile modellenmiştir. Anahtarlama elemanlarının konumlarına göre eşdeğer devredeki değişimler incelenmiştir. Analize temel oluşturan sistem denklemlerinin elde edilmesinde, genelleştirilmiş düğüm yöntemi kullanılmıştır. Sayısal sonuçlar, kalıcı hal bölgesindeki geleneksel analitik sonuçlarla karşılaştırılarak, ileri sürülen yöntemin üstünlüğü gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Gerilim dönüşlü DC-DC dönüştürücü, genelleştirilmiş düğüm analizi, modelleme.

Analysis of Flyback DC-DC Converter by Modified Nodal Equations

ABSTRACT

In this study, an efficient method is proposed for analysis of Flyback DC-DC converter circuit, used commonly in power electronic circuits. The efficiency of the method comes from modelling basic components in the converter properly. Transformer, the basic component of the converter, is modelled by dependent sources, switching devices are modelled by the binary valued element approach. Variations in the equivalent circuit according to status of the switching devices are examined. In obtaining system equations, being the basis of the analysis, the modified nodal method is used. Numerical solutions are compared with traditional analytical results in steady-state. The superiority of the proposed method is shown.

Keywords: Flyback DC-DC converter, modified nodal analysis, modelling.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

DC-DC dönüştürücüler, bir DC gerilimi farklı genlikte başka bir DC gerilime dönüştüren ve bu gerilimin ortalama değerini kontrol eden devrelerdir. En az bir aktif ve bir pasif eleman kullanılarak gerçekleştirilir. DC-DC dönüştürücülerin çalışma prensibi, bir DC gerilimin yük üzerine anahtarlama dayalıdır [1-2]. Bu anahtarlama süresi değiştirilerek çıkış geriliminin ortalama değeri kontrol edilebilir ve kolaylıkla istenilen çıkış gerilim seviyesi elde edilebilir. Değişik yapılarda DC-DC dönüştürücüler mevcuttur ve bunların birbirine göre avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır.

Endüstride birçok alanda yoğun bir şekilde kullanılan geri dönüşlü (Flyback) DC-DC dönüştürücü devresinin en önemli avantajlarından biri, giriş ve çıkış gerilimleri

arasında elektriksel izolasyonun olmasıdır. Gerilim dönüşlü DC-DC dönüştürücü devresi diğer izoleli DC-DC dönüştürücü türlerine göre yapısının basit olması, maliyetinin düşük olması gibi avantajlarından dolayı daha çok tercih edilmektedir [3-6]. Bu avantajların yanında transformatör kullanımındaki sınırlamalar nedeniyle düşük güçlü uygulamalarda kullanılır. Bu dönüştürücü türündeki en önemli problemlerden biri, anahtar iletimde iken primer sargısının kaçak endüktasında depolanan enerjinin anahtarın kesime girmesi durumunda anahtar üzerinden yolunu tamamlaması ve anahtarın üzerinde gerilim stresine neden olmasıdır. Değişik türde bastırma devreleri kullanılarak bu probleme çözüm getirilebilmektedir [7].

Gelişen yarıiletken teknolojisinin güç elektroniği devrelerine uygulanması ile bu devrelerin tasarım ve kontrol aşamalarında önemli ilerlemeler meydana gelmiştir. Buna paralel olarak, bu devrelerin analizi için

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : abyildiz@kocaeli.edu.tr

yeni bilgisayar destekli yöntemler ve paket programlar da kullanılmaya başlanmıştır. Lineer devrelerden farklı olarak anahtarlamalı yapılarından dolayı, güç elektroniği devrelerinin analizi özel durumlar içermektedir. Anahtarların konumuna göre, devreler farklı topolojilere ayrılmaktadır. Her bir topolojinin ayrı ayrı ele alınıp, uygun sırayla analiz edilmesi gerekmektedir. Bu durumlar, güç elektroniği devrelerinin analizi karmaşık hale getirmektedir. Bu devrelerin bilgisayar destekli analizi ile bu zorlukların aşılması amaçlanmaktadır. Bilgisayar destekli analizin temeli, devredeki elemanların modellenmesi, sistem denklemlerinin elde edilmesi ve uygun sayısal yöntemin kullanılmasına dayanır [8]. Geri dönüşlü DC-DC dönüştürücülerin analiz ve modellenmesine ilişkin çeşitli yaklaşımlar [9-13]'te verilmiştir.

Bu çalışmanın temel katkısı, incelenen dönüştürücüdeki devre elemanlarının (transformatör ve anahtarlama elemanları) modellenmesine ilişkin yaklaşımların, uygun ve avantajlı şekilde bir geri dönüşlü (Flyback) DC-DC dönüştürücüde kullanılmış olmasıdır. Dönüştürücü devresindeki anahtarların iletim/kesim durumu için iki değerli direnç yaklaşımı (iletimde çok küçük değerli direnç, kesimde ise çok büyük değerli direnç) ele alınmıştır. Böylece, farklı topolojilerle uğraşmaya gerek kalmamıştır. Sadece, sayısal çözümde, her iterasyonda sistem denklemleri güncellenmiştir. Dönüştürücüde kullanılan transformatör, bir mıknatıslanma endüktansı ve ideal transformatör ile modellenmiştir. Sonuçta elde edilen eşdeğer devrenin sistem denklemleri, genelleştirilmiş düğüm yöntemi ile belirlenmiştir. Elde edilen sistem denklemlerinin sayısal çözümü için kararlı bir yaklaşım olan trapez yöntemi kullanılmış olup, Matlab m-file ortamında benzetim gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sayısal sonuçlara ait grafiklerden bazıları bu çalışmada verilmiştir.

2. SİSTEM DENKLEMLERİ VE ANAHTARLARIN MODELLENMESİ (SYSTEM EQUATIONS AND MODELLING OF SWITCHES)

Sistem analizinde, devre denklemlerinin elde edilmesinde iki temel yöntem vardır: Genelleştirilmiş düğüm denklemleri (GDD) ve durum değişkenleri yöntemidir (DDY) [14]. Bu yöntemlerin birbirine göre avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Durum denklemleri yöntemi, graf teorisine dayalı olan popüler bir yöntemdir. En önemli avantajı, bilinmeyen değişken sayısının min. olmasıdır. Ancak, bu yöntem ile devrelerin denklemlerinin elde edilmesi oldukça zordur. Ayrıca güç elektroniği gibi anahtarlamalı devrelerin analizi için bu yöntem çok uygun değildir. Çünkü bu tür devrelerde anahtarların durumlarına bağlı olarak durum değişkeni sayısı değişebilmektedir. Klasik düğüm yönteminde her

türlü devre elemanı (gerilim kaynağı, kontrollü kaynaklar gibi) sistem denklemlerine dahil edilemezdi. Bu sakıncaların üstesinden gelmek için, Genelleştirilmiş düğüm gerilimleri yöntemi ortaya atılmıştır [15]. Genelleştirilmiş düğüm yönteminin ise bilinmeyen sayısının fazla olması yöntemin dezavantajı iken, denklemlerin elde edilmesindeki kolaylık yöntemin en önemli avantajıdır. Bu yöntemde sistem denklemleri doğrudan devreye bakılarak dahi yazılabilmektedir [16].

Genelleştirilmiş düğüm denklemlerinin s-domenindeki ve t-domenindeki yapısı aşağıda verilmiştir.

$$(G + sC) X(s) = BU \quad (1)$$

$$Gx(t) + C \frac{dx(t)}{dt} = Bu(t) \quad (2)$$

Burada G, C, B katsayı matrisleridir [16-17]. Tüm iletkenlikler ve düğüm denklemlerinin elde edilmesinden kaynaklanan frekanstan bağımsız değerler G matrisini, frekans değişkeni ile ilgili kapasite ve endüktans değerleri C matrisini oluşturur. U matrisi ise bağımsız akım ve gerilim kaynakları ile sıfırdan farklı kapasite ve endüktansların ilk koşullarını içeren vektördür. Bilinmeyen vektörü olan x(t) hem akım hem de gerilim değişkenleri içerir. Değişken tipleri dikkate alınarak x(t) bilinmeyen vektörü denk.(3) de gösterildiği gibi x₁(t) ve x₂(t) vektörlerine ayrılabilir.

$$x(t) = \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \end{bmatrix} \quad (3)$$

Burada x₁(t) vektörü düğüm gerilimleri değişkenlerini, x₂(t) vektörü ise endüktansların, bağımsız ve bağımlı gerilim kaynaklarının ve kısa devre elemanı gibi elemanların akım değişkenlerini göstermektedir. Denk.(3) ile ayrıştırılan bilinmeyen vektörü dikkate alınarak, zaman domenindeki genelleştirilmiş düğüm denklemleri yapısı aşağıdaki biçimde yeniden düzenlenebilir.

$$\begin{bmatrix} G_{11} & G_{12} \\ G_{21} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} C_1 & 0 \\ 0 & L \end{bmatrix} \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \end{bmatrix} = B \begin{bmatrix} u_1(t) \\ u_2(t) \end{bmatrix} \quad (4)$$

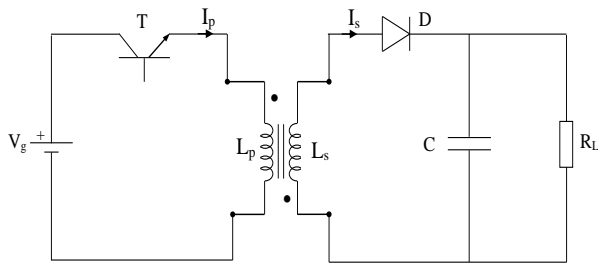
Güç elektroniği devrelerinde yarıiletken anahtarlama elemanlarının modellenmesi ile ilgili pek çok yaklaşım vardır: İdeal anahtar modeli ve iki değerli eleman yaklaşımı en çok kullanılan yöntemlerdir. İdeal anahtar yaklaşımında, anahtarlar iletimde sıfır direnç (kısa devre, sıfır değerli gerilim kaynağı), kesimde sıfır admitans (açık devre, sıfır değerli akım kaynağı) ile modellenirler. Bu yaklaşıma göre, devrede n adet anahtar var ise, 2ⁿ adet

olası topolojik durumu ele almak gereklidir. İki değerli eleman yaklaşımında ise anahtarlar, iletimde küçük değerli direnç/endüktans, kesimde büyük değerli direnç/endüktans ile modellenirler. Bu yaklaşımda, anahtarların konum değişikliğine bağlı olmaksızın tek bir topoloji ele alınır. Anahtarların değerleri, simülasyon sırasında güncellenir.

Bu çalışmada, açıklanan avantajlarından dolayı (Anahtarların konumları gereği oluşan topolojik değişimlerin denklemlere yansıtılmasındaki zorluğun önüne geçmek amacıyla) iki değerli direnç yaklaşımı kullanılmıştır.

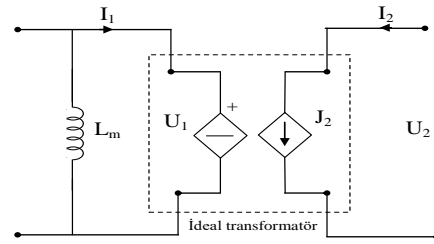
3. GERİ DÖNÜŞLÜ DC-DC DÖNÜŞTÜRÜCÜ DEVRESİ (FLYBACK DC-DC CONVERTER CIRCUIT)

Analizi yapılacak olan geri dönüşlü DC-DC dönüştürücünün temel devre şeması Şekil 1'de verilmiştir. Bu dönüştürücü türünde kullanılan transformatörün en temel özelliği primer ve sekonder devresinin aynı anda çalışmamasıdır.

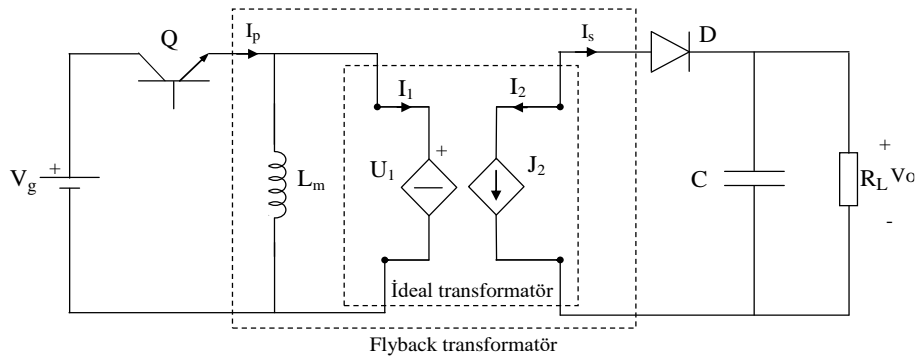


Şekil 1. Geri Dönüşlü DC-DC Dönüştürücü Devresi (Flyback DC-DC Converter Circuit)

esnada D diyotu ters kutuplandığından kesimdedir. Temel anahtar kesime girdiğinde sargı polariteleri yön değiştirir, D diyodu doğru yönde kutuplanır. Temel anahtar iletimde iken nüvede depo edilen enerji, bu anahtar kesime girdiğinde sekonder sargısı üzerinden yükü besler. Burada transformatör enerji depolama görevi görmekte ve elektriksel izolasyonu sağlamaktadır. Şekil 1'deki dönüştürücü devresinin temel elemanı olan transformatör Şekil 2'deki gibi modellenmiştir. Transformatör modelinde, nüvede depo edilen enerjiyi temsil eden bir mıknatıslanma endüktansı (L_m), gerilim-akım dönüşümünü ifade eden iki kapılı bir devre elemanı olan bir ideal transformatör görülmektedir. İdeal transformatör, iki bağımlı kaynakla (U_1 , J_2) gösterilmiştir. Bağımlı kaynaklara ilişkin uç denklemler: $U_1 = -nU_2$, $J_2 = nI_1$. Burada, n : ideal transformatörün dönüşüm oranıdır. Primer ve sekonder sargılarının kaçak endüktansları ve sargı dirençleri analizin basitliği açısından bu çalışmada dikkate alınmamıştır. Ancak dikkate alınması, kullanılan yöntemin avantajlarından dolayı, analize herhangi bir zorluk getirmemektedir.



Şekil 2. Geri dönüşlü DC-DC dönüştürücü transformatörünün eşdeğer devresi (Equivalent circuit of Flyback DC-DC converter transformer)



Şekil 3. Geri dönüşlü DC-DC dönüştürücü devresinin tam eşdeğer modeli (Exact equivalent model of Flyback DC-DC converter circuit)

Devrenin genel çalışması şu şekildedir: Temel anahtar (transistör, MOSFET vb.) iletimdeyken V_g gerilimli DC kaynaktan sadece primer sargısı beslenir, sargıdan geçen akım lineer olarak artar ve nüvede enerji depolanır. Bu

Şekil 2'deki eşdeğer transformatör modeli kullanılarak Şekil 3 ile gösterilen tam eşdeğer devre elde edilir.

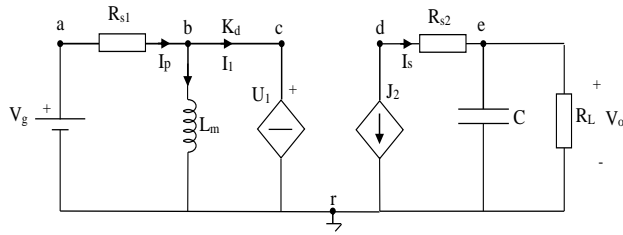
Sürekli durum analizinde, bir periyot süresince L_m mıknatıslanma endüktansının akımındaki artış ve azalma miktarlarının eşitliğinden (veya endüktans gerilimin pozitif ve negatif alanlarının eşitliğinden) geri dönüşlü DC-DC dönüştürücü devresinin çıkış gerilimi V_o ile giriş gerilimi V_g arasında aşağıdaki denklem elde edilir [1-2].

$$V_o = \frac{V_g \cdot D}{n \cdot 1 - D} \quad (5)$$

Burada, V_g giriş gerilimi, D ise doluluk oranıdır. Bu denklemden görüleceği gibi bu dönüştürücü ile giriş gerilimine göre daha küçük veya daha büyük çıkış gerilimi elde edilebilir.

(a) Sistem Denklemlerinin Elde Edilmesi ve Anahtarlama Durumlarının İncelenmesi

Şekil 3’deki tam eşdeğer devrede temel anahtar (Q) ve yardımcı anahtar (D), iki değerli eleman yaklaşımı ile modellenmiştir. Bu duruma ilişkin devrenin yeni hali Şekil 4’de verilmiştir.



Şekil 4. Anahtarların iki değerli direnç yaklaşımı ile modellenmesi sonucu yeni eşdeğer devre (New equivalent circuit related to modelling of switches with two-valued resistance approach)

Bu durumda, devrenin genelleştirilmiş düğüm denklem sistemindeki katsayı matrisleri aşağıda ifade edilmiştir.

$$G = \begin{bmatrix} G_{s1} & -G_{s1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ -G_{s1} & G_{s1} & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & G_{s2} & -G_{s2} & 0 & n & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -G_{s2} & G_{s2} & +G_L & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & n & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$C = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -L_m & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$B = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1]^T$$

$$X(t) = [V_a \ V_b \ V_c \ V_d \ V_e \ I_{LM} \ I_{Kd} \ I_{V1} \ I_{Vg}]^T$$

$$U(t) = [V_g]$$

Burada; $G_{s1}=1/R_{s1}$, $G_{s2}=1/R_{s2}$, $G_L=1/R_L$

Temel anahtarın iletimde olması durumunda R_{s1} direnci çok küçük bir direnç R_{smin} değerine, R_{s2} direnci çok büyük bir direnç R_{smax} değerine sahiptir. Temel anahtar kesime girdiğinde ise R_{s1} direnci çok büyük bir direnç R_{smax} değerine R_{s2} direnci çok küçük bir direnç R_{smin} değerine sahip olur.

(b) Trapez Yönteminin Genelleştirilmiş Düğüm Denklem Sistemine Uygulanması

Şekil 4’deki devrenin genelleştirilmiş düğüm denklem sisteminin yapısı aşağıdaki formdadır.

$$Gx(t) + C \frac{dX(t)}{dt} = BU(t) \quad (6)$$

Trapez yönteminin genel ifadesi, h adım aralığı olmak üzere [18-20];

$$X_{n+1} = X_n + \frac{h}{2} [f(X_{n+1}, t_{n+1}) + f(X_n, t_n)] \quad (7)$$

şekindedir. Denk.(6)’daki yapının denk.(7)’de yerine konmasıyla, benzetimde kullanılacak denk.(8) elde edilir.

$$X_{n+1} = K_A X_n + K_B [U_n + U_{n+1}] \quad (8)$$

Burada K_A ve K_B ifadeleri aşağıdaki denklemlerden bulunur.

$$K_A = K_1^{-1} K_2 \quad K_B = K_1^{-1} \frac{h}{2} B$$

$$K_1 = \left[C + \frac{h}{2} G \right] \quad K_2 = \left[C - \frac{h}{2} G \right] \quad (9)$$

(c) Benzetim Sonuçları

Aşağıdaki tabloda Şekil 4’deki geri dönüşlü DC-DC dönüştürücü devresine ait eleman değerleri ve diğer bilgiler verilmiştir.

Çizelge 1: Geri dönüşlü DC-DC dönüştürücüye ilişkin benzetim parametreleri (Simulation parameters related to Flyback DC-DC Converter)

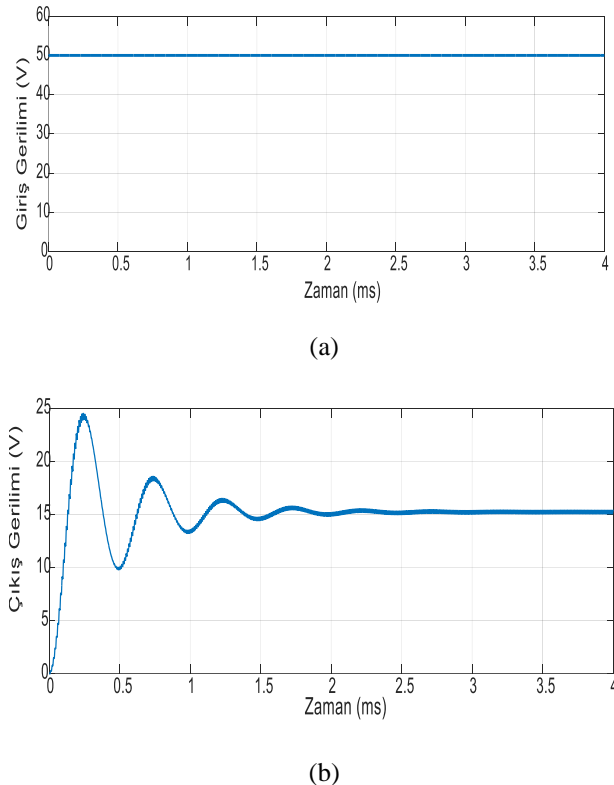
Parametreler	Değer
V_g	50 V
R_L	5 Ω
C	470 mikroF
L_m	5 mH
n	5
fs	10 kHz
D	0.6
h	10^{-6}
R_{smin}	$10^{-6} \Omega$
R_{smax}	$10^6 \Omega$

Yukarıdaki benzetim parametreleri, anahtarlama durumlarındaki direnç değişimleri (R_{s1} ve R_{s2}) dikkate

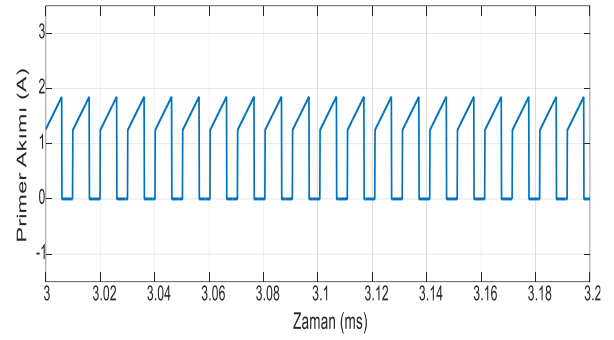
alınarak ve denk.(8)'in çözülmesi ile elde edilen grafikler Şekil 5 ve Şekil 6'da verilmiştir. Şekil 5'den görüldüğü gibi çıkış gerilimi, kararlı halde denk.(5) ile hesaplanan değer ($V_o=15V$) ile aynı sonucu vermektedir. Şekil 6'da ise transformatörün primer ve sekonder akımları görülmektedir. Bu akımlardaki linear artış ve azalmaların daha iyi görülebilmesi için, değişimlerin kalıcı haldeki değişimleri verilmiştir. Benzetim, Matlab m-file ortamında gerçekleştirilmiştir.

6. SONUÇ (CONCLUSION)

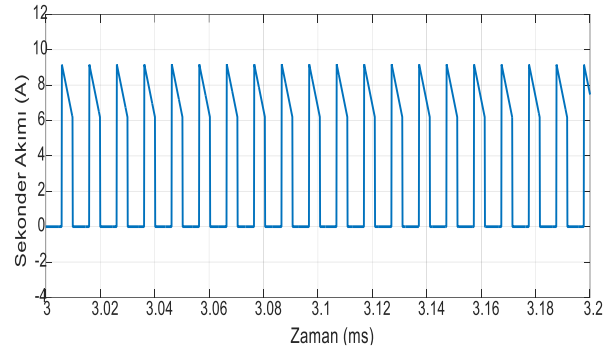
Bu çalışmada genelleştirilmiş düğüm yöntemi kullanılarak, geri dönüşlü (Flyback) DC-DC dönüştürücünün analizi gerçekleştirilmiştir. Sırasıyla, dönüştürücüdeki transformatör ve anahtarlama elemanları modellenerek, tam eşdeğer devre elde edilmiştir. Bu devrenin anahtarların konum değişiminden bağımsız olması ve sadece denklemdeki anahtar değerlerinin simülasyon sırasında değiştiriliyor olması, yöntemin en önemli avantajlarından biridir. Elde edilen sayısal sonuçlar, geleneksel analitik denklemlerdeki değerlerle örtüşmektedir.



Şekil 5. (a) Giriş gerilim, (b) Çıkış Gerilimi (Input and Output Voltage)



(a)



(b)

Şekil 6. Transformatörün (a) Primer akımı, (b) Sekonder Akımı (Primary and secondary currents of transformer)

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Bodur H., “*Güç Elektronik*”, Birsen Yayınevi, İstanbul, (2010).
- [2] Hart D. W., “*Power Electronics*”, McGraw-Hill, New York, (2011).
- [3] Poorali B., Adib E., “Analysis of the integrated SEPIC-Flyback Converter as a single-stage single-switch power-factor correction LED Driver”, *IEEE Trans. on Ind. Elo.*, 63(3): 3562-3570, (2016).
- [4] Huang G.C., Liang T.H., Chen K.H., “Losses analysis and low standby losses quasi-resonant flyback converter design”, *IEEE Int. Symp. on Circuit and System*, Korea, 217-220, (2012).
- [5] Ishihara M., et al., “Analysis and design of passive component for interleaved flyback converter with integrated transformer”, *IEEE Energy Conversion Congress and Exposition*, USA, 5902-5909, (2015).
- [6] Bauabana A., Sourkounis C., “Design and analysis of coreless flyback converter with a planar printed-circuit-board transformer”, *IEEE Int. Conf. On Optimization of Electrical and Electronic Equipment*, Romania, 557-563, (2010).
- [7] Kanthimathi R., Kamala J., “Analysis of different Flyback Converter Topologies”, *Int. Conf. on Industrial Instrumentation and Control (ICIC)*, India, 1248-1252, (2015).
- [8] Yuan F. And Opal A., “Computer Methods for Switched Circuits”, *IEEE Trans. On Circuit and Systems*, 50(8): 1013-1024, (2003).

- [9] Zhang Z.; Tian S.; Khai D.; Ngo T.; “Small-Signal Equivalent Circuit Model of Quasi - Square-Wave Flyback Converter”, **IEEE Transactions on Power Electronics**, 32(8): 5885 – 5888, (2017).
- [10] Yu J.; Xu S.; Qian Q.; Sun W.; Lu S., Yu, “Modeling and analysis of primary side regulated flyback converter with pulse frequency modulation”, **9th Int. Conf. on Power Electronics and ECCE Asia**, 429 – 434, (2015).
- [11] Kewei H.; Jie L.; Ningjun F.; Yuebin L.; Xiaolin H.; Luo W., “Modeling analysis and simulation of high-voltage flyback DC-DC converter”, **IEEE Int. Symposium on Industrial Electronics**, 813 – 818, (2009).
- [12] Chen J.; Guo Y.; Zhu J.; “A generalized dynamic model for flyback switching converter based on based on nonlinear finite element analysis”, **Int. Technology and Innovation Conference**, 771- 776, (2006).
- [13] Bakkali A.; Alou P.; Oliver J.A.; Cobos J.A., “Average modeling and analysis of a Flyback with Active Clamp topology based on a very simple transformer”, **APEC 07 - Twenty-Second Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition**, USA, 500 – 506, (2007).
- [14] Yıldız A.B., ”*Elektrik devrelerinin bilgisayar yardımıyla analizi*”, Yüksek lisans ders notları, Kocaeli Üniversitesi, (2015).
- [15] HO C.-W, et al, “The Modified Nodal Approach to Network Analysis”, **IEEE Trans. on Circuits and Systems**, 22(6): 504-509,1975.
- [16] Natarajan S., “A systematic method for obtaining state equations using MNA”, **IEE proceedings**, 138(3): 341-346, (1991).
- [17] Acar C., “*Elektrik Devrelerinin Analizi*”, İTÜ yayınları, İstanbul, (1995).
- [18] Pal C., “*Numerical methods: principles, analysis and algorithms*”, Oxford higher Educations, England, (2009).
- [19] Greenbaum A., Charier T.P., “*Numerical methods: design, analysis and computer implementation of algorithms*”, Prentice University press, USA, (2012).
- [20] Chapra S., Canale R., “*Mühendisler için Sayısal Yöntemler*”, Literatür Yayıncılık, İstanbul, (2004).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

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



Modifiye edilmiş NACA-0015 kanat yapısında tüberkül etkisinin sayısal analizi

The numeric analysis of tubercle effect on modified NACA-0015 airfoil

Yazar(lar) (Author(s)): Himmet Erdi TANÜRÜN¹, Adem ACIR²

ORCID¹: 0000-0001-7814-7043

ORCID²: 0000-0002-9856-3623

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Tanürün H. E. ve Acır A., “Modifiye edilmiş NACA-0015 kanat yapısında tüberkül etkisinin sayısal analizi”, *Politeknik Dergisi*, 22(1): 185-195, (2019).

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

DOI: 10.2339/politeknik.391800

Modifiye Edilmiş NACA-0015 Kanat Yapısında Tüberkül Etkisinin Sayısal Analizi

Araştırma Makalesi / Research Article

Himmet Erdi TANÜRÜN*, Adem ACIR

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

(Geliş/Received : 04.11.2017; Kabul/Accepted : 13.01.2018)

ÖZ

Bu çalışmada, kambur balinanın aerodinamik özellikleri, NACA-0015 kanat modeline uygulanarak kanat performansı incelenmiştir. Kambur balinanın avını takip etmesi ve yakalaması esnasındaki manevra kabiliyetinden ilham alınarak, NACA-0015 kanadının hücum kenarı bölgesine aynı dalga boyunda (w) ve farklı genlikteki (a) tüberküller yerleştirilmiştir. Elde edilen 3 farklı modifiyeli NACA-0015 kanadı ile düz kanat, aerodinamik performans açısından karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada kullanılan modifiye NACA-0015 kanatlarının dalga boyu değeri, chord(veter) uzunluğunun %16'sı ve genliklerin değeri ise sırasıyla chord uzunluğunun %0,05, %0,1 ve %0,15'i olarak belirlenmiştir. Kanat yapıları Solidwoks CAD programında tasarlanmıştır. ANSYS Fluent yazılımında ortalama Navier-Stokes analiz yönteminde k-epsilon realizable türbülans modeliyle sayısal olarak analiz edilmiştir. Kanat açıklık oranı (e/b boy oranı) değeri 1,1 seçilmiştir. $7,2 \times 10^5$ Reynolds sayısında, 0° ile 46° arasındaki hücum açılarında kanat üzerinde analizler yapılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde, $0,05a0,16w$ ($0,05a$ ve $0,16w$) kanadın sürtünme katsayısı (C_D) düz kanatla kıyaslandığında %12,57 daha düşüktür. İrtifa kaybı(Stall) sonrası hücum açıları için, $0,05a0,16w$ kanadı ile düz kanat ortalama kaldırma katsayısı (C_L) ve C_D değeri açısından kıyaslandığında $0,5a0,16w$ kanadı sırasıyla %7,86 ve %9,79 daha yüksek değerlere sahiptir. Stall sonrasında aerodinamik verim(C_L / C_D), $0,05a0,16w$ kanadının, düz kanattan %3,81 daha yüksek olduğu görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Kambur balina, uçak kanadı, aerodinamik, tüberkül, hesaplamalı akışkanlar dinamiği.

The Numeric Analysis of Tubercle Effect on Modified NACA-0015 Airfoil

ABSTRACT

In this study, the aerodynamic characteristics of the humpback whale were investigated by applying the NACA-0015 model to the wing of the airfoil. Inspired by the maneuverability during the chase and capture of the humpback whale, NACA-0015 has placed the tubercles the same wavelength (w) and different amplitudes (a) in the leading edge region of the wing. The three different modified wings and the baseline obtained were compared in terms of aerodynamic performance. The wavelength of the modified wings used in this study is 16% of the chord length and the values of the amplitudes were determined as 0,05%, 0,1% and 0,15%, respectively, of the chord length. All wing structures were designed in Solidworks CAD program. These solid models were numerically analyzed with the k-epsilon realizable turbulence model in the average Navier-Stokes analysis method in ANSYS Fluent software. Wing openness ratio (aspect ratio) value 1,1 was selected. On the $7,2 \times 10^5$ Reynolds number, analyzes were made on the wing at the attack angle between 0° and 46° . After the examination of the results, it's found that the baseline has a higher lift coefficient (C_L) than the modified wing before the stall. The coefficient of friction (C_D) of the $0,05a0,16w$ ($0,05a$ ve $0,16w$) is 12,57% lower than that of the baseline. For post-stall angle of attacks, when $0,05a0,16w$ wing is compared to baseline average C_L and C_D value, the wing of $0,5a0,16w$ has 7,86% and 9,79% higher values respectively. After stall, It has seen that the aerodynamic efficiency (C_L / C_D) of $0,05a0,16w$ is %3,81 higher than the baseline.

Keywords: Humpback whale, airfoil, aerodynamic, tubercle, computational fluid dynamics.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

NACA kanat serileri hem rüzgar türbinlerinde hem de uçak kanat yapılarında kullanım alanlarına bağlı olarak aerodinamik performansı doğrudan etkilediği bilinmektedir. Kanat yapısının kullanım alanlarına göre rüzgar enerji açısından yeterli derecede faydalanabilme ya da maksimum enerji üretimi amaçlanırken, uçak kanat yapılarında aerodinamik karakteristik performansının kaldırma/sürüklenme kuvveti açısından optimum değerleri sağlaması beklenmektedir. Literatürde bazı

araştırmacılar tarafından NACA serisi kanat yapılarının aerodinamik davranışları ile ilgili çalışmalar deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. Yao ve diğerleri NACA-0018 kanat profilinin aerodinamik performansını sayısal yöntemleri kullanarak incelemişler ve farklı hücum açılarının kaldırma, sürüklenme ve yüzey basıncını etkilerini irdelemişlerdir [1]. Lianbing vd., NACA-0012 kanat profilinin 3×10^6 Reynold sayısında kanat profilinin kaldırma ve sürüklenme performansı ve stall açısını, sayısal olarak araştırmışlardır [2]. Villalpando vd., NACA-63-415 kanat profilinin sayısal analizini farklı türbülans modelleri kullanarak, deneysel sonuçlarla uyum sağlayan en iyi türbülans modelini araştırmışlardır.

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

SA (Spalart Allmaras) türbülans modelinin, deneysel sonuçlarla eşdeğer sonuçlara sahip olduğunu vurgulamışlardır [3]. Duvigneau ve Visonneau tarafından sentetik jet kullanılarak, NACA-0015 kanat profilinin kontrolü ve kanat performansı üzerine etkisi incelenmiştir [4]. Siauwd., NACA-0015 kanat profili etrafındaki akışın dinamik geçişini akıcı vorteks (fluidic vortex) generatör kullanarak araştırmışlardır. 1×10^6 Reynolds sayısında NACA-0015 kanat profili üzerindeki akış ayrılmaları ve birleşmeleri deneysel olarak incelemiştir [5]. Srinivosan vd., salınım yapan kanat profilinin üzerinde farklı türbülans modellerinin deneysel çalışmalarla benzeşimi yönünde NACA-0015 kanat profili üzerinde çalışmışlardır [6]. Ravi vd., NACA-4412 kanat profili üzerinde $k-\omega$ ve Spalart Allmaras türbülans modellerini kullanarak laminer akıştan türbülanslı akışa geçişi sayısal olarak incelemiştir [7]. Deepa vd., NACA-0012 kanat profili üzerinde deneysel ve sayısal araştırma yaparak, sonuçlar karşılaştırılmıştır [8]. Şahin ve Acır, NACA-0015 modeli uçak kanadı profilini deneysel ve nümerik olarak incelemiştir. Nümerik çalışmada spalart-almaras ve $k-\epsilon$ olmak üzere 2 farklı türbülans modeli kullanarak hem deneysel çalışmanın doğruluğunu hem de hangi türbülans modelinin aerodinamik çalışmada daha doğru sonuç verdiğini göstermişlerdir [9]. Khabisi, 2×10^6 Reynolds sayısında 4 farklı hücum açısı için NACA-0015 kanat yapısı üzerindeki akış çizgilerini ve basınç dağılımlarını Abaqus sonlu elemanlar yazılımı ve XFLR5 kullanılarak nümerik olarak incelemiştir. Analizler sonucunda NACA-0015 kanat yapısının stall açısını $18,3^\circ$ olarak belirlemiştir [10]. Saad vd., 4×10^6 Reynolds sayısında 6 farklı kanat modelinin aerodinamik karakteristikleri Xfoil, Fluent ve deneysel olarak kıyaslamışlardır. Çalışma sonucunda, -15° ile 15° arasında bütün kanatlar için 8° 'de en yüksek kaldırma katsayısı sağlanmıştır [11].



Şekil 1. a) Kambur balina b) yüzgecinin yapısı (a) Humpback whale b) structure of the flipper) [12,13]

Yapılan çalışmalarda genel olarak düz kanatlar kullanılmış ancak, aerodinamik performansı iyileştirmeye yönelik bazı çalışmalar yapılmıştır.

Bilimsel birçok buluş doğadan esinlenilerek gerçekleştirilmiştir. Kambur balınadan yüzgeç yapısından düzensiz tüberkül olarak isimlendirilen sinüzoidal yapılar [12,13] yüzgeç üzerinde vortex oluşturmada ve akışın kanat üzerinde tutunmasını sağlamaktadır [14-17]. Balınan kanat yapısından yola çıkarak son zamanlarda yapılan çalışmalarda kambur balınanın yüzgeç yapısı, NACA-634-021, NACA-0020, NACA-2412 düz kanatlarının hücum kenarı bölgesinde tüberkül olarak modifiye edilmiştir [18-21]. Hasan vd., NACA-4412 düz ve modifiyeli kanat profillerini 0° ile 20° aralığındaki hücum açılarında sayısal ve deneysel olarak incelemiştir. Deneyler rüzgâr tüneline kanat profilleri dikey olarak yerleştirilerek $4,3$ m/s akış hızında ve $Re=1,03 \times 10^6$ sayısında gerçekleştirmişlerdir. Yapılan çalışmalar sonucunda yüksek hücum açılarında modifiyeli kanadın düz kanada oranla kaldırma katsayısının daha fazla arttığı gözlemlenirken bütün hücum açılarında ise sürüklenme katsayısının düştüğünü belirlemiştir. Ayrıca 10° hariç tüm hücum açılarında C_L/C_D oranının modifiyeli kanatta düz kanada göre daha yüksek değere sahip olduğu saptanmıştır [22]. Pedro ve Kobayashi düşük Reynolds sayısında 2 farklı kanat modelini deneysel ve nümerik incelemiştir. Modifiye kanat yapısında akış ayrışması düz kanada nazaran daha geç gerçekleştiği için stall daha yüksek bir açıda oluştuğunu gözlemlemiştir. Nümerik çalışmalarda ise stall geçikmesinin nasıl gerçekleştiğini incelemiştir [23]. Rostamzadeh vd., NACA-0021 kanat profili üzerinde hem türbülans hem de laminar akış rejimlerinde hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) kullanılarak sayısal analizler yapılmıştır. Bu analizlerde 120000 ve 1500000 Reynolds sayılarında hava akışının tüberküllü kanat profili üzerindeki etkilerinin görülmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla, HAD'nde akış yapısı ve aerodinamik davranışları incelenmiştir. Daha sonra tüberküllü kanat analiziyle elde edilen veriler düz kanat modeli ile karşılaştırılmıştır. Kullanılan kanat profili ise $0,3$ m veter uzunluğu ve 21 m genişliğindedir. Araştırmalar sonucunda NACA-0021 düz kanat profilinin ani bir stall kaybına uğradığı görülmüştür. Bu gözlem, Reynolds sayı etkileriyle ilgili çalışmaların önemini ve tüberküllerin endüstriyel uygulamalarında ki stall özellikleri incelenmiştir [24]. Cai ve Zuo, NACA-634-021 düz kanadının ön bölgesine tek bir tüberkül yapısı yerleştirilerek, düz kanat ile modifiye edilmiş kanatların stall performansını deneysel olarak incelemiştir. Analiz sonuçlarında modifiyeli kanadın, düz kanat yüzeyinde akış ayrışması aniden olurken, modifiyeli kanat da sırasıyla çukur bölge, yüzey ve uç bölgede kademeli olarak akış ayrışması gerçekleşmiştir. Bu kademeli ayrışma da stall olayını düz kanada göre daha geç olmasını sağlamaktadır [25].

Bu çalışmada; NACA-0015 kanat profili tüberkül olarak isimlendirilen sinüzoidal yapılar ile modifiye edilmiştir. Yapılan çalışmada, NACA-0015 kanat profili farklı

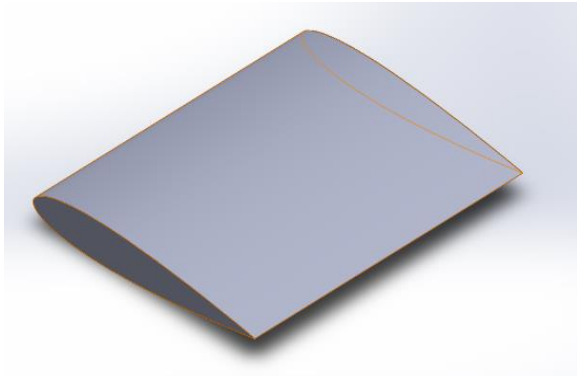
genliklerde (0,5, 0,1, 0,15c) ve sabit dalga boyunda (0,16c) modifiye edilmiştir. Modifiye edilmiş NACA-0015 kanat profilinden elde edilen aerodinamik performanslar, kaldırma katsayısı (C_L), sürüklenme katsayısı (C_D) ve aerodinamik verim (C_L/C_D) açısından FLUENT programıyla analiz edilmiş ve düz kanat profili ile karşılaştırılmıştır.

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

2.1. Geometri (Geometry)

Bu çalışmada kullanılmak üzere 4 farklı uçak kanadı modeli CAD (Computer-Aided Design) programı olan Solidworks'de tasarlanmıştır. Bütün kanatlar için kambur balinanın göğüs yüzgecine benzer bir yapıda olan NACA-0015 kanat profili temel olarak kullanılmıştır. NACA-0015 kanadın maksimum kalınlığı, veter uzunluğunun %15'dir. Kanat profilinde, kamburluk eğrisi olmadığından dolayı simetrik uçak kanadı profili olarak tanımlanır. Bu iki etken NACA-0015 kanadının ismini oluşturmaktadır [26].

Şekil 2.'de gösterildiği üzere bu çalışmada kullanılacak olan düz kanatın veter ve kanat açıklığı sırasıyla 10 cm ve 11 cm olarak belirlenmiştir. Veter boyu ile kanat açıklığı boyunun çarpımıyla kanat alanı (S) elde edilmiştir. Bu çalışmada kanat alanı $0,011 \text{ m}^2$ 'dir. Bu ölçüler, nümerik analizlerin sonuçlarını daha sonra rüzgâr tüneline karşılaştırabilmek için seçilmiştir. Karşılaştırmanın daha iyi yapılabilmesi için, düz kanat için seçilen yüzey alanı ile modifiyeli kanatların yüzey alanlarının eşit olmasına dikkat edilmiştir.

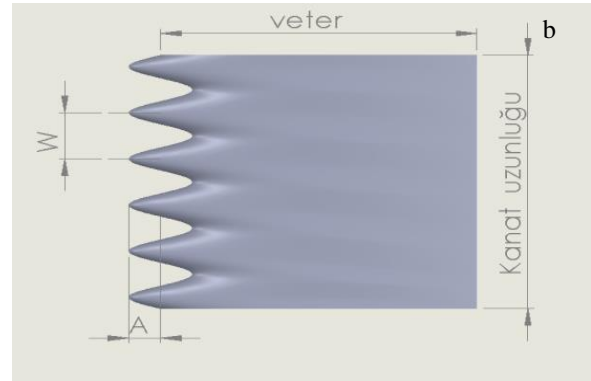
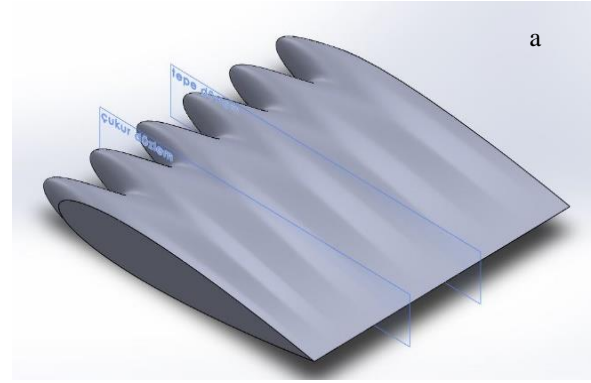


Şekil 2. Düz kanat (Baseline)

Şekil 3.'de gösterildiği üzere, analizi yapılmak istenilen farklı tüberküllerin geometrileri Eşitlik 1 ve Eşitlik 2 kullanılarak oluşturulmuştur. Çalışma kapsamında analizi yapılan kanat geometrileri Çizelge 1.'de verilmiştir. Örnek olarak 0,1a0,16w kanadının izometri görünüşü gösterilmiştir [19].

$$k = \frac{4 \sin^{-1}(c)}{w} \quad \text{için } 0 \leq x \leq 0,1 \text{ cm} \quad (1)$$

$$y = A \sin(kx) \quad (2)$$



Şekil 3. 0,1A0,16W kanadın a) izometrik b) genlik ve dalga boyu gösterimi (0,1A0,16W airfoil a) isometric b) amplitude and wavelength display of 0,1A0,16W airfoil)

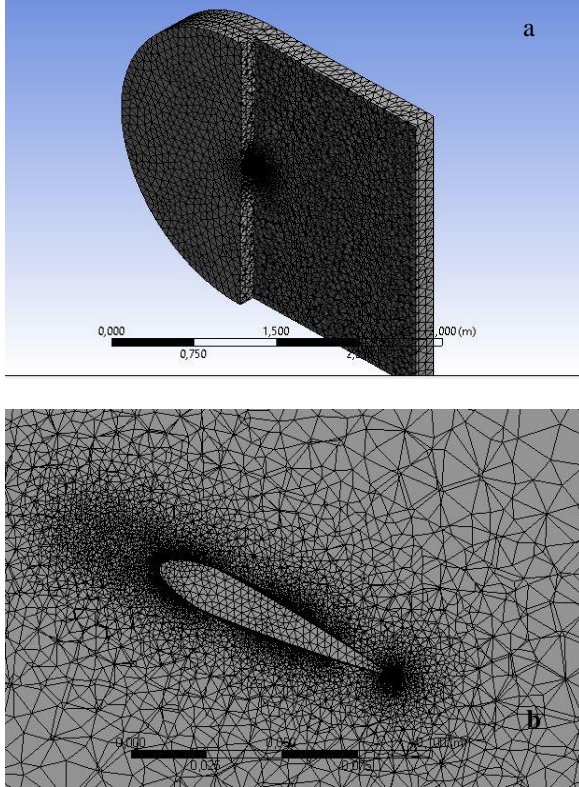
Çizelge 1. Kanat Geometrileri

Kanat İsmi	Genlik(a)	Dalga Boyu(w)	
Düz Kanat	0	0	0a0w
Modifiyeli Kanat 1(M1)	0,05c	0,16w	0,05a0,16w
Modifiyeli Kanat 2(M2)	0,1c	0,6w	0,1a0,16w
Modifiyeli Kanat 3(M3)	0,15c	0,16w	0,15a0,16w

2.2 Ağ Yapısı (Meshing)

Sayısal olarak çözümleme yapılan bütün dış akış analizlerinde, akışın giriş ve çıkış yüzeyleri ile çözümleme yapılacak olan kanat yapısının sınır şartı ile tanımlanması gerekmektedir. Sınır şartları, akış hacmi olarak ifade edilen bir bölgede tanımlanır. Şekil 4-a.'da gösterilen C-tipi akış hacmi, mesh sayısını minimum seviyede tutmasından dolayı aerodinamik alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada da mesh sayısının verimi göz önüne alarak C-tipi akış hacmi kullanılmıştır. Ağ örgüsü tetragonal yapıda seçilmiştir. Aerodinamik analizlerde, belirli bölgelere yoğunlaştırılmış mesh uygulanması meshin doğruluğu için şarttır. Bu durumun

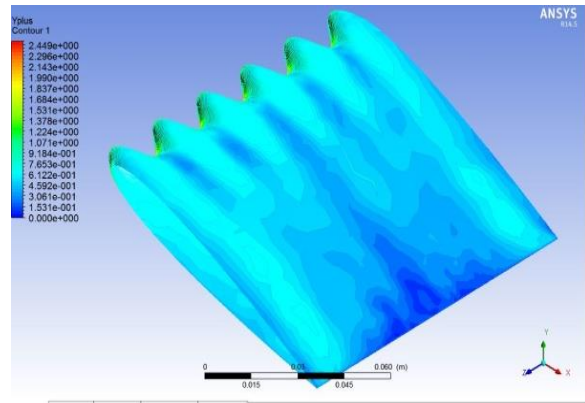
başlıca sebebi, kanat üzerinde ve çevresinde çok küçük alanlarda, akış büyük değişimler gösterirken, kanat yapısından uzaklaştıkça bu değişimin azalmasıdır. Bu değişimlerin olduğu bölgelere diğer bölgelere nazaran daha küçük hacimde ağ örgüleri uygulanırsa analizlerin doğruluğu çoğu zaman aynı paralellikte artmaktadır. Mesh kalitesini arttırmak için gösterilmiş olan “inflation” komutunu kullanarak Şekil 4-b.’de gösterildiği gibi kanat etrafındaki bölgeye yoğunlaştırılmış mesh uygulanmıştır.



Şekil 4. Düz kanata a) ağ örgüsü görünüşü b) kanat etrafındaki yoğunluğu (Baseline a) mesh appearance b) density around the airfoil)

2.’de anlaşıldığı üzere 1271746 mesh sayısı ile 2758767 mesh sayısı arasında belirgin bir fark oluşurken 2758767 ve 3921864 arasında %1’den düşük bir hata gözlenmiştir. Bu durum 2758767 mesh sayısının yeterli olduğunu ortaya çıkarmıştır.

Kanat etrafındaki mesh sayısını artırmak her zaman kaliteyi artırmayabilir. Örneğin mesh sayısı arttığında her bir meshin keskinliği artabilir bu durum da mesh kalitesini düşürebilir ve sonucun doğruluğunu etkiler. Doğru metotları kullanmak şarttır. Kanat etrafındaki mesh kalitesinin doğruluğunu garanti etmek için boyutsuz bir sayı olan y^+ değeri kullanılır [27]. Dış akış için literatür de y^+ değerinin 0 ile 5 arasında olması beklenir. Analizlerde y^+ değeri 0’a ne kadar yakın olursa, uçak kanadının yüzeyindeki türbülans sınır tabakanın çözümlenmesinin de aynı paralellikte doğruluğu artar. Şekil 5.’de görüldüğü üzere bu çalışmada, kanat üzerindeki bütün bölgelerde y^+ değeri 2’den küçüktür.



Şekil 5. Kanat üzerindeki y^+ değeri (y^+ value on airfoil)

Y^+ yanı sıra meshin kalitesini skewness (çarpıklık) ve ortogonal quality (ortogonal kalite) kullanarak da değerlendirebiliriz. Çarpıklık, hücrenin şekli ile eşdeğer

Çizelge 2. Mesh sayısından bağımsızlık (Independence from mesh count)

	C_L	C_D	Mesh Sayısı
0,05a0,16w	0,474	0,213	1271746
	0,509	0,223	2758767
	0,511	0,225	3921864

Kanat etrafındaki yoğunluk, mesh kalitesini çoğu zaman artırırken diğer yandan analizin çözüm süresi de aynı paralellikte artmakta ve istenmeyen bir duruma sebep olmaktadır. Kaliteyi düşürmeden olabilecek en hızlı sürede çözüm yapabilmek için ideal mesh sayısı belirlenmiştir. 4 kanadın birbiriyle aynı mesh sayısına sahip olması imkânsızdır ancak kanatlar arasındaki mesh sayısının %1-2 farklılık göstermesi çözümlenin aynı şartlarda olması için yeterlidir. 1271746, 2758767 ve 3921864 olarak belirlenen 3 farklı mesh sayısında, 25° hücum açısında, 0,1a0,16w modifiyeli kanat için yapılan analizlerin sonuçları Çizelge 2.’de gösterilmiştir. Çizelge

hacimdeki eşkenar bir hücrenin şekli arasındaki fark olarak tanımlanır ve 0 değerine yakın olması beklenmektedir [28]. Ortogonal kalitenin ise 1’e yakın olması gerekmektedir. Yapılan çalışmada 4 kanat için en küçük ve en yüksek çarpıklık değeri sırasıyla 0,236 ve 0,248’dır. Ortogonal kalite değeri en düşük 0,861 ve en yüksek 0,882 olarak tespit edilmiştir. Bulduğumuz bu değerlerle de mesh kalitesi ve doğruluğunun uygun olduğu görülmektedir.

Hacimsel alan belirlenirken sınır şartlarının negatif etkisinden kaçınılması gerekmektedir. Böyle bir durumla karşı karşıya gelmemek için, sınır şartlarının kanada olan

mesafesi kanat üzerindeki akışı etkilemeyecek kadar uzakta olmalıdır. Bu sebeple kanat, koordinat düzleminin merkezine yerleştirilmiştir. Havanın akış alanına girdiği yüzey ile kanadın hücum kenarı arasında 15c, havanın akış alandan çıktığı yüzey ile kanat arka bölgesi arasında 20c ve yan yüzeyler ile kanat arasında 3c uzunluğunda mesafe bulunmaktadır.

Spalart-almaras aerodinamik çalışmalar için kullanılan türbülans modeli olmasına rağmen dış akışın çalışmalarında duvar dibi hassasiyetin önemli olduğu durumlarda, analizde kritik bölgelerde yeterince hassas çözümler yapamaması nedeniyle bu çalışmada kullanılmamıştır. Spalart-almaras yerine duvar dibi hassasiyeti yüksek olmasından dolayı k-epsilon türbülans modeli tercih edilmiştir [29]. K-epsilon türbülans modeli denklemleri aşağıdaki gibidir.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho k u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \beta^* k - Y_p + S_k \quad (3)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho \epsilon u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + \rho C_1 S_b - \rho C_2 \frac{\epsilon^2}{k + \sqrt{\nu \epsilon}} + C_3 \frac{\epsilon}{k} C_{3k} G_k + S_\epsilon \quad (4)$$

$$C_1 = \max \left[0.43, \frac{\eta}{\eta + 5} \right], \quad \eta = S \frac{k}{\epsilon}, \quad S = \sqrt{\frac{1}{2} S_{ij} S_{ij}} \quad (5)$$

Bu çalışma Gazi Üniversitesi imkânları kullanılarak yapıldığından, Ankara'daki havanın termodinamik özellikleri referans alınmıştır. Ankara'da havanın viskozitesi (μ) ve yoğunluğu (ρ) sırasıyla 1,15 kg/m³ ve 1,768 kg/m.s olarak alınmıştır. Bu kanat yapısının genellikle insansız hava araçları gibi ölçütleri diğer uçaklara nazaran daha küçük olan uçaklar için kullanıldığından Reynolds sayısı 72197 olarak belirlenmiştir. Analizde kullanılan diğer değerler Çizelge 3.'de verilmiştir.

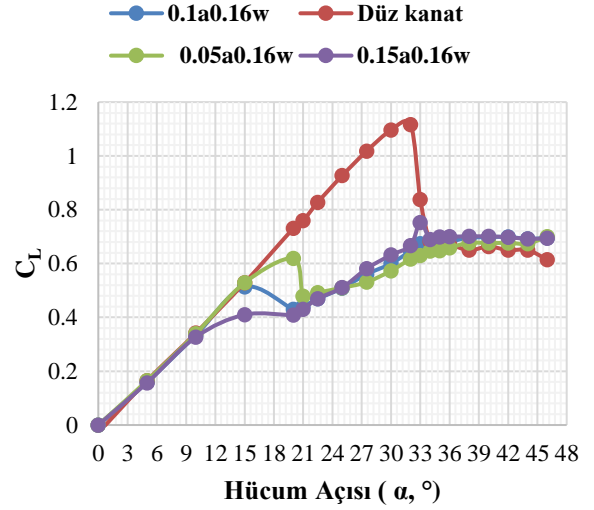
Çizelge 3. Analizde kullanılan diğer değerler (Other values used in the analysis)

Çözüm	Pressure-Based
Hız	12 m/sn
Çözüm Metodu	Simple
Momentum	Second Order Upwind
Türbülans Kinetik Enerji	First Order Upwind

3. SAYISAL SONUÇLAR VE TARTIŞMA (NUMERICAL RESULTS & DISCUSSION)

Aynı dalga boyuna ve 3 farklı genişliğe sahip modifiyeli kanat ile düz NACA-0015 kanadı aerodinamik performansları açısından incelenmiştir. Yapılan analizin sonuçları, hem düz kanat hem de modifiyeli kanatlar literatürde elde edilen değerlerle benzer davranış göstermektedir. Mizoguchi vd., 0,5-1,5 en-boy değerlerinde düz kanat yapılarının performansları incelemiştir. 1,1 AR sahip kanat yapısı 35° stall değerine ulaşmıştır. Bizim çalışmamızda stall değeri 34° elde edilmiştir. 1° fark Reynold ve kanat yapısındaki farkdan kaynaklanmaktadır [30]. Modifiyeli kanat ile düz

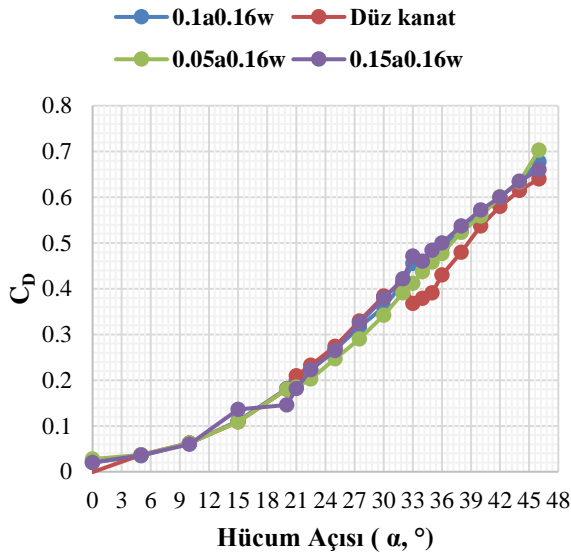
kanat arasındaki fark ise Asli ve diğerlerin çalışmasıyla benzer bir eğilim göstermektedir [31].



Şekil 6. Modifiyeli ve düz kanatların kaldırma katsayılarının karşılaştırılması (Comparing lifting coefficients of modified and baseline airfoils)

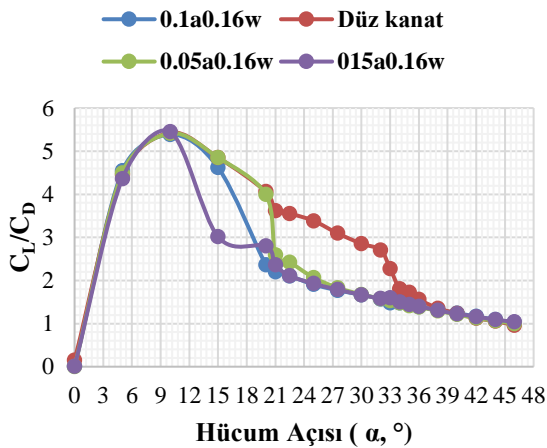
Şekil 6.'da 0° ile 45° arasındaki hücum açıları Cl değerleri gösterilmiştir. Şekil 6.'dan açıkça görüldüğü üzere 0-18° hücum açıları arasındaki değerlerde modifiyeli kanat ile düz kanat arasında dikkate değer bir performans farkı gözlemlenmemiştir. 16-33° arasındaki hücum açıları ise düz kanadın Cl değeri bütün modifiyeli kanatların Cl değerinden daha yüksektir. Stall açısından sonraki hücum açıları ise düz kanadın Cl değeri, ani bir şekilde azalma gözlemlenirken modifiyeli kanatların stall sonrası Cl değerleri sabit bir eğilim göstermiştir. Stall sonrası M1 kanat modelinin ortalama Cl değeri düz kanada göre %7,86 daha yüksek olduğu görülmektedir. 46°'de bu değer en yüksek seviyeye çıkarak %14,75 olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca 15 ile 23°'deki hücum açıları arasında 3 modifiyeli kanat için de Cl değerinde azalma gözlemlenmiştir. Modifiyeli kanatlar kendi aralarında kıyaslandığında uçak kanadının genişliği azaldıkça, Cl değerinde daha kademeli bir eğimle azalma gerçekleştiği belirlenmiştir.

Şekil 7.'de düz kanat ile 3 modifiyeli kanadın 0 ile 45° arasındaki hücum açıları Cl değeri karşılaştırılmıştır. 0° ile 18° arasındaki hücum açıları bütün kanat modellerinde benzer davranışlar gözlemlenmiştir. 18-33° arasındaki hücum açıları modifiyeli kanatların düz kanada göre Cl değeri daha düşüktür. Her bir hücum açısı için, M1 kanadı ile düz kanadın Cl değerleri karşılaştırıldığında, M1 kanadın düz kanada göre %12,57 daha düşük bir Cl değerine sahip olduğu tespit edilmiştir. 34°'den sonra düz kanat için stall gerçekleşmesiyle birlikte düz kanadın Cl değeri, bütün modifiyeli kanatların Cl değerinden daha düşüktür. 34-46° arasındaki hücum açıları M1 kanadının Cl değeri düz kanadından %9,79 daha yüksektir.



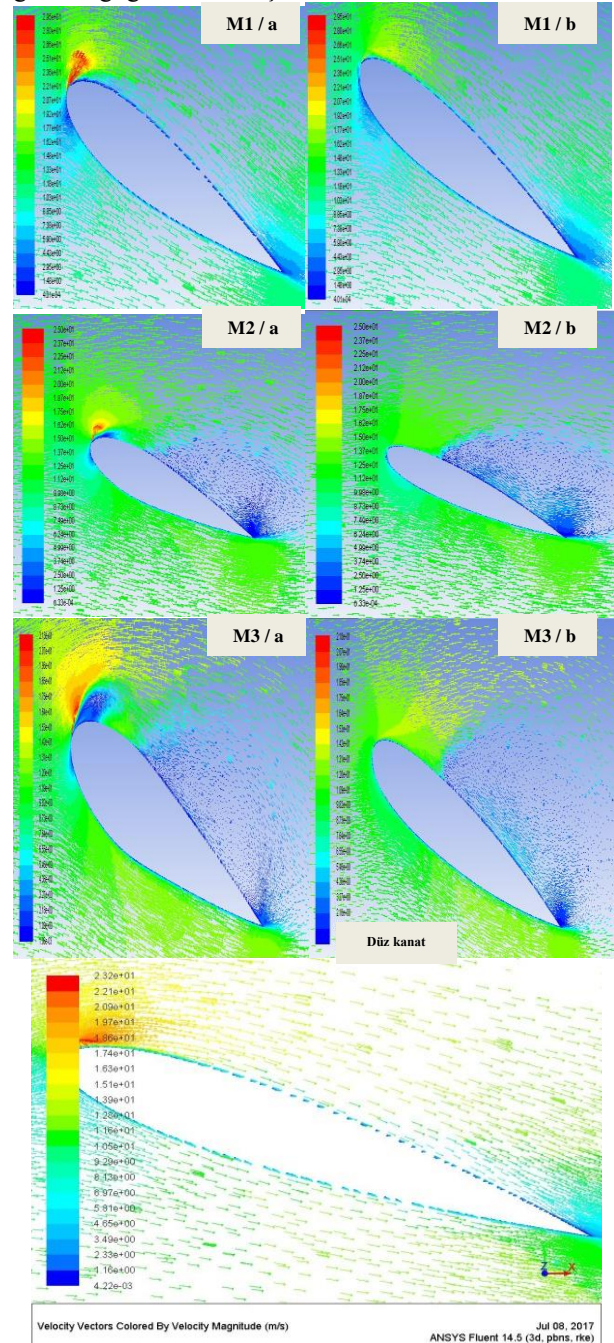
Şekil 7. Modifiyeli ve düz kanatların sürtünme katsayılarının karşılaştırılması (Comparing lifting coefficients of modified and baseline airfoils)

Şekil 8.'de 0° ile 45° arasındaki hücüm açıları için aerodinamik verim grafiği çizilmiştir. Şekil 7. yorumlandığında 0-22° arasındaki hücüm açılarında düz kanat ile M1 kanadı benzer davranış göstermişlerdir. Aynı hücüm açılarında M2 ve M3 modifiyeli kanatları düz kanatla kıyaslandığında aerodinamik verimleri daha düşüktür. 22-34° açıları arasında düz kanadın modifiyeli kanatlara göre belirgin bir avantajı olduğu gözlemlenmiştir. 34-46° arasındaki hücüm açılarında en yüksek C_L/C_D değeri M1 modifiyeli kanada aittir. Stall sonrası her bir hücüm açısı için M2 kanadı ile düz kanadın aerodinamik değerleri oranlanıp, ortalaması alındığında M1 kanadı düz kanada göre %3,81 daha iyi bir değere sahip olduğu ortaya çıkmıştır.



Şekil 8. Modifiyeli ve düz kanatların aerodinamik verimlerinin karşılaştırılması (Comparing aerodynamic efficiencies of modified and baseline airfoils)

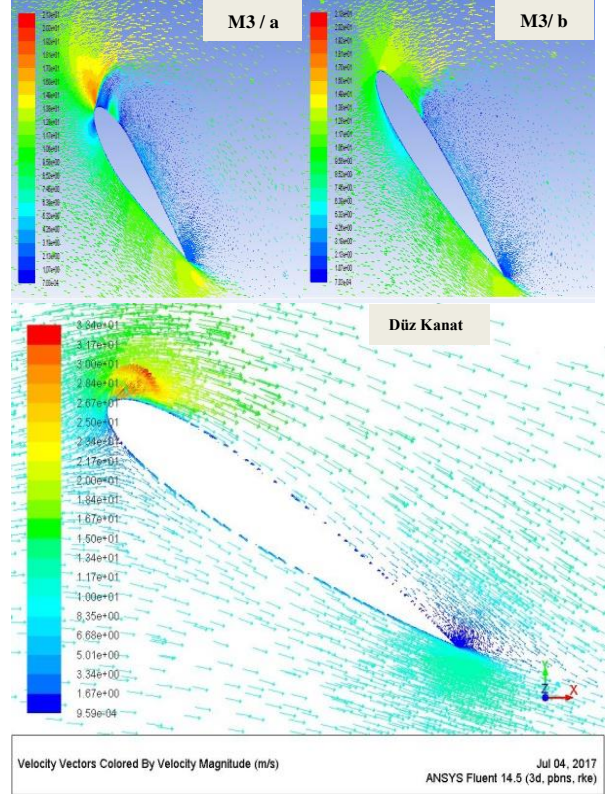
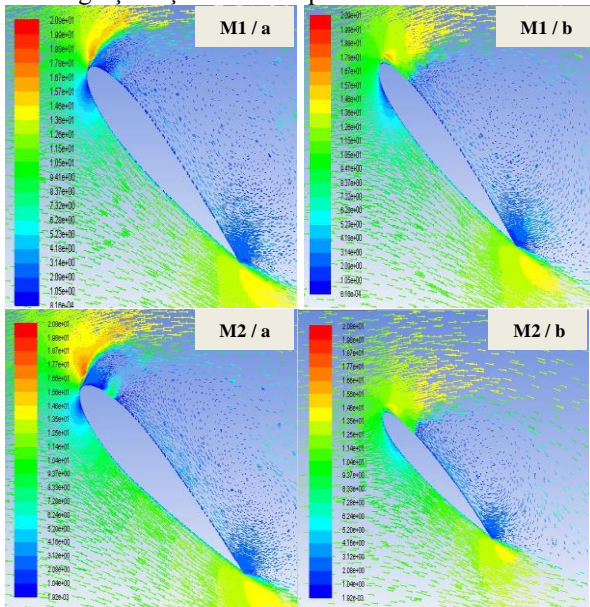
Şekil 6., 7. ve 8.'de elde edilen sonuçları daha net bir şekilde yorumlayabilmek için her bir kanadın 3 farklı hücüm açısında hız vektörleri ve basınç gradyanları incelenmiştir. Belirlenen 3 farklı hücüm açısı sırasıyla 18°, 33° ve 46°'dir. Kanat performansının, belirlenen hücüm açılarında genel olarak C_L değerinde değişiklik gösterdiği gözlemlenmiştir.



Şekil 9. Hücüm açısı 18°'de M1, M2, M3 ve düz kanat profilindeki a) çukur ve b) tepe bölgelerdeki hız vektörleri (Attack of angle M1, M2, M3 and baseline at 18° a) trough and b) peak region velocity vectors)

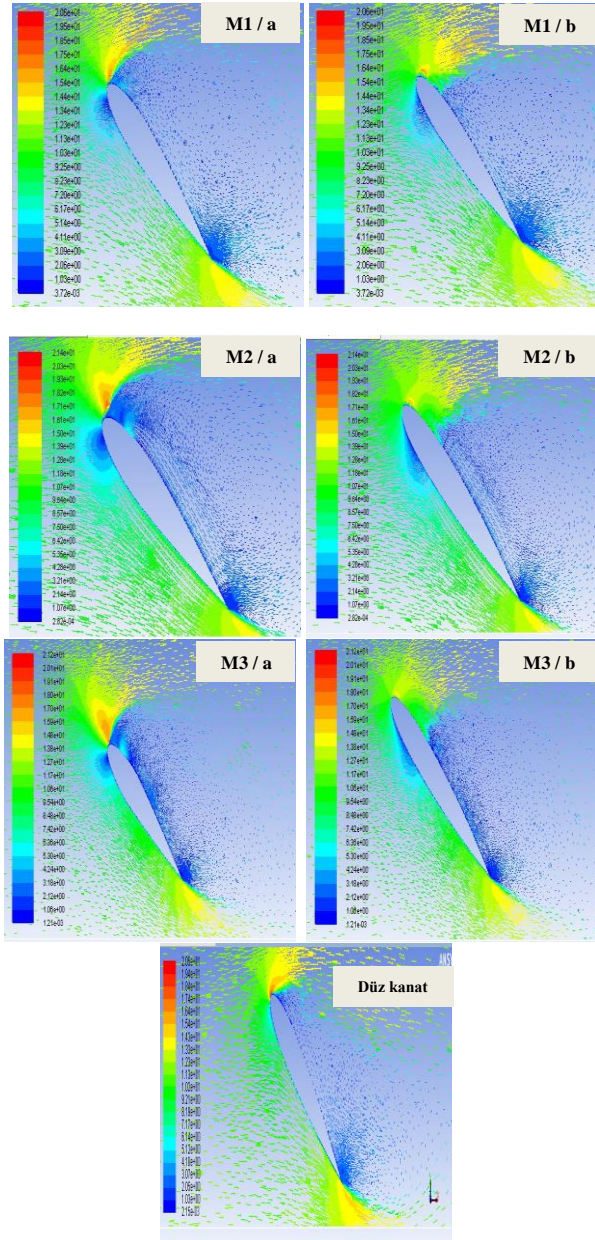
Şekil 9.'da 4 kanadın hücüm açısı 18°'de hız vektörleri verilmiştir. 18°'de düz kanat üzerinde akış ayrılmasını henüz başlamadığı görülmüştür. M1 kanadının hem çukur hem de tepe bölgesinde akış ayrılmasının

başlamadığı ve bu yüzden düz kanatla benzerlik gösterdiği gözlemlenmiştir. Bu beklenen bir durumdur çünkü şekil 6.'da 18° kadarki hücum açılarında her iki kanadın hemen hemen aynı eğimle hareket ettiği görülmektedir. M2 kanadının tepe bölgesinde itibaren yeşil renkli vektörlerin (12 m/sn hız değeri) yukarı yönlü bir hareket gerçekleştirdiği ve kanat yüzeyinden uzaklaştığı görülmektedir. Akışın kanat yüzeyinden ayrılması, veter boyunca laminar ayrışma bölgeleri olarak tanımlanan küçük girdaplar oluşturmaya başlamıştır. M2 kanadının çukur bölgesinde yeşil renkli vektörlerin, veter uzunluğunun %30'una kadarki kısmına yoğun bir şekilde tutunmuştur. M2 kanadının çukur bölgesi kısmında akışın neredeyse tamamına yakını kanat üzerinden ayrılmış olmasına rağmen tepe bölümünde akış kanat yüzeyine tutunamamasından dolayı kısmi stall gerçekleşmiştir. Kısmi stall, stall'dan farkı olarak akış, kanat yüzeyinin tamamından değil sadece belirli bölgelerinde ayrılması olarak tanımlanabilir. Akış çukur bölgedeki ayrışmanın yoğun olmasından dolayı M2 kanadı ve M1 kanadına nazaran daha düşük bir açıda kısmi stall gerçekleşmiştir. M3 kanadının tepe bölgesi incelendiğinde akış, veter uzunluğunun %35'ine kadar olan bölgede kanat yüzeyine tutunmakta daha sonra laminar ayrılma bölgesi oluşmakta ve akış ayrılması başlamaktadır. M3 kanadının çukur bölgesinde ise hücum kenarı ile 0,1c uzunluğu arasındaki küçük ölçekteki bir alanda laminar ayrılma bölgesi oluşmakta, daha sonra akış tekrar 0,1c ve 0,3c arasındaki bölgede kanat yüzeyine tutunmaktadır. 0,3c'dan sonra ise akış ayrılması tamamıyla gerçekleşmektedir. Kanadın veter uzunluğu boyunca, üç farklı bölge oluşması incelediğimiz diğer kanatlardan daha düşük açıda ancak daha kademeli kısmi stall oluşturmaya sebep olmaktadır. M1 kanadın hücum kenarı bölgesinde oluşan laminar ayrışma bölgesi akışın diğer kanatlara göre daha erken kısmi stall oluşmasına sebep olurken akışın tekrardan tutunması ise stall açısı değerini kademeli olarak gerçekleşmesine sebep olmaktadır.



Şekil 10. Hücum açısı 33° 'de M1, M2, M3 ve düz kanat profilindeki a) çukur ve b) tepe bölgelerdeki hız vektörleri (Attack of angle M1, M2, M3 and baseline at 33° a) trough and b) peak region velocity vectors)

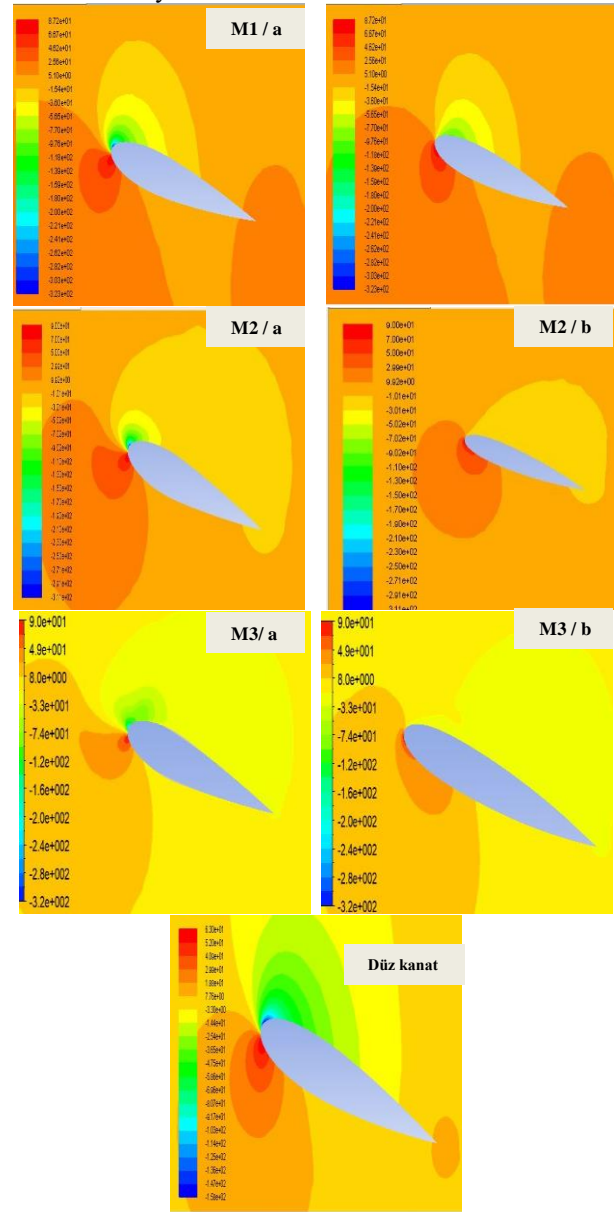
Şekil 10.'da 4 kanat için hücum açısı 33° 'de hız vektörleri verilmiştir. M1 kanadının çukur kısmında akış tamamen ayrılmış olmasına rağmen kanadın tepe bölgesinde akış tutunmaya devam etmektedir. M1 kanadına benzer olarak M2 kanadının da çukur bölgesinde çok büyük bir bölgede akış ayrılması gerçekleşmiştir. Ancak M2 kanadının tepe bölgesinde akış veter uzunluğunun %30'luk kısmına kadarki bölgede tutunmaktadır. %30'luk bu değer, 18° hücum açısındaki M2 kanadının tepe bölgesiyle değerine çok yakındır. M1 kanadının veter uzunluğunun %0,15- 0,2c arasında akış çok küçük bir bölgede tutunmuştur. Kanat yüzeyine bu tutunma olayı M2 kanadında M1 kanadına nazaran daha yumuşak kısmi stall oluşmasına sebep olmaktadır. M3 kanadının M2 kanadı ile hemen hemen aynı kanat performansına sahip olduğu gözlemlenmiştir. Düz kanat da ise sadece %20'lik kısmında akış tutunmaktadır. %80'lik kısmı akış ayrışmasının olmasına rağmen C_L değerinin diğer modifiyeli kanatlardan yüksek olmasının temel sebebi düz kanadın, kanat uzunluğu boyunca tüm bölgelerinde akış aynı oranda tutunurken, modifiyeli kanatların üzerinde sadece akış tepe bölgelerinde tutunmaktadır. Akışın kanat yüzeyine tutunduğu bölgeler tüm kanat yüzeyine oranlandığımız zaman sadece akışın %45'nin kanat üzerinde tutunduğu görülmektedir.



Şekil 11. Hücüm açısı 46° 'de M1, M2, M3 ve düz kanat profilindeki a) çukur ve b) tepe bölgelerdeki hız vektörleri (Attack of angle M1, M2, M3 and baseline at 46° a) trough and b) peak region velocity vectors)

Şekil 11.'de 4 kanat için 46° 'deki hücüm açısında hız vektörleri verilmiştir. Bütün modifiyeli kanatların çukur bölgelerinde akış ayrılması şekilden açıkça görülmektedir. M1 kanadının tepe bölgesinde diğer iki kanattan farklı olarak akış kanadın sadece %15 kısmına kadarlık bir bölgede tutunmaktadır. M2 ile M3 kanatlarının tepe bölgelerinde benzer bir davranış göstererek, akışın veter uzunluğunun yaklaşık %30'luk bölgesine kadarlık bölgede akış kanat yüzeyine tutunmaktadır. M1 kanadının tepe bölgesindeki akışın diğer modifiyeli kanatlara göre hücüm kenarı bölgesine daha yakın bir bölgede tutunması, M1 kanadının diğer 2 kanada göre daha erken stall açısına ulaşacağını göstermektedir. Düz kanat incelendiğinde, akış kanadın

üst bölgesinden tamamen ayrılmıştır. C_L & α grafiğinde 46° 'de C_L değeri akış yüzeyde tutunmadığından M1/b akım çizgilerinden kaynaklanmaz sadece basıncın tepe bölgesinden kaynaklanır.



Şekil 12. 18° 'deki hücüm açısında M1, M2, M3 ve düz kanat profilindeki a) çukur ve b) tepe bölgelerdeki basınç gradyanları (Attack of angle M1, M2, M3 and baseline at 18° a) trough and b) peak region pressure gradients)

Şekil 12.'de 3 modifiyeli kanat ile düz kanada ait hücüm açısı 18° 'deki basınç gradyanları gösterilmiştir. Basınç gradyanlarını incelediğimiz şekillerde renk skalasındaki koyu mavi en düşük basıncı ve koyu kırmızı renk en yüksek basıncı temsil etmekte, aradaki renkler ise kademeli olarak basınç değişimlerini göstermektedir. M1 kanadının tepe bölgesi incelendiğinde, hücüm kenarının üst kısmında yeşil ve koyu lacivert, alt kısmında ise koyu kırmızı renk oluşmuştur. M1 kanadının çukur bölgesi analiz edildiğinde, hücüm kenarının üst kısmında,

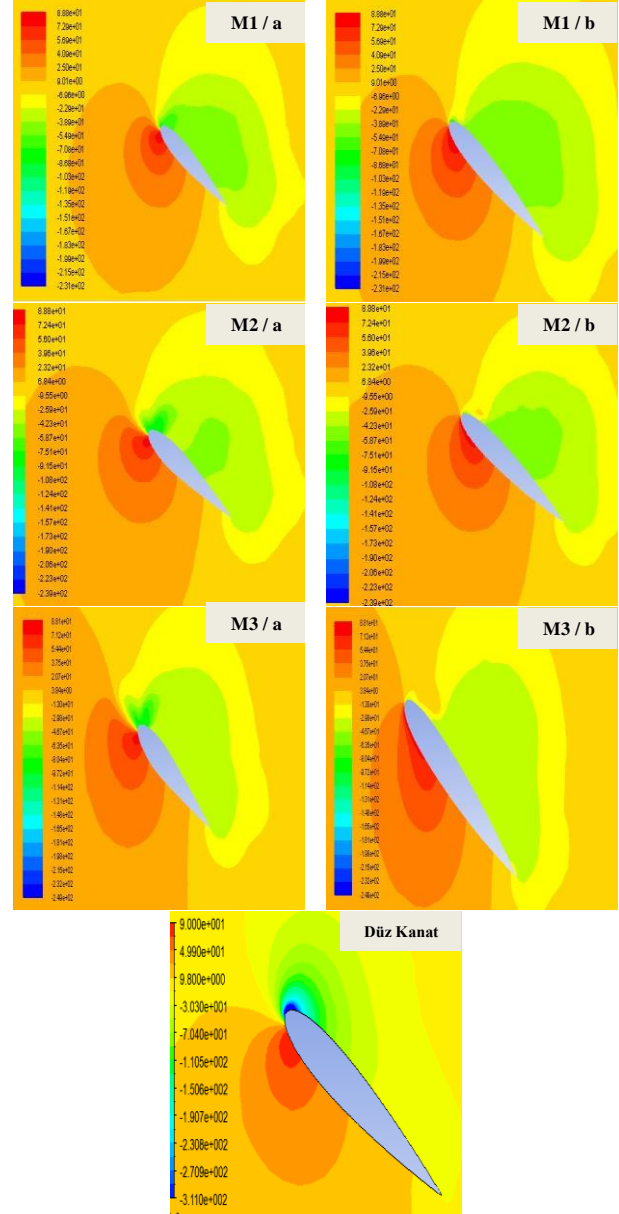
kanadın tepe bölümünün üst kısmına nazaran daha küçük bir alanda yeşil bölge oluşurken, alt kısmında da daha küçük bir alanda kırmızı bir bölge oluşmuştur. M1 kanadın çukur bölgesindeki basınç farkı, tepe bölgesine göre daha yüksektir. M2 kanadının çukur bölgesi yüzeyindeki, hücum kenarının üst kısmında, küçük bir alanda koyu lacivert ve yeşil renk, alt kısmında ise küçük bir alanda koyu kırmızı renk oluşmuştur. M2 kanadının tepe bölgesinde incelendiğinde, hücum kenarının üst kısmın için sadece sarı, alt kısmında ise kırmızı bir alan oluşmuştur. M1 kanadında tepe bölgesinde oluşan yeşil bölge M2 kanadında oluşmamıştır. Şekil 6.'da 18° için, M1 kanadının C_L değeri, M2 kanadına göre daha yüksek olması M1 kanadının tepe bölgesinde M2 kanadına göre daha fazla yeşil alan oluşmasına ve M1 kanadının çukur bölgesinde oluşan yeşil alanın, M2 bölgesindeki çukur bölgede oluşmamasıyla açıklanabilir.

M3 kanadının çukur ve tepe bölgeleri gözlemlendiğinde, hücum kenarının $0,2c$ 'luk bölgesinin alt kısmındaki oluşan koyu kırmızı renk diğer modifiyeli kanatların çukur ve tepe bölgelerinde daha fazla bir alanda bulunmaktadır. M3 kanadının tepe ve çukur bölgelerinin üst kısımlarında ise diğer modifiyeli kanatlarla kıyaslandığında daha küçük bir alanda yeşil renk bulunmaktadır. Bu durum 18° 'deki hücum açısında M3 kanadının C_L değerini diğer kanatlardan düşük olmasını açıklamaktadır. Düz kanadın üst bölgesindeki yeşil renkli kısım, diğer modifiyeli kanatların göre çok daha büyüktür. Yeşil rengin bölgenin diğer kanatlara göre daha yüksek alanda olması kanadın üst ve alt kısmındaki basınç farkının da yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. 18° 'de düz kanadın alt ve üst yüzeylerinde basınç farkını diğer kanatlara nazaran daha yüksek olmasından dolayı da en yüksek C_L değeri düz kanatta oluşmaktadır.

Şekil 13.'de 3 modifiyeli kanat ile düz kanadın 33° 'deki hücum açısında basınç gradyanları gösterilmiştir. 3 modifiyeli kanadın tepe bölgelerinde basınç granyanları incelendiğinde, en yüksek genliğe sahip olan M3 kanadı, en büyük olacak şekilde sırasıyla M2 ve M1 kanatlarının hücum kenarlarının üst bölgelerinde yoğun şekilde yeşil renk oluşmuştur. Şekil 10.'da daha önceden de gösterildiği üzere, hücum kenarının üst kısmında oluşan laminar ayrışma bölgeleri, yeşil rengin oluşmasının temel sebebidir. Laminar ayrışma bölgeleri stall açısını azaltarak dezavantajlı olarak görüne de, kanat alt ve üst yüzeyindeki basınç farkına artırmasına bunun sonucu olarak da C_L değerine artmasına sebep olmaktadır.

3 modifiyeli kanadın tepe bölgesindeki basınç gradyanları analiz edildiğinde, kanatların alt bölge yüzeylerinde yayılmış olan kırmızı renkli alan en yüksek M3 olacak şekilde sırasıyla M2 ve M1 kanadına aittir. Modifiyeli kanatların tepe kısımlarının üst yüzeyleri incelendiğinde ise en fazla koyu renge sahip kanat M1, en az koyu renge sahip kanat ise M3'dür. Analizlilerin sonucunda M3 kanadının üst yüzeyinde ki yeşil renkli alanın diğer kanatlardan düşük olmasına rağmen, kanadın alt yüzeyinde kırmızı alanın diğer modifiyeli kanatlara göre daha yaygın bir bölgeye yayılmış olmasından dolayı 33° 'deki en yüksek C_L değeri M3

aittir. Düz kanadın üst bölgesinde ise koyu lacivert bölge oluşurken, kanadın alt kısmında ise sadece küçük bir bölgede koyu kırmızı renk oluşmuştur. Bu durum şekil 6.'daki sonuçlarla uyumludur. Şekil 6.'da görüldüğü üzere 33° 'de düz kanat modifiyeli kanatlardan daha yüksek C_L değerine sahiptir.

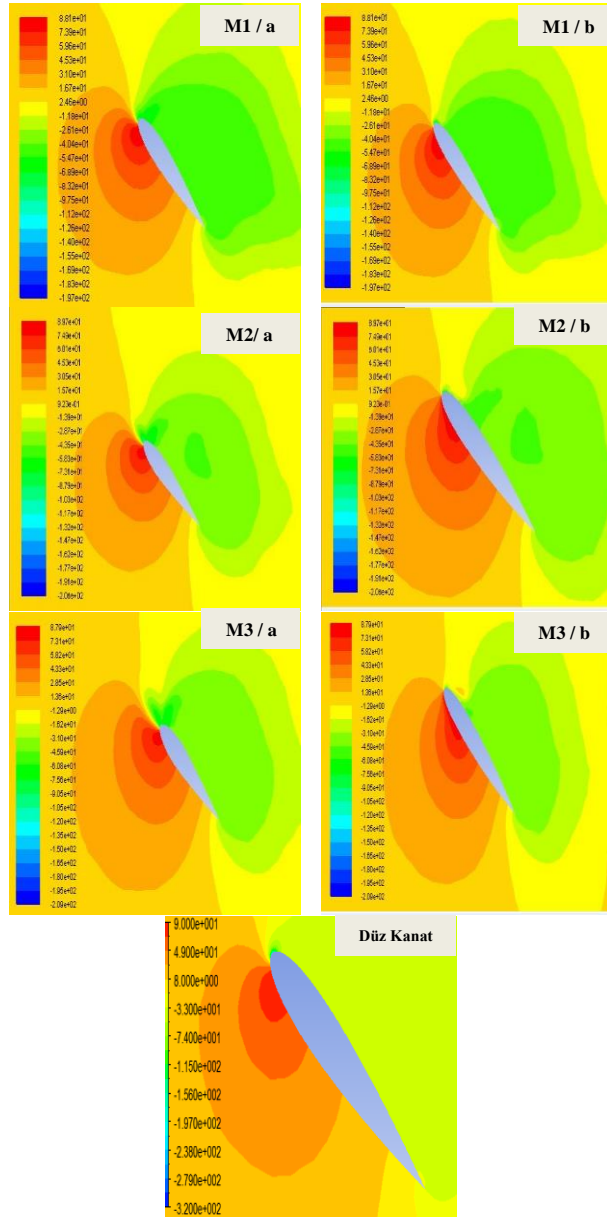


Şekil 13. Hücum açısı 33° 'de M1, M2, M3 ve düz kanat profilindeki a) çukur ve b) tepe bölgelerdeki basınç gradyanları (Attack of angle M1, M2, M3 and baseline at 33° a) trough and b) peak region pressure gradients)

Şekil 14.'de 3 modifiyeli kanat ile düz kanadın hücum açısı 46° 'de basınç gradyanları gösterilmiştir. M1 kanadının üst bölgesinin tamamında koyu yeşil renk bölgede ise $0,2c$ 'luk bir alanda koyu kırmızı renk oluşurken, M2 ve M3 kanatlarının üst bölgesinde açık yeşil renk görülmekte alt kısmında ise $0,15c$ 'luk bölgede koyu kırmızı renk oluşmaktadır. Renk dağılımları yorumlandığında M1 kanadının alt kısmında yüksek

basıncı temsil eden kırmızı rengin ve kanadın üst kısmında alçak basıncı temsil eden yeşil rengin diğer modifiyeli kanatlardan daha yüksek olması, M1 kanadının alt ve üst bölgelerinde basınç farkının daha fazla olmasına, dolayısıyla da 46° 'de modifiyeli kanatlar içinde en yüksek C_L değerine ulaşmasına sebep olmaktadır. 46° 'de düz kanadın stall aşısına ulaşmasından dolayı kanadın üst bölgesinin tamamı sarı-yeşil arası bir renk oluşurken, alt kısmında modifiyeli kanatlara nazaran daha küçük bir bölgede koyu kırmızı renk oluşmuştur.

M1 ve düz kanat kıyaslandığında düz kanadın üst ve alt bölgelerindeki basınç farkı M1 kanadının, düz kanada göre çok daha yüksek olmasından dolayı 46° 'de M1 kanadının C_L değeri daha yüksektir.



Şekil 14. Hücum açısı 46° 'de M1, M2, M3 ve düz kanat profilindeki a) çukur ve b) tepe bölgelerdeki basınç gradyanı Attack of angle M1, M2, M3 and baseline at 33° a) trough and b) peak region pressure gradients)

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada; modifiye edilmiş NACA-0015 kanat profili üzerinde tüberkül olarak isimlendirilen sinüzoidal yapıların kanat performansı üzerindeki aerodinamik karakteristikleri sayısal olarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Yapılan analiz sonucunda düz kanada göre modifiye edilmiş kanatlar arasında (M1, M2 ve M3) en iyi performansı en düşük genliğe sahip olan M1 kanadı sağlamıştır.
- Stall sonrasında hücum açılarında düz kanat ile M1 kanadın C_L değerleri birbirleriyle kıyaslandığında M1 kanadının düz kanada göre ortalama %7,86 daha büyük bir değere sahiptir olduğu gözlenmiştir. 46° 'de iki kanat arasındaki fark en yüksek değer olan %14,75 ulaşmıştır.
- Stall öncesi bölgede düz kanat ile modifiye edilmiş M1, M2 ve M3 kanatları kıyaslandığında C_D değerleri sırasıyla % 8,33, %2,2 ve %1,12 oranında daha düşük bir değere sahip olduğu anlaşılmıştır.
- 34° 'den sonraki stall açılarında bütün kanatlar içinde en düşük C_D değerine M1 kanat yapısı sahiptir. M1 kanadının C_D değeri, düz kanada göre % 9,79 daha yüksektir. Hücum açısı 46° 'ye ulaştığında M1 kanadının C_D değeri düz kanadın C_D değerinden arasında ulaşabilecek en yüksek değer olan %12,57'ye ulaşmıştır.
- Sonuçlar genel değerlendirildiğinde C_L ve C_D açısından, stall sonrası süreçte aerodinamik verim performansında M1 kanadının düz kanada göre %3,81 değerinde iyileştirme olmuştur. Bu durum hem rüzgar türbini kanat yapısı hemde uçak kanat yapılarının aerodinamik performansı açısından olumlu performans gösterdiği gözlemlenmiştir.

SEMBOLLER (NOMENCLATURE)

w	Kanat dalga boyu
a	Kanat genliği
c	Kanat veter uzunluğu
C_L	Kaldırma katsayısı
C_D	Sürtünme katsayısı
C_L/C_D	Aerodinamik verim
M1	Modifiyeli kanat 1
M2	Modifiyeli kanat 2
M3	Modifiyeli kanat 3
μ	Havanın viskozitesi

ρ

Havanın yoğunluğu

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Yazarlar, FLUENT programını kullanımına izin verdiği için Gazi Üniversitesine teşekkür eder.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Yao J., Yuan W., Wang J., Xie J., Zhou H., Peng M. and Sun Y., "Numerical simulation of aerodynamics performance for two dimensional wind turbine airfoils", *Procedia Engineering*, 31: 80-86, (2011).
- [2] Lianbing L., Yuanwei M. and Lina L., "Numerical simulation on aerodynamics performance of wind turbine airfoil", *World Automation Congress (WAC)*, Puerto Vallarta/ Mexico, 1-4, (2012).
- [3] Villalpanda F., M. Reggio, and A. Ilinca, "Assessment of turbulence model for flow simulation around a wind turbine airfoil", *Modeling and Simulation in Engineering*, 2011: 1-8, (2011).
- [4] Duvigneau R. and Visonneau M., "Simulation and optimization of stall control for an airfoil with a synthetic jet", *Aerospace Science and Technology*, 10: 279-287, (2006).
- [5] Siau W.L., Bonnet J-P., Tensi J., Cordier L., B.R. Noack and Cattafesta L., "Transient Dynamics of the flow around a NACA 0015 airfoil using fluidic vortex generators", *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 31: 450-459, (2010).
- [6] Srinivasan G.R., Ekaterinaris J.A. and McCroskey W. J., "Evaluation of turbulence model for unsteady flows of an oscillating airfoil", *Computers & Fluids*, 24: 833-861, (1995).
- [7] Ravi H.C., Madhukeshwara N. and Kumarappa S., "Numerical investigation of flow transition for NACA-4412 airfoil using computational fluid dynamics", *International Journal of Innovative Research in Science Engineering and Technology*, 2: 2778-2785, (2013).
- [8] Deepa M.S., Nithya S.N. and Karthik P., "Numerical simulation of turbulent flow past Stationary NACA 0012 airfoil using FLUENT", *International Journal of Engineering Research & Technology*, 2: 1209-1212, (2013).
- [9] Şahin İ., ve Acır A., "Numerical and Experimental Investigations of Lift and Drag Performances of NACA-0015 Wind Turbine Airfoil", *International Journal of Materials Mechanics and Manufacturing*, 3(1): 22-25, (2015).
- [10] Khabisi H.M., "The study of streamlines and pressure distribution around a NACA 0015 airfoil", *The First Conference on the Development of Science and Chemical Industry*, Kerman, 1-7, (2017).
- [11] Saad M.M.M., Bin Mohd S., Zulkafli M.F. and Shibani W.M.E., "numerical analysis for comparison of aerodynamic characteristics of six airfoils", *AIP Conf. Proc.*, 1831(1): 20004, (2017).
- [12] https://tr.wikipedia.org/wiki/Kambur_balina
- [13] <http://consciousbreathadventures.com/humpack-whales-distinctive-features/>
- [14] Fish, F.E. and Battle, J.M., "Hydrodynamics design of humpback whale flipper," journal of morphology", *Journal of Morphology*, 225: 51-60, (1995).
- [15] Van Nierop E.A., Alben S., and Brenner M.P., "How bumps on whale flippers delay stall: an aerodynamic model", *Physical Review Letters*, 100: 1-4, (2008).
- [16] Fish F.E., Howle L.E., and Murray M.M., "Hydrodynamic flow control in marine mammals", *Integrative and Comparative Biology*, 48: 788-800, (2008).
- [17] Fish F.E., Weber P.W., Murray M.M. and Howle L.E., "The tubercles on humpback whales' flippers: application of bio-inspired technology", *Integrative and Comparative Biology*, 51(1): 203-213, (2011).
- [18] Custodio D. and Henocho C.W., "Aerodynamic characteristics of finite span wings with leading-edge protuberances", *AIAA Journal*, 503: 1878-1893, (2015).
- [19] Miklosovic D.S., Howle L.E. and Fish F.E., "Leading-edge tubercles delay stall on humpback whale (Megaptera novaeangliae) flippers", *Physics of Fluids*, 16: 39-42, (2004).
- [20] Fernandes I., Sapkota Y. Mammen T., Rasheed A., Rebello C.L. and Kim Y.H., "Theoretical and experimental investigation of the leading edge tubercles on the wing performance: Aviation Technology", *Aviation Technology Integration and Operations Conference*, Los Angeles, USA, 1-41, (2013).
- [21] Johari H., Henocho C., Custodio D. and Levshin A., "Effects of leading-edge protuberances on airfoil performance", *AIAA Journal*, 45: 2634-2632, (2007).
- [22] Hasan M.J., Islam M.T., Hassan M.M., "A comparative analysis between NACA 4412 airfoil and its modified form with tubercles", 7th BSME International Conference On Thermal Engineering, 20041-20054, Bangladesh, (2017).
- [23] Pedro H.T.C. and Kobayashi M.H., "Numerical study of stall delay on humpback whale flippers", 46th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit, Virginia, 584-592, (2008).
- [24] Rostamzadeh N., Kelso R.M. and Dally B., "A numerical investigation into the effects of Reynolds number on the flow mechanism induced by a tubercled leading edge", *Theoretical and Computational Fluid Dynamics*, 31(1): 1-32, (2017).
- [25] Cai C., Zuo Z., Morimoto M., Maeda T. Kamada, Y. and Liu S., "Two-step stall characteristic of an airfoil with a single leading-edge protuberance", *AIAA Journal*, 56(1): 1-14, (2017).
- [26] <http://airfoiltools.com/airfoil/details?airfoil=naca0015-il>
- [27] Ariff M., Salim S.M. and Chea S.C., "Wall Y + approach for dealing with turbulent flow over a surface mounted cube: part 1 – low Reynolds number", Seventh International Conference on CFD in the Minerals and Process Industries, Australia, 1-6, (2009).
- [28] https://www.sharcnet.ca/Software/Ansys/16.2.3/en-us/help/flu_ug/flu_ug_mesh_quality.html
- [29] ANSYS FLUENT 12.0 Theory Guide - 4.4.3 Realizable – Model, <http://www.afs.enea.it/project/neptunius/docs/fluent/html/th/node60.htm>
- [30] Izoguchi M.M., Ajikawa Y.K. and Toh H.I., "Aerodynamic characteristics of low-aspect-ratio wings with various aspect ratios in low Reynolds number flows", *Trans. Japan Soc. Aero. Space Sci.*, 59(2): 56-63, (2016).
- [31] Wang Y.Y., Hu W.R. and Zhang S.D., "Performance of the bio-inspired leading edge protuberances on a static wing and a pitching wing", *Journal of Hydrodynamics*, 26(6): 912-920, (2015).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

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



Konut ısıtma enerji ve emisyon değişiminin küresel ısınma bağlamında Düzce ili özelinde incelenmesi

Investigation of energy and emission change for house heating with context of global warming in Düzce/Turkey

Yazar(lar) (Author(s)): Mustafa ERTÜRK¹, Zuhale OKTAY², Can ÇOŞKUN³, Ali KEÇEBAŞ⁴, Yusuf ÇAY⁵, Ali DAŞDEMİR⁶

ORCID¹: 0000-0002-0517-6940

ORCID²: 0000-0001-6167-7048

ORCID³: 0000-0003-4100-0296

ORCID⁴: 0000-0003-4809-2461

ORCID⁵: 0000-0003-4007-6168

ORCID⁶: 0000-0003-0743-4955

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Ertürk M., Oktay Z., Çoşkun C., Keçebaş A., Çay Y. ve Daşdemir A., “Konut ısıtma enerji ve emisyon değişiminin küresel ısınma bağlamında düzce ili özelinde incelenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 22(1): 197-202, (2019).

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

DOI: 10.2339/politeknik.432029

Konut Isıtma Enerji Ve Emisyon Değişiminin Küresel Isınma Bağlamında Düzce İli Özelinde İncelenmesi

Araştırma Makalesi / Research Article

Mustafa ERTÜRK^{1*}, Zuhul OKTAY², Can ÇOŞKUN², Ali KEÇEBAŞ³, Yusuf ÇAY⁴, Ali DAŞDEMİR³

¹Balıkesir Meslek Yüksek Okulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir, Türkiye

²Mühendislik Fakültesi, Mak. Müh. Bölümü, İzmir Demokrasi Üniversitesi, İzmir, Türkiye

³Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Müh. Bölümü, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla, Türkiye

⁴Teknoloji Fakültesi, Makine Müh. Bölümü, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye

(Geliş/Received : 17.11.2017 ; Kabul/Accepted : 22.05.2018)

ÖZ

Bu çalışmada Düzce ili için Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilen son otuz iki yılın meteorolojik veri seti kullanılmıştır. Bu veri seti ile ısıtma sezonundaki her ay için otuz iki yıllık dış hava sıcaklık dağılımları bulunmuştur. Dış hava sıcaklık dağılımları baz alınarak sezondaki her ay için on bir farklı iç ortam referans sıcaklığına (18-28°C) göre Düzce ili ısıtma derece saat (IDS) değerleri hesaplanmıştır. Bu ilimizde seçilen iç ortam referans sıcaklığının 1-11°C üzerinde veya altında olması durumunda enerji talebindeki artışın veya azalmanın oransal olarak değişimi hesaplanmıştır. Ayrıca ilimizdeki son otuz iki yıllık periyot göz önüne alınarak IDS değerinin yıllara göre değişimi ve küresel ısınma miktarı belirlenmiştir. Bu çalışma Düzce'deki ısıtma sistemleri kullanıcılarının ısıtma amaçlı enerji tüketimi ve çevre hava kirliliğinden dolayı oluşan küresel ısınma konusunda bilinçlendireceği ve ısıtma sistemleri için cihaz üreten sanayiciler ile bu alanda çalışan akademisyenlere yardımcı olacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Düzce ili, ısıtma derece saat, iç ortam referans sıcaklığı, enerji değişimi, küresel ısınma.

Investigation of Energy and Emission Change for House Heating with Context of Global Warming in Düzce/Turkey

ABSTRACT

In this study, the last thirty-two year meteorological data set obtained from the General Directorate of State Meteorology for the city of Düzce/Turkey was used. With this data set, thirty-two year outdoor temperature distributions were found for each month in the heating season. Based on the outside air temperature distributions, the values of the heating degree hour (HDH) of Düzce are calculated for each of the eleven different indoor ambient reference temperatures (18-28 °C). In this case, if the selected indoor ambient reference temperature is above or below 1-11 °C, the increase or decrease in the energy demand is calculated proportionally. In addition, considering the last thirty-two year period in the city, the change of HDH value according to years and the amount of global warming have been determined. This study is thought that users of heating systems in Düzce will be aware of the energy consumption for heating and global warming caused by environmental air pollution and will help academicians working in this field with industrialists producing heating systems.

Keywords: Düzce province, heating degree hour, indoor reference temperature, energy change, global warming.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Sanayi devrimiyle makinaları tahrik eden güç sistemlerinde enerji kaynağı olarak fosil yakıt kullanılması hızla artan dünya nüfusu ve refah düzeyi de, enerjiye olan talebi her geçen gün artırmaktadır. Fosil türü yakıtların yeniden oluşmasına göre enerji talebinin çok hızlı olması bu yakıt rezervlerinin sürekli olarak azalmasına sebep olmaktadır. Baş döndürücü hızla tüketilen fosil yakıtlar atmosfer havasının kirlenmesine ve dünyanın küresel olarak ısınmasına neden olmaktadır.

Yeryüzünde her yıl yaklaşık 207 milyar ton karbondioksit bitkilerin, hayvanların ve toprağın soluması, fosil yakıtların kullanılması, ormansızlaştırma ve okyanus atmosfer etkileşimi yüzünden atmosfere salınmakta; kara bitkilerinin fotosentezi ve yine okyanus, atmosfer etkileşimi nedeniyle de yaklaşık 204 milyar ton karbondioksit atmosferden her yıl çekilmektedir. Bu durumda her yıl 3 milyar ton dolayında karbondioksit atmosfere eklenmektedir. Bu da aslında insanların fosil yakıt kullanımı sonucunda atmosfere salınan karbon dioksit miktarına eşit olmaktadır. Her yıl atmosfere eklenen bu 3 milyar ton karbondioksit atmosfere salınan karbondioksit miktarını 5-10 kat artırarak 750 milyar tona ulaştırmıştır [1].

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : mustafaerturk65@gmail.com

Dünya enerji konseyi (WEC), gelecekteki enerji ihtiyacının karşılanması için bir kaç senaryo yayınlamıştır. Tüm senaryolar özellikle de gelişen ülkeler için sosyal ve ekonomik gelişme sağlanması için oluşturulmuştur. 1990–2050 arasında birincil enerji tüketiminin en iyi çevresel şartlar düşünüldüğünde %50 oranında artabileceği ifade edilmiştir. En yüksek büyüme oranı senaryosu düşünüldüğünde ise bu tüketimin %275 civarında artabileceği ortaya konmuştur [2].

Yukarıda bahsedilen süreçle birlikte değerlendirildiğinde binalardaki enerji tüketiminin azaltılması dört başlık altında değerlendirilebilir. (i) Isıtma ve soğutma yüklerinin azaltılması: hem alışkanlıkların değiştirilmesi hem de yalıtım yapılması (ii) Daha verimli ısıtma ve soğutma sistemleri kullanımı; havalandırma ve iklimlendirme tesisatının iyileştirilmesi ve otomasyon sistemlerin kullanılması. (iii) Elektrik tüketiminin azaltılması için daha verimli cihazlar kullanılması. (iv) Binalarda yenilenebilir enerji kullanımının artırılması [3].

Mahallerin ısıtılmasına yönelik mevsimsel enerji ihtiyacı ve buna bağlı yakıt tüketimi, önceden belirlenmiş mimari tasarım, binaların malzeme karakteristikleri, meteorolojik sıcaklık ölçümleri ve bölge nüfusuna bağlı olarak belirlenebilir. Belirli bir zaman aralığında bir mahalin ısıtılmasına yönelik enerji ihtiyacını öngörme yöntemlerinden birisi, derece zaman yöntemidir. Yöntem, bir mahalin enerji ihtiyacının iç ve dış ortamların sıcaklık farkı ile doğru orantılı olduğunu kabul etmektedir. Enerji hesaplamaları, dış ortam sıcaklığının, denge sıcaklığı olarak tanımlanmış bir sıcaklıktan daha düşük olduğu süreler boyunca gerçekleştirilir [4].

Bu çalışmada Düzce ili ısıtma yüklerinin azaltılması amacıyla, iç ortam sıcaklığındaki değişimin etkisi kapsamlı bir şekilde analiz edilmiştir.

2. MATEMATİKSEL YÖNTEM (MATHEMATICAL METHOD)

Derece zaman yöntemiyle ilgili üç farklı (bin, derece gün, derece saat yöntemi) statik yöntem ve binanın dinamik

davranışına göre yapılan hesaplamalarda kullanılan dinamik yöntemler literatürde bulunmaktadır. DS yöntemiyle binaların ısıtılması veya soğutulması için gerekli enerji kolaylıkla tahmin edilebilir. Derece saat yönteminde, öncelikle belirli bir denge noktasına göre derece saat değerlerinin tespit edilmesi gerekmektedir. Bunun içinde bir yıl içerisinde toplam 8760 saatlik ölçüm değerlerinin olması gerekir. Denge noktası sıcaklığı, bir binada ısıtmaya ihtiyaç duyulmadığı durumdaki dış ortam sıcaklığıdır. Denge sıcaklığı genelde, yalıtımsız bir bina için ısıtmada 18°C soğutmada 22°C denge sıcaklığı için hesaplanır [5-7]. Bu çalışmada derece saat (DS) yöntemi kullanılmıştır.

Isıtma derece saat (IDS) değerleri aşağıdaki denklemle belirlenir [8].

$$IDS = (1 \text{ saat}) \sum_{\text{saatler}} (T_b - T_d)^+ \quad (1)$$

IDS: Isıtma derece saat [°C-saat]

T_b : Saatlik iç ortam sıcaklığı [°C]

T_d : Saatlik dış ortam sıcaklığı [°C]

Soğutma derece saat (SDS) değerleri aşağıdaki denklemlerle belirlenir [8].

$$SDS = (1 \text{ saat}) \sum_{\text{saatler}} (T_d - T_b)^+ \quad (2)$$

SDS: Soğutma derece saat [°C-saat]

Denklemler 1 ve 2'deki parantezin üzerindeki '+' işareti sadece pozitif değerlerin hesaba katılacağını göstermektedir.

IDS ve SDS'leri kullanılarak, aylık veya yıllık ısıtma enerjisi (Q_i), soğutma enerjisi gereksinimi (Q_s) gereksinimi, kWh olarak aşağıdaki denklemlerden hesaplanabilir.

$$Q_i = \frac{K_{top}}{\eta} IDS \left(\frac{1}{1000} \right) \quad (3)$$

$$Q_s = \frac{K_{top}}{COP} SDS \left(\frac{1}{1000} \right) \quad (4)$$

K_{top} : Binanın toplam ısı transfer katsayısı [W/°C]

η : Binada kullanılan ısıtma sistemi verimi [%]

Q_i : Isıtma enerjisi gereksinimi [kWh]

Q_s : Soğutma enerjisi gereksinimi [kWh]

Çizelge 1. Düzce ısıtma sezonundaki aylara göre sezonluk IDS değerleri [9] (Seasonal IDS values by month in heating season for Düzce [9])

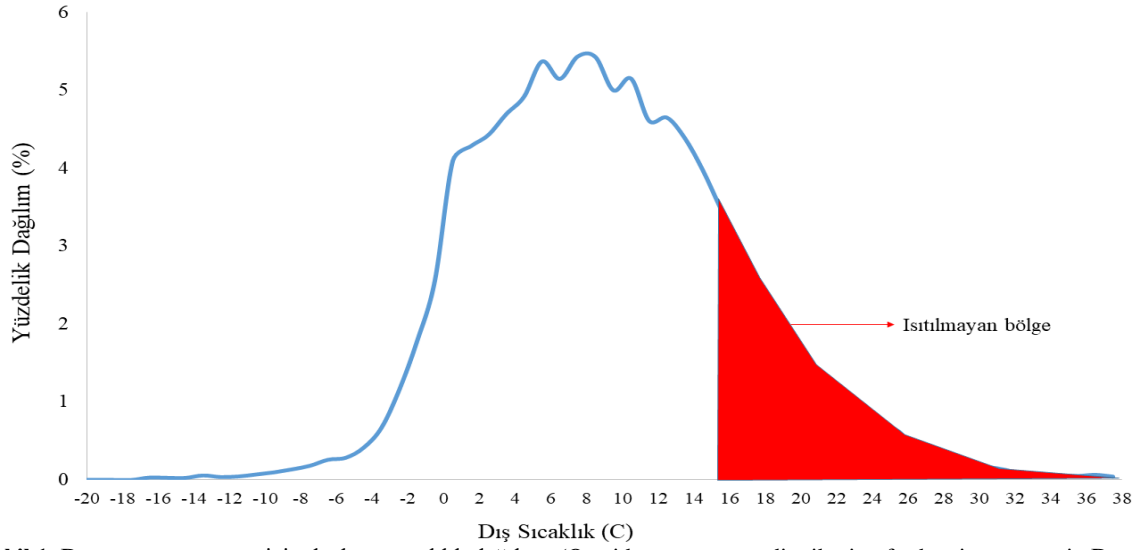
Referans Sıcaklık [0°C]	DÜZCE							Isıtma Derece-Saat
	Aylar							
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Ekim	Kasım	Aralık	Toplam
	Ayların toplam içindeki yüzdelik dağılımı [%]							
18	18,4	17,4	14,2	9,0	8,2	14,1	18,7	56506
19	18,1	17,2	14,2	9,3	8,6	14,2	18,5	61521
20	17,8	16,9	14,2	9,6	9,0	14,3	18,3	66610
21	17,5	16,7	14,1	9,9	9,3	14,4	18,1	71758
22	17,3	16,6	14,1	10,1	9,6	14,4	17,9	76958
23	17,1	16,4	14,1	10,3	9,9	14,5	17,7	82198
24	16,9	16,2	14,1	10,5	10,2	14,5	17,6	87469
25	16,7	16,1	14,1	10,7	10,4	14,5	17,5	92763
26	16,5	16,0	14,1	10,9	10,7	14,6	17,3	98076
27	16,4	15,9	14,1	11,0	10,9	14,6	17,2	103401
28	16,2	15,8	14,1	11,1	11,1	14,6	17,1	108734

2.1. Hesaplama Yöntemi ve Analiz

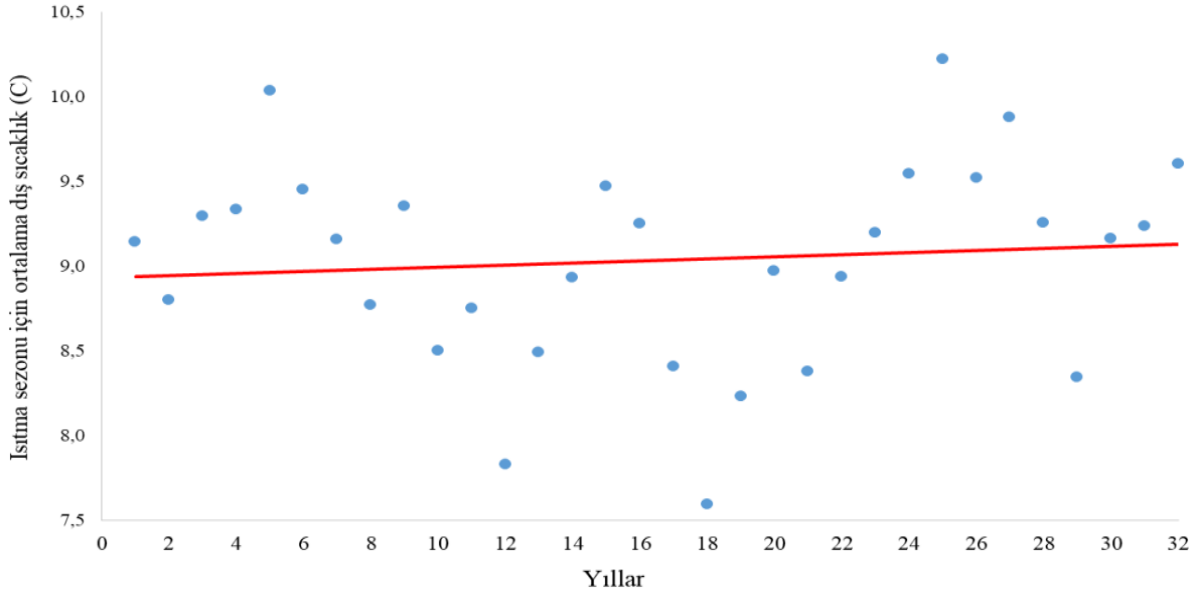
(Calculation Method and Analysis)

Bu çalışmada Düzce ili için Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilen son otuz iki yılın meteorolojik veri seti kullanılmıştır. Bu veri seti ile ısıtma sezonundaki her ay için otuz iki yıllık dış hava ortalama sıcaklık dağılımları bulunmuştur. Dış hava sıcaklık dağılımları baz alınarak visual basic tabanlı yazılımla sezondaki her ay için on bir farklı iç ortam referans sıcaklığına (18-28°C) göre Düzce ili ısıtma derece saat değerleri hesaplanarak Çizelge 1'de on bir

farklı iç ortam referans sıcaklığına (18-28°C) göre toplam sezonluk IDS değerleri ve sezondaki ayların IDS değerleri oransal olarak verilmiştir. Bu Çizelge değerlerindeki sezonluk IDS değerlerindeki değişim Şekil 3'te çubuk grafik olarak verilmiştir. Ayrıca bu yazılımla Şekil 1'deki ısıtma sezonundaki dış hava sıcaklık dağılımı, Şekil 2'de ısıtma sezonu için yıllara bağlı ortalama sıcaklık değişimi, Şekil 3'te ısıtma sezonundaki dış hava sıcaklığındaki değişim trendi ve Şekil 4'te dış hava sıcaklık değişim trendine bağlı olarak IDS değerindeki değişim trendi belirlenmiştir.



Şekil 1. Düzce ısıtma sezonu için dış hava sıcaklık dağılımı (Outside temperature distribution for heating season in Düzce)



Şekil 2. ısıtma sezonu için yıllara bağlı ortalama sıcaklık değişimi (Average temperature change over years for heating season)

2.1.1. Düzce için dış sıcaklık dağılım değerinin tespiti (Determination of outer temperature distribution value in Düzce)

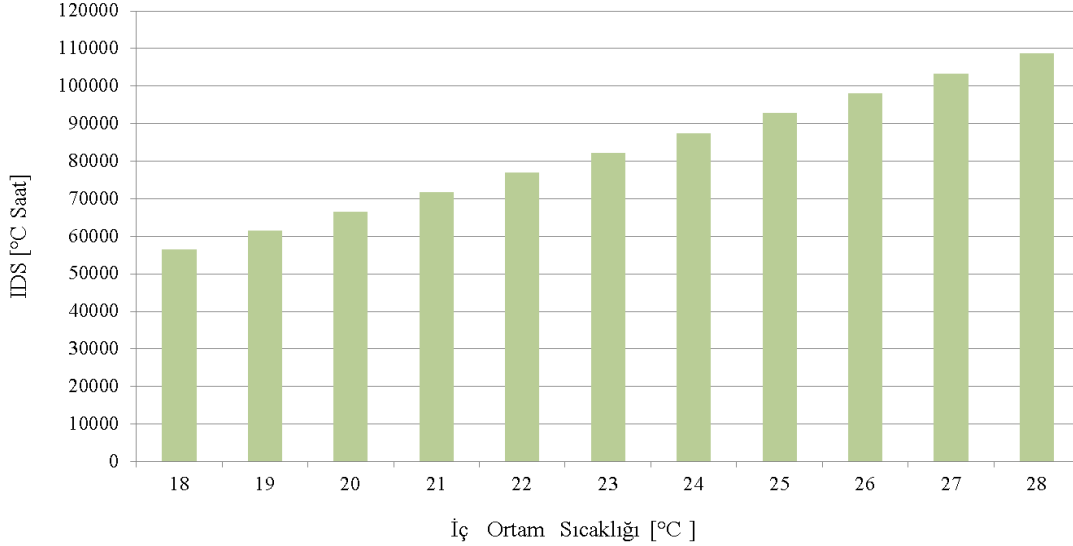
Düzce meteorolojik veri seti geliştirilen yazılıma aktarılarak ısıtma sezonu dış sıcaklık dağılımları her ay

için tespit edilmiştir. Düzce ilinde ısıtma sezonu Kasım ayında başlamakta Nisan ayı sonunda sonlanmaktadır. Sezonluk ortalama dış hava sıcaklık dağılımı Şekil 1'de verilmiştir.

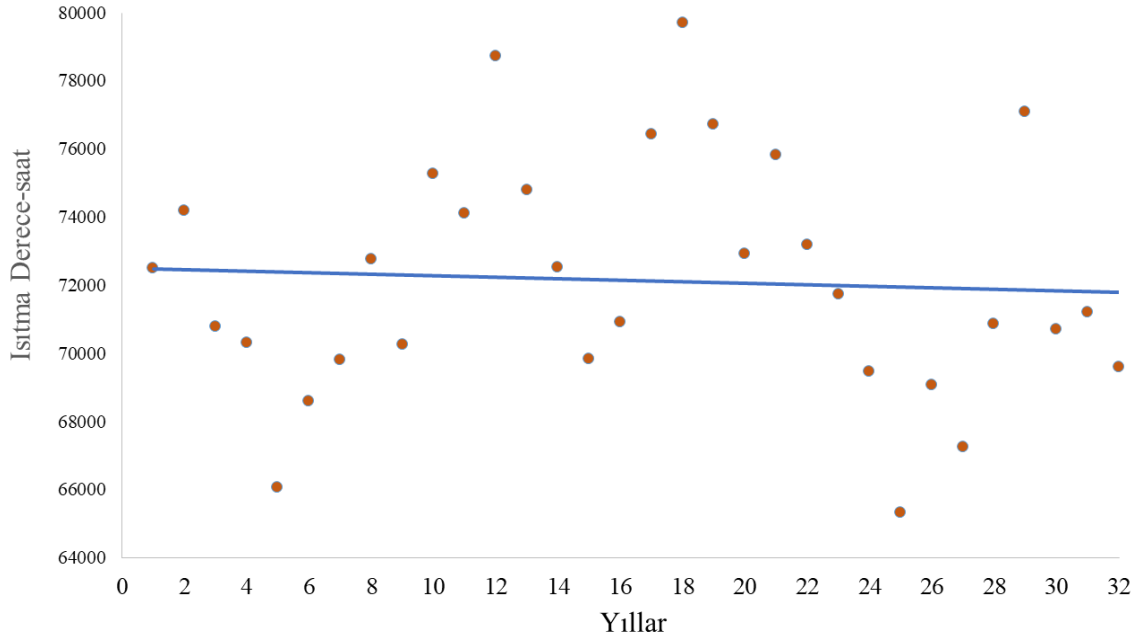
2.1.2. Düzce ısıtma sezonu için otuz iki yıllık ortalama sıcaklık değişimi (Thirty-two year average temperature change for the heating season in Düzce)

Otuz iki yıllık süreç göz önüne alındığında ısıtma sezonu için ortalama dış sıcaklıkta 0,5248°C mertebesinde bir sıcaklık artışı meydana gelmiştir. Isıtma sezonu için dış

sıcaklık 6,2°C'den 6,72°C'ye çıkmıştır. Dış sıcaklıktaki artışın bir neticesi olarak IDS değerlerinde bir azalma meydana gelmektedir. Şekil 2'de azalma eğilimi açık bir biçimde görülmektedir. IDS değerinin tespiti noktasında iç ortam referans sıcaklık 22,6°C alınmıştır. 32 yıllık süreçte IDS değerinde toplamda 2838 derece-saat bir azalma meydana gelmiştir. Bu azalma %3,2'ye tekabül etmektedir.



Şekil 3. Farklı iç ortam referans sıcaklığına göre IDS değerleri (IDS values according to different indoor reference temperature)



Şekil.4 İncelenen dönem için IDS değerindeki değişim (Change in value of IDS for the period analyzed)

3. DÜZCE IDS DEĞERLERİNİN ANALİZİ (ANALYSIS OF DÜZCE IDS VALUES)

Düzce meteorolojik veri seti ile yapılan analiz sonuçlarına göre IDS değerleri Çizelge 1'de verilmiştir. Çizelgede ısıtma sezonu (ekim, kasım, aralık, ocak, şubat, mart, nisan) ayları ve 11 farklı (18-28°C) iç ortam

referans sıcaklığına göre IDS değerleri hesaplanmıştır. Bu IDS değerlerinin Düzce'de yaşayanlar tarafından daha iyi anlaşılabilmesi için termodinamik Çizelgelere (Çizelge 2 ve Çizelge 3) ve Şekil 3'e dönüştürülmüştür. Çizelge 1 incelendiğinde on bir farklı (18-28°C) iç ortam referans sıcaklığı ve sezondaki her ay için IDS değerleri

ayrıntılı olarak görülmektedir.

Sezonluk IDS değerlerine göre, 11 farklı iç ortam referans sıcaklığı dikkate alınarak IDS değerlerindeki değişim Şekil 3'te gösterilmiştir. Bu şekilde 18-28 °C iç ortam referans sıcaklığındaki değişimin her $\pm 1^\circ\text{C}$ için yaklaşık 5000 DS değişim olduğu görülmektedir. 23-18°C iç ortam referans sıcaklıkları arasındaki oransal değişimin daha fazla olduğu dikkat çekmektedir. Bu durumun daha iyi anlaşılması için iç ortam sıcaklığındaki değişime bağlı olarak enerji ihtiyacındaki oransal değişim Çizelge 2'de verilmiştir.

3.1. Derece-Saat Değişim Trendinin Tespiti

(Identifying the Trend of Degree-Hour Change)

Düzce için 32 yıllık dış sıcaklık dağılımı incelenerek yıllara bağlı derece-saat değerlerindeki değişim trendi tespit edilmiştir. Isıtma sezonu iç dış sıcaklıktaki değişim yıllara bağlı olarak Şekil 4'te sunulmuştur.

Düzce için ısıtma dönemindeki ortalama dış sıcaklık değeri $8,93^\circ\text{C}$ 'den 32 yıllık süreç sonrasında $0,2^\circ\text{C}$ 'lik artışla $9,13^\circ\text{C}$ değerine ulaşmıştır. Düşük olsa da ısıtma dönemindeki dış sıcaklık değerinde bir artış meydana gelmiştir. Bu durum ısıtma sezonunda Düzce'nin $0,4357^\circ\text{C}$ küresel olarak ısındığının göstergesidir. Bu artışın etkisiyle IDS değerinde 695°-saat düşüş meydana gelmiştir. Şekil 4'te azalma eğilimi açık bir biçimde görülmektedir.

3.2. Farklı İç Ortam Sıcaklığının Enerji Talebine Etkisi (Effect of Different Indoor Temperature on Energy Demand)

Şekil 3'te onbir farklı iç ortam referans sıcaklığına göre

sütun ve satır rakamlarının kesiştiği yerin sıfır olduğu görülmektedir. 0,0 değerinin alt ve üst tarafına bakılarak enerji talebindeki oransal artış ve azalma net olarak görülmektedir. Bu Çizelgede RİOS'a göre, DİİOS yüksek seçildiğinde değişimin oransal olarak arttığı pozitif sayı olarak, RİOS'a göre, DİİOS düşük seçildiğinde ise değişimin oransal olarak azaldığı negatif sayı olarak görülmektedir. Örnek olarak RİOS 23°C iken DİİOS 27°C 'ye çıkarılması istendiğinde enerji talebinin %25,8'lik arttığı, RİOS 22°C iken 20°C 'ye düşürüldüğünde ise enerji talebinin %19'luk azalacağı görülmektedir.

Çizelge 2'de oransal olarak verilen enerji değişiminin daha net anlaşılabilmesi için değişim visual basic tabanlı yazılımla sayısal olarak düzenlenip Çizelge 3'te verilmiştir. Çizelge 3 incelendiğinde; RİOS'a göre DİİOS büyük seçilirse enerji talebinin arttığı, RİOS'na göre DİİOS küçük seçilirse değişimin sayı olarak azaldığı görülmektedir. Misal olarak Çizelge 3'te görüleceği üzere RİOS 22°C iken DİİOS 25°C 'ye çıkarılması istendiğinde IDS değeri 26443 DS artmakta, RİOS 22°C iken DİİOS 20°C 'ye düşürülmesi istendiğinde IDS değeri 10348 DS azalmaktadır.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

(CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS)

Bu çalışma 11 farklı iç ortam sıcaklığına göre ısıtma amaçlı enerji ihtiyaçlarını Düzce için tahmin eden ilk çalışma olup literatüre kazandırılmıştır. Çalışmada bu ilin IDS değerleri, ısıtma sezonundaki ayların dış hava sıcaklık dağılımlarına göre hesaplanarak son derece

Çizelge 2. RİOS'a göre IDS değerinin yüzde olarak değişimi [10] (Percentage change in IDS value according to RIOS [10])

DİİOS [°C]	DÜZCE											IDS [°C saat]
	RİOS [°C]											
	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	
18	0,0	-8,2	-15,2	-21,3	-26,6	-31,3	-35,4	-39,1	-42,4	-45,4	-48,0	56506
19	8,9	0,0	-7,6	-14,3	-20,1	-25,2	-29,7	-33,7	-37,3	-40,5	-43,4	61521
20	17,9	8,3	0,0	-7,2	-13,4	-19,0	-23,8	-28,2	-32,1	-35,6	-38,7	66610
21	27,0	16,6	7,7	0,0	-6,8	-12,7	-18,0	-22,6	-26,8	-30,6	-34,0	71758
22	36,2	25,1	15,5	7,2	0,0	-6,4	-12,0	-17,0	-21,5	-25,6	-29,2	76958
23	45,5	33,6	23,4	14,5	6,8	0,0	-6,0	-11,4	-16,2	-20,5	-24,4	82198
24	54,8	42,2	31,3	21,9	13,7	6,4	0,0	-5,7	-10,8	-15,4	-19,6	87469
25	64,2	50,8	39,3	29,3	20,5	12,9	6,1	0,0	-5,4	-10,3	-14,7	92763
26	73,6	59,4	47,2	36,7	27,4	19,3	12,1	5,7	0,0	-5,1	-9,8	98076
27	83,0	68,1	55,2	44,1	34,4	25,8	18,2	11,5	5,4	0,0	-4,9	103401
28	92,4	76,7	63,2	51,5	41,3	32,3	24,3	17,2	10,9	5,2	0,0	108734

verilen IDS değerleri visual basic tabanlı yazılımla e iç ortam sıcaklığındaki $\pm 1^\circ\text{C}$ farkın ısıtma enerji talebindeki oransal değişim hesaplanmıştır. Yazılım sonuçları Çizelge 2'de verilmiştir. Bu Çizelgenin 1 inci sütununda değiştirilmesi istenen iç ortam sıcaklığı (DİİOS), iç sütunlarda referans alınacak iç ortam sıcaklığı (RİOS) son sütunda ise IDS değerleri gösterilmiştir. Çizelge 2'de DİİOS ile RİOS'un aynı

kullanımı basit Çizelgeler haline getirilmiştir. Ayrıca ısıtma sistemlerinde iç ortam sıcaklığındaki 1°C değişime bağlı olarak enerji tüketimi; oransal ve sayısal değişimi araştırılıp termodinamik Çizelgeler gibi farklı bir yaklaşım getirilerek ısıtma amaçlı iç ortam sıcaklığının enerji tüketimi üzerindeki etkisi ayrıntılı olarak açıklanmıştır

Çizelge 3. RİOS'a göre IDS değerinin sayısal değişimi (Numerical change of IDS value according to RIS)

DÜZCE												
RİOS [°C]	DİİOS [°C]											IDS [°C saat]
	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	
18	0	5015	10104	15252	20452	25692	30963	36257	41570	46895	52228	56506
19	-5015	0	5089	10237	15437	20677	25948	31242	36555	41880	47213	61521
20	-10104	-5089	0	5148	10348	15588	20859	26153	31466	36791	42124	66610
21	-15252	-10237	-5148	0	5200	10440	15711	21005	26318	31643	36976	71758
22	-20452	-15437	-10348	-5200	0	5240	10511	15805	21118	26443	31776	76958
23	-25692	-20677	-15588	-10440	-5240	0	5271	10565	15878	21203	26536	82198
24	-30963	-25948	-20859	-15711	-10511	-5271	0	5294	10607	15932	21265	87469
25	-36257	-31242	-26153	-21005	-15805	-10565	-5294	0	5313	10638	15971	92763
26	-41570	-36555	-31466	-26318	-21118	-15878	-10607	-5313	0	5325	10658	98076
27	-46895	-41880	-36791	-31643	-26443	-21203	-15932	-10638	-5325	0	5333	103401
28	-52228	-47213	-42124	-36976	-31776	-26536	-21265	-15971	-10658	-5333	0	108734

. Düzce için ısıtma dönemindeki ortalama dış hava sıcaklık değeri 32 yıllık süreç sonrasında 0,2°C artmıştır. Bu durum ısıtma sezonunda Düzcenin 0,2°C küresel olarak ısındığının göstergesidir. Bu artışın etkisiyle IDS değerinde 695 derece saat bir düşme meydana gelmiştir.

Son otuziki yıllık meteorolojik verilerin ayrıntılı olarak analiz edilmesi sonucunda Düzce ilinin dış hava sıcaklığının artma eğiliminde olduğu, bu eğilime bağlı olarak IDS değerinde azalma olduğu ortaya çıkmıştır. Çalışma sonuçları göstermektedirki TS 825' ,deki (binalarda ısı yalıtım kuralları) dış hava sıcaklık dağılımları acilen her il için güncellenerek ısıtma ve soğutma uygulamalarında kapasite hesaplarında kullanılan dış hava sıcaklıkları tespit edilmelidir. Şayet bu güncelleme yapılmazsa küresel olarak ısınan illerde ısıtma sistemleri donanımlarının (kazan, pompa, ısıtıcı, boru çapı vb) büyük seçilmesine, işletme ve ilk yatırım giderlerinin artmasına neden olacaktır. Soğutma uygulamalarında ise soğutma döneminde dış hava sıcaklığının yükselmesi soğutma ekipmanlarının yetersiz kalmasına ve konfor şartlarında problem oluşturmasına neden olacaktır.

Bu yaklaşımın Düzce ısıtma ve soğutma sistemleri kullanıcıları, sanayicileri, ve akademisyenler için pratik bir kaynak olacağı düşünülmektedir.

SİMGELER VE KISALTMALAR (NOMENCLATURE)

DS	Derece saat [°C-saat]
IDS	Isıtma derece saat [°C-saat]
K_{top}	Binanın toplam ısı transfer katsayısı [W/°C]
Q_i	Isıtma enerjisi gereksinimi [kWh]
Q_s	Soğutma enerjisi gereksinimi [kWh]
SDS	Soğutma derece saat [°C-saat]
T_b	Saatlik iç ortam sıcaklığı [°C]
T_d	Saatlik dış ortam sıcaklığı [°C]

η	Binada kullanılan ısıtma sistemi verimi [%]
DİİOS	Değiştirilmesi istenen iç ortam sıcaklığı [°C]
RİOS	Referans alınacak iç ortam sıcaklığı [°C]

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- http://www.haberbilgi.com/bilim/cevre/kuresel_isinma03.html
- Nakicenovic N., Grübler A., McDonald A. (Eds.). "Global Energy Perspectives", Cambridge University. 299, (1998).
- Coşkun C., Oktay Z., Ertürk M. "Konutların ısıtma sezonunda seçilen iç ortama sıcaklık parameteresinin enerji-maliyet-çevre açısından değerlendirilmesi ve bir uygulama örneği", *IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir, 529-538, (2009).
- Durmaz A., Kadioğlu M., "Heating energy requirements and fuel consumptions in the biggest city centers of Turkey", *Energy Conversion and Management*, 44(7): 1177-1192, (2003).
- Bulut H., Büyükalaca O., Yılmaz T., Aktacir M.A., "GAP bölgesi için detaylı iklim verileri", *Harran Üniversitesi GAP IV. Mühendislik Kongresi Bildiriler Kitabı*, Şanlıurfa, 183-191, (2002).
- Büyükalaca O., Bulut H., Yılmaz T., "Analysis of variable-base heating and cooling degree-days for Turkey", *Applied Energy*, 69(4): 269-283, (2001).
- Papakostas K., Kyriakis N., "Heating and cooling degree-hours for Athens and Thessaloniki, Greece", *Renewable Energy*, 30: 1873-1880, (2005).
- Büyükalaca O., Bulut H., "Detailed weather data for the provinces covered by the Southeastern Anatolia Project (GAP) of Turkey", *Applied Energy*, 77: 187-204, (2003).
- Ertürk M., "Isıtma ve soğutma derece saat hesaplamalarında farklı bir yöntemin araştırılması ve geliştirilmesi", *Doktora Tezi*, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği, Balıkesir, (2012).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

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



Kayın (*fagus orientalis lipsky*) odununun yüzey özelliklerine nano-grafen katkılı su bazlı verniklerin etkisi

*Effect of water based varnishes added nano-graphene on the surface properties of beech (*fagus orientalis lipsky*) wood*

Yazar(lar) (Author(s)): Hüseyin PELİT¹, Mustafa KORKMAZ²

ORCID¹: 0000-0002-5706-473X

ORCID²: 0000-0001-5595-2154

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Pelit H. ve Korkmaz M., “Kayın (*Fagus orientalis Lipsky*) odununun yüzey özelliklerine nano-grafen katkılı su bazlı verniklerin etkisi”, *Politeknik Dergisi*, 22(1): 203-212, (2019).

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

DOI: 10.2339/politeknik.385436

Kayın (*Fagus orientalis* Lipsky) Odununun Yüzey Özelliklerine Nano-Grafen Katkılı Su Bazlı Verniklerin Etkisi

Araştırma Makalesi / Research Article

Hüseyin PELİT*, Mustafa KORKMAZ

Teknoloji Fakültesi, Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği Bölümü, Düzce Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 17.11.2017 ; Kabul/Accepted : 10.12.2017)

ÖZ

Bu çalışmada, nano-grafen (NG) ile modifiye edilmiş su bazlı vernik uygulanan kayın (*Fagus orientalis* Lipsky) odunu örneklerinin yüzey parlaklık, pürüzlülük, sertlik ve renk değişimi ile vernik yapışma direnci özellikleri araştırılmıştır. Su bazlı vernik içerisine, ağırlıkça %0.25, %0.50 ve %1 NG eklenmiş ve ardından hazırlanan vernik çözeltisi örnek yüzeylerine uygulanmıştır. Araştırma sonuçlarına göre, vernik içerisine eklenen NG miktarındaki artışa bağlı olarak örneklerin yüzey parlaklık değerleri azalmış, pürüzlülüğü ise bir miktar artmıştır. Diğer taraftan, NG miktarındaki artış sonucu kayın örneklerdeki vernik yapışma direncinde %25'e kadar önemli artışlar sağlanmıştır. Vernik uygulamalarından sonra örneklerin yüzey sertlik değeri artmıştır. Ancak, sertlik artışında NG'in etkisi öngörülenin aksine önemsiz bulunmuştur. Ayrıca, NG katkısı ve miktarındaki artış sonucu örneklerin L*, a* ve b* renk değerleri önemli oranda azalmıştır. Örnekler koyulaşmış ve yeşil-mavi renk eğilimi artmıştır. Sonuç olarak, su bazlı vernikte yüksek yapışma direncinin sağlanmasında ve ağaç malzemenin koyu tonlarda renklendirilmesinde NG'in değerlendirilmesi önerilebilir.

Anahtar Kelimeler: Yüzey özellikleri, ağaç malzeme, vernik, grafen.

Effect of Water Based Varnishes Added Nano-Graphene on the Surface Properties of Beech (*Fagus orientalis* Lipsky) Wood

ABSTRACT

In this study, surface glossiness, roughness, hardness, color change, and varnish adhesion resistance properties of beech (*Fagus orientalis* Lipsky) wood samples coated with nano-graphene (NG) modified water based varnishes were investigated. 0.25%, 0.50% and 1% by weight of NG were added to the water-based varnish and the prepared solution was applied to the samples surfaces. According to the results of the research, the surface glossiness of the samples decreased and the roughness values increased slightly due to the increase of NG in the varnish. On the other hand, the increase in the amount of NG provided significant increases in varnish adhesion resistance up to 25%. The surface hardness value of beech samples increased up to 13% after varnishing. However in contrast to the predicted, effect of NG on hardness values was found to be insignificant. On the other hand, the values of L*, a* and b* decreased significantly with the increase of NG ratio. The samples were darkened and the green-blue color tendency of the samples increased. As a result, it may be recommended that NG addition can be prefer in the water based varnishes to provide high adhesion strength and in the surface darkening process.

Keywords: Surface properties, wood material, varnish, graphene.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Mobilya ve dekorasyon endüstrisinde en çok tercih edilen malzemelerin başında ahşap ve ahşap esaslı kompozitler gelmektedir. Ahşap, doğadan doğrudan temin edilebilen doğal ve organik bir malzemedir. Bu özelliği onun bazı dış faktörler tarafından kolayca deforme edilebilmesine neden olmaktadır. Ağaç malzeme oluşuran lignin ve selüloz gibi polimer yapılar, diğer organik polimer yapılar benzer şekilde ultraviyole ışınlar karşı hassastır. Ağaç malzemenin

korumasız şekilde dış ortam koşullarına maruz kalması sonucu neredeyse tüm fiziksel ve mekanik özelliklerinde negatif değişimler ortaya çıkmaktadır.

Ahşap ve ahşap esaslı ürünlere koruma amaçlı işlemlerin yapılması uzun süreli verimli kullanım için kaçınılmaz bir durumdur. Özellikle ahşap malzemelerde bu işlemler emprenye etme, vernikleme ve boyama gibi süreçleri kapsamaktadır [1]. Renk ve parlaklık gibi özellikler bakımından oldukça geniş bir yelpazede seçme imkânı sunan boya ve vernikler, gelişen teknolojiyle beraber koruyuculuk, estetik ve hijyen açılarından da gün geçtikçe gelişmektedir.

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

20. yüzyılın başlarından itibaren boya ve vernik endüstrisinde kullanımı önemli oranda artan solvent bazlı sistemler, içerdikleri yüksek uçucu organik bileşikler (Volatile Organic Compounds/VOC) ve bu bileşiklerin gün geçtikçe atmosfere daha çok salınması nedeniyle insan sağlığına ve doğaya ciddi zararlar vermektedir. 1950'li yıllardan beri yapılan çalışmalarda bu salınımları azaltmaya yönelik belirli kararlar alınarak bazı düzenlemeler yapılmaya çalışılmıştır.

1955 yılında Birleşik Devletler'de yerel çapta, hava kirliliğini önemli bir problem olarak kabul eden Temiz Hava Anlaşması (Clean Air Act) ile yerel yönetimlerde atmosfere zarar veren bazı uçucu organik bileşiklerin kullanımları sınırlandırılmış veya tamamen ortadan kaldırılmıştır [2]. Takip eden dönemde, farklı ülkelerde de benzer girişimler görülmüş ve 1963, 1970, 1977 ve 1990 yıllarında Temiz Hava Anlaşması'nda önemli değişiklikler gerçekleştirilerek kapsamı genişletilmiştir. Türkiye'nin de dahil olduğu bir anlaşma olan Kyoto Protokolü ile, 1997 yılında dünyanın birçok ülkesinde atmosfere zarar veren uçucu gazların kullanımı sınırlandırılmıştır. Bu anlaşma uluslararası ölçekte katılım bulmuş en önemli anlaşma olarak kabul edilmektedir [3].

Su çözücülü sistemler, içerdikleri maddeler bakımından solvent çözücülü üst yüzey sistemlerine kıyasla çok daha az oranda uçucu organik bileşik içermektedir. Bu durum, özellikle gelişen teknoloji ve toplumsal bilinçlenme ile gelecekte su çözücülü boya ve verniklerin daha geniş kullanım alanı bulacağına en önemli göstergelerinden biridir [4, 5]. Su bazlı teknolojisindeki "polimer heterojenitesi kontrolü", bu teknolojinin daha yaygın uygulanmasını sağlamış hemen hemen tüm sıvı yüzey kaplama sınıflandırmalarında solvent bazlı kaplamaların yerine geçmesinde ve boya vernik endüstrisindeki sorunları çözmede önemli bir araç olmuştur. Ayrıca bu teknolojiyi kullanan tüm çalışanlar için çok gelişmiş güvenlik ve çevre profilini, düşük sağlık etkisini beraberinde getirmiştir [6, 7]. Ancak, su bazlı verniklerin çeşitli direnç özelliklerinin (sertlik, adezyon, aşınma vb.) solvent bazlı verniklerden daha düşük olduğu önceki çalışma sonuçlarında vurgulanmıştır [8-13].

Oluşturdukları katmanların fiziksel, mekanik ve teknolojik özelliklerini geliştirmek için vernik ve boyalara çeşitli modifikasyonlar yapılması alışlageldik bir durumdur. Bu konularda yapılmış ve literatüre geçmiş pek çok çalışma bulunmaktadır. Vardanyan ve ark. (2015) çalışmasında, çeşitli ahşap boyalarının içerisine nano boyuttaki selüloz kristallerini eklenmiş, daha sonra ise yaşlandırma sonrası renk değişimi ve yüzey pürüzlülük özellikleri incelenmiştir. Sonuç olarak, nano boyuttaki selüloz kristallerinin yaşlandırma sonrasında ortaya çıkan renk değişimi değerlerini olumlu yönde etkilediği ifade edilmiştir [1].

Atar ve Peker (2010) çalışmasında, bor bileşikleri ile emprenye edilen farklı ağaç türlerine uygulanan verniklerde yapışma direnci özellikleri test edilmiştir. Sonuç olarak, emprenye maddesi çözeltisi artıkça

yapışma direnci özelliklerinde de artış bulunduğunu belirtilmiştir [14]. Peker (2015) çalışmasında, atık çay ekstraktları su bazlı verniklerle karıştırılarak verniklerin renk değişimleri incelenmiş ve sonuç olarak bu ekstraktların boya içerisinde tutunmalarının oldukça iyi özellikler gösterdiği ve suda çözünen bu ekstraktların çeşitli kahverengi tonları elde etmek için kullanılabilceği rapor edilmiştir [15]. Keskin ve Atar (2008) çalışmasında, çeşitli kimyasallarla emprenye edilmiş ağaç malzemelere farklı vernikler uygulanarak bu verniklerin parlaklık değerlerine etkileri araştırılmıştır. Sonuç olarak, vernikleme öncesi emprenye işleminin parlaklık değeri üzerinde olumlu etkilerinin olduğu vurgulanmıştır [16]. Budakçı ve ark. (2009) çalışmasında, su bazlı vernik içerisine katılan borik asitin verniğin sertlik değerine etkisi araştırılmıştır. Çalışmanın sonucunda, vernik içerisindeki borik asit konsantrasyonunun artması ile doğru orantılı olarak sertlik değerinin arttığı belirtilmiştir.

Terminolojik olarak ismi "Graphite" ve "ene" kelimelerinin bir araya gelmesiyle oluşan Grafen, iki boyutlu (2D), hegzagonal biçimde sıkıca örülmüş karbon atomlarının düz tabakalar şeklinde bir araya gelmesiyle oluşur. Grafen, grafit materyallerin ve diğer karbon temelli yapıların ana yapıtaşdır [18]. Bilinen ilk 2 boyutlu materyal olan grafen aynı zamanda en ince, boyutlarına oranla en güçlü ve sağlam karbon yapısıdır. Her geçen gün daha fazla kullanım alanı bulan grafenin, gelişmiş fiziksel ve kimyasal özellikleri ile önümüzdeki dönemde de elektronik, tıp, inşaat ve havacılık gibi alanlarda büyük yeniliklere yol açması beklenmektedir [19].

Vernik katmanlarında katkı maddesi olarak grafen kullanımı konusunda literatürde çok az çalışma bulunmaktadır. Nuraje ve ark. (2013) çalışmasında, poliüretan verniğe ilave edilen grafen'in, moleküler yapısı gereği yansıyan ışığı emdiği ve verniğin UV ışınlarına ve foto-korozyona karşı direncini belirgin bir şekilde arttırdığı bildirilmiştir [20]. Başka bir çalışmada, poliüretan reçine esaslı su bazlı verniğe eklenen grafen oksit katman sertliğini artırıcı özellik gösterdiği belirtilmiştir [21]. Ayrıca literatürde, bazı vernik türlerinde kullanılan nano boyuttaki partiküllerin hem mekanik yönden hem de hava koşullarına daha dayanıklı vernik katmanları elde etmek için en umut verici yöntemlerden biri olduğu belirtilmiştir [22, 23]. Bahsedilen literatür bilgileri doğrultusunda, grafen'in olumlu teknik özelliklerinin yanı sıra nano boyutlu bir malzeme olması nedeniyle bu çalışmanın önem arz ettiği düşünülmektedir. Yapılan bu çalışmada; kayın (*Fagus orientalis* Lipsky) odunu örneklerinin yüzey parlaklık, pürüzlülük, sertlik ve renk değerleri ile vernik yapışma direnci özelliklerine su bazlı vernik içerisine farklı oranlarda (%0.25, %0.50 ve %1) eklenen nano boyuttaki grafen etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL AND METHOD)

2.1. Ağaç Malzeme (Wood Material)

Çalışmada, masif mobilya üretiminde sıklıkla tercih edilen Doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky) kullanılmıştır. Örnekler, tesadüfi olarak seçilen birinci sınıf kerestenin diri odun kısmından düzgün lifli, ardaksız, budaksız, renk ve yoğunluk farkı olmayan bölgelerinden, yıllık halkalar yüzeye dik gelecek şekilde TS 2470 esaslarına uyularak hazırlanmıştır [24]. 550×110×12 mm taslak ölçülerinde kesilen örneklerin hava kurusu rutubete gelmesi sağlandıktan sonra bu örnekler sıcaklığı 20±2 °C ve bağıl nemi %65±3 olan iklimlendirme dolabında TS 2471 esaslarına uyularak değişmez ağırlığa ulaşıncaya kadar bekletilmiştir [25]. Ardından örnekler 100×100×10 mm (boyuna yön × radyal yön × teğet yön) ölçülerinde ve her bir test değişkeni için 6 tekrarlı ($n=6$) olacak sayıda kesilmiştir. Daha sonra örnek yüzeyleri sırası ile 150 ve 180 kum zımpara ile zımparalanmış ve basınçlı hava ile tozları alınarak vernikleme hazır hale getirilmiştir.

2.2. Nano-Grafen Katkılı Vernik (The Varnish Added Nano-Graphene)

Deney örneklerinin verniklenmesinde parlak özellikteki, tek bileşenli akrilik kopolimer reçine esaslı su bazlı ahşap verniği kullanılmıştır. Su bazlı vernik özelliklerini modifiye etmek amacı ile içerisine ağırlıkça %0.25, %0.50 ve %1 nano-grafen (NG) eklenmiştir. Kullanılan NG'ye ait bazı özellikler Çizelge 1'de verilmiştir. NG'in vernik içerisinde eşit dağılımını sağlamak ve homojen bir çözelti elde etmek için vernik sıvısı manyetik karıştırıcı ile 30 dakika süresince karıştırılmıştır. Elde edilen vernik çözeltilerine ait bazı teknik özellikler Çizelge 2'de verilmiştir.

miktarı 0.01 g duyarlıklı analitik terazi ile tartılarak belirlenmiştir. Vernik katmanlarında tam kurumunun gerçekleşmesi için deney örnekleri yer düzlemine paralel konumda ve oda sıcaklığında üç hafta süre ile bekletilmiştir.

Vernik çözeltilerinin katı madde miktarının belirlenmesinde TS EN ISO 3251 esaslarına uyulmuştur [27]. Ayrıca, örnek yüzeylerinde tam kuruması gerçekleşen verniklerin kuru film (katman) kalınlıkları, ASTM-D 6132-13 ve TS EN ISO 2808 esaslarına uyularak, yüksek frekanslı ses dalgaları (ultrasonik) ile tahribatsız ölçüm yapabilen ($\pm 2 \mu\text{m} + \%3$ hassasiyetinde) *PosiTector-200* isimli cihaz ile belirlenmiştir [28, 29].

Deneyler öncesinde örnekler ASTM-D 3924 esaslarına göre 23±2°C sıcaklık ve %50±5 bağıl nem şartlarındaki iklimlendirme dolabında 16 saat süre ile bekletilmiştir [30].

2.3. Yüzey Parlaklığının Belirlenmesi (Determination of Surface Brightness)

Yüzey parlaklık değerleri TS EN ISO 2813'e uyularak parlaklık ölçer (Gloss-meter) ile belirlenmiştir [31]. Vernikleme öncesi ve sonrası her bir örnek yüzeyinde iki ölçüm liflere dik ve iki ölçümde liflere paralel olacak şekilde alınmış ve aritmetik ortalamaları tek değer olarak kaydedilmiştir.

Boya ve vernik katmanlarının parlaklığı tespit edilirken 20° mat katmanların, 60° hem mat hem de parlak katmanların, 85° ise çok parlak katmanların yüzey parlaklığını belirlemek için kullanılmaktadır [32]. Çalışmada, 60±2°de ölçüm yapan parlaklık ölçüm cihazı kullanılmıştır. Cihazın her bir işlem grubu ölçümünden önce iyi cilalanmış, düzgün yüzeyli, kırılma indisi 1.567 olan ve parlaklığı her geometri için 100 olarak belirlenmiş siyah cam ile kalibrasyonu yapılmıştır.

Çizelge 1. Nano-grafen özellikleri (Properties of nano-graphene)

Görünüm	Saflık (%)	Yoğunluk (g/cc)	Çap (μm)	Kalınlık (nm)	Spesifik yüzey alanı (m^2/g)
Siyah	99.5	0.2-0.4	1.5	3	750

Çizelge 2. Vernik özellikleri (Varnish properties)

Vernik tipi	pH derecesi	Yoğunluk (g/cm^3)	Uygulama viskozitesi (sn/DIN Cup 4mm/20 °C)	Uygulanacak vernik miktarı (g/m^2)	Katı madde miktarı (%)	Kuru film kalınlığı (μm)
SB	8.1	1.02	18	80±3	37.75	88.7
SB + %0.25 NG	8.1	1.02	18	80±3	40.55	89.6
SB + %0.50 NG	8.0	1.01	18	80±3	40.30	90.5
SB + %1 NG	8.0	0.99	18	80±3	39.70	89.8

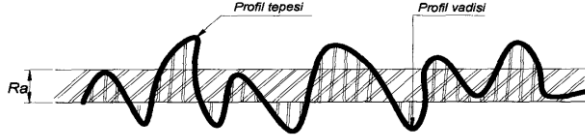
SB: Su bazlı vernik; NG: Nano-grafen

Deney örneklerinin verniklenmesi, vernik üreticisi firmanın önerileri doğrultusunda ve ASTM-D 3023 standardına uygun olarak yapılmıştır [26]. Vernik uygulamaları yumuşak kıllı bir fırça ile 1 dolgu katı ve 2 son kat şeklinde gerçekleştirilmiştir. Katlar arasında ikişer saat beklenmiş ve 280 kum zımpara ile örnek yüzeyleri hafifçe zımparalanmıştır. Uygulanacak vernik

2.4. Yüzey Pürüzlülüğünün Belirlenmesi (Determination of Surface Roughness)

Pürüzlülük ölçümleri TS 2495 EN ISO 3274 ve TS 6212 EN ISO 4288 esaslarına uyularak, ardışık profil değişikliklerini ölçebilen TIME TR-200 dokunmalı (iğneli) yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı ile yapılmıştır [33, 34]. Pürüzlülük ölçüm cihazı, tarama iğnesinin 5 μm

çaplı elmas ucunu örnek yüzeyinde aşağıya-yukarıya hareket ettirerek yüzeydeki girinti ve çıkıntıların profilini çıkarmak suretiyle ölçüm yapmaktadır. Profil girintileri (vadi) ve çıkıntıları (tepe) arasında bulunan merkez çizgisini ortalama pürüzlülük değeri (R_a) olarak göstermektedir (Şekil 1). Bu çalışmada yüzey pürüzlülük değerleri R_a parametresi esasına göre belirlenmiştir.



Şekil 1. Tarama iğnesi ile belirlenen yüzey profili (Surface profile determined by the scanning needle) [35]

Pürüzlülük ölçüm cihazı 2,5 mm ölçme adımı ve 5 ölçme sayısına ayarlandıktan sonra, ölçümler vernikleme öncesi ve sonrasında her örneğin iki ayrı noktasında liflere dik yönde yapılmış ve aritmetik ortalamaları tek değer olarak kaydedilmiştir. Ölçümlerde hassasiyetin sağlanması için her bir işlem grubu ölçümlerinden önce, cihaza ait kalibrasyon levhasında kontrol ölçümleri yapılmıştır.

2.5. Yüzey Sertliğinin Belirlenmesi (Determination of Surface Hardness)

Yüzey sertlikleri, TS EN ISO 1522 standardına uyularak pandüllü sertlik ölçme aleti ile Köning ölçme yöntemine göre belirlenmiştir [36]. Ölçme işlemi, 63 ± 3.3 HRC sertliğinde ve 5 ± 0.0005 mm çapında iki bilye ile 6° den 3° 'ye kadar olan salınımların sayılması şeklinde yapılmıştır. Salınım sayısının fazla olduğu yüzeyler sert, az olduğu yüzeyler ise daha düşük sertliktedir [32]. Her bir örnek yüzeyinde ikişer ölçüm alınmış ve aritmetik ortalamaları tek değer olarak kaydedilmiştir. Ölçme aleti her bir grubun ölçümünden önce, kalibrasyon camı kullanılarak 40 saniyede 100 salınım verecek şekilde kalibre edilmiştir.

2.6. Yapışma (Adezyon) Direncinin Belirlenmesi (Determination of Varnish Adhesion Resistance)

Vernik katmanının yüzeye yapışma direnci, ASTM D4541 standardına uyularak UTEST üniversal test cihazı ile belirlenmiştir [37]. Çapı 20 mm olan çelik deney silindirleri kalıp yardımı ile oda sıcaklığında (20°C) örnek yüzeylerine yapıştırılmıştır. Bu durumdaki örnekler 72 saat süre ile bekletilmiştir. Yapıştırma işlemlerinde, 150 ± 10 g/m² hesabı ile çift bileşenli epoksi reçineli koruyucu katmanlar üzerinde çözücü etkisi olmayan yapıştırıcı kullanılmıştır. Kopmanın vernik katmanından gerçekleşmesini sağlamak için çelik silindirlerin etrafındaki vernik katmanı bir aparat ile kesilmiştir. Daha sonra, üniversal test cihazının çekme hızı 5 mm/dk'ya ayarlandıktan sonra testler gerçekleştirilmiş ve vernik yapışma (adezyon) direnci (X) Eşitlik 1'e göre hesaplanmıştır.

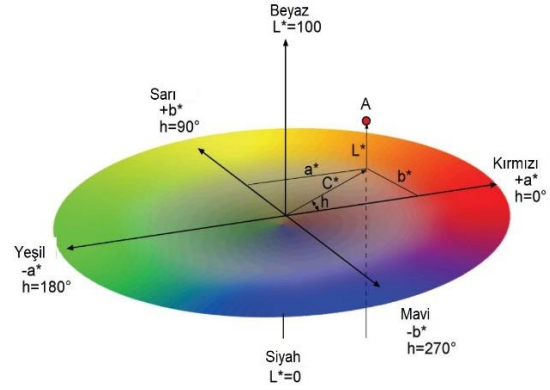
$$X (MPa) = 4F/\pi d^2 \quad (1)$$

Burada; F : kopma anındaki kuvveti (Newton), d : çelik silindirin çapını (mm) ifade etmektedir. Her bir örnek

yüzeyinde 2 adet çekme testi yapılmış ve aritmetik ortalamaları tek değer olarak alınmıştır.

2.7. Yüzey Renk Değişiminin Belirlenmesi (Determination of Surface Color Change)

Yüzey renk değerleri ASTM D2244 standardına uyularak *BYK-Gardner Spectrophotometer* renk ölçüm cihazı ile Şekil 2'de gösterilen CIEL*a*b* renk koordinat sistemi esasına göre belirlenmiştir [38]. Bu sistemde, L^* siyah-beyaz ekseninde (siyah için $L^*=0$, beyaz için $L^*=100$), a^* kırmızı-yeşil ekseninde (pozitif değeri kırmızı, negatif değeri yeşil), b^* ise sarı-mavi ekseninde (pozitif değeri sarı, negatif değeri mavi) yer almaktadır [39].



Şekil 2. Üç boyutlu CIEL*a*b* renk koordinat sistemi (Three dimensional CIEL*a*b* color coordinate system) [40]

Çalışmada, L^* , a^* ve b^* renk parametreleri birbirinden bağımsız olarak incelenmiştir. Ayrıca, L^* , a^* ve b^* parametrelerinin vernik uygulamalarından önceki ve sonraki değerleri arasındaki farkı ifade eden sırası ile ΔL^* , Δa^* ve Δb^* aşağıdaki eşitlikler (Eşitlik 2, 3 ve 4) yardımı ile belirlenmiştir. Vernik uygulamalarından sonra örnek yüzeylerinde meydana gelen toplam renk değişimi/farkı (ΔE^*) ise Eşitlik 5 kullanılarak belirlenmiştir.

$$\Delta L^* = L^*_v - L^*_k \quad (2)$$

$$\Delta a^* = a^*_v - a^*_k \quad (3)$$

$$\Delta b^* = b^*_v - b^*_k \quad (4)$$

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (5)$$

Burada, ΔL^* rengin açıklık veya koyuluk değerindeki değişimi ($L^*_{\text{vernikli}} - L^*_{\text{verniksiz}}$), Δa^* kırmızı renk tonundaki değişimi ($a^*_{\text{vernikli}} - a^*_{\text{verniksiz}}$), Δb^* ise sarı renk tonundaki değişimi ($b^*_{\text{vernikli}} - b^*_{\text{verniksiz}}$) ifade etmektedir. Renk parametrelerinin belirlenmesinde, her bir örneğin iki farklı bölgesinden ölçüm alınmış ve ortalamaları tek değer olarak kaydedilmiştir. Her bir işlem grubunun renk ölçümü öncesinde cihaz, beyaz renge göre $a = -1.00 \pm 0.3$; $b = 0.58 \pm 0.3$ ve $L = 94.95 \pm 0.3$ olacak şekilde kalibre edilmiştir.

2.8. İstatistiksel Analiz (Statistical Analysis)

İstatistiksel değerlendirmeler için MSTATC paket programı kullanılmıştır. Doğru kayımlı örneklerin yüzey özellikleri üzerine nano-grafen ile modifiye edilmiş su bazlı vernik uygulamalarının etkisini belirlemek için 0.05

önem düzeyinde varyans analizi uygulanmıştır. Ayrıca, kontrol ve vernik uygulanmış örneklerde yüzey parlaklık, pürüzlülük, sertlik ve vernik yapışma direnci ile renk değerleri değişiminin ortalamaları Duncan testleri ile karşılaştırılmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Doğu kayını örneklerde vernikleme öncesi ve sonrası yüzey parlaklık, pürüzlülük, sertlik, vernik yapışma direnci ve L*, a*, b* renk parametrelerinin ortalama değerleri Çizelge 3’de gösterilmiştir. Ayrıca bu yüzey özelliklerine ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4’de verilmiştir.

parlaklık değerleri azalmıştır. NG’in su bazlı vernik katmanlarında matlaştırıcı bir etkisinin olduğu belirlenmiştir. Bunun sebebi, NG katkılı su bazlı vernik uygulanmış yüzeylerde yüzeye gelen ışığın bir miktar emilerek şiddetinin azalması veya kırılması sonucu değişik açılarda geri yansıtılmasından ve buna ilave olarak pürüzlülük değerlerindeki artışlardan kaynaklanmış olabilir. Literatürde, düzgün ve kusursuz yüzeylerin belirli bir yönden gelen ışığı aynı yada benzer bir açı ile geri yansıttığı [32], tam parlak bir vernik katmanında yüzeye gelen ışık ile yansıyan ışığın yüzeye yaptıkları açılardan birbirine eşit olduğu bildirilmiştir [41].

Yüzey pürüzlülük değeri, en düşük katkısız su bazlı vernik uygulanmış örneklerde elde edilmiştir. Vernik içerisine katılan NG miktarındaki artışa paralel olarak

Çizelge 3. Örneklerde yüzey parlaklık, pürüzlülük, sertlik, vernik yapışma direnci ve renk parametrelerinin ortalama değerleri (The mean values of surface brightness, roughness, hardness, varnish adhesion resistance and color parameters in the samples)

Vernik tipi	İstatistiksel değer	Test						
		Parlaklık	Pürüzlülük (µm)	Sertlik (salınım)	Yapışma direnci (MPa)	L*	a*	b*
Verniksiz	<i>X (min.)</i>	2.70	1.996	48.50	-	69.36	10.68	20.67
	<i>X (mak.)</i>	2.98	3.015	54.00	-	70.76	11.33	23.12
	<i>X (ort.)</i>	2.89	2.464	51.00	-	70.25	10.94	21.38
	<i>St.Sp.</i>	0.10	0.364	2.37	-	0.59	0.28	0.94
SB	<i>X (min.)</i>	71.98	1.264	53.50	2.720	62.95	13.26	28.81
	<i>X (mak.)</i>	79.18	1.624	59.50	3.997	63.65	13.94	30.10
	<i>X (ort.)</i>	76.16	1.428	57.17	3.421	63.35	13.68	29.51
	<i>St.Sp.</i>	2.71	0.124	2.23	0.567	0.33	0.24	0.50
SB + %0.25 NG	<i>X (min.)</i>	62.28	1.177	52.00	3.597	17.36	4.03	10.18
	<i>X (mak.)</i>	65.93	2.118	60.00	4.074	20.16	4.47	11.26
	<i>X (ort.)</i>	63.96	1.433	57.50	3.834	18.78	4.25	10.65
	<i>St.Sp.</i>	1.42	0.353	3.27	0.179	1.16	0.17	0.45
SB + %0.50 NG	<i>X (min.)</i>	53.30	1.414	54.50	3.501	5.80	1.06	1.73
	<i>X (mak.)</i>	55.35	1.892	59.00	4.350	6.57	1.39	2.50
	<i>X (ort.)</i>	54.42	1.628	56.83	3.927	6.17	1.19	2.14
	<i>St.Sp.</i>	0.88	0.165	1.47	0.279	0.34	0.15	0.29
SB + %1 NG	<i>X (min.)</i>	38.90	1.330	54.00	3.469	4.56	-0.15	-0.39
	<i>X (mak.)</i>	40.83	2.021	61.50	4.971	5.15	-0.05	-0.17
	<i>X (ort.)</i>	40.22	1.651	57.00	4.266	4.90	-0.11	-0.26
	<i>St.Sp.</i>	0.75	0.298	2.68	0.597	0.19	0.04	0.07

SB: Su bazlı vernik; NG: Nano-grafen; *St.Sp.*: Standart sapma

Çizelge 4 sonuçlarına göre; kayın örneklerin tüm yüzey özelliklerindeki değişim üzerine su bazlı vernik uygulamalarının etkisi önemli bulunmuştur ($p \leq 0.05$). Kontrol (verniksiz) ve su bazlı vernik uygulanmış kayın örneklerin yüzey parlaklık, pürüzlülük, sertlik ve vernik yapışma direnci ortalama değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları Çizelge 5’de gösterilmiştir.

Çizelge 5 incelendiğinde; parlaklık değeri, en yüksek katkısız su bazlı vernik uygulanmış örneklerde ölçülmüştür. Ancak, su bazlı vernik içerisine eklenen NG miktarındaki artışa bağlı olarak örneklerin yüzey

örneklerin yüzey pürüzlülük değeri de artış göstermiştir. Ancak, hem katkısız hem de katkılı su bazlı vernik uygulanmış tüm örneklerin yüzey pürüzlülük değerleri arasında istatistiksel olarak önemli bir fark gözlenmemiştir. Vernik uygulamalarından sonra örneklerin yüzey pürüzlülük değerleri kontrol (verniksiz) örneklere göre %42 oranına kadar azalmış ve yüzey düzgünlüğü artmıştır. Bu durum, boşluklu yapıya sahip ağaç malzemede gözeneklerin vernik sıvısı tarafından doldurulmuş olması ve yüzeyde ayrı bir film tabakası oluşumu ile açıklanabilir. Yüzeydeki tepe ve vadilerin ölçülmesi ile elde edilen pürüzlülük değerinin, heterojen

Çizelge 4. Örneklerin yüzey parlaklık, pürüzlülük, sertlik, vernik yapışma direnci ve renk değerleri için varyans analizi sonuçları (Analysis of variance results for surface brightness, roughness, hardness and varnish adhesion resistance of the samples)

Test	Faktör	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	$P \leq 0.05$
Parlaklık	Tekerrür (Replikasyon)	5	11.322	2.264	1.0730	0.4047
	Vernik tipi	4	19100.673	4775.168	2262.7467	0.0000*
	Hata	20	42.207	2.110		
	Toplam	29	19154.202			
Pürüzlülük	Tekerrür (Replikasyon)	5	0.623	0.125	1.8861	0.1419
	Vernik tipi	4	4.409	1.102	16.6851	0.0000*
	Hata	20	1.321	0.066		
	Toplam	29	6.353			
Sertlik	Tekerrür (Replikasyon)	5	54.700	10.940	2.2221	0.0922
	Vernik tipi	4	181.533	45.383	9.2180	0.0002*
	Hata	20	98.467	4.923		
	Toplam	29	334.700			
Yapışma direnci	Tekerrür (Replikasyon)	5	1.246	0.249	1.3863	0.2845
	Vernik tipi	3	2.172	0.724	4.0290	0.0275*
	Hata	15	2.695	0.180		
	Toplam	23	6.113			
L*	Tekerrür (Replikasyon)	5	2.285	0.457	1.2260	0.3336
	Vernik tipi	4	24117.222	6029.306	16176.304	0.0000*
	Hata	20	7.454	0.373		
	Toplam	29	24126.962			
a*	Tekerrür (Replikasyon)	5	0.366	0.073	2.5979	0.0575
	Vernik tipi	4	881.515	220.379	7823.8282	0.0000*
	Hata	20	0.563	0.028		
	Toplam	29	882.444			
b*	Tekerrür (Replikasyon)	5	0.840	0.168	0.5387	-
	Vernik tipi	4	3849.714	962.429	3086.6802	0.0000*
	Hata	20	6.236	0.312		
	Toplam	29	3856.790			

*: %95 güven düzeyinde önemli

Çizelge 5. Vernik tipi düzeyinde örneklerin parlaklık, pürüzlülük, sertlik ve vernik yapışma direnci değerlerine ait Duncan testi karşılaştırmaları (Comparisons of Duncan test related to brightness, roughness, hardness and varnish adhesion resistance values of samples at varnish type level)

Vernik tipi	Parlaklık		Pürüzlülük		Sertlik		Yapışma direnci	
	X	HG	X	HG	X	HG	X	HG
Verniksiz	2.89	e	2.464	a	51.00	b	-	-
SB	76.16	a	1.428	b	57.17	a	3.421	b
SB + %0.25 NG	63.96	b	1.433	b	57.50	a	3.834	ab
SB + %0.50 NG	54.42	c	1.628	b	56.83	a	3.927	ab
SB + %1 NG	40.22	d	1.651	b	57.00	a	4.266	a
LSD	± 1.749		± 0.3094		± 2.672		± 0.5221	

X: Ortalama değer; HG: Homojenlik grubu; LSD: En küçük önemli fark; SB: Su bazlı vernik; NG: Nano-grafen

bir malzeme olan ağaç malzemede kesim sonrası yüzeyde kalan trahe, paransim, reçine kanalları, porlar, lifler vb. odun elemanlarının yapıları nedeniyle verniklenmemiş yüzeylerde daha yüksek olduğu önceki çalışmalarda ifade edilmiştir [42, 43].

Yüzey sertlik değeri en düşük verniksiz örneklerde elde edilirken diğer tüm vernik uygulanmış örneklerde aralarındaki fark istatistiksel olarak önemsiz olmak üzere daha yüksek bulunmuştur. Vernik uygulamalarından sonra kayın örneklerin yüzey sertlik değeri %13'e kadar artış göstermiştir. Çalışmada kullanılan su bazlı vernik

katman sertliğinin, kayın malzemenin doğal haldeki sertliğinden daha yüksek olduğu görülmüştür. Sonuçlar bu bakımdan literatür ile uyumludur [44]. Su bazlı vernik içerisine farklı oranlarda eklenen NG, vernikli örneklerin yüzey sertliğini değiştirmemiştir. Çalışmada, vernik içerisine eklenen NG'in sertlik değerlerini artırması öngörülmekte idi. Zira literatürde, NG'in üstün mekanik özellikleri nedeni ile son yıllarda büyük ilgi gördüğü ifade edilmiştir [45-47]. Ancak sertlik değerleri beklendiği gibi sonuçlanmamıştır. Bunun nedeni, çalışmada kullanılan NG (Çizelge 1) veya su bazlı verniğin (Çizelge 2) özelliklerinden kaynaklanmış olabilir. Zira literatürde, grafen oksit ile modifiye edilmiş poliüretan reçine esaslı su bazlı verniğin modifiye edilmemiş verniklere oranla daha yüksek sertlik değerlerine sahip olduğu belirtilmektedir [21].

Çizelge 5 sonucuna göre; vernik yapışma (adezyon) direnci en yüksek %1 NG katkılı su bazlı vernik

kaynaklanabilir. Ayrıca; yapışma direncindeki artışlar, karbon temelli yapıya sahip ağaç malzeme ile yine karbon temelli NG ile modifiye edilmiş vernik katmanı arasında güçlü çapraz bağların kurulmuş olma ihtimali ile açıklanabilir. Literatürde; grafen'in, karbon atomlarının iki boyutlu düz tabakalarından oluştuğu ve karbon temelli bileşiklerin ana yapıtaşını oluşturduğu ifade edilmiştir [49, 18]. Diğer taraftan, odunsu hücre çeperinin elementer yapısı itibarıyla karbon (C), hidrojen (H) ve oksijen (O)'den meydana geldiği [50, 51], karbon elementinin tam kuru haldeki odun ağırlığına katılma oranının ise yaklaşık %50 olduğu belirtilmiştir [52, 53]. Verniksiz ve su bazlı vernikler uygulanmış kayın örneklerin L*, a* ve b* ortalama değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları Çizelge 6'da verilmiştir.

Çizelge 6 incelendiğinde; L* değeri en yüksek verniksiz örneklerde, en düşük %1 NG katkılı su bazlı vernik uygulanmış örneklerde bulunmuştur. Tüm vernik

Çizelge 6. Vernik çeşidi düzeyinde kayın örneklerin L*, a* ve b* değerlerine ait Duncan testi karşılaştırmaları (Comparisons of Duncan test related to L*, a* and b* values of beech samples at varnish type level)

Vernik tipi	L*		a*		b*	
	X	HG	X	HG	X	HG
Verniksiz	70.25	a	10.94	b	21.38	b
SB	63.35	b	13.68	a	29.51	a
SB + %0.25 NG	18.78	c	4.25	c	10.65	c
SB + %0.50 NG	6.17	d	1.19	d	2.14	d
SB + %1 NG	4.90	e	-0.11	e	-0.26	e
LSD	± 0.7355		± 0.2015		± 0.6727	

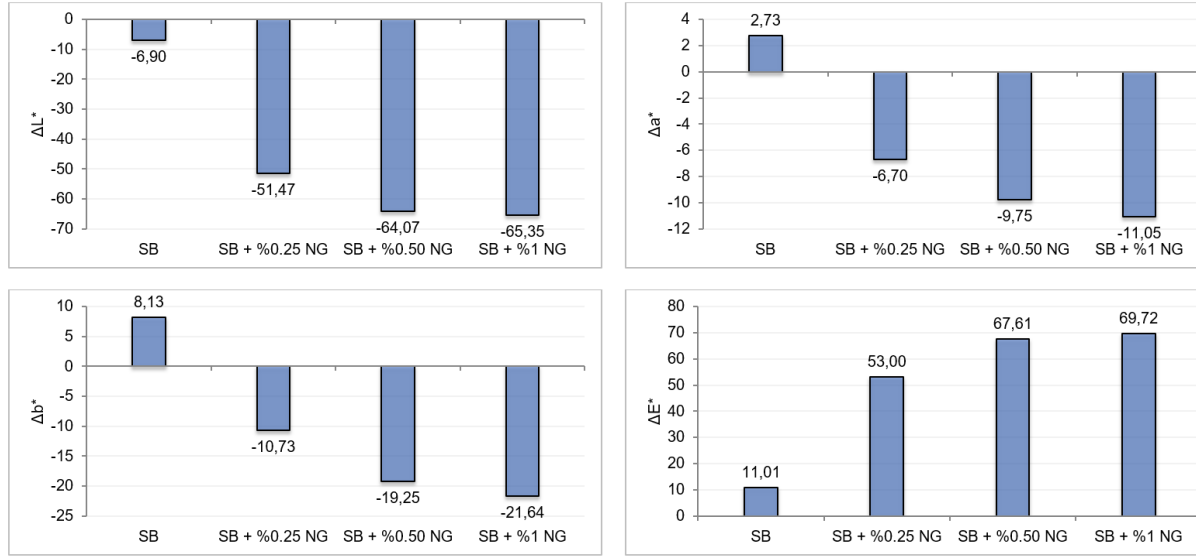
X: Ortalama değer; HG: Homojenlik grubu; LSD: En küçük önemli fark; SB: Su bazlı vernik; NG: Nano-grafen

uygulanmış örneklerde, en düşük ise katkısız su bazlı vernik uygulanmış örneklerde elde edilmiştir. Su bazlı vernik içerisine katılan NG miktarındaki artışa bağlı olarak kayın örneklerde vernik yapışma direnci artmıştır. Katkısız su bazlı vernik uygulanmış örnekler göre; %0.25 NG, %0.50 NG ve %1 NG katkılı su bazlı vernik uygulanan örneklerde vernik yapışma direnci sırası ile %12, %15 ve %25 artış göstermiştir. Benzer şekilde önceki bir çalışmada, akrilik verniklere eklenen grafenin adezyon direnci özelliklerine pozitif bir etkisinin olduğu belirtilmiştir [48]. Vernik yapışma direncinde meydana gelen bu önemli artışlar, nano boyuttaki grafen'in vernikle ağaç malzeme arasındaki etkileşim yüzeyini (spesifik yüzey alanını) arttırmış olmasından

uygulanmış kayın örneklerin L* değeri azalmıştır. Ancak özellikle su bazlı vernik içerisine eklenen NG miktarındaki artışa bağlı olarak L* değeri önemli derecede azalmış ve örneklerin rengi büyük ölçüde koyulaşmıştır (Şekil 3). Grafikselsel olarak incelendiğinde, vernik uygulamalarından sonra verniksiz örneklere göre hesaplanan açıklık veya koyuluk değişimi (ΔL^*) eksi yönlüdür ve tüm örnekler (özellikle NG ile işlem gören) koyulaşma eğilimindedir (Şekil 4). Vernik içerisine eklenen NG'in değişik oranlardaki kullanımı ile ahşap malzemede farklı koyu tonların elde edilebileceği görülmüştür.



Şekil 3. Verniklenmiş kayın örneklerin görünümü (The appearance of varnished beech samples)



Şekil 4. Vernikleme sonrası kayın örneklerin renk parametrelerindeki değişim/fark (Changes in color values of beech samples after varnishing)

Kayın örneklerin a^* ve b^* renk değerleri en yüksek katkısız su bazlı vernik uygulamasında, en düşük ise %1 NG katkılı su bazlı vernik uygulamasında elde edilmiştir. Verniksiz örnekler göre; a^* ve b^* değeri su bazlı vernik uygulamasından sonra artmıştır. Ancak NG katkılı su bazlı vernik uygulanmış yüzeylerde kontrol örnekler göre a^* ve b^* değeri NG miktarındaki artışa bağlı olarak azalmıştır. Verniksiz örnekler göre, katkısız su bazlı vernik uygulanmış örneklerin a^* ve b^* renk tonu değerlerindeki değişim (sırası ile Δa^* ve Δb^*) artı yönlüdür ve bu örneklerde kırmızı ile sarı renk artış eğilimindedir. NG katkılı su bazlı vernik uygulanmış örneklerde ise Δa^* ve Δb^* değişim değerleri eksi yönlüdür ve bu örneklerde de yeşil ile mavi renk önemli oranda artış eğilimindedir (Şekil 4).

Vernik uygulamalarından sonra verniksiz kayın örnekler göre hesaplanan toplam renk değişimi (ΔE^*) katkısız su bazlı vernik uygulanmış yüzeylerde en düşük düzeyde gerçekleşirken, %1 NG katkılı su bazlı vernik uygulanmış yüzeylerde en yüksek düzeyde gerçekleşmiştir (Şekil 4). Su bazlı vernik uygulaması örneklerin ΔE^* değerini etkilemiştir. Ancak ΔE^* değerini etkileyen esas faktörün NG olduğu görülmüştür. Vernik içerisine eklenen NG miktarındaki artışa bağlı olarak ΔE^* değeri önemli oranda artmıştır. Ancak, %0.50 ve %1 NG eklenmiş vernikli yüzeylerde birbirine yakın ΔE^* değerleri elde edilmiştir.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS)

Bu çalışmada, içerisine farklı oranlarda NG eklenmiş su bazlı vernik uygulanan kayın örneklerde yüzey parlaklık, pürüzlülük, sertlik ve renk değişimi ile vernik yapışma direnci özellikleri incelenmiştir. Verniksiz örnekler göre, vernik uygulanmış örneklerin yüzey parlaklık değerleri önemli derecede artarken, yüzey pürüzlülük değerleri %42 oranına kadar azalmıştır. Ancak, vernik

içerisine eklenen NG miktarındaki artışa bağlı olarak örneklerin yüzey parlaklık değerleri %47 oranına kadar azalmış, pürüzlülük ise %16 oranına kadar artış göstermiştir. NG'in yüzeylerde matlaştırıcı bir etkisinin olduğu belirlenmiştir. Literatürde, diğer vernik türlerine göre su bazlı verniğin parlaklık özelliklerinin daha düşük olduğu belirtilmektedir [8]. Bu açıdan bakıldığında, verniklerin önemli özelliklerinden biri olan parlaklığın NG eklenmesiyle düşmesi olumsuz bir durum olarak karşımıza çıkmaktadır. Diğer taraftan, NG miktarındaki artışa bağlı olarak kayın örneklerin vernik yapışma direncinde %12'den %25'e kadar önemli artışlar sağlanmıştır. Literatürde, su bazlı verniğin yapışma direnci bakımından diğer vernik türlerine oranla daha düşük özellikler gösterdiği bildirilmiştir [8, 9, 13]. Bu bakımdan, yapışma direncinde meydana gelen artışların çalışmanın en önemli çıktılarından biri olduğu söylenebilir.

Vernik uygulamalarından sonra örneklerin yüzey sertlik değeri %13'e kadar artmıştır. Fakat, sertlik değerleri üzerinde NG'in etkisi önemsiz bulunmuş ve öngörülen sertlik artışı gerçekleşmemiştir. Ayrıca, NG eklenmesi ve miktarındaki artış sonucu örneklerin L^* , a^* ve b^* renk tonu değerleri önemli oranda azalmıştır. Örnekler büyük ölçüde koyulaşmış, örneklerin yeşil ve mavi renk eğilimi artmıştır. Bu duruma bağlı olarak örneklerin toplam renk değişim (ΔE^*) değerleri de artış göstermiştir. Literatürde, ΔE^* değerinin düşük olmasının, renkte bir değişimin olmadığını yada çok az bir değişim olduğunu gösterdiği ifade edilmektedir [39]. Kayın örneklerin doğal renginin daha az değişmesi arzu ediliyor ise, ΔE^* değeri düşük bulunan katkısız su bazlı vernikler koruyucu katman oluşturmak için kullanılabilir.

Sonuç olarak, NG modifiyeli su bazlı vernik uygulanan kayın örneklerin yüzey özellikleri önemli ölçüde değişmiştir. Özellikle, su bazlı vernikte yüksek yapışma direncinin sağlanmasında ve ağaç malzemenin koyu

tonlarda renklendirilmesinde NG'in kullanılması önerilebilir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Vardanyan V., Galstian T., Riedl B., "Effect of addition of cellulose nanocrystals to wood coatings on color changes and surface roughness due to accelerated weathering", *Journal of Coatings Technology and Research*, 12 (2): 247-258, (2015).
- [2] U.S. Environmental Protection Agency, *Cleaning Up Commonly Found Air Pollutants, The Plain English Guide to the Clean Air Act*, (2007).
- [3] T.C. Çevre, ve Orman Bakanlığı, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi Kyoto Protokolü, (1998).
- [4] Yıldız E., "Water based paint and coatings expectations and water based polyurethane bonding systems", Tübitak, (1999).
- [5] Sönmez A., Budakçı M., "Ağaç işlerinde üstyüzey işlemleri II., Koruyucu katman ve boya/vernük sistemleri", Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Sevgi Ofset, Ankara, (2004).
- [6] Overbeek A., "Polymer heterogeneity in waterborne coatings", *Journal of Coatings Technology and Research*, 7(1): 1-21, (2010).
- [7] Pelit H., "Yoğunlaştırma ve ısıtılmanın doğu kayını ve sarıçamın bazı teknolojik özellikleriyle üstyüzey işlemlerine etkisi", *Doktora Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2014).
- [8] Yakın M., "Su bazlı vernüklerde sertlik, parlaklık ve yüzeye yapışma mukavemetinin tespiti", *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2001).
- [9] Budakçı M., Sönmez A., "Bazı ahşap vernüklerin farklı ağaç malzeme yüzeylerindeki yapışma direncinin belirlenmesi", *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 25(1): 111-118, (2010).
- [10] Çakıcıer N., Korkut S., Korkut D.S., "Varnish layer hardness, scratch resistance, and glossiness of various wood species as affected by heat treatment", *BioResources*, 6(2): 1648-1658, (2011).
- [11] Keskin H., Tekin A., "Abrasion resistances of cellulosic, synthetic, polyurethane, waterborne and acidhardening varnishes used woods", *Construction and Building Materials*, 25(2): 638-643, (2011).
- [12] Söğütü C., Nzokou P., Koc I., Tutgun R., Döngel N., "The effects of surface roughness on varnish adhesion strength of wood materials", *Journal of Coatings Technology and Research*, 13(5): 863-870, (2016).
- [13] Altun S., Esmer M., "Isıl İşlemin Bazı Ağaç Malzemelerde Yüzey Pürüzlülüğü ve Vernük Yapışma Direncine Etkisi", *Politeknik Dergisi*, 20(1): 231-239, (2017).
- [14] Atar M., Peker H., "Effects of impregnation with boron compounds on the surface adhesion strength of varnishes used woods", *African Journal of Environmental Science and Technology*, 4(9): 603-609, (2010).
- [15] Peker H., "Atık çay ekstrakt boyasının çeşitli mordan-su çözücülü vernikle ahşapta kullanımı ve sertlik değişimine etkisi", *Politeknik Dergisi*, 18(2): 73-78, (2015).
- [16] Keskin H., Atar M., "Impact of impregnation chemical on surface glossiness of synthetic, acrylic, polyurethane, and water-based varnishes", *Journal of Applied Polymer Science*, 108(5), 3361-3369, (2008).
- [17] Budakçı M., Uysal B., Esen, R., "Borik asit modifikasyonunun su bazlı vernüğün sertlik değerine etkisi", 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), Karabük, Türkiye, 13-15 Mayıs, (2009).
- [18] Geim A.K., Novoselov K.S., "The rise of graphene", *Nature Materials*, 6 (3): 183-191, (2007).
- [19] Bozkurt A. (2015). Bir konu: Geleceğin malzemesi grafen. *Bilişim Dergisi*.
- [20] Nuraje N., Khan S.I., Misak H., Asmatulu R., "The addition of graphene to polymer coatings for improved weathering", *Int. Sch. Res. Notices*, 2013: 1-8, (2013).
- [21] Li P., Ren H., Qiu F., Xu J., Yu X., Yang P., Xu B., Jiang Y., Dongya Y., "Preparation and properties of graphene oxide-modified waterborne polyurethane-acrylate hybrids", *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 53(13): 1408-1416, (2014).
- [22] Sangermano M., Malucelli G., Amerio E., Priola A., Billi E., Rizza G., "Photopolymerization of epoxy coatings containing silica nanoparticles", *Progress in Organic Coatings*, 54(2): 134-138, (2005).
- [23] Mirabedini S.M., Mohseni M., Pazoki F.S., Esfandeh M., "Effect of TiO2 on the mechanical and adhesion properties of RTV silicone elastomer coatings", *Colloids and Surfaces A*, 317(1-3): 80-86, (2008).
- [24] TS 2470, "Odunda fiziksel ve mekanik deneyler için numune alma metodları ve genel özellikler", (1976).
- [25] TS 2471, "Odunda, fiziksel ve mekanik deneyler için rutubet miktarı tayini", (1976).
- [26] ASTM D3023-98, "Standard practice for determination of resistance of factory-applied coatings on wood products to stains and reagents", (2011).
- [27] TS EN ISO 3251, "Boyalar, vernükler ve plâstikler-Uçucu olmayan madde içeriğinin tayini", (2012).
- [28] ASTM D 6132-13, "Standard test method for nondestructive measurement of dry film thickness of applied organic coatings using an ultrasonic coating thickness gage", (2013).
- [29] TS EN ISO 2808, "Boyalar ve vernükler-Film kalınlığı tayini", (2007).
- [30] ASTM D 3924, "Standard specification for standard environment in conditioning and testing stain varnish, lacquer and related materials", (1996).
- [31] TS EN ISO 2813, "Boyalar ve vernükler-metalik olmayan boya filmlerinin 20, 60 ve 85 açılarda parlaklık tayini", (2014).
- [32] Sönmez A., Ağaçtan yapılmış mobilya üst yüzeylerinde kullanılan vernüklerin önemli mekanik, fiziksel ve kimyasal etkilere karşı dayanıklılıkları. *Doktora Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (1989).
- [33] TS 2495 EN ISO 3274, "Geometrik mamul özellikleri (gmö) - yüzey yapısı: profil metodu - temas uçlu (iğneli) ölçme cihazlarının anma karakteristikleri", (2005).
- [34] TS 6212 EN ISO 4288, "Mamulün Geometrik Özellikleri (gps)- Yüzey yapısı: profil metodu- yüzey yapısının değerlendirilmesi için kurallar ve işlemler", (1999).

- [35] Söğütü C., “Bazı faktörlerin zımparalanmış ağaç malzeme yüzey pürüzlülüğüne etkisi”, *Politeknik Dergisi*, 8(4): 345-350, (2005).
- [36] TS EN ISO 1522, “Boyalar ve vernikler - sarkaç sönümlene deneyi. (2007).
- [37] ASTM D 4541, “Standard test method for pull-off strength of coatings using portable adhesion testers”, (2009).
- [38] ASTM D 2244-15a, “Standard practice for calculation of color tolerances and color differences from instrumentally measured color coordinates, (2015).
- [39] Söğütü C., Sönmez A., “Değişik koruyucular ile işlem görmüş bazı yerli ağaçlarda UV ışınlarının renk değiştirici etkisi”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21(1): 151-159, (2006).
- [40] Johansson D., “Strenght and colour response of solid wood to heat treatment”, *Licentiate Thesis*, Luleå Teknoloji Üniversitesi, Department of Skellefteå Campus, (2005).
- [41] Şanıvar N. Ağaçları üstyüzey işlemleri. Dördüncü Baskı, İstanbul: Milli Eğitim Basımevi, (2001).
- [42] Peters C.C., Cumming J.D., “Measuring wood surface smoothness: A review”, *Forest Products Journal*, 20(12): 40-43, (1970).
- [43] Xuczeng Z., Study on measurement of wood surface roughness by computer vision, *Journal Northeast Forestry University*, 3(1): 75-81, (1992).
- [44] Pelit H., Sönmez A., Burdurlu E., Usta İ., “Determining the surface hardness of some densified and heat treated woods after water -based varnishing” *The 27th International Conference Research for Furniture Industry*, Ankara, 554-563, (2015).
- [45] Dato A., Lee Z., Jeon K.J., Erni R., Radmilovic V., Richardson T.J., Frenklach M., “Clean and highly ordered graphene synthesized in the gas phase”, *Chemical Communications*, (40): 6095-6097, (2009).
- [46] Cardinali M., Valentini L., Kenny J.M., Mutlay İ., “Graphene based composites prepared through exfoliation of graphite platelets in methyl methacrylate/poly (methyl methacrylate)”, *Polymer International*, 61(7): 1079-1083, (2012).
- [47] Sheshmani S., Amini R. “Preparation and characterization of some graphene based nanocomposite materials”, *Carbohydrate Polymers*, 95(1): 348-359, (2013).
- [48] Kugler S., Kowalczyk K., Spychaj T., “Hybrid carbon nanotubes/graphene modified acrylic coats”, *Progress in Organic Coatings*, 85: 1-7, (2015).
- [49] Stankovich S., Dikin D.A., Dommett G.H.B., Kohlhaas K.M., Zimney E.J., Stach E.A., Piner R.D., Nguyen S.T., Ruoff R.S., “Graphene-based composite materials”, *Nature*, 442: 282-286, (2006).
- [50] Örs Y., Keskin H., “Ağaç Malzeme Teknolojisi”, Öz Baran Ofset Matbaacılık, (2008).
- [51] Örs Y., Keskin H., “Ağaç Malzeme Bilgisi”, Ders Kitabı, Gazi Üniversitesi Yayın No: 2000/352, Atlas Yayıncılık, İstanbul, (2001).
- [52] Bozkurt A.Y., Erdin N., “Ağaç Teknolojisi Ders Kitabı”, 2. Basım, Yayın No: 5029, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, İstanbul, (2011).
- Rowell R.M., “Handbook of wood chemistry and wood composites”, CRC press, Boca Raton, Florida, (2005).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

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



Prediction and modelling of energy consumption on temperature control for greenhouses

Yazar(lar) (Author(s)): Semih OZDEN¹, Mahir DURSUN², Ahmet AKSÖZ³, Ali SAYGIN⁴

ORCID¹: 0000-0002-1309-9391

ORCID²: 0000-0003-0649-2627

ORCID³: 0000-0002-2563-1218

ORCID⁴: 0000-0003-1800-9655

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Ozden S., Dursun M., Aksoz A. ve Saygin A., "Prediction and modelling of energy consumption on temperature control for greenhouses", *Politeknik Dergisi*, 22(1): 213-217, (2019).

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

DOI: 10.2339/politeknik.417757

Prediction and Modelling of Energy Consumption on Temperature Control for Greenhouses

Araştırma Makalesi / Research Article

Semih ÖZDEN^{1*}, Mahir DURSUN², Ahmet AKSÖZ², Ali SAYGIN²

¹Gazi University, Technical Sci. Vocational College, Electronics and Automation, Ankara, Turkey

²Gazi University, Faculty of Technology, Departments of Electrical and Electronics Engineering, Ankara,

(Geliş/Received : 28.11.2017; Kabul/Accepted : 03.01.2018)

ABSTRACT

Prediction of the energy consumption is the most important topic for planning to build an energy power station. This energy power station can be non-renewable sources power plants or renewable power plants like wind and solar. Prediction of the energy consumption also figures out load modeling problem in new smart grid applications. In this study, energy consumption model is developed for temperature control of a greenhouse. Artificial Neural Network based modeling is advanced with temperature of inner, temperature of outer and temperature of soil. So, these temperatures are inputs in the ANN based model. In addition, the output of the ANN is energy demand that is strongly related with temperature data.

Keywords: Artificial neural network, greenhouse, modeling, temperature control, energy consumption.

Seralarda Enerji Tüketiminin ve Sıcaklık Kontrolünün Tahmini ve Modellenmesi

ÖZ

Bir enerji güç istasyonunun kurulması planlanırken en önemli konu enerji tüketiminin tahminidir. Bu enerji güç istasyonları yenilenebilir kaynaklı güç sistemleri veya rüzgâr ve güneş gibi yenilenebilir kaynaklı güç sistemleri olabilirler. Üstelik enerji tüketiminin takibi yeni akıllı şebeke uygulamalarında yük modellenmesi problemini çözerler. Bu çalışmada, enerji tüketim modeli sera sıcaklık kontrolü için geliştirilmiştir. Yapay sinir ağları(YSA) tabanlı model iç sıcaklık, dış sıcaklık ve toprak sıcaklığına göre geliştirilmiştir. Ek olarak, YSA'nın çıkışı tamamen sıcaklık verilerine bağlı enerji talebidir.

Anahtar Kelimeler: Yapay sinir ağları, sera, modelleme, sıcaklık kontrolü, enerji tüketimi.

1. INTRODUCTION

In recent years, energy sources have been decreasing and demand for energy and its costs have been increasing. This affects product cost. Moreover makes more efficient and positive use of climate resources together with global warming and drought. Since the sources utilized for producing electricity are limited and their prices gradually increased, researches for new alternatives for temperature control in greenhouse system.

Energy of heating systems pumps used for the agricultural irrigation is generally provided from electrical energy or fossil fuels. Since fossil fuels commence to annihilate besides its increasing of prices and hazards to environment alternative energy seeking efforts has become inevitable also in agricultural. Solar energy that is sensitive to environment, clean and requiring no maintenance is an alternative renewable energy source especially for countries like Turkey having a high amount of annual solar irradiation rate.

Dursun and Ozden have been studied optimal use of water resources especially in agricultural field. Soil

measure sensors were used for measuring soil humidity. Optimum solar panels were selected according to calculated maximum power consumption of motors. The need of energy of BLDC Motors has been provided from solar panels and batteries [1], [2]. Zou et al studied a greenhouse climate controller for energy consumption under control. This controller is realized with particle swarm optimization for nonlinear greenhouse system in North of China [3]. Avila-Miranda et al. studied to ventilate a greenhouse during the day. Their intelligence technique combines of a neural network and the particle swarm optimization algorithm. In addition, Kalman Filter is used for predictions on the dynamic behavior of the system variables [4]. Guoqi Ma et al. studied auto regressive moving model for naturally ventilated greenhouse in autumn under east-central China conditions [5]. Liu et al investigated to microclimate controlling and monitoring in greenhouse. According to indoor temperature and humidity, a prediction is realized with neural network algorithm [6]. Yelmen et al. discussed on a model of prediction of greenhouse heating requirement climate models thanks to neural networks [7].

Yan and Yao aimed to predict building energy consumption at different climate zones using artificial

* Sorumlu yazar (Corresponding Author)
e-mail: semihozden@gmail.com

neural network. Thanks to ANN, the building energy consumption predicted easily and quickly [8]. Yuçe and Rezgüi addressed to difference of energy performance in public buildings between predicted and actual. GA based artificial neural networks generated optimized energy saving [9]. Gezer et al studied artificial neural network based energy consumption for a smart grid application [10]. Ferlito et al compared to difference of actual and predicted building's energy demand at 3 month, 6 month and 12 month [11].

This study continues as follows: temperature control of greenhouse is described in Section II. Then, Section III provides artificial neural network and prediction of energy consumption with this method. In Section IV, the obtained results are discussed and are compared to actual energy values. Conclusion of paper describes error methods success of ANN in conclusion.

2. TEMPERATURE CONTROL OF GREENHOUSE

A temperature control of greenhouse system provides to prevent unnecessary energy losses, decrease harmful effect of greenhouse and maintain proper environment for crops. Thus, temperature of greenhouse has controlled with consummating necessary energy, which produce for demand of inner temperature make equal to desired temperature. In the real applications, energy consumption to keep desired temperature is related with many parameters as temperature, humidity, wind speed and irradiation of the sun. Developed model skipped all other parameters except temperatures of inner, outer and soil. In addition, this study focused only energy consumption for the temperature control unit as air conditioner.

The inner temperature, the outer temperature and the soil temperature of greenhouse obtained from sensors are used for prediction of necessary energy consumption. Table 1 shows to average of the inner temperature, the outer temperature and the soil temperature of greenhouse in a year. Average consummated energy from greenhouse temperature control in a year is given Table 1 too. In addition, desired temperature for crops is 20 °C.

Table 1. Average temperature values and average consummated energy

	Average values in a year
The inner temperature	16,31 C
The outer temperature	13,11 C
The soil temperature	17,06 C
Consumed energy	4300,24 W

When data in Table 1 is obtained from sensors, it can be seen to difference between the inner temperature and desired temperature. Thus, temperature control of greenhouse tries to make up the difference and to consume energy along all a year. Three temperature and desired temperature was used, because the energy consumption bases on all of them. Figure 1 show that the

inner temperature changes daily. Horizontal axis of the temperature-changing figure is day of year.

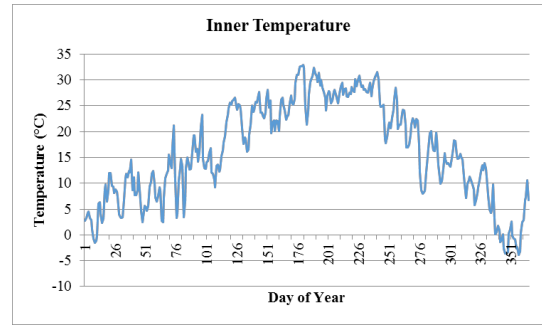


Figure 1. The Inner Temperature Changing

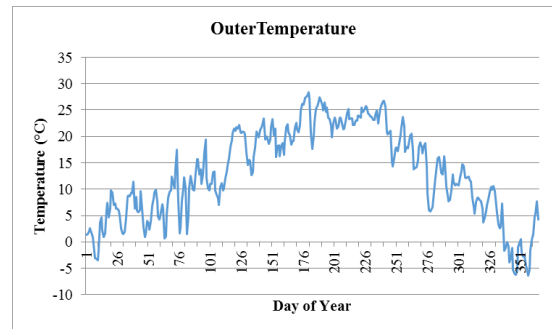


Figure 2. The Outer Temperature Changing

The outer temperature changing in all year is illustrated in Figure 2. The lowest temperature (around -5°C) was observed at the end of year. The highest temperature was measured in June around 30 °C. In addition, soil temperature changing is directly shown in Figure 3. The trend of the temperature is similar of the inner and outer temperature. In addition, it is higher than the others and more smoothed.

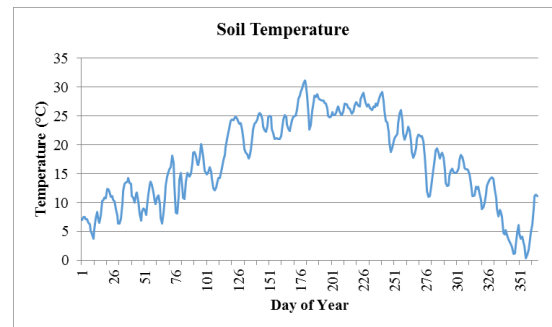


Figure 3. The Soil Temperature Changing

In addition, the energy consumption graphics in a year is given in Figure 4. Depending on temperatures of inner, outer and soil, energy consumption was fluctuated. Temperature control unit was kept 20°C that is optimum level of the plant. This value was defined by growers. Energy consumption during winter days is higher than summer days. The highest consumption was measured at the end of year and the temperature was under zero.

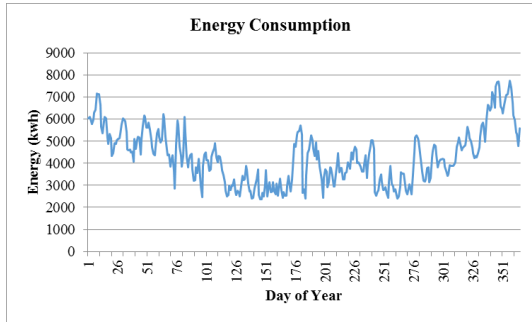


Figure 4. Energy Consumption Changing

Beside of these figures, actual temperature values and especially actual energy consumption values are given for a year. If these energy consumption values are known at one year ago, energy saving can be realized according to temperature values.

3. ANN (Artificial Neural Network)

ANNs are the most widely implemented methods in forecasting energy consumption. In last decades, ANN’s have been used for load and consumption modeling, prediction and forecasting, because of their ability to learn complex, non-linear functions with memory.

They operate like a “black box” model, and require no detailed information about the system. Instead, they learn the relationship between the input parameters and the controlled and uncontrolled variables by studying previously recorded data, in a way similar to how a non-linear regression might be performed. Another advantage of using ANNs is their ability to handle large and complex systems with many interrelated parameters [12].

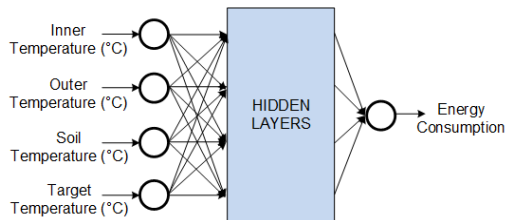


Figure 5. ANN architecture used in the proposed method

The proposed ANN architecture is given in Figure 5. The model has three layers as input, hidden and output. Inner, outer, soil and target temperatures were selected for input data. The output data is energy consumption for temperature control of greenhouse. Different algorithms and number of hidden layers were performed. The best results were obtained by ten hidden neurons with Levenberg–Marquardt algorithm.

The consumption of the temperature control units at the end of the day was measured and saved. Inner, outer and soil temperature were achieved by Turkish State Meteorological Service.

In this study, 365 experimental data sets were measured for the training and testing data. The ratio for training,

validation and testing data was selected as 70%, 15% and 15%, respectively. The validation and testing data were selected randomly. The use of the proposed ANN has been implemented in MATLAB.

4. RESULTS

The overview of ANN are presented in Figure 6. The network structure of the ANN is 4-10-10-1. The training algorithm is Levenberg–Marquardt algorithm. The target error value is evaluated by Mean Squared Error (MSE). The number of the maximum algorithm for learning process is one thousand. The calculation formula of the MSE is given below.

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n |y_k - \hat{y}_k|^2 \tag{1}$$

where, y_k and \hat{y}_k represent actual and predicted k th value, respectively, in other words error of the ANN prediction. The MSE calculated squared error with dividing number of the samples.

The number of training, validation and test are 255, 55, and 55, respectively. The result assessments of the ANN with MSE and correlation coefficient (R) of training, validation and testing are given in Figure 7. The R-values for all data are close to one. The result of MSEs are around 22, 26 and 49 for training, validation and test, respectively. The output value of ANN is energy consumption and its maximum value is around 8000 kWh. These MSEs are expected range for this consumption data.

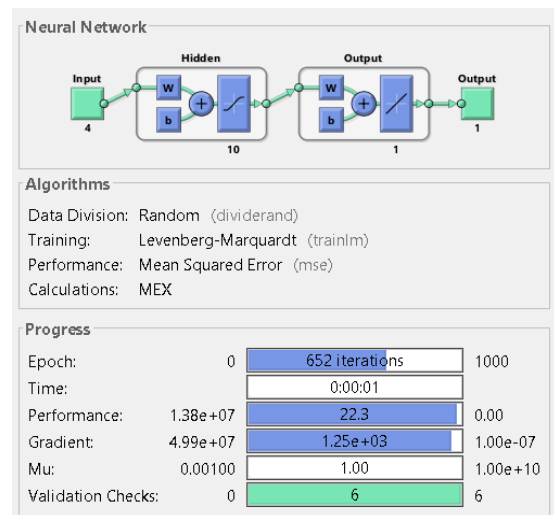


Figure 6. ANN results for proposed system

	Samples	MSE	R
Training:	255	22.66635e-0	9.99992e-1
Validation:	55	25.92334e-0	9.99992e-1
Testing:	55	49.04901e-0	9.99983e-1

Figure 7. Error value of the ANN

In Figure 8, error-changing graph of the validation, train and test are given versus Epochs. The best results were kept at the epoch 646. The loop was stopped with evaluation of the validation data. After learning process, the performance of the ANN was calculated with 55 number of testing data. The learning loop of the ANN was stopped 652th iteration for the best validation performance.

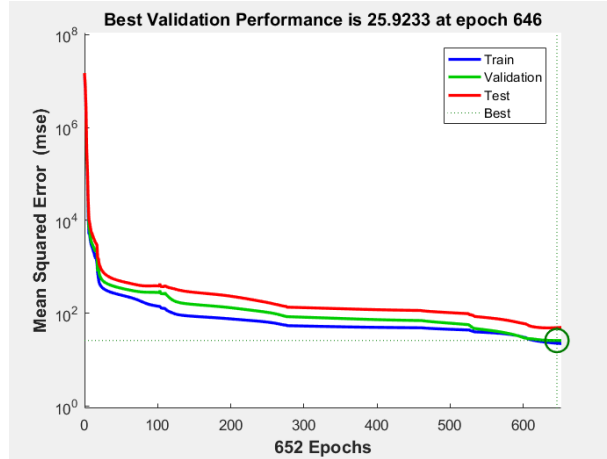


Figure 8. MSE value vs epochs

R-squared is a statistical measure of how close the data are to the fitted regression line. It measures the strength and direction of a linear relationship between actual and predicted. The result of R is very close to one means good prediction.

The graphs of (R) for training, validation, test and all are given in Figure 9. It is divided to four section for analysis of training, validation, test and all data. The graphs are obtained for output value is energy consumption. For per graphs, linear regression and $Y=T$ line are graphed, predicted data are dotted. It is expected that predicted data be on the linear lines.

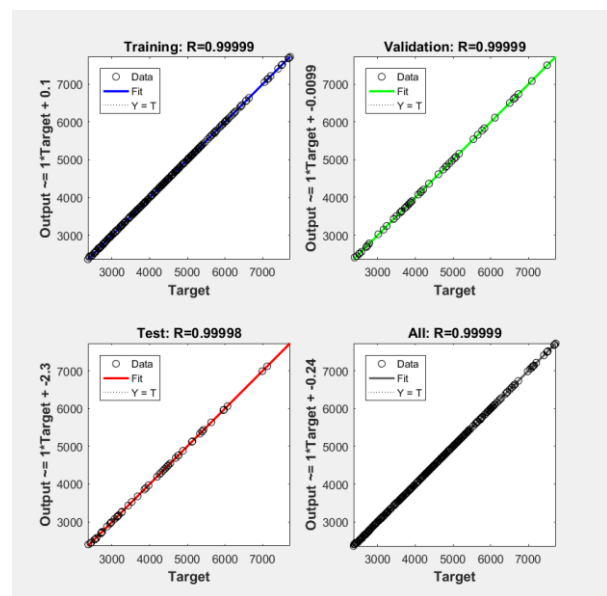


Figure 9. Result of the coefficient of determination

4. CONCLUSION AND FUTURE WORK

The most important part of the smart grid applications is prediction of energy consumption. In this study artificial neural network based, prediction of energy consumption was studied and modelled depending on temperature of inner, outer and soil. The data was measured and used for the temperature control of a greenhouse. The results show that energy load modeling has correlation with the temperature of inner, outer and soil was realized and R-values were very close to one. Temperatures and energy consumption are strongly correlated with developed model.

The main aim of the study is to find solution for the energy planning and organization for the next day. This model helps to predict energy demand at the rural (agricultural) area. In addition, it provides to predict energy demand of a greenhouse with temperature information for growers.

REFERENCES

- [1] Dursun M. and Ozden S., "Optimization of soil moisture sensor placement for a PV powered drip irrigation system using a genetic algorithm and artificial neural network," *Electrical Engineering*, 99: 407–419, (2017).
- [2] Dursun M. and Ozden S., "An Efficient Improved Photovoltaic Irrigation System with Artificial Neural Network Based Modeling of Soil Moisture Distribution – A Case Study in Turkey", *Computers and Electronics in Agriculture*, 102: 120-126, (2014).
- [3] Zou Q., Ji J., Zhang S. and Shi M., "Model Predictive Control Based on Particle Swarm Optimization of Greenhouse Climate for Saving Energy Consumption," *World Automation Congress (WAC)*, 123-128, (2010).
- [4] Avila-Miranda R., Begovich O. and Ruiz-Leon J., "An optimal and intelligent control strategy to ventilate a greenhouse," *Evolutionary Computation (CEC)*, 779-782, (2013).
- [5] Ma G., Qin L., Chu Z. and Wu G., "Modeling greenhouse humidity by means of NNARMAX and principal component analysis," *Control and Decision Conference (CCDC)*, 27th Chinese. IEEE, 2015, 4840–4845, (2015).
- [6] Liu Q., Jin D., Shen J., Fu Z. and Linge N., "A WSN-based prediction model of microclimate in a greenhouse using extreme learning approaches," *Advanced Communication Technology (ICACT)*, 2016 18th International Conference on. IEEE, (6): 730–735, (2016).
- [7] Yelmen, B. And Çakir, M. T. "Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Sera Isıtma İhtiyacının Tahmini", *Politeknik Dergisi*, 14(4): 235-541, (2011).
- [8] Yan C. W. and Yao J., "Application of ANN for the prediction of building energy consumption at different climate zones with HDD and CDD," *Future Computer and Communication (ICFCC)*, 2010 2nd International Conference on. IEEE, 2010, 3: 286–289, (2010).
- [9] Yuçe B. and Rezgüi Y., "An ANN-GA semantic rule-based system to reduce the gap between predicted and actual energy consumption in buildings," *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 1351-1363, (2017)

- [10] Gezer G., Tuna G., Kogias D., Gulez K. and Gungor V. C., "PI-controlled ANN-based Energy Consumption Forecasting for Smart Grids," *12th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics (ICINCO)*, 110–116, (2015).
- [11] Ferlito, S., Atrigna, M., Graditi, G., De Vito, S., Salvato, M., Buonanno, A. and Di Francia, G. "Predictive models for building's energy consumption: An Artificial Neural Network (ANN) approach". *AISEM Annual Conference*, 1-4, (2015).
- [12] Kalogirou S. A., "Applications of artificial neural-networks for energy systems", *Applied Energy*, 67: 17–35, (2000).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

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



Investigation of ballistic impact response of aluminum alloys hybridized with kevlar/epoxy composites

Kevlar / epoksi kompozitleri ile hybrid yapılan alüminyum alaşımlarının balistik darbe tepkilerinin araştırılması

Yazar(lar) (Author(s)): Eyüp YETER

ORCID: 0000-0002-0278-588X

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz(To cite to this article): Yeter E., “Investigation of ballistic impact response of aluminum alloys hybridized with kevlar/epoxy composites”, *Politeknik Dergisi*, 22(1): 219-227, (2019).

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

DOI: 10.2339/politeknik.417758

Investigation of Ballistic Impact Response of Aluminum Alloys Hybridized with Kevlar/Epoxy Composites

Araştırma Makalesi / Research Article

Eyüp YETER*

Gaziantep University, Aeronautics and Aerospace Faculty, Aircraft and Aerospace Department, Gaziantep/Turkey

(Geliş/Received : 29.11.2017 ; Kabul/Accepted : 28.03.2018)

ABSTRACT

In this comparative study, ballistic impact responses of various aluminum alloys hybridized with Kevlar/Epoxy composite is investigated numerically. The numerical models were developed using the explicit finite element module of ANSYS. 50 caliber projectile with an initial velocity of 400 m/s is used during the analyses. In the first part of the study, 7075, 6061 and 2024 aluminum alloys are compared for their ballistic impact resistance. Amount of perforation energies (energy absorbing capacity of target) and projectile residual velocities of these alloys are compared. Also, thicknesses of plates are increased up to the point at which the plates don't exhibit full perforations for the used projectile and initial velocity. It is seen that that residual velocity of the Al 7075 T6 is the smallest among the used aluminum alloys which means that 7075 T6 type of aluminum has the higher ballistic impact resistance. In the second part of the study, six different hybrid models that have different combinations of Al 7075 and Kevlar29/Epoxy are proposed. Perforation energies and projectile residual velocities of these proposed models are compared under ballistic impact loadings. It was shown that the hybrid model with 6AL-6KEV orientation, was the optimum structure to resist the ballistic impact loading among the proposed models. Which means that the plate with this orientation has exhibited the maximum energy absorbing characteristics.

Keywords: Ballistic impact, aluminum alloys, kevlar.

Kevlar / Epoksi Kompozitleri ile Hybrid Yapılan Alüminyum Alaşımlarının Balistik Darbe Tepkilerinin Araştırılması

ÖZ

Bu karşılaştırmalı çalışmada, Kevlar/Epoksi kompoziti ile hybrid yapılan çeşitli alüminyum alaşımlarının balistik darbe davranışları numerik olarak araştırılmıştır. Numerik modeller, ANSYS'in eksplisit sonlu elemanlar modülünü kullanarak oluşturulmuştur. Analizler sırasında başlangıç hızı 400 m/s olan 50 kalibrelik mermi kullanılmıştır. Çalışmanın ilk bölümünde, 7075, 6061 ve 2024 alüminyum alaşımları, balistik darbe dayanımları açısından karşılaştırılmıştır. Bu alaşımların perforasyon enerjileri miktarları (hedefin enerji absorbe etme kapasitesi) ve mermi son hızları karşılaştırılmıştır. Ayrıca, plakaların kalınlıkları, kullanılan mermi ve başlangıç hızı için plakaların tamamen perfore olmadığı noktaya kadar artırılmıştır. Al 7075 T6'nın son hızının kullanılan alüminyum alaşımları arasında en küçük olduğu görülmektedir, bu da 7075 T6 alüminyumun daha yüksek balistik darbe dayanımına sahip olduğu anlamına gelmektedir. Çalışmanın ikinci bölümünde, Al 7075 ve Kevlar29/Epoksi'nin farklı kombinasyonlarına sahip altı farklı hybrid model oluşturulmuştur. Bu oluşturulan modellerin balistik darbe yükleri altında perforasyon enerjileri ve mermi son hızları karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar 6AL-6 KEV hybrid modelin, önerilen modeller arasında balistik darbe yüküne dayanım açısından en uygun yapı olduğunu göstermektedir. Bu sonuç, bu modelin balistik darbe yükleme koşulları altında maksimum enerji absorbe edebilme özelliğine sahip olduğu anlamına gelmektedir.

Anahtar Kelimeler: Balistik darbe, alüminyum alaşımları, kevlar.

1. INTRODUCTION

Structures are exposed to the various loads during the operating conditions. Ballistic impact loads are the most critical loads which the structures may be exposed. Hence, ballistic impact capacities of different materials are an important research area and have been studied by the many researchers. During the normal impact events, forces on the target structures can be assumed as

distributed (on a small area) on the impact zone. But, in the ballistic case, forces are concentrated on the points of impacts which causes high deformations and stresses at these points. Residual velocities defined as the final velocity of the projectile after impact, and perforation energies defined as the energy which can be absorbed by the target plate during full or partial penetration of the targets are important parameters to compare different materials. So, on the many of these studies [1-5], the aim was to find a material or material combinations to prevent penetration of targets under the high impact velocities.

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-mail : eyeter@gantep.edu.tr

Nowadays the researchers started to investigate to find light-weight materials which can have high impact load absorbing capacities with less weights. Hence, some metallic materials and composite materials can have the solution for this issue since they have high specific strength and modulus. Aluminum alloys are one of the solutions for this issue and studied by some of the researchers [6-15].

During the impact event, different mechanical properties of materials can be effective like yield and ultimate strength, hardening parameters [16], the toughness of resin [17] for the composites. It was also proved by experimentally and numerically that some of the polymer matrix composites show unique properties under the effects of the impact loadings. So, there are many investigations that are showing this fact. Carbon/Epoxy [18-24], Glass/Epoxy-polyester [25-28], Kevlar/Epoxy-Vinylester [29-40] polymer composites are mainly studied ones. Among the fibers of the polymer matrix composites, Kevlar is an important material since this material type have high impact load absorbing capacities and have been an important researched fiber type. Sandwich composites which are the combinations of Glass fiber and Kevlar/epoxy was studied by Ansari et al. [40]. Ballistic impact characteristics of a Kevlar/Epoxy helmet were investigated considering deformation, stress, final velocity and acceleration using hydro-code simulations of AUTODYN by Tham et al. [32]. Kumar et al. [34] performed numeric analyses to predict the ballistic resistance of Kevlar-Epoxy composites using 100-1000 m/s velocities. Influences of friction on the ballistic response of aramid fibers were investigated by Briscoe et al. [30].

Composite materials are the important material types and many of the properties are unique and new material properties can be achieved by the optimization[41] or the combination of different fibers. Different combinations of various materials that have unique properties are one of the effective ways to improve the mechanical properties of the materials. This process is called as hybridization and has been an important choice for many applications. Hybridization is also can be used to improve the energy absorption capacities of materials and some of the researchers have been investigated this issue. Naik et al. [18] studied hybridization effects of glass-carbon/epoxy polymer composites on the Impact loadings. Shape memory alloy and Spectra hybridization was investigated by Ellis et al. [42]. Pereira et al. [33] studied impact characteristics of Kevlar 49 and Zylon. Randjbaran et al. [38] studied effects of hybrid materials that are formed using Kevlar-Carbon-Glass fibers for Ballistic Impact Testing. Silva et al. [22] studied impact characteristics of hybrid carbon-epoxy/cork composites. E glass and Kevlar 29 fibers are hybridized by Muhi et al. [43] and it was shown that with the addition of Kevlar layers penetration resistance was increased.

In this study, ballistic impact response of various aluminum alloys hybridized with Kevlar/Epoxy composite is investigated numerically. The study has two

main parts. In the first part of the study, ballistic impact analyses of 7075, 6061 and 2024 aluminum alloys are performed and the result of these analyses are compared for their ballistic impact resistance. During this comparison the amount of perforation energies (energy absorbing capacity of target) and projectile residual velocities are considered. Also, thicknesses of plates are increased up to the point at which the plates aren't exhibited full perforations for the used projectile and initial velocity. In the second part of the study, Al 7075 (which has maximum ballistic load absorbing capacities among the used aluminum alloys, and this is shown by the results of the first part of the study) and Kevlar 29/Epoxy are combined in the various combinations. Six different hybrid models that have different combinations of Al 7075 and Kevlar29/Epoxy are proposed. Perforation energies and projectile residual velocities of these proposed models are compared under ballistic impact loadings.

2. NUMERICAL STUDIES

In this study, ballistic impact responses of various aluminum alloys hybridized with Kevlar/Epoxy composite are investigated numerically. The numerical models were developed using the explicit finite element module of ANSYS. The analyses were performed using the Lagrangian approach available in ANSYS.

The geometry of the projectiles are important and the shape of the projectile affects the amount of perforation energy. In this study, 50 caliber projectile (sharpen tip[44]) whose geometrical properties are given in Figure 1 is used. The mass of the used projectile equals to 46.16 g.

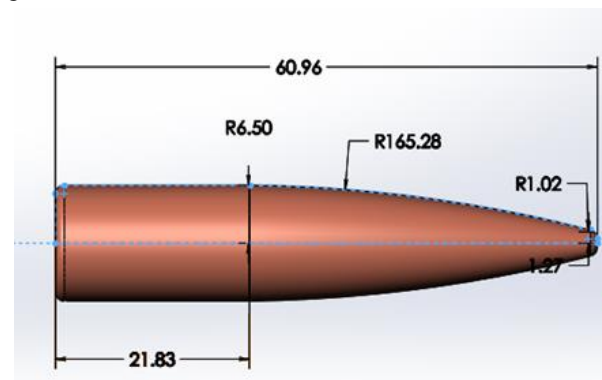


Figure 1. The projectile geometric information (dimensions in mm)

In the first part of the study, 7075, 6061 and 2024 aluminum alloys are compared for their ballistic impact resistance. Projectile residual velocities and amount of perforation energies (energy absorbing capacity of The argets) of these alloys are compared. mechanical properties of used alloys are given in Table 1.

Table 1. Mechanical properties of Aluminum alloys

Material	S_{yi} (Mpa)	S_{ymax} (Mpa)	Hardening exponent n	E (Gpa)	G (Gpa)	ν	ρ (kgm ⁻³)
Al 7075 T6	420	810	0.113	72	26.70	0.3	2804
Al 6061 T6	290	680	0.110	70	27.60	0.3	2703
Al 7075 T8	260	760	0.160	73	28.60	0.3	2785

The boundary conditions of models are given in Figure 2. During the analysis, the projectile is considered as rigid and an initial velocity of 400 m/s is applied as seen in Figure 1. The target plate is fixed from all edges.

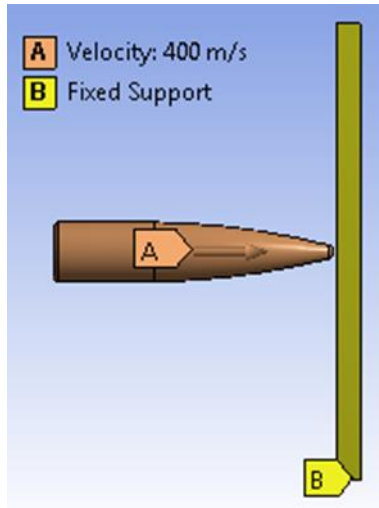


Figure 2. The boundary conditions

2.1 Mesh Convergence Analysis

Before the numerical study, the accuracy of the mesh is controlled doing a mesh convergence analysis. Eight different mesh sizes (element sizes) varying from 0.3 mm to 5 mm were selected and analyzed for AL 7075 T6 and 1 mm plate thickness. Mesh comparison for Al 7075 T6 considering the projectile velocity reduction during ballistic impact for this plate is given in Figure 3. It was shown that the element size less than 0.6 mm was converged to the residual velocity. During the analyses, 0.5 mm element size is used.

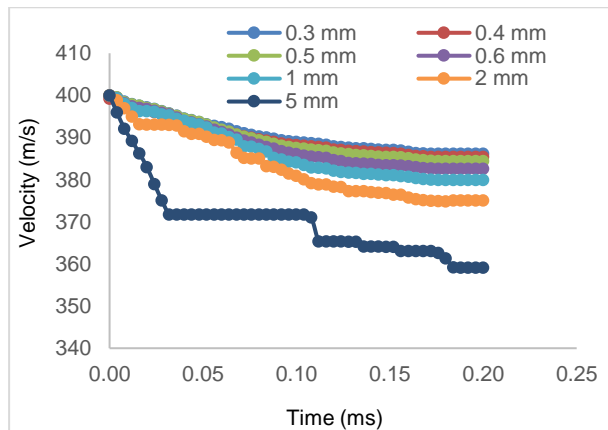


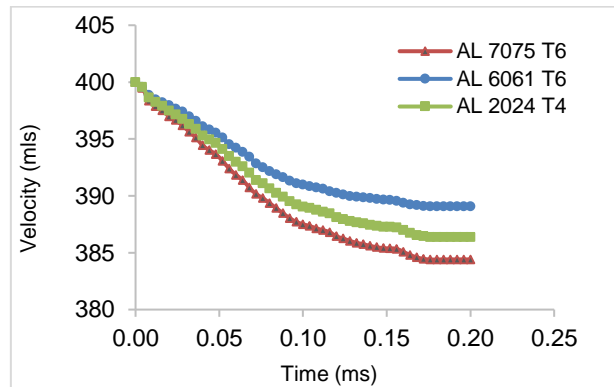
Figure 3. Mesh comparison for Al 7075 T6

3. RESULTS AND DISCUSSION

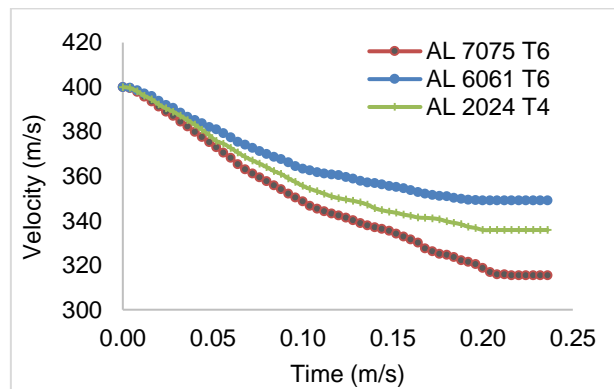
Results are given in the two section. In the first section of results and discussion, the ballistic impact responses of the aluminum alloys are given. In the second section, the ballistic impact responses of the hybrid models are given.

3.1 Ballistic Impact Responses of Aluminum Alloys

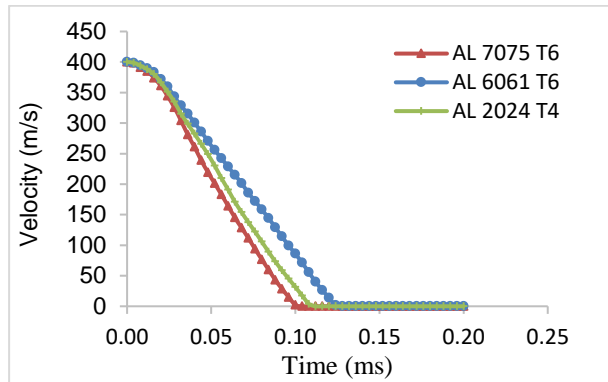
As mentioned in the previous sections, in this study firstly ballistic impact responses of Al 7075 T6, Al 6061 T6 and 2024 T4 are compared. Projectile velocity reductions during ballistic impact for these aluminum alloys are given in Figure 4. It shows that the residual velocity (the velocity of the target after full or partial perforation of the target, this velocity decreases to the zero if the target cannot be perforated fully) of the Al 7075 T6 is the smallest among the used material types. For 5 mm thickness of the target plate, the residual velocity of the Al 7075 T6 is approximately 9.6 % smaller than the residual velocity of the Al 6061 T6. In the case of the partial perforation of the target, when the thickness is equal to 15 mm, it is seen that the velocity of projectile decrease to zero the earliest (approximately 20 %) among the used material types.



(a)



(b)



(c)

Figure 4. Projectile velocity reduction during ballistic impact for the different aluminum alloys a) 1 mm thickness, b)5mm thickness, c)15 mm thickness

Damage propagation on the 5 mm target plate with AL 7075 T6 material type for ballistic impact loading is given in Figure 5. It is seen that perforation is starting when time equals to the 0.024 ms, and this plate is fully perforated after 0.2 ms.

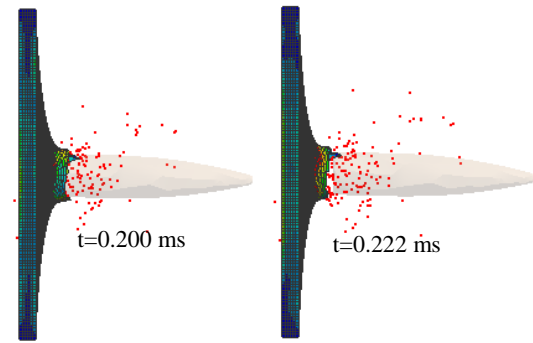
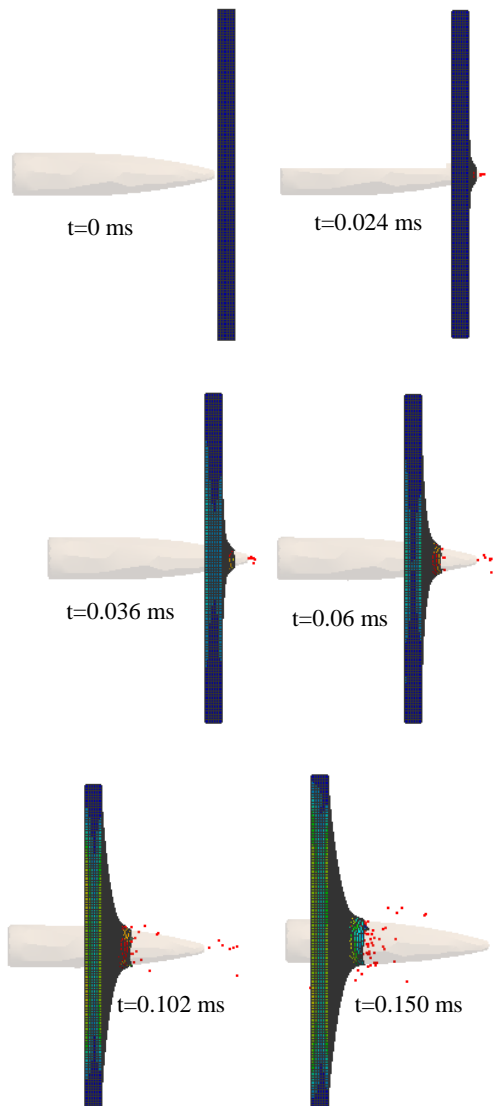


Figure 5. Damage propagation on the 5 mm target (AL 7075 T6) for ballistic impact loading ($V_i = 400$ m/s)

Also, thicknesses of plates are increased up to the point at which the plates aren't exhibited full perforations for the used projectile and initial velocity. In Figure 6, projectile velocity reduction during ballistic impact for the different thicknesses of AL7075 T6 is given. The thickness of the target plate is increased to 15 mm from 1 mm. It is seen that with the increase of the thickness of target plate, amount of the residual velocity is decreased and when the thickness equal to the 15 mm, the velocity of the projectile is decreased to zero. Which indicates that there is not full perforation of the target at this situation.

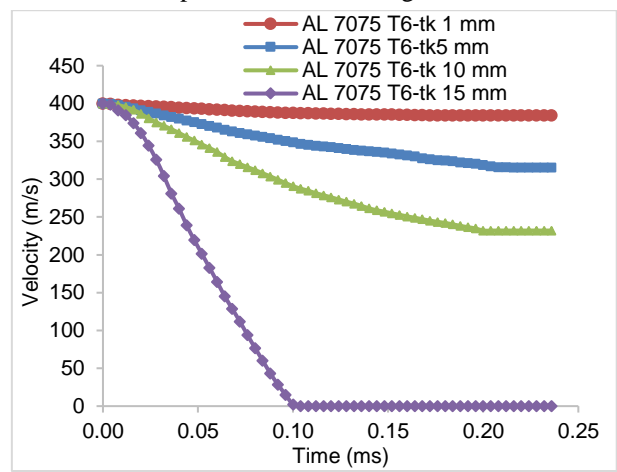


Figure 6. Projectile velocity reduction during ballistic impact for the different thicknesses of AL7075 T6

The energy absorption of target plates is also compared in this study. The energy absorption capacities (E_{Abs}) of plates are calculated using the following equation:

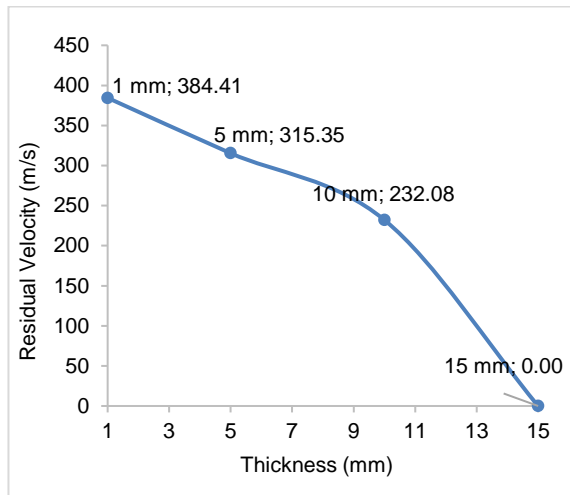
$$E_{Abs} = \frac{1}{2} m_p (V_i^2 - V_r^2) \quad (1)$$

Where;

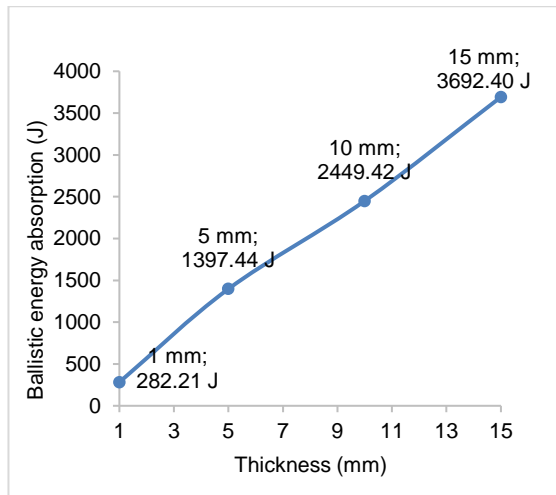
E_{Abs} = Energy absorption by the target (J); m_p = mass of the projectile (kg); V_i = initial velocity of the projectile (m/s); V_r = final (residual) velocity of the projectile (m/s).

The residual velocity of the target with Al 7075 T6 material type is given in Figure 7(a) and Table 2, amount of absorbed energy comparison of this model is given in Figure 7(b) and Table 2. The figure and the Table show

that with the increase of the thickness to 15 mm from 1mm, the residual velocity is decreased 0 m/s from 384.41 m/s. And amount of absorbed energy is increased to 3692.40J from 282.21 J.



(a)



(b)

Figure 7. Variation of (a) Residual velocities (b) Energy absorptions of AL 7075 T6 for different thicknesses

Table 2. Residual velocities and Energy absorptions of AL 7075 T6 for different thicknesses

Thickness (mm)	Residual velocity (m/s)	Ballistic energy absorption (J)
1	384.41	282.21
5	315.35	1397.44
10	232.08	2449.42
15	0.00	3692.40

*V_{initial}=400m/s

3.2 Ballistic Impact Responses of Aluminum Alloys

Kevlar29/Epoxy, its mechanical properties are given in Table 3, is an extensively used material type (as discussed in the introduction section) for the ballistic impact protective structures. And it is seen in the first part of the study that Al 7075 T6 has the maximum energy absorption among the used aluminum alloys in this study.

In the second part of the study, six different hybrid models with different combinations of Al 7075 T6 and Kevlar29 /Epoxy were proposed. These models are all 12 mm thick and consist of different aluminum and Kevlar combinations. These combinations are 6KEV + 6AL, 6Al + 6KEV, 3KEV + 6Al + 3KEV, 3AL + 6KEV + 3AL, 3KEV + 3AL + 3KEV + 3AL and 3AL + 3KEV + 3AL + 3KEV. And these combinations are named as H1, H2, H3, H4, H5 and H6 as shown in Table 4

Table 4. Schematic representation of different hybrid models

Model	Geometry	Individual thickness (mm)	Total Thickness (mm)
H1 (6KEV + 6AL)		6+6	12
H2 (6AL+ 6KEV)		6+6	12
H3 (3KEV + 6Al + 3KEV)		3+6+3	12
H4 (3AL + 6KEV + 3AL)		3+6+3	12
H5 (3KEV + 3AL + 3KEV + 3AL)		3+3+3+3	12
H6 (3AL + 3KEV + 3AL + 3KEV)		3+3+3+3	12

Perforation energies, projectile residual velocities of these proposed models are compared for the ballistic impact loadings in Figure 8. It has been shown that the target plate which formed having 6AL-6KEV orientation has the minimum residual velocity among the proposed

Table 3. Mechanical properties of Kevlar29/Epoxy[45]

S _{Xt} (Mpa)	S _{Xc} (Mpa)	S _{yc} (Mpa)	E ₁ (Gpa)	E ₂ (Gpa)	E ₃ (Gpa)	G ₁₂ (Gpa)	G ₁₃ ,G ₂₃ (Gpa)	v ₁₂	v ₁₃ ,v ₂₃	ρ (kgm ⁻³)
1850	185	185	18.50	18.50	6.00	0.77	5.43	0.25	0.33	1440

hybrid models. Which means that the plate with this orientation has exhibited the maximum energy absorbing characteristics under ballistic impact loading conditions

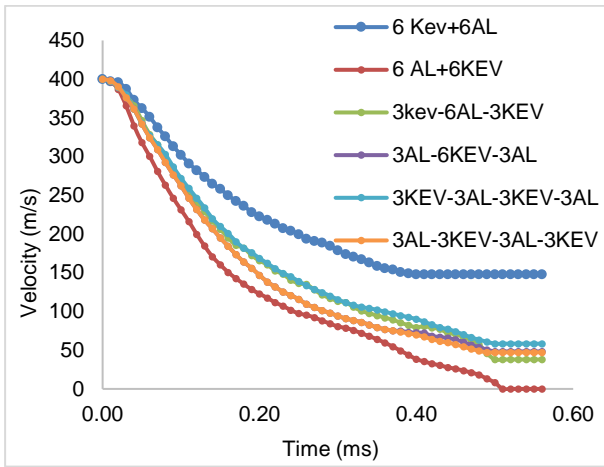


Figure 8. Projectile velocity reduction during ballistic impact for the hybrid targets

Damage propagation on the hybrid model with 6AL-6KEV orientation for ballistic impact loading is given in Figure 9. It is seen that perforation is starting when time equals to the 0.03 ms, and the velocity of the projectile is decreased to zero after 0.55 ms. It is seen that this plate cannot be fully perforated.

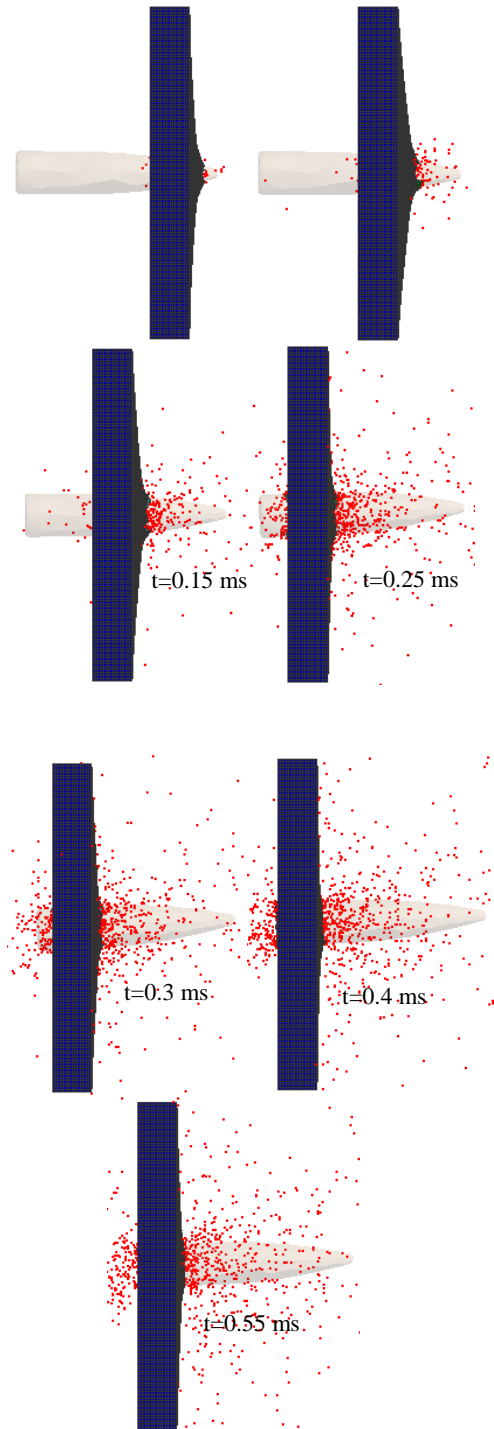
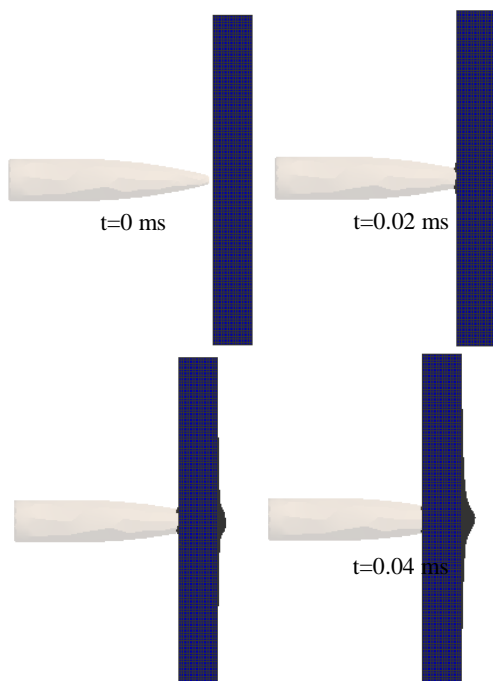


Figure 9. Damage propagation on the 12 mm 6Al+6KEV with ballistic impact loading ($V_i=400$ m/s)

The residual velocity of hybrid models is given in Figure 10a and Table 5. And the amount of absorbed energy comparison of these models is given in the Figure 10b and Table 5. The Figure and Table show that the residual velocity of the model H1 is the highest and it is the smallest (zero) for H2. Difference between H1 and H2 is approximately 148 m/s. The absorbed energy of H2 is approximately 15.85% higher than the absorbed energy of H1.

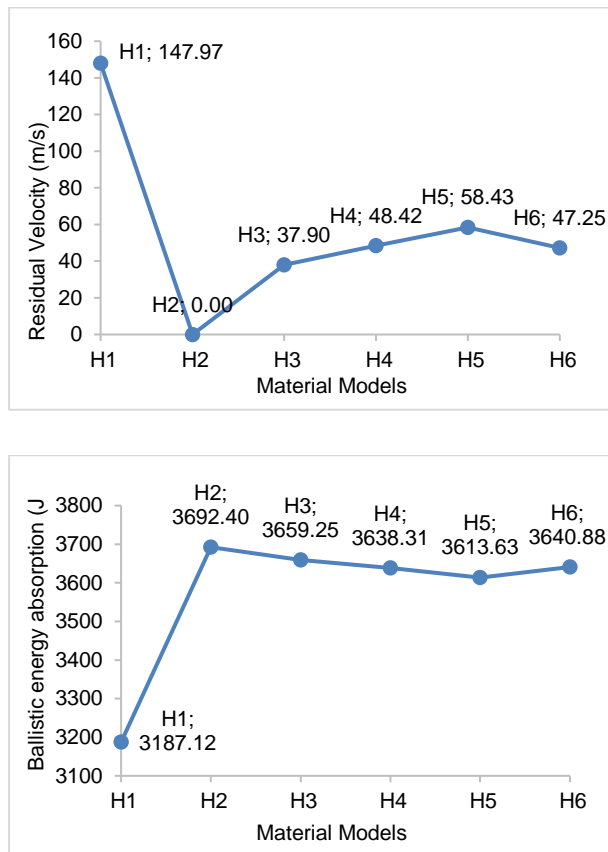


Figure 10. Variation of Residual velocities (a) and Energy absorptions (b) of hybrid models for different thicknesses

Table 5. Residual velocities and Energy absorptions for different material models

Material Models	Residual velocity (m/s)	Ballistic energy absorption (J)
H1	147.97	3187.12
H2	0	3692.40
H3	37.9	3659.25
H4	48.42	3638.31
H5	58.43	3613.63
H6	47.25	3640.88

*V_{initial}=400m/s

4. CONCLUSIONS

The ballistic impact resistance of different aluminum alloys, and hybrid models that have different

combinations of the 7075 T6 aluminum alloy and Kevlar 29/Epoxy were investigated in this study. The main specific results are;

- The residual velocity of the Al 7075 T6 is the smallest among the used material types. For 5 mm thickness of the target plate, the residual velocity of the Al 7075 T6 is approximately 9.6 % smaller than the residual velocity of the Al 6061 T6. When the thickness is equal to 15 mm, the velocity of projectile decrease to zero the earliest (approximately 20 % earlier than the others) among the used material types.
- Perforation is starting when time equals to the 0.024 ms on the 5 mm target plate with AL 7075 T6 material type, and this plate is fully perforated after 0.2 ms.
- For the target plate with AL7075 T6 material type, amount of the residual velocity is decreased when the thickness of the target plate is increased to 15 mm from 1 mm. When the thickness equal to the 15 mm, the velocity of the projectile is decreased to zero. Which indicates that there is not full perforation of the target at this situation. The residual velocity is decreased 0 m/s from 384.41 m/s and amount of the absorbed energy is increased to 3692.40 J from 282.21 J.
- The target plate which formed having 6AL-6KEV (H1) orientation has the minimum residual velocity among the proposed hybrid models. Which means that the plate with this orientation has exhibited the maximum energy absorbing characteristics under ballistic impact loading conditions.
- For the hybrid model with H1 orientation, perforation is starting when time equals to the 0.03 ms, and the velocity of the projectile is decreased to zero after 0.55 ms.
- The residual velocity of the model H1 is the highest and for H2 the smallest (zero). Difference between H1 and H2 is approximately 148 m/s. The absorbed energy of H2 is approximately 15.85 % higher than the absorbed energy of H1.

REFERENCES

[1] Avery, J. ve Porter, T., "Comparisons of the ballistic impact response of metals and composites for military aircraft applications", *Foreign Object Impact Damage to Composites*, ASTM International, 1975.

[2] Anderson, C.E. ve Bodner, S.R., "Ballistic impact: the status of analytical and numerical modeling", *International Journal of Impact Engineering*, 7(1): 9-35, (1988).

[3] Lee, B., Song, J. ve Ward, J., "Failure of Spectra® polyethylene fiber-reinforced composites under ballistic

- impact loading", *Journal of Composite Materials*, 28(13): 1202-1226, (1994).
- [4] Meyer, H.W. ve Kleponis, D.S., "Modeling the high strain rate behavior of titanium undergoing ballistic impact and penetration", *International Journal of Impact Engineering*, 26(1): 509-521, (2001).
- [5] Demir, T., Übeyli, M. ve Yıldırım, R.O., "Investigation on the ballistic impact behavior of various alloys against 7.62 mm armor piercing projectile", *Materials & Design*, 29(10): 2009-2016, (2008).
- [6] Mohotti, D., Ngo, T., Raman, S.N., Ali, M. ve Mendis, P., "Plastic deformation of polyurea coated composite aluminium plates subjected to low velocity impact", *Materials & Design*, 56: 696-713, (2014).
- [7] Holmen, J.K., Johnsen, J., Hopperstad, O.S. ve Børvik, T., "Influence of fragmentation on the capacity of aluminum alloy plates subjected to ballistic impact", *European Journal of Mechanics-A/Solids*, 55: 221-233, (2016).
- [8] Li, M.-Y., Xiong, B.-Q., Wang, G.-J., Tong, Y.-Z., Li, X.-W., Huang, S.-H., Li, Z.-H. ve Zhang, Y.-A., "Fracture mechanism of a laminated aluminum alloy plate during ballistic impact", *Rare Metals*, 36(9): 737-745, (2017).
- [9] Jena, P., Sivakumar, K., Mandal, R. ve Singh, A., "Influence of Heat Treatment on the Ballistic Behavior of AA-7017 Alloy Plate against 7.62 Deformable Projectiles", *Procedia Engineering*, 173: 214-221, (2017).
- [10] Majzoobi, G., Morshedi, H. ve Farhadi, K., "The effect of aluminum and titanium sequence on ballistic limit of bi-metal 2/1 FMLs", *Thin-Walled Structures*, 122: 1-7, (2018).
- [11] Sharma, P., Chandel, P., Bhardwaj, V., Singh, M. ve Mahajan, P., "Ballistic impact response of high strength aluminium alloy 2014-T652 subjected to rigid and deformable projectiles", *Thin-Walled Structures*, (2017).
- [12] Senthil, K., Iqbal, M., Arindam, B., Mittal, R. ve Gupta, N., "Ballistic resistance of 2024 aluminium plates against hemispherical, sphere and blunt nose projectiles", *Thin-Walled Structures*, (2017).
- [13] Bendarma, A., Jankowiak, T., Łodygowski, T., Rusinek, A. ve Klósak, M., "Experimental and numerical analysis of the aluminum alloy AW5005 behavior subjected to tension and perforation under dynamic loading", *Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, 55(4): 1219-1233, (2017).
- [14] Eken, S., Yavuz, A.K. ve Phoenix, S.L., "Computational ballistic impact analysis of aircraft armors", *Journal of Aeronautics and Space Technologies*, 10(1): 81-95, (2017).
- [15] Gilioli, A., Manes, A., Giglio, M. ve Wierzbicki, T., "Predicting ballistic impact failure of aluminium 6061-T6 with the rate-independent Bao-Wierzbicki fracture model", *International Journal of impact engineering*, 76: 207-220, (2015).
- [16] Doğru, M.H., "Modification of Hardening Parameter for Computational Plasticity ", *Politeknik Dergisi*, 20(3): 647-650, (2017).
- [17] Vieille, B., Casado, V.M. ve Bouvet, C., "Influence of matrix toughness and ductility on the compression-after-impact behavior of woven-ply thermoplastic-and thermosetting-composites: a comparative study", *Composite structures*, 110: 207-218, (2014).
- [18] Naik, N., Ramasimha, R., Arya, H., Prabhu, S. ve ShamaRao, N., "Impact response and damage tolerance characteristics of glass-carbon/epoxy hybrid composite plates", *Composites Part B: Engineering*, 32(7): 565-574, (2001).
- [19] Kim, H., Welch, D.A. ve Kedward, K.T., "Experimental investigation of high velocity ice impacts on woven carbon/epoxy composite panels", *Composites Part A: applied science and manufacturing*, 34(1): 25-41, (2003).
- [20] López-Puente, J., Zaera, R. ve Navarro, C., "Experimental and numerical analysis of normal and oblique ballistic impacts on thin carbon/epoxy woven laminates", *Composites Part A: applied science and manufacturing*, 39(2): 374-387, (2008).
- [21] Kim, Y.A., Woo, K., Cho, H., Kim, I.-G. ve Kim, J.-H., "High-velocity impact damage behavior of carbon/epoxy composite laminates", *International Journal of Aeronautical and Space Sciences*, 16(2): 190-205, (2015).
- [22] Silva, F., de Moura, M. ve Magalhães, A., "Low velocity impact behaviour of a hybrid carbon-epoxy/cork laminate", *Strain*, (2017).
- [23] Shillings, C., Javier, C., LeBlanc, J., Tilton, C., Corvese, L. ve Shukla, A., "Experimental and computational investigation of the blast response of Carbon-Epoxy weathered composite materials", *Composites Part B: Engineering*, 129: 107-116, (2017).
- [24] Doğru, M. ve Güzelbey, İ., "Investigation of the impact effects of thermoplastic polyurethane reinforced with multi-walled carbon nanotube for soldier boot under the blast load", *Journal of Thermoplastic Composite Materials*: Doi:10.1177/0892705717734599, (2018).
- [25] DeLuca, E., Prifti, J., Betheny, W. ve Chou, S., "Ballistic impact damage of S 2-glass-reinforced plastic structural armor", *Composites Science and Technology*, 58(9): 1453-1461, (1998).
- [26] Deka, L., Bartus, S. ve Vaidya, U., "Damage evolution and energy absorption of E-glass/polypropylene laminates subjected to ballistic impact", *Journal of Materials Science*, 43(13): 4399, (2008).
- [27] Pol, M.H., Liaghat, G., Zamani, E. ve Ordys, A., "Investigation of the ballistic impact behavior of 2D woven glass/epoxy/nanoclay nanocomposites", *Journal of Composite Materials*, 49(12): 1449-1460, (2015).
- [28] Naik, N., Shirao, P. ve Reddy, B., "Ballistic impact behaviour of woven fabric composites: Formulation", *International Journal of Impact Engineering*, 32(9): 1521-1552, (2006).
- [29] Dorey, G., Sidey, G. ve Hutchings, J., "Impact properties of carbon fibre/Kevlar 49 fibre hybrid composites", *Composites*, 9(1): 25-32, (1978).
- [30] Briscoe, B. ve Motamedi, F., "The ballistic impact characteristics of aramid fabrics: the influence of interface friction", *Wear*, 158(1-2): 229-247, (1992).
- [31] Guoqi, Z., Goldsmith, W. ve Dharan, C.H., "Penetration of laminated Kevlar by projectiles—I. Experimental investigation", *International Journal of Solids and Structures*, 29(4): 399-420, (1992).

- [32] Tham, C., Tan, V. ve Lee, H.-P., "Ballistic impact of KEVLAR® helmet: Experiment and simulations", *International Journal of Impact Engineering*, 35(5): 304-318, (2008).
- [33] Pereira, J.M. ve Revilock Jr, D.M., "Ballistic impact response of Kevlar 49 and Zylon under conditions representing jet engine fan containment", *Journal of Aerospace Engineering*, 22(3): 240-248, (2009).
- [34] Kumar, S., Gupta, D.S., Singh, I. ve Sharma, A., "Behavior of Kevlar/epoxy composite plates under ballistic impact", *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 29(13): 2048-2064, (2010).
- [35] Talib, A.A., Abbud, L., Ali, A. ve Mustapha, F., "Ballistic impact performance of Kevlar-29 and Al 2 O 3 powder/epoxy targets under high velocity impact", *Materials & Design*, 35: 12-19, (2012).
- [36] Reis, P., Ferreira, J., Santos, P., Richardson, M. ve Santos, J., "Impact response of Kevlar composites with filled epoxy matrix", *Composite Structures*, 94(12): 3520-3528, (2012).
- [37] Zhu, D., Vaidya, A., Mobasher, B. ve Rajan, S.D., "Finite element modeling of ballistic impact on multi-layer Kevlar 49 fabrics", *Composites Part B: Engineering*, 56: 254-262, (2014).
- [38] Randjbaran, E., Zahari, R., Abdul Jalil, N.A. ve Abang Abdul Majid, D.L., "Hybrid composite laminates reinforced with Kevlar/carbon/glass woven fabrics for ballistic impact testing", *The Scientific World Journal*, 2014, (2014).
- [39] Bandaru, A.K., Chavan, V.V., Ahmad, S., Alagirusamy, R. ve Bhatnagar, N., "Ballistic impact response of Kevlar® reinforced thermoplastic composite armors", *International Journal of Impact Engineering*, 89: 1-13, (2016).
- [40] Ansari, M.M. ve Chakrabarti, A., "Impact behaviour of GFRP and Kevlar/epoxy sandwich composite plate: Experimental and FE analyses", *Journal of Mechanical Science and Technology*, 31(2): 771-776, (2017).
- [41] Doğru, M.H., "Tsai-wu kriteri kullanarak kompozit plakaların optimizasyonu için geliştirilen algoritma", *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 32(3): 821-829, (2017).
- [42] Ellis, R.L., Lalande, F., Jia, H. ve Rogers, C.A., "Ballistic impact resistance of SMA and spectra hybrid graphite composites", *Journal of reinforced plastics and composites*, 17(2): 147-164, (1998).
- [43] Muhi, R., Najim, F. ve de Moura, M.F., "The effect of hybridization on the GFRP behavior under high velocity impact", *Composites Part B: Engineering*, 40(8): 798-803, (2009).
- [44] Doğru, M.H., "Investigation of Velocity Distribution and Turbulent Energy for the Different Tip Shaped Projectiles", *Çukurova University Journal of the Faculty of Engineering and Architecture*, 32(3): 39-46, (2017).
- [45] Manes, A., Bresciani, L. ve Giglio, M., "Ballistic performance of multi-layered fabric composite plates impacted by different 7.62 mm calibre projectiles", *Procedia Engineering*, 88: 208-215, (2014).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

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



PV/T tabanlı bir sistemde MATLAB/Simulink kullanılarak yapılan performans analizi

Performance analysis of a PV/T based system by using MATLAB/Simulink

Yazar(lar) (Author(s)): İlayda KOÇ¹, Kıvanç BAŞARAN²

ORCID¹: 0000-0002-9575-4088

ORCID²: 0000-0001-9613-6620

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): KOÇ İ. ve BAŞARAN K. "PV/T tabanlı bir sistemde MATLAB/Simulink kullanılarak yapılan performans analizi ", *Politeknik Dergisi*, 22(1): 229-236, (2019).

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

DOI: 10.2339/politeknik.417760

PV/T Tabanlı Bir Sistemde MATLAB/Simulink Kullanılarak Yapılan Performans Analizi

Araştırma Makalesi / Research Article

İlayda KOÇ¹, Kıvanç BAŞARAN^{2*}

¹Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine ve İmalat Mühendisliği A.B.D., MANİSA

²Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği, MANİSA

(Geliş/Received : 18.12.2017 ; Kabul/Accepted : 27.03.2018)

ÖZ

Bu çalışmada, fotovoltaik/termal (PV/T) kolektörlerin elektriksel ve termal verim analizi yapılmıştır. Bu amaçla, sıcak su karşılama ve elektrik enerjisi üretimi için uygun olan Sıvı Tip Düz PV/T Kolektör sistemi tercih edilmiştir. Bu tip sistemlerin maksimum verimle çalışabilmesi için sızdırmazlık faktörü, ışıınım, giriş sıcaklığı, ortam sıcaklığı, emici plaka parametreleri (tüp aralığı, boru çapı, kanatçık kalınlığı vb.), emici plakadaki akışkanın termal iletkenliği gibi çeşitli parametreler göz önünde bulundurulmalıdır. PV/T kolektörlerin termal verimliliği, giriş sıcaklığı ile ortam sıcaklığı (Ti-Ta) arasındaki sıcaklık farkının kolektör yüzeyine düşen global güneş radyasyonuna (G) oranından önemli ölçüde etkilenmektedir. (Ti-Ta)/G oranının artması termal verimin düşmesine sebep olmaktadır. Ayrıca, termal verime etki eden diğer faktörler sızdırmazlık faktörü (s) ve farklı kanatçık oranı (d/w) değerleridir. d/w oranının artması kolektör alanının artması ve PV modül sıcaklığının düşmesine sebep olduğundan elektriksel verim artışı da sağlamaktadır. PV/T sistemlerdeki önemli sorun, tüm bu parametrelerin göz önünde bulundurularak optimum verim elde edilebilmesidir.

Bu çalışmada, PV/T kolektörün MATLAB/Simulink modeli, matematiksel eşitliklerinden faydalanılarak hazırlanmıştır. Bu model üzerinde, tasarım parametreleri ile bunların termal ve elektriksel verime etkileri incelenmiştir. Yapılan çalışma ile PV/T kolektörden elde edilen maksimum termal verim %64,5, elektriksel verim %13,5 ve toplam verim %78 olarak tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik/Termal sistemler, PV/T performans analizi, güneş enerjisi.

Performance Analysis of a PV/T Based System by Using MATLAB/Simulink

ABSTRACT

In this study, electrical and thermal efficiency analyses of photovoltaic/thermal (PV/T) collectors were performed. For this purpose, a liquid type flat PV/T collector system which is suitable for hot water supply and electrical power production is used. Various parameters such as sealing factor, radiation, inlet temperature, ambient temperature, absorbent plate parameters (tube spacing, pipe diameter, flap thickness, etc.) and the thermal conductivity of the fluid in the absorbent plate must be taken into consideration for such systems to operate with maximum efficiency. The thermal efficiency of the PV/T collectors is significantly influenced by the ratio of the temperature difference between the inlet temperature and the ambient temperature (Ti-Ta) to the global solar radiation (G) falling on the collector surface. (Ti-Ta) / G ratio increase decreases the thermal efficiency. In addition, other factors affecting thermal efficiency are the sealing factor (s) and the different flap ratio (d/w) values. The increase of the d/w ratio also increases the collector area and decreases the PV module temperature, thus increasing the electrical efficiency. The major problem in PV/T systems is that optimum efficiency can be achieved by considering all these parameters.

In this study, a MATLAB/Simulink model of PV/T collector was prepared by using mathematical equations. With the help of this model, the design parameters and their effects to thermal and electrical efficiency were investigated. The maximum thermal efficiency, electrical efficiency and total efficiency of the PV/T collector were determined as 64.5%, 13.5% and 78%, respectively.

Keywords: Photovoltaic/Thermal systems, PV/T performance analysis, solar energy.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Enerji, çağımızda en önemli tüketim maddelerinden biri ve vazgeçilmez bir uygarlık aracıdır. Gelişmişlik düzeyi yüksek ülkelerin en önemli ihtiyaçlarının başında gelen enerji tüketimi, sürekli artmaktadır ve bu artış gelecekte de devam edecektir. Bugün sahip olduğumuz teknolojik gelişmelerin devam etmesi ve sunduğu imkânların yaşamımızda sürmesi için doğrudan ve

dolaylı olarak enerji tüketmek zorundayız. Tüketmek zorunda olduğumuz enerjinin bugün büyük bir çoğunluğu fosil yakıtlarından, geri kalanı ise nükleer ve yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanmaktadır. Tüm dünyada, fosil yakıt kullanımının çevre ve insan sağlığına verdiği zararlar, önlem alınmazsa gelecekte bedelini insanların ödeyeceği büyük sorunlarla karşı karşıya kalınmasına sebep olacaktır.

Enerji üretiminde fosil kaynaklar büyük bir yere sahip olsalar da, günümüzde yenilenebilir enerji kaynaklarının

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

yaygınlaşmaya başlaması ile bu kaynaklara duyulan ihtiyaçların gün geçtikçe azalması amaçlanmaktadır. Sanayinin gelişmesi ile giderek artan enerji ihtiyacını karşılamak, kalkınma ve sanayileşme yolunda önceleri göz ardı edilen enerji kaynaklarının yerine yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasının artırılması gerçeği her geçen gün daha iyi anlaşılmaktadır [1].

PV/T sistemlerin potansiyel kullanım alanı oldukça fazla olmasına rağmen günümüzde istenilen seviyede kullanılmamaktadırlar. Ancak literatürde PV/T sistemlerle ilgili yapılan çalışmalar, kullanım alanının geliştirilebileceğini göstermektedir.2010 yılında Lizbon'da yapılan bir çalışmada, MATLAB programını kullanarak hibrit fotovoltaiik termal güneş sistemlerinin simülasyon çalışması yapılmış termal ve elektriksel verimlerini incelemiştir. Çalışma sonunda %52 elektriksel, %15 termal verim olmak üzere %67 genel verim elde edilmiştir [2]. 2016 yılında Avustralya'da yapılan çalışmada, tipik bir konut binası için PV/T hava kolektör sisteminin tam optimizasyon ve performans analizi yapılmıştır. PV gücü, birim kolektör alan için $8W/m^2$ sabit güç ile çalıştırılan bir fanda ortalama hava akış kütlesi $0,04 kg/s.m^2$ olarak ölçülmüştür. Ayrıca yaklaşık olarak aynı akış kütlesi için termal enerji çıkışındaki güç $22 W/m^2$, maksimum efektif termal enerji çıkışındaki güç $45W/m^2$ ve fan güç tüketimi $12W/m^2$ olarak hesaplanmıştır [3]. 2016 yılında Tunus'da yapılan araştırmada PV/T tabanlı ters osmos (RO) tuzdan arındırma sisteminin bulanık mantık denetleyici kullanarak performans gelişimi incelenmiştir. Bu çalışmada sistem simülasyonu LABVIEW programı kullanılarak yapılmıştır. Saat 00:00 ile 10:00 arasında sistemin, güneş ışınım miktarı ve ortam sıcaklık dağılımı simule edilmiştir. En yüksek güneş ışınım miktarı saat 04:45'de $740 W/m^2$ olarak ölçülmüştür. Ortam sıcaklık dağılımının en yüksek değeri ise aynı saatte $33^{\circ}C$ olarak ölçülmüştür [4]. 2016 yılında M.A. Jones ve arkadaşları Amerika'da yaptıkları çalışmada, enerji depolama sistemi olmaksızın, tarımsal kullanım amacıyla PV sistemle çalışan su pompalama ve arıtma sisteminin ekonomik analizini incelemişlerdir. Sistemde 15 ile 250 kW arasında değişen PV dizi boyutları ile RO sistem ve orta ölçekli bir pompa üzerine bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada sistemin MATLAB programında simule edilmiştir. Modellemede Ürdün'ün güneş ışınım değerleri baz alınmış, 4 farklı invertör kullanarak inceleme yapılmıştır [5]. 2016 yılında Fransa'da, Ouargla şehrinin iklim şartlarında, bir evin temiz su eldesi ve sıfır enerji tüketimini sağlamak amacıyla teorik bir çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmaya göre kurulacak sistem Mayıs - Ekim ayları aralığında bir evin sıcak su ihtiyacının tamamını, Ocak - Nisan ayları boyunca sırasıyla %54 ve %93 arasında sıcak su ihtiyacını karşılayacağı hesaplanmıştır [6]. 2014 yılında Tunus'da, PV/T temelli tuzlu su arıtma sistemi dizaynının kavram ve değerlendirmesi üzerine çalışma yapılmıştır. Çalışmalarında, ısıtım tuzlu su üzerinde etkisi ve yüzey performansı incelemiştir. Ayrıca besleme suyu sıcaklığının enerji tüketimi üzerinde olan etkisi de

incelenmiştir. Sıcaklık arttıkça sistem için gereken toplam enerji miktarı azalmaktadır. $45^{\circ}C$ 'de gerekli olan enerji $2000Wh$ 'dir [7]. 2013 yılında Delhi'de yapılan çalışmada fotovoltaiik tabanlı dalgıç su pompasının performans analizini incelenmiştir. 28 Kasım 2012 de yaptıkları ölçümde en yüksek güneş radyasyon değeri $691 W/m^2$ olarak ölçülmüştür. Elde ettikleri verim ise %7'dir [8]. 2016 yılında Çin'de, PV/T sistem tabanlı mikro kapsüllü faz değiştirici malzemenin (MPCM) enerji performansını deneysel olarak çalışma yapılmıştır. $900W/m^2$ güneş ışınımında $150 (Q_c/W)$ elektrik çıkışı elde edilmiştir [9]. 2011 yılında yapılan bir çalışmada PV/T su sistemleri üzerine verim analizi yapılmıştır. Yapılan çalışmada termal verimi %64, elektriksel verim %12 olarak bulunmuştur [10]. 2015 yılında Fas'ta yapılan bir çalışmada fotovoltaiik modüllerin MATLAB simülasyonu üzerinde, ışınım ve sıcaklığın düzensiz dağılımı altındaki modül ve dizileri incelemiştir. Modelde, güneş simulatörü vasıtasıyla ölçülen değerler, deneysel olarak kontrol edilmiştir. $25^{\circ}C$ sıcaklıkta, $800 W/m^2$, $900 W/m^2$, $1000 W/m^2$, $1100 W/m^2$ ışınım seviyelerinde ölçümler yapılmıştır. Elde edilen en yüksek güç, $1100 W/m^2$ ışınımında $250W$ olarak ölçülmüştür [11]. 2006 yılında İzmir'de yapılan bir çalışmada yapı ile bütünleştirilebilir güneş pili/termal toplayıcı (PV/T) hibrid sistemin performans analizi ve optimizasyonu incelenmiştir. Kolektör giriş ve çıkış suyu sıcaklıkları ile güneş pili hücre sıcaklıklarının saatlik ortalamaları incelenmiştir. Deney 09.07.2004 tarihinde yapılmış olup elde edilen en yüksek çıkış suyu sıcaklığı saat 16:00'da $43,24^{\circ}C$ olarak ölçülmüştür [12]. 2014 yılında yapılan bir araştırmada, fotovoltaiik / termal güneş kolektörünün tasarımı ve duyarlılık analizi üzerine çalışmıştır. Sistemin duyarlılık analizi MATLAB Simulink kullanılarak yapılmıştır. Kanatçık oranına göre termal verimlilik değişimi incelenmiştir. En yüksek termal verim, 0,009 kanatçık oranında %45 olarak hesaplanmıştır [13]. 2016 yılında Çin'de yapılan bir çalışmada, fitilsiz ısı borusu ve tel örgülü ısı borusu ile PV/T sistemlerin eğim açısının termal performans üzerindeki etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Paneller 10° , 20° ve 40° olmak üzere üç farklı eğim açısında ayarlanmıştır. Bu açılarda ölçülen değerler sırası ile $0.014 K/W$, $0.012 K/W$, $0.011 K/W$ 'dir [14].

Bu çalışmada, sıvı tip düz PV/T kolektörlerin Manisa ilinin iklim şartları göz önünde bulundurularak termal ve elektriksel verim analizi yapılmıştır. Çalışmanın amacı, PV/T kolektörlerin Manisa ilinde kullanılması durumunda elde edilebilecek termal ve elektriksel verimlerinin belirlenmesi ve kurulacak sistemlerin doğru boyutlandırılmasına katkıda bulunmaktır. Gerekli analizler için PV/T kolektörlerin matematiksel eşitlikleri kullanılarak MATLAB/Simulink programında gerekli modeller hazırlanmıştır. Oluşturulan model üzerinde (Ti-Ta)/G, sızdırmazlık faktörü ve ısı iletim katsayısının değişimine bağlı olarak PV/T kolektörün termal ve elektriksel verim değişimi analiz edilmiştir. Yapılan simülasyon çalışmaları sonucunda, PV/T kolektörün maksimum termal verimi %64,5, elektriksel verimi

%13,5 ve toplam verim %78 olarak tespit edilmiştir. Gerçekleştirilen simülasyon modeli ve kullanılan parametreler Manisa ili için yapılan ilk çalışma olması sebebiyle literatürdeki boşluğu dolduracak özelliktedir. Simülasyon çalışmasında kullanılan PV/T kolektörün teknik özellikleri Çizelge 1’de gösterilmiştir.

Çizelge 1. Kullanılan PV/T Kolektörün Teknik Özellikleri (Technical Specifications of PV/T Collector)

Parametre	Sembol	Değer	Birim
Ortam Sıcaklığı	T _a	293	K
Yüzeydeki Işıma	ε _p	0,95	
Kapaktaki Işıma	ε _c	0,88	
Boru Sayısı	n	66	
Sistem Akış Hızı	m	2	lps
Kolektör Alanı	A		m ²
Rüzgar Hızı	v		m ² /s
PV trans/abs	Tα _{PV}	0,74 veya 0,78	
Termal trans/abs	τα _T	0,925	
Emici Kalınlığı	t	0,5	mm
PV Kalınlığı	L _{PV}	0,4	mm
PV iletkenliği	K _{PV}	130	W/mK
Boru Hidrolik Çapları	dh	9,7	mm
Boru Aralığı	w	0,1	mm
Boru genişliğinin aralığa oranı	d/w	1,5	
Hücreden emiciye Isı transfer katsayısı	h _{pva}	45	W/m ² K

2. PV/T SİSTEMLER (PV/T SYSTEMS)

Endüstride güneş enerjisi dönüşüm sistemlerinin kullanımı her ne kadar sınırlı olsa da, özellikle fotovoltaik sistemler için, standart PV modüllerinin yerine PV/T kolektörler kullanılması güneş enerjisi dönüşüm sistemlerinin endüstride kullanımını yaygınlaştırabilir. 1970’lerin sonlarında, hem PV hem de termal kolektörlerin tek bir cihazda birleştirilerek kullanılması ile ilgili bir dizi çalışma yapıldı. Bu yeni güneş sistemleri, hem elektrik elde etmede hem de su veya hava ısıtma da kullanıldığı için endüstriyel uygulamalara etkili bir şekilde katkı sağlamaktadır.

2.1 PV/T Sistemin Temel Yapısı (Basic Structure of PV/T System)

Fotovoltaik termal kolektör (PV/T), tipik bir PV panel ve panelin altına yerleştirilen, evlerde ön ısıtma sağlamak için su veya havayı ısıtmada kullanılan termal kolektörden oluşur. PV/T kolektörler, güneş enerjisinin büyük bir kısmının toplayıcı yüzeyine odaklanması ile faydalı termal ve elektrik enerjisine dönüştürülmesine olanak sağlar. Sıradan PV panellerde hücre sıcaklığı arttıkça verim azalmaktadır. Ancak PV/T sistemlerde

sıcaklık artışı olduğunda, termal kolektörden geçen su veya hava fazla ısıyı PV hücreden uzaklaştırarak daha verimli çalışmasını sağlar. Ayrıca, PV ve termal kolektör bir arada olduğu için, kullanılan sınırlı çatı alanından daha fazla verim elde etmemizi sağlarlar. Birçok farklı PV/T teknolojileri bulunmaktadır. Her teknolojinin farklı hedef uygulamaları, kurulum maliyetleri ve performans özellikleri vardır [15].

2.2 PV/T Sistem Çeşitleri (PV/T System Types)

2.2.1 Sıvı tip düz PV/T kolektörler (Liquid type flat-PV/T collectors)

Bu tip PV/T sistemlerde, su veya kullanılan akışkan toplayıcı plaka içerisinde dolaştırılarak ısıyı toplar. Sıcak su talebi olması durumunda bu tip bir sistemin kullanılması avantajdır. Düz yapıya sahip bina çatıları, sistemin kurulumu için uygundur. Ayrıca elde edilen sıcak su, harici bir depoda saklanabilir. Ancak bu sistemlerin aşırı koşullarda sızıntı ve donma gibi dezavantajı olmaktadır.

Sıvı tip düz PV/T kolektörlerin sırlı ve sırsız olmak üzere iki çeşidi bulunmaktadır. Sırlanmış yüzeye sahip kolektörler, daha az ısı kaybı ve yüksek termal performans sağlar. Ancak yüksek sıcaklık fotovoltaik hücreyi olumsuz etkilediği için, hücrenin elektriksel performansını bir dereceye kadar düşürmüştür. Sırsız sıvı tip düz PV/T sistemlerde ısı kayıpları fazla olduğu için çalışma sıcaklıkları daha düşüktür. Böylece, daha yüksek elektriksel performans ve daha düşük termal performans elde edilmiş olur. Kurulan sistemden yüksek termal performans elde edilmek isteniyorsa sırlı, yüksek elektriksel performans elde edilmek isteniyorsa sırsız sıvı tip düz PV/T kolektör kullanımı uygun olacaktır. Şekil 1 ve Şekil 2’de sırlı ve sırsız sıvı tip düz PV/T kolektör gösterilmiştir.

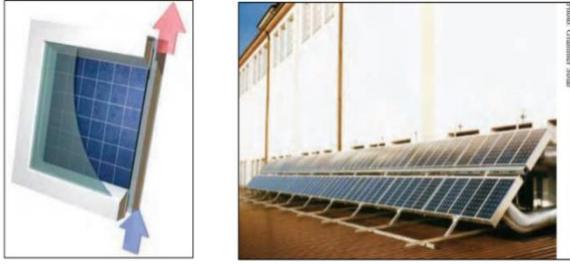


Şekil 1. Sırlı Camlı Sıvı PV/T (Glazed liquid type PV/T collector) **Şekil 2.** Sırsız Camlı Sıvı PV/T (Unglazed liquid type PV/T Collectors) [16]

2.2.2 Hava tipi düz - PV/T kolektörler (Air type flat - PV/T collectors)

Hava tipi düz PV/T kolektörlerde, toplayıcıda sıvı akışkan yerine hava dolaştırılarak havanın ısıtılması sağlanır. Bu tip kolektörler ısıtılmış havaya ihtiyaç duyulan alanlarda kullanılmalıdır. Sıvı tip kolektörlere göre maliyetleri daha düşüktür ve bir sızıntı durumunda, donma, kaynama veya sistemin zarar görmesi gibi bir risk olmadığından daha avantajlıdır. Ancak, hava tipi PV/T kolektörlerinin, sıvı tipe kıyasla daha düşük termal

performansa sahip olması gibi bazı büyük dezavantajları vardır. Sirkülasyon akışkanı düşük ısı kapasitesine sahip olduğundan, daha düşük ısı transferine sahiptir. Ayrıca düşük yoğunluğu nedeniyle transfer hacmi, sıvı tipli olanlara göre çok daha yüksek olmak zorundadır. Dolayısıyla, düşük hacimli uygulamalar için uygun değildir ve kuruluma estetik açıdan hoş olmayan daha büyük hacimli borulara ihtiyaç duyulur. Son olarak, bir sızıntı durumunda sıvı tip PV/T sistemlere göre daha yüksek ısı kaybı gözlemlenmektedir. Bu dezavantajlara rağmen hava tipi PV/T kolektörleri düşük maliyetlerinden dolayı, ısıtılmış havaya ihtiyaç duyulan uygulamalarda kullanılabilir. Şekil 3'de hava tipi düz PV/T kolektör uygulaması gösterilmiştir.



Şekil 3. Isı Geri Kazanımlı Havalandırmalı PV/T Uygulaması (Ventilated PV/T with heat recovery application) [16]

Isı geri kazanımlı havalandırmalı PV sistemleri, temel olarak havanın doğal taşınımı ile havalandırılmış bir PV sisteminden, ısı geri kazanımı yoluyla PV kolektörün ısınımlı duvarın bir bölümüne veya çatıya entegre edilmiştir. Bu sistemin avantajı yaz aylarında binayı koruyarak, soğutma yükünü azaltmasıdır. Ayrıca kaplama malzemesinin yerini aldıkları için ekonomik bir fizibilite çalışması için uygundur.

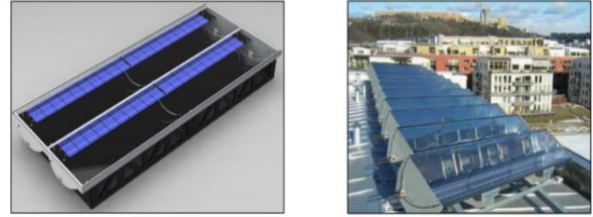
Entegre edilmiş PV kolektörlerini kurmanın dezavantajı ise her bir bina için ayrı ayrı tasarımlarının gerekmesidir. Ayrıca yüksek hacim nedeni ile büyük borulara ihtiyaç duymaları, her uygulama için uygun olmadıklarını göstermektedir. Son olarak, kolektördeki hava dolaşımı, doğa şartlarına maruz kaldığı için yüksek ısı kaybı nedeni ile entegre PV kolektör uygulamalarında düşük sıcaklıklar elde edilir. Şekil 4'de Isı Geri Kazanımlı Havalandırmalı PV kolektörün iki uygulaması gösterilmiştir.



Şekil 4. Isı Geri Kazanımlı Havalandırmalı PV Kolektörün Uygulaması (Ventilated PV with heat recovery application)[16]

2.2.3 Konsantre PV/T kolektörleri (Concentrated PV/T collectors)

Konsantre PV/T kolektörlerinde güneş ışınları toplanarak PV/T modülünün bulunduğu merkezi bir noktaya yansıtılır. Bu sistemin avantajı kullanılan reflektör malzemesinin maliyetinin düşük olmasıdır. Ayrıca düz PV/T'lere kıyasla daha az PV malzemesine ihtiyaç duyar. Pahalı PV modüller, maliyeti düşük olan reflektörler ile değiştirilerek daha ucuza mal edilebilir. Konsantre PV/T kolektörlerinin dezavantajı ise yüksek sıcaklıklara çıktığından dolayı, sabit bir soğutmaya ihtiyaç duymalarıdır. Eğer termal yük (soğutma) arızalanırsa sistem sorunlu hale gelebilir. Bu sistemlerin daha iyi performans elde etmeleri için sürekli izlenmeleri gerekmektedir. Düz plakalı PV/T kolektörlerine göre yapıya entegrasyonu zordur. Ayrıca, yüksek sıcaklıktan dolayı oluşan malzeme bozulması diğer tüm PV/T kolektörlerine göre daha fazla gözlenmektedir. Son olarak, bu kolektörlerin performansı kum ve toza karşı hassasiyet göstermektedir [16]. Şekil 5'de konsantre PV/T kolektörünün yapısı ve bir bina üzerindeki uygulama görüntüsü verilmiştir.

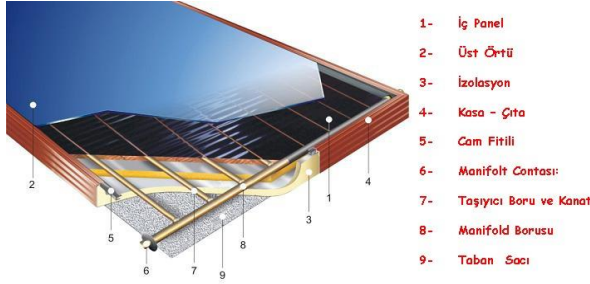


Şekil 5. Konsantre PV/T Kolektörü ve Uygulaması (Concentrating PV/T collector and application) [16]

PV/T sistemde ısıtılan suyu depolayabilmek için depolama tankı gerekmektedir. Genellikle, kolektör alanının metre karesi başına, hacmi 4,5 ile 9 litre arasında değişen depolama tankı kullanılması gerekir. Depolama tankında kullanılan yük eşanjörüne göre depolanan su, içilebilir veya içilemez özellikte olabilir. Küçük sistemlerde genellikle, cam kaplamalı çelik tanklar kullanılmaktadır. Büyük sistemlerde ise, polimerden yapılmış ya da polimer astarları kullanan basınçsız depolama tankları yaygındır. Bu sistemler, küçük basınçlı tanklara kıyasla birim hacim başına depolama maliyetini önemli ölçüde azaltmaktadır [16].

2.3 Sistem Seçimi (System Selection)

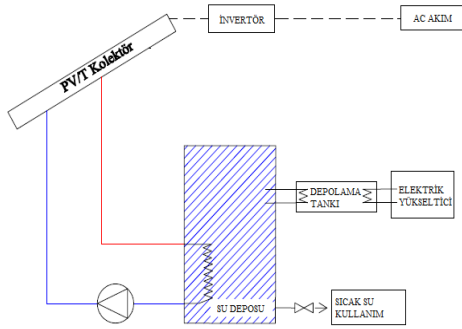
Bu çalışmada, sıvı tip düz PV/T kolektörler seçilerek simülasyon verileri elde edilmiştir. Bu tip kolektörler sıcak su ve elektrik ihtiyacını bir arada karşıladıkları için oldukça kullanışlıdır. Sistemin ısı kayıplarının düşük olması istenildiği için sırlı cam seçilerek hesaplamalar yapılmıştır. Böylece %60 oranında termal verim, %13,5 oranında ise elektriksel verim elde edilmiştir. Sıvı tip düz PV/T kolektörün yapısı ve elemanları Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6. PV/T Panel Yapısı (PV/T panel construction)[17]

2.4 Sistemin Blok Şeması (System Block Diagram)

PV/T kolektörler, hem elektrik enerjisi üretecek (PV) kısım, hem de suyun ısınmasını sağlayacak (Termal) kısım olmak üzere 2 bölümden oluşmaktadır. PV/T kolektör kullanılarak oluşturulan bir sistemin blok şeması Şekil 7'de gösterilmiştir. Güneş ışınımı PV/T kolektör üzerine düştüğünde PV panel tarafından doğru (DC) akım üretilir. DC akım invertör vasıtasıyla alternatif (AC) akıma çevrilir ve yüklerle aktarılır. Şekil 7'de kesik çizgiyle gösterilen kısım elektrik akımının geçiş yolunu göstermektedir. Ayrıca, güneş ışığının kolektör üzerine düşmesi ile termal kısımdaki borular içerisinde bulunan su ısınmaktadır. Şekil 7'de sıcak suyun taşındığı boru kırmızı çizgi ile soğuk suyun taşındığı boru ise mavi çizgi ile gösterilmiştir. Kolektörde ısınan su, su deposuna aktarılır. Buradan daha düşük sıcaklıktaki su kütlesi kolektöre doğru hareket etmektedir. Dolayısıyla depo içerisindeki su ısınmaktadır.



Şekil 7. Sistemin blok şeması (Block Diagram of System)

3. SİSTEMİN MATEMATİKSEL MODELLEMESİ (MATHEMATICAL MODELING OF THE SYSTEM)

PV/T sistemin termal ve elektriksel verimini analiz etmek amacıyla kolektöre eklenmiş düz plaka termal toplayıcıyla, tek boyutlu kararlı hal modeli geliştirilmiştir. Bu analizde Hottel-Whillier denklemleri kullanılmıştır [13].

Isı kazancı (Q):

$$Q = AF_R[(T \infty)_{PV} * GU_{loss}(T_i - T_a)] \quad (1)$$

Bu denklemde ısı kazancı (Q); düzenleme faktörü (FR), kolektör alanı (A), güneş radyasyonu (G), fotovoltaik

hücrelerde geçirgenlik-soğurma faktörü $((T_a)_{PV})$, ısı kaybı katsayısı (U_{loss}) , giriş sıcaklığı (T_i) , ortam sıcaklığının (T_a) bir fonksiyonu olarak tanımlanmıştır.

Kolektör ısı değiştirici düzeltme faktörü (F_R) :

$$F_R = \frac{mC_p}{AU_{loss}} [1 - \exp(-\frac{AU_{loss}F'}{mC_p})] \quad (2)$$

Kolektör ısı değiştirici düzeltme faktörü (F_R) ; kolektördeki kütle akışı hızı (\dot{m}) ve kolektör soğutucu maddesinin özgül ısısına (C_p) bağlı olarak hesaplanır.

Kanatçık verimlilik faktörü (F):

$$F = \frac{\tanh(M\frac{w-d}{2})}{M\frac{w-d}{2}} \quad (3)$$

Denklem (3)'de, bitişik borular arasındaki etki hesaba katılarak PV/T imalatı sırasında oluşturulan dikdörtgen kesitli tüplerin içerisinde bulunan boruların, boru aralıkları (w) ve boru genişliği (d) dikkate alınarak kanatçık verimlilik faktörü (F) hesaplanmıştır. Tüplerdeki akışla ilgili tüm hesaplamalarda, boru hidrolik çapı (d_h) dikkate alınarak hesaplama yapılmıştır.

PV hücre ve emicinin termal iletkenlik katsayısı (M);

$$M = \sqrt{\frac{U_{loss}}{k_{abs}l_{abs} + k_{pvl}l_{pv}}} \quad (4)$$

Bu denklemde M, emici ve PV hücrenin ısıl iletkenliğini ifade eden bir katsayıdır.

Kolektör verim faktörü denklem 5'de verilmiş olan formülle hesaplanır.

$$F' = \left[\frac{1}{U_{loss}(d+(w-d)F)} \right] + \frac{1}{wh_{pVA}} + \frac{1}{\pi dh_{fluid}} \quad (5)$$

Burada Dittus-Boelter denkleminde göre h_{pVA} , PV hücre ile emici plaka arasındaki bağ direncinin ısı transfer katsayısı olup, h_{fluid} belirlenen soğutma kanalı içindeki zorlanmış ısı transfer katsayısını ifade etmektedir.

Sistemdeki toplam performans kayıpları denklem 6 kullanılarak hesaplanabilir. Genel kayıp katsayısı (U_{loss}) ;

$$U_{loss} = U_t + U_b + U_e \quad (6)$$

Üst kayıp katsayısı (U_t) denklem 7 kullanılarak hesaplanır.

$$U_t = \left\{ \frac{N_g}{\frac{c}{T_{pm}(\frac{T_{pm}-T_a}{N_g+f})e}} + \frac{\sigma(T_{pm}+T_a)(T_{pm}^2+T_a^2)}{(\varepsilon_p+0,0059N_g h_w)^{-1} + \frac{2N_g+f^{-1}+0,33C_p}{\varepsilon_g} N_g} \right\} \quad (7)$$

Burada; N_g cam kapak sayısı, ε_p yüzey yayılımı, ε_g cam yayılımı, T_{pm} ortalama yüzey sıcaklığı, h_w rüzgar ısı transfer katsayısı (W/m^2C) , v rüzgar hızı (m/sn) , β eğim açısı, p kolektör çevresi ve L emici kalınlığıdır.

$$c = 520(1 - 0,000051\beta^2) \quad (8)$$

$$e = 0,43(1 - \frac{100}{T_{pm}}) \quad (9)$$

$$f = 0(1 + 0,089)^{h_w} - 0,1166h_w\varepsilon_p(1 + 0,07866N) \quad (10)$$

Rüzgar ısı transfer kat sayısı (h_w);

$$h_w = 5,7 + 3,8v \quad (11)$$

Alt kayıp katsayısı aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$U_b = \frac{K_b}{L_b} \quad (12)$$

Kenar kayıp katsayısı aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$U_e = \frac{(UA)_{edge}}{A_c} \quad (13)$$

Ortalama Sıcaklık Farkı (T_{pm}):

$$T_{pm} = T_i + \frac{Q_u}{FRUL}(1 - F_R) \quad (14)$$

PV sistemin elektriksel verimliliği ortalama sıcaklık arasındaki fark ve bağ hücresi çalışma sıcaklığına (NOCT) göre hesaplanır. Bir PV/T sistemin elektriksel verim hesabı, denklem 15’de ifade edilmiştir;

$$\eta_e = 0,15(1 - 0,005(T_{pm} - NOCT)) \quad (15)$$

Bir PV/T kolektörün termal verimliliği, giriş sıcaklığı (T_i), ortam sıcaklığı (T_a), kolektör yüzeyine gelen ışınım miktarı (G), sızdırmazlık faktörü (s), PV ve termal hücrenin emici ürün iletkenliği ile doğrudan bağlantılıdır [13].

$$\eta_{thermal} = F_R(S * \tau\alpha_{PV}) + (1 - S * \tau\alpha_T) - \frac{F_R U_{loss} (T_i - T_a)}{G} \quad (16)$$

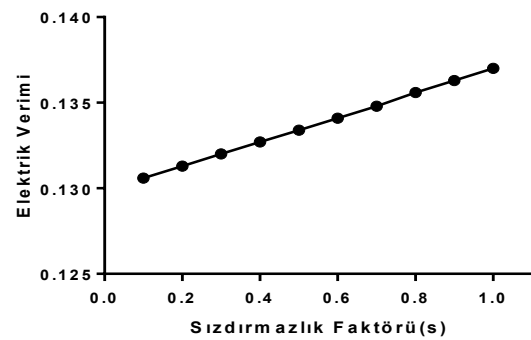
3.1 PV/T Sistem Simulink Modeli (Simulink Model of PV/T System)

PV/T kolektörün performansına, kütle akış hızı, emici plaka parametreleri (tüp aralığı, boru çapı, kanatçık kalınlığı gibi), emici plakadaki akışkanın termal iletkenliği ve düzenlenmiş tasarım tipi gibi etki eden birkaç faktör vardır. Şekil 8’de gösterilen sistemin MATLAB SIMULINK modeli, bu parametrelerden bazılarının, sistemin termal verimini nasıl etkilediğini belirlemek amacı ile kullanılmıştır. Kolektör girişi ile

çevre arasındaki ($T_i - T_a$) sıcaklık farkının kolektör yüzeyinde (G) meydana gelen global güneş radyasyonuna oranı, termal verimliliğin bağımlı olduğu PV/T parametresidir. Bu parametre, PV/T performansını önemli ölçüde etkilemektedir. Hazırlanan Simulink modeli, PV/T kolektörün değişik parametreler altında elektriksel ve termal verimlerin tespit edilmesini sağlamaktadır.

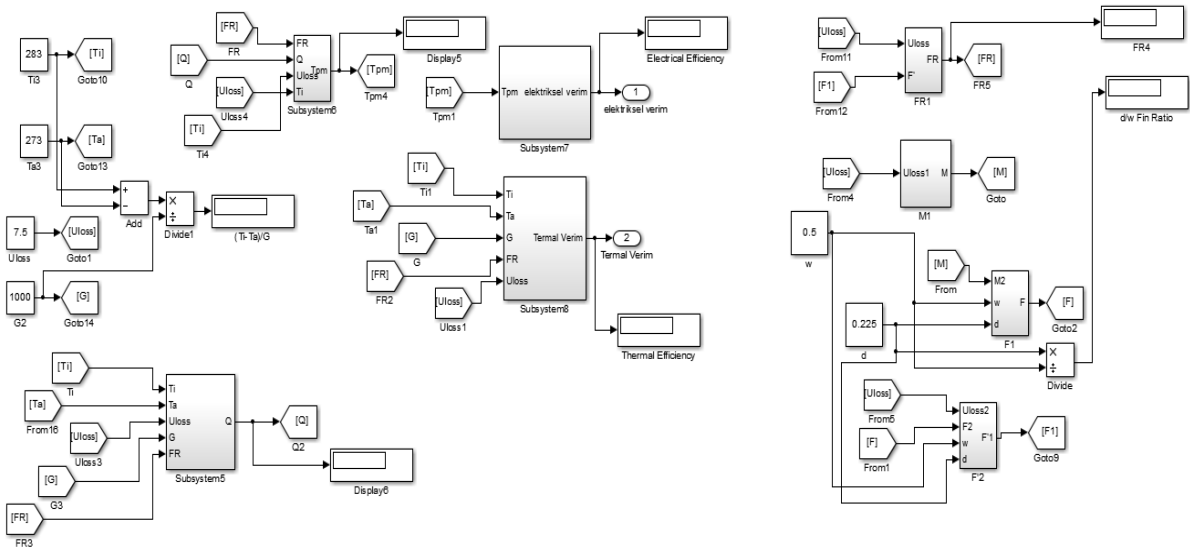
3.2 Simülasyon Sonuçları (Simulation Results)

Çeşitli parametrelerin etkisi altında PV/T kolektörün performansı incelenmiştir. Bu parametreler; kütle akış hızı, tüp boşluğu, boru çapı, kanat kalınlığı, sızdırmazlık faktörü, PV hücrenin geçirgenlik-soğurma faktörü ve emici yüzeyin iletkenliğidir. Şekil 9’da sızdırmazlık faktörünün elektrik verimine etkisi gösterilmiştir



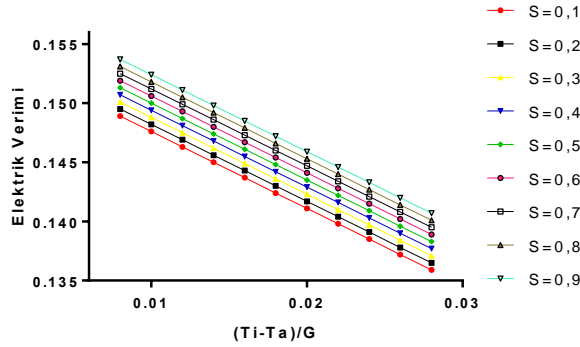
Şekil 9. Elektrik Veriminin Sızdırmazlık Faktörüne Göre Değişimi (Change of electricity efficiency according to sealing factor)

Sızdırmazlık faktörünün artması, daha fazla kolektör alanının PV hücreler tarafından kaplandığı anlamına gelmektedir. Dolayısıyla soğurucu blok alanının artması PV hücrelerdeki ısı artışını azaltıcı yönde etki oluşturmaktadır. PV hücre sıcaklığının düşmesi de PV panel tarafından üretilecek elektrik enerjisinin artışına



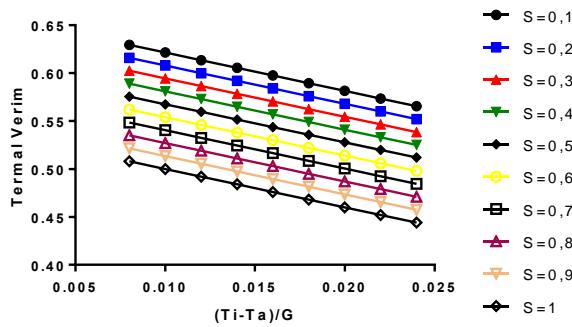
Şekil 8. MATLAB/Simulink Model (MATLAB/Simulink Model)

sebeptir. Sızdırmazlık faktörü arttığında elektrik veriminin arttığı Şekil 9’da gösterilmiştir.



Şekil 10. Elektriksel Verimin $(T_i-T_a)/G$ ile Değişimi (Electricity efficiency versus $(T_i-T_a)/G$)

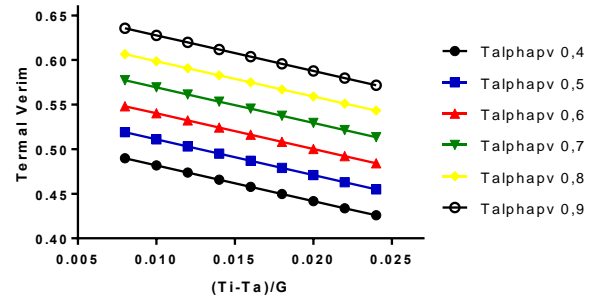
$(T_i-T_a)/G$ ifadesinin farklı değerlerinde sızdırmazlık faktörünün elektriksel verime etkisi Şekil 10’da gösterilmiştir. $(T_i-T_a)/G$ değerinin artışı PV/T kolektörün matematiksel eşitliklerinde de gösterildiği gibi elektriksel verimi düşürmektedir. Sızdırmazlık faktörünün artışı ise Şekil 9’da da gösterildiği gibi elektriksel verimi arttırmaktadır. Buna göre elektriksel verim en yüksek değerini, $(T_i-T_a)/G$ değerinin 0,008 ve sızdırmazlık faktörünün 0,9 olduğu durumda almaktadır. Elektriksel verimdeki değişim, sızdırmazlık faktörüne ve $(T_i-T_a)/G$ değerine bağlı olarak 0,157 ile 0,136 değerleri arasında yaklaşık % 15,44 oranında değişim göstermektedir. Sabit bir $(T_i-T_a)/G$ değerinde sadece sızdırmazlık faktörüne bağlı olarak elektriksel verim değişimi ise yaklaşık %6’dır.



Şekil 11. Termal Verimin $(T_i-T_a)/G$ ile Değişimi (Thermal efficiency versus $(T_i-T_a)/G$)

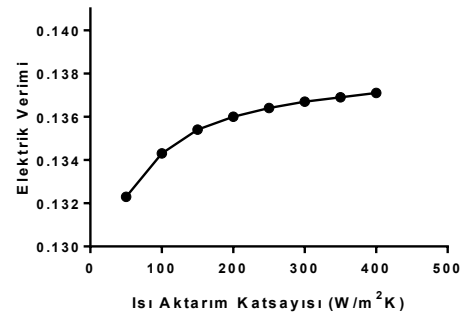
Sızdırmazlık faktörünün artması, PV hücreler tarafından kaplanan alanın artışına sebep olmaktadır. Bu artış aynı ısıtım değeri altında daha fazla alanın ısıtılması anlamına gelmektedir. Dolayısıyla sızdırmazlık faktörüne bağlı olarak termal verimde düşüş meydana gelecektir. Termal verimin, $(T_i-T_a)/G$ ifadesinin farklı değerlerinde sızdırmazlık faktörüne bağlı olarak değişimi Şekil 11’de gösterilmiştir. $(T_i-T_a)/G$ eşitliğinin 0,008 değeri için sızdırmazlık faktörünün 1 olması durumu ile 0,1 olması durumu arasındaki verim farkı yaklaşık %23,5’dir.

Dolayısıyla sızdırmazlık faktörünün değişimi elektriksel verimden ziyade termal verim üzerinde daha çok etkilidir.



Şekil 12. Termal Verimin $(T_i-T_a)/G$ ile Değişimi (Thermal efficiency versus $(T_i-T_a)/G$)

PV/T kolektör performansını etkileyen önemli faktörlerden biri geçirgenlik-soğurma ($T_{\alpha,pv}$) özelliğidir. Bu değer, PV/T kolektörlerin üretim aşamasında kullanılan malzemelere bağlıdır. Şekil 12’de giriş sıcaklığı ile ortam sıcaklığı farkının ısıtım değerine oranının $(T_i-T_a)/G$, termal verime etkisi farklı geçirgenlik-soğurma katsayıları göz önünde bulundurularak gösterilmiştir. Buna göre, geçirgenlik-soğurma katsayısının artması termal verimi arttırmaktadır. Bu durum PV hücresinin soğurma özellikleri ile ilgilidir. Tipik bir PV hücresinin absorbe edeceği ışığın dalga boyu termal kolektörün absorbe edeceği ışığın dalga boyundan daha küçüktür. Dolayısıyla büyük dalga boyulu ışıklar PV hücresinden yansıtılarak termal kolektör tarafından absorbe edilir. Bu nedenle geçirgenlik-soğurma katsayısının artması termal verimi arttırmaktadır.



Şekil 13. Elektriksel Verimin Isı Aktarım Katsayısı ile Değişimi (Variation of electrical efficiency with heat transfer coefficient)

PV hücresinden emici yüzeye ısı aktarım katsayısındaki değişimin elektriksel verim üzerindeki etkisi Şekil 13’de gösterilmiştir. Isı aktarım katsayısının elektriksel verim üzerindeki etkisini incelemek için geçirgenlik-soğurma ($T_{\alpha,pv}$) değeri 0,74’de ve sızdırmazlık faktörü 0,4’de sabit tutulmuştur. Böylelikle sadece ısı aktarım katsayısının verim üzerindeki etkisi görülmüştür. Şekil 13’de görüldüğü gibi ısı aktarım katsayısının değişimine

bağlı olarak elektriksel verim çok az değişim göstermektedir. Bu nedenle ısı aktarım katsayısının elektriksel verim üzerindeki etkisi ihmal edilebilir.

4. SONUÇLAR (RESULTS)

Bu çalışmada, Manisa İlinin iklim koşulları dikkate alınarak sıvı tip düz PV/T kolektörün elektriksel ve termal verimleri sızdırmazlık faktörü, geçirgenlik-soğurma faktörü, emici yüzeyin iletkenliği, ortam sıcaklığı, ışınım değeri gibi parametreler değiştirilmek suretiyle analiz edilmiştir. Analiz çalışması için MATLAB/Simulink programı kullanılmıştır. Elektriksel verim için en önemli etken sızdırmazlık faktörü olup bu değer artması ile elektriksel verimin artacağı gözlenmiştir. Termal verimi etkileyen en önemli faktörlerden biri ise geçirgenlik-soğurma özelliğidir. Geçirgenlik-soğurma katsayısının artması ile termal verimin arttığı gözlemlenmiştir. Elektriksel verimdeki değişim, sızdırmazlık faktörüne ve $(T_i - T_a)/G$ değerine bağlı olarak 0,157 ile 0,136 değerleri arasında yaklaşık % 15,44 oranında değişim göstermektedir. Sabit bir $(T_i - T_a)/G$ değerinde sadece sızdırmazlık faktörüne bağlı olarak elektriksel verim değişimi ise yaklaşık %6' dır. Termal verimin $(T_i - T_a)/G$ eşitliğinin 0,008 değeri için sızdırmazlık faktörünün 1 olması durumu ile 0,1 olması arasındaki verim farkı yaklaşık %23,5'dir. Dolayısıyla sızdırmazlık faktörünün değişimi elektriksel verimden ziyade termal verim üzerinde daha çok etkili olmaktadır. Bu çalışmada özellikleri verilen PV/T kolektörlerin Manisa İlinde kurulması durumunda elde edilebilecek termal verim %64,5, elektriksel verim %13,5 ve toplam verim %78 olarak tespit edilmiştir. Elde edilen verim değerlerinin literatürdeki çalışmalarda elde edilen değerlerle benzerlik gösterdiği belirlenmiştir [2,10].

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] http://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2F1%2FDocuments%2FSekt%C3%B6r%20Raporu%2FTP_HAM_PETROL-DOGAL_GAZ_SEKTOR_RAPORU__2015.pdf (Kasım 2016)
- [2] Silva R.M., Fernandes J.L.M., "Hybrid photovoltaic/thermal (PV/T) solar systems simulation with Simulink/Matlab", *Solar Energy*, 84:1985-1996, (2010)
- [3] Farshchimonfared M., Bilbao J.I., Sprou A.B., "Full optimisation and sensitivity analysis of a photovoltaic-thermal (PV/T) air system linked to a typical residential building", *Solar Energy*, 136: 15-22, (2016)
- [4] Ammous M., Charfi S., Harb A., Chaabene M., "Improvement of PV/T Based Reverse Osmosis Desalination Plant Performances Using Fuzzy Logic Controller", *International Journal of Modern Nonlinear Theory and Application*, 5: 11-27, (2016)
- [5] Jones M.A., Odeh I., Haddad M., Mohammad A.H., Quinn J.C., "Economic analysis of photovoltaic (PV) powered water pumping and desalination without energy storage for agriculture", *Desalination*, 387: 35-45, (2016)
- [6] Sotehi O., Chaker A., Maalouf C., "Hybrid PV/T water solar collector for net zero energy building and fresh water production. A theoretical approach", *Solar Energy*, 385:1-11, (2016)
- [7] Ammous M., Chaabene M., "Design of a PV/T based desalination plant: Concept and Assessment", *The fifth International Renewable Energy Congress IREC*, Tunisia, pp.1-6, (2014).
- [8] Lal S., Kumar P., Rajora R., "Performance analysis of photovoltaic based submersible water pump", *International Journal of Engineering and Technology (IJET)*, 5: 552-560, (2013)
- [9] Qiu Z., Ma X., Zhao X., Li P., Ali S., "Experimental investigation of the energy performance of a novel Micro-encapsulated Phase Change Material (MPCM) slurry based PV/T system", *Applied Energy*, 165: 260-271, (2016)
- [10] Michael J.J., Iniyar S., Ranko G., "Flat plate solar photovoltaic-thermal collector (PV/T) systems: A reference guide", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51: 62-88, (2015)
- [11] Celsa G., Tina G.M., "MATLAB/Simulink Model of Photovoltaic Modules/Strings under Uneven Distribution of Irradiance and Temperature", *6th International Renewable Energy Congress (IREC)*, Tunisia, (2015)
- [12] Engin D., "Yapı ile bütünleştirilebilir güneş pili/ termal toplayıcı (pv/t) hibrid sistemin performans analizi ve optimizasyonu", *Doktora Tezi*, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, (2006).
- [13] Farghally H.M., Ahmed N.M., El-madany N.M., Atia D.M., Fahmy F.H., "Design and Sensitivity Analysis of Photovoltaic/Thermal Solar Collector", *International Energy Journal*, 15: 21-32, (2015)
- [14] Hu M., Zheng R., Pei G., Wang Y., Li J., Ji J., "Experimental study of the effect of inclination angle on the thermal performance of heat pipe photovoltaic/thermal (PV/T) systems with wickless heat pipe and wire-meshed heat pipe", *Applied Thermal Engineering*, 106: 651-660, (2016)
- [15] Dean J., McNutt P., Lisell L., Burch J., Jones D., Heinicke D., "Photovoltaic-Thermal New Technology Demonstration", *National Renewable Energy Laboratory*, (2015)
- [16] Kaya M., "Thermal and Electrical Performance Evaluation of PV/T Collectors in UAE", *Yüksek Lisans*, School of Industrial Engineering and Management, (2013).
- [17] <http://www.enerjibodrum.com/?product=1701844&pt=BODRUM%20C4%B0STEK%20G%C3%9CNE%C5%9E%20ENERJ%C4%B0S%C4%B0> (Ocak 2018)



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

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



Investigation of Hardox 400 Steel exposed to heat treatment processes in WEDM

Yazar (Author): Mehmet ALTUĞ

ORCID: 0000-0002-4745-9164

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Altuğ M. “ Investigation of Hardox 400 Steel exposed to heat treatment processes in WEDM”, *Politeknik Dergisi*, 22(1): 237-244, (2019).

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

DOI: 10.2339/politeknik.417764

Investigation of Hardox 400 Steel Exposed to Heat Treatment Processes in WEDM

Araştırma Makalesi / Research Article

Mehmet ALTUĞ*

*Malatya Meslek Yüksek Okulu, Makine ve Metal Tek. Bölümü, İnönü Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 05.02.2018 ; Kabul/Accepted : 08.03.2018)

ABSTRACT

In this study, microstructure, mechanical, and conductivity characteristics of Hardox 400 steel were changed with different heat treatments and effect of such characteristics on its machinability with Wire Electrical Discharge Machining (WEDM). Optical microscope examinations were performed to determine various characteristics, and additionally microhardness and conductivity measurements were conducted hereof. L18 Taguchi test design was conducted with three levels and four different parameters to determine the effect of such alterations on its machinability with WEDM and post-processing Cutting width (kerf), Surface roughness (Ra), Material removal rate (MRR) values were determined. Micro changes were ensured successfully by using applied heat treatments. The best kerf value was obtained from sample 6 which was tempered from 350 °C. The microstructure of this sample was composed of commonly α ferrite and few pearlites. The best Ra value was obtained from sample 3 which was tempered from 200 °C. The microstructure of this sample was composed of few α ferrite and commonly pearlites. The best MRR value was obtained from sample 5 which was tempered from 300 °C. The microstructure of this sample was composed of almost equally α ferrite and pearlites. Additionally the most effective parameters on Ra were determined as hardox and current. The most effective parameters on kerf and MRR were determined as time off and hardox.

Keywords: Hardox steel, heat treatment, microstructure, WEDM, kerf, Ra, MRR.

1. INTRODUCTION

WEDM is one of non-traditional processes which are accepted globally to machine high strength-to-weight ratio materials mainly in industries. WEDM has numerous applications in aerospace, tool, mold, automotive, and medical industries to produce complex and intricate shapes. Due to ability to make intricate shape and machining of hard material with WEDM, it was observed that it increased. WEDM has capability to machine any kind of electrically conductive work in the present day. The most important machining responses of the process are the material removal rate, the roughness of the machined surfaces, and the kerf, which is the effective width of cut [1-4]. Kerf, Ra, MRR are expressed as the cutting width in the WEDM processes. Cutting mechanism in WEDM bench are shown in Fig.1. This depends on machining parameters as current, time off, wire speed, wire tension.

Some studies were conducted in order to determine important machining parameters for performance measures like MRR, surface finish and kerf in the WEDM process. Factors such as discharge current, pulse duration, and dielectric flow rate and their interactions have been found to play a significant role in rough cutting operations for maximization of MRR, minimization of surface roughness and minimization of cutting width by using Taguchi's experimental design method [5-8].

Some important studies has also been done on the machinability of steels in WEDM (9-11). In addition, important study has been done to optimize the WEDM

parameters (12-19). While there is much studies with the weldability of hardox steels (20-21), there are very few studies on machinability. Some of these studies are related to waterjet (22,23) and laser plasma and plasma cutting (24-28).

Considering the studies published on WEDM; processing parameters and designated change of processing performance outputs such as kerf, Ra, MRR, and metallurgical structure change were analyzed by several studies. Detailed literature review conducted has showed that number of studies examining kerf characteristics of work piece based on metallurgical structure and microhardness change by using Hardox steel is limited and studies published in a limited number have not been comprehensive. In this regard, experimental and theoretical studies would a great contribution to this field. For this reason, this study investigated effects of microhardness, microstructure and conductivity of the sample with WEDM parameters- current, time off, wire speed and wire tension- and revealed effect of interaction of feature-parameter with kerf, Ra and MRR.

2. MATERIAL and METHOD

Microstructures, microhardness, and electric conductivity of samples of Hardox Steel exposed to heat treatments under different conditions were examined in this study. The purpose of this study is to obtain a distinct change on the sample micro structures by applying heat treatment and to determine the effect of these changed microstructures on machinability with WEDM. The sizes of kerf, Ra and MRR were measured with Taguchi experimental design by cutting them in the wire bench as specified by the experimental study. The S/N ratio, one-

*Sorumlu yazar (Corresponding Author)
e-posta: mehmet.altug@inonu.edu.tr

way analysis of variance, and 3D graphics were examined by using Minitab 14 program. Heat treatments specified in Table 1 were applied to Hardox Steel, chemical compound of which is present in Table 2, mechanical properties of which is present in Table 3 under normal atmosphere conditions. These samples exposed to heat treatment were processed with WEDM by using the parameters in Table 4. In order to determine the sample features, which were changing as a result of heat treatment; microhardness, optical microscope in Nikon device, microstructure, mechanical features and conductivity to machinability with WEDM were investigated.

Table 1. Heat treatments applied to Hardox Steel plates

Sample	Heat treatment
1	Heating to 940 °C (20 minute) holding and quenching
2	Heating to 940 °C (20 minute) holding and quenching + Heating to 150°C and holding 2 h after air cooling
3	Heating to 940 °C (20 minute) holding and quenching + Heating to 200°C and holding 2 h after air cooling
4	Heating to 940 °C (20 minute) holding and quenching + Heating to 250°C and holding 2 h after air cooling
5	Heating to 940 °C (20 minute) holding and quenching + Heating to 300°C and holding 2 h after air cooling
6	Heating to 940 °C (20 minute) holding and quenching + Heating to 350°C and holding 2 h after air cooling

Table 2. Chemical composition of Hardox Steel

Element	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	B
[wt. %]	0,32	0,70	1,60	0,025	0,010	2,50	1,50	0,60	0,004

Table 3. Mechanical properties of Hardox Steel

Tensile strength	Yield strength	Impact energy [J]	Hardness [HB]	Elongation [%]
1080	900-1100	45	370-430	8

Experimental trials were carried out in a AF 250 high precision CNC WEDM. The experimental setup was as follows: Zinc coated brass wire with 0.25 mm diameter was employed as an electrode, and dimensions of Hardox steel samples were 5 mm x 50 mm x 100 mm in all the experiments. The behavior of six control factors as heat treated samples, current, time off, wire speed and wire tension was examined in this study. Table 4 illustrates control factors and their levels with symbols. The kerf value was measured by using LEICA DM4000M optical microscope device. While the control factors were used to select the best conditions for stability in the design of manufacturing process, the noise factors referred to all factors that cause variation. The experimental observations were further converted into a signal-to-noise (S/N) ratio by using Eq. (1) and Eq. (2). The signal-to-noise (S/N) ratio for "Larger is better" and "Smaller is better" were calculated as follows [29];

Larger is better;

$$S/N_L = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (1)$$

Smaller is better;

$$S/N_S = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (2)$$

Table 4. Parameters and Levels

Parameters	Levels					
	I	II	III	IV	V	VI
a Heat treated samples	1(A)	2(B)	3(C)	4(D)	5(E)	6(F)
b Current (Amp)	4	5	6			
c Time off (µs)	100	150	225			
d Wire feed (m/min)	4	6	9			
e Wire Tension (g)	12	15	18			

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1 Optical microscope

In this study, commercial item microstructure having no heat treatment has tempered martensite phase structure

(Fig.2). These steels are produced fully hardened and supplied to the market [20,30]. In Fig. 3(a), microstructure quenched at 940 °C is shown (Sample 1). This microstructure was seen to have martensite phase structure. In Fig. 3(b) material microstructure tempered at 150 °C is seen (Sample 2). This microstructure consists of tempered martensite and fine α -ferrite phases and was formed at the α -ferrite phase boundaries. After quenching it was observed that the amount of α -ferrite increased in the tempered material microstructure at 200 °C (Sample 3) and the martensite phase structure was converted to pearlite (Fig 3(c)). It was also seen that the pearlite lamellas were surrounded by α -ferrite phase. In Figures 3(d) and (e) microstructures of tempered samples at 250 °C (Sample 4) and 300 °C (Sample 5) are given respectively. In these microstructures as the tempering temperature increased α -ferrite phase volume also increased whereas pearlite phase volume decreased. In Fig. 3(f), in the sample microstructure tempered at 350 °C (Sample 6), pearlite phase was observed at the α -ferrite grain boundaries. It was determined that α -ferrite phase was more dominant in this microstructure.

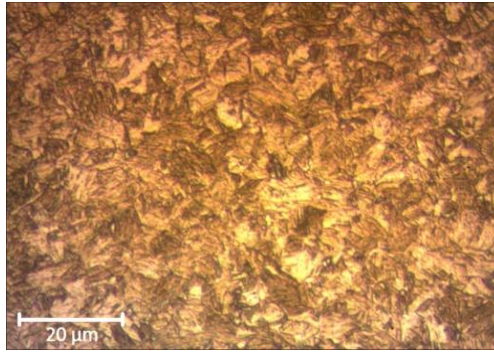


Fig. 2. The optical microscope images of the Hardox 400

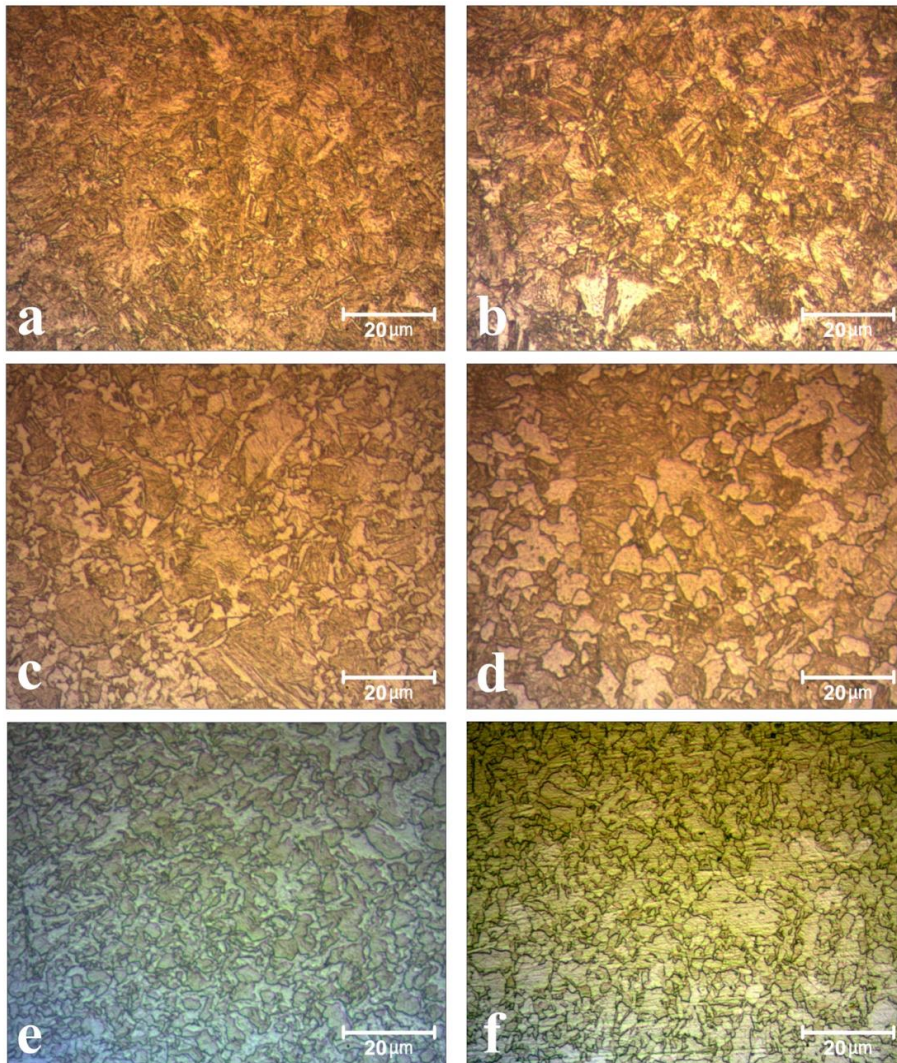


Fig.3. The optical microscope images of the samples

3.2 Micro Hardness

In Fig. 4, hardness results were given with a graph. Hardness value was 386 HV after quenching at 950°C. After tempering heat treatment hardness decreased. Hardness values of the samples tempered at 200 C and 250 C increased (even if in small amount) compared to hardness of samples tempered at 150 °C. This increase is

attributed to carbides formed during tempering. It was specified that hardness of samples tempered at 300 and 350 °C decreased inversely proportional with the increasing tempering temperature . As the tempering temperature increased, decrease in the hardness values of the samples increased too.

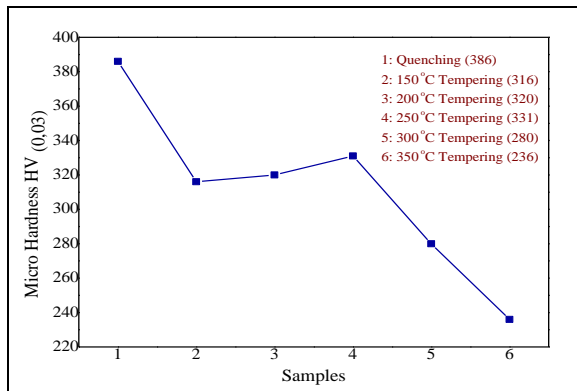


Fig. 4. Micro hardness results of the heat treated samples

3.3 Resistivity And Conductivity

Electrical conductivities of the heat treated samples are given in Fig. 5. As it is seen from the graph, electrical conductivity of the quenched sample came out to be lower than that of tempered samples (except the sample tempered at 200°C). Electrical resistance of the stressed structure created as the result of quenching was high. Conductivity of the sample tempered at 150°C increased. It is thought that this conductivity increase is because of settling of Carbon atoms to unstable position after quenching and then to more stable positions during tempering with decreasing stressed structure. Conductivity of the sample tempered at 200°C

hand an increase was found in the sample conductivity tempered at 250°C. It is thought that this increase is due to diffusion of the carbides to low strained areas. Conductivity increased as the tempering temperature (300°C and 350°C) increased. This increase can be attributed to increasing α -ferrite phase volume and decreasing pearlite phase volume.

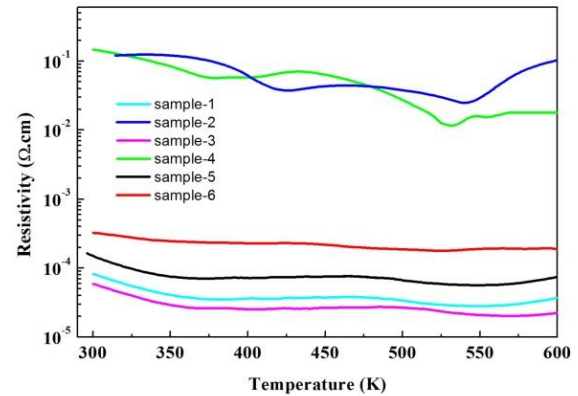


Fig. 5. The resistivity results of the heat treated samples

3.4 Kerf (Cutting Width)

At the end of the tests made in wire erosion (WEDM), the obtained values of kerf, surface roughness (Ra) and material removal rate (MRR) and S/N ratios obtained after Taguchi analysis are given in Table 5.

According to Fig.6, the lowest kerf values were obtained

Exp. No	Parameters					Kerf (μ)		Ra (μ m)		MRR ($g \cdot min^{-1}$)	
	a	b	c	d	e	Result	S/N	Result	S/N	Result	S/N
1	1	4	100	4	12	238	-47,531	3,08	-9,771	0,308	-10,229
2	1	5	150	6	15	244	-47,747	2,97	-9,455	0,289	-10,782
3	1	6	225	9	18	255	-48,130	2,81	-8,974	0,268	-11,437
4	2	4	100	6	15	239	-47,568	2,98	-9,484	0,287	-10,842
5	2	5	150	9	18	245	-47,783	2,91	-9,277	0,268	-11,437
6	2	6	225	4	12	248	-47,889	2,91	-9,277	0,275	-11,213
7	3	4	150	4	18	245	-47,783	2,86	-9,157	0,299	-10,486
8	3	5	225	6	12	249	-47,924	2,89	-9,217	0,288	-10,812
9	3	6	100	9	15	245	-47,783	2,85	-9,127	0,279	-11,087
10	4	4	225	9	15	250	-47,958	2,91	-9,277	0,262	-11,634
11	4	5	100	4	18	241	-47,640	2,98	-9,484	0,293	-10,662
12	4	6	150	6	12	244	-47,747	2,93	-9,337	0,280	-11,056
13	5	4	150	9	12	246	-47,818	2,97	-9,455	0,299	-10,486
14	5	5	225	4	15	251	-47,993	3,02	-9,600	0,291	-10,722
15	5	6	100	6	18	246	-47,818	2,95	-9,396	0,288	-10,812
16	6	4	225	6	18	249	-47,924	2,89	-9,187	0,271	-11,340
17	6	5	100	9	12	239	-47,568	2,98	-9,455	0,293	-10,662
18	6	6	150	4	15	241	-47,640	2,90	-9,217	0,281	-11,025

Table 5. Taguchi L₁₈ orthogonal array, experimental results decreased. A partial increase was determined in the hardness of this sample. The increase in hardness was thought to be because of carbide formation, similarly the decrease of conductivity in the same sample can be attributed to the formation of these carbides. On the other

with the 6, 2 and 4 numbered samples respectively. The sample 6 was tempered at high temperature and therefore had the lowest hardness value. For this reason the best kerf result can be attributed to the decrease in hardness. The second best kerf value was obtained on the number 2 sample. Conductivity of sample 2 was higher with

respect to other samples. The increase in sample conductivity decreased the kerf value. The third best kerf value was obtained with the sample 4. The conductivity of this sample had the second best conductivity value. The positive effect of higher conductivity to kerf values was also determined on this sample. It was already stated that the change in hardness and conductivity values was due to the microstructural variation. An increase was observed in the kerf values with the increasing time off values. Similar results were also observed in some studies in literature [1,10,15].

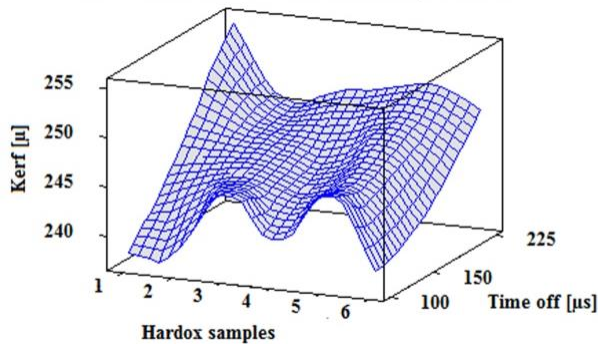


Fig. 6. Effect of the Heat treated Hardox and Time off on kerf
When the Fig. 7 was examined a general increase was observed in the kerf values depending on the increasing wire feed and wire tension values. There are similar results in some studies in literature [12].

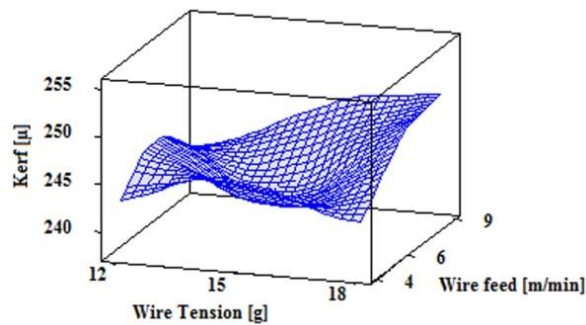


Fig. 7. Effect of the wire tension and wire feed on kerf
Effects of current on the kerf values of samples are given in Fig. 8. Increase in the current values caused a significant amount of increase on the kerf values. Some studies in literature have parallel results.

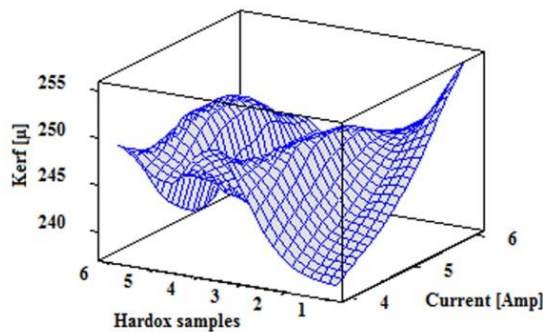


Fig. 8. Effect of the Heat treated Hardox and Current on kerf

ANOVA analysis with which the effects of parameters on kerf were examined is given in Table 6. According to the table all of the parameters are significantly effective on kerf. Difference in the kerf values of hardox samples after heat treatment shows the accuracy and the contributions of the applied heat treatment.

Table 6. Result of ANOVA for Kerf

Source	DF	SS	MS	F	P	%
Hardox	5	41,611	8,322	17,62	0,008	11,1
Current	2	13,778	6,889	14,59	0,015	3,6
Time off	2	254,111	127,056	269,06	0,000	70,6
Wire feed	2	21,444	10,722	22,71	0,007	5,7
Wire tension	2	24,778	12,389	26,24	0,005	6,7
Error	4	1,889	0,472			
Total	17	357,611				

3.5 Surface Roughness (Ra)

According to Fig. 9 lower Ra values were obtained with 3, 6 and 2 numbered samples. The main reason of this difference is thought to be the variations in the hardness and conductivity values after heat treatment. In this regard, since the highest resistance was with the number 3 sample ,the surface roughness value came out to be the lowest. A decrease (even if a small amount) was observed in Ra values with the increasing time off values. However, in some studies in literature, Ra values increased depending on the increase of gap period between two pulses [12,13].

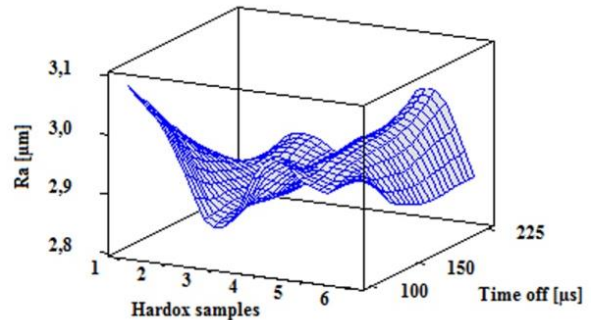


Fig. 9. Effect of the Heat treated Hardox and Time off on Ra

From Fig. 10 a general decrease was observed in the Ra values depending on the increasing wire feed and wire tension values. Similar results were also encountered in literature [12,13].

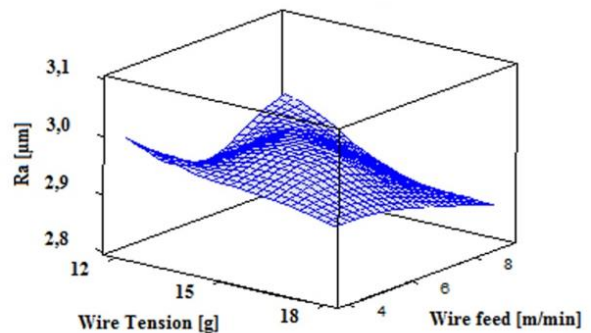


Fig. 10. Effect of the wire tension and wire feed on Ra

Effects of current on the Ra values in the samples are given in Fig.11. Increase in the current values caused a significant decrease in the Ra values as also seen in literature . [12,13,14].

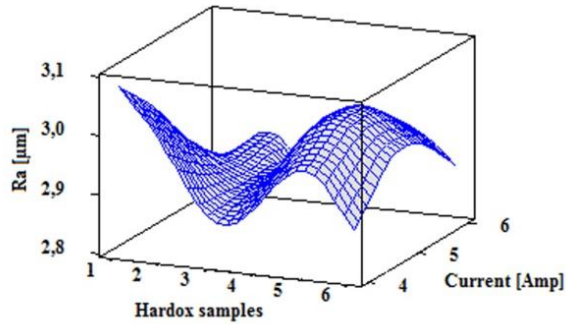


Fig. 11. Effect of the Heat treated Hardox and Current on Ra

ANOVA analysis where the effects of parameters were examined on Ra is given in Table 7. According to the Table , wire feed values had no significant effects on Ra but all the other parameters were effective on Ra.

Table 7. Result of ANOVA for Ra

Source	DF	SS	MS	F	P	%
Hardox	5	0,0198	0,00396	6,29	0,049	25,6
Current	2	0,0150	0,00750	11,9	0,021	19,9
Time off	2	0,0140	0,00702	11,1	0,023	16,8
Wire feed	2	0,0085	0,00427	6,78	0,052	10,1
Wire tension	2	0,0105	0,00527	8,36	0,037	13,7
Error	4	0,0025	0,00063			
Total	17	0,0705				

3.6 Material removal rate (MRR)

From the Fig. 12 it is seen that higher MRR values were obtained with 5, 3 and 1 numbered samples. It is thought that the root cause of this distinctness is the variations in the hardness and conductivity values after heat treatment. MRR and kerf results were in conformity with each other. Because the highest kerf value was obtained with the number 5 sample. Therefore the highest MRR value was also obtained with the number 5 sample. A decrease was also observed in MRR values with increasing time off values as seen in some steel studies in literature [17,18,19].

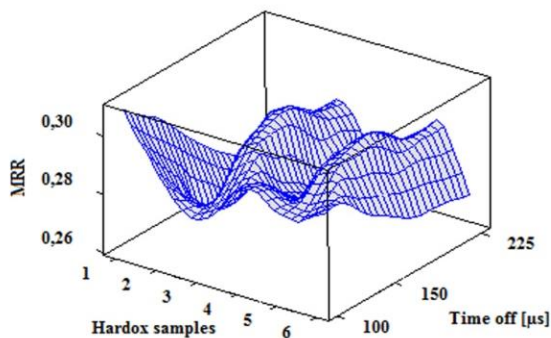


Fig. 12. Effect of the Heat treated Hardox and Time off on MRR

According to Fig. 13 a general decrease was seen in MRR values depending on the increasing wire feed and wire tension values as seen in literature [5,12,17].

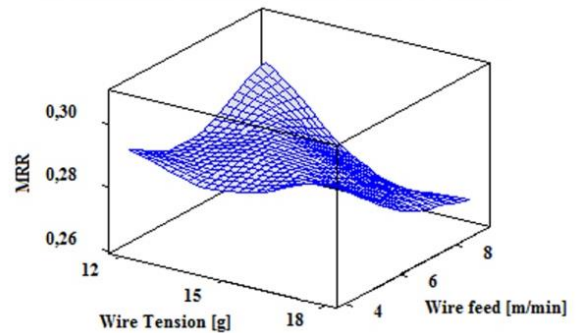


Fig. 13. Effect of the wire tension and wire feed on MRR

Effects of current on the MRR values in the samples are given in Fig. 14. Here, the increase in the current values caused a decrease (even if in small amount) in the MRR values. In literature some studies consist similar results [6,16].

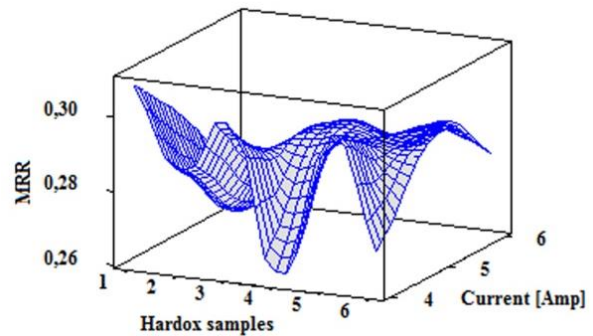


Fig. 14. Effect of the Heat treated Hardox and Current on MRR

ANOVA analysis where the effects of parameters on MRR were examined is given in Table 8. According to the Table, all of the parameters were significantly effective on MRR.

Table 8. Result of ANOVA for MRR

Source	DF	SS	MS	F	P	%
Hardox	5	0,000618	0,000124	6,66	0,045	19,9
Current	2	0,000313	0,000157	8,45	0,037	9,9
Time off	2	0,000744	0,000372	20,05	0,008	27,3
Wire feed	2	0,0005	0,000255	13,74	0,016	18,2
Wire	2	0,000336	0,000168	9,07	0,033	11,2
Error	4	0,000074	0,000019			
Total	17	0,002596				

4. CONCLUSION

Different heat treatments were carried out to the samples of Hardox 400 used in the industry and their microstructure, microhardness and conductivity characteristics were changed. Effect of this characteristic change on machinability with WEDM was investigated with Taguchi method and ANOVA. S/N ratio of these results was determined.

- The lowest hardness value was obtained in the tempered sample-6 whereas the highest hardness value was obtained in the sample-1 which was water quenched from austenite. It was determined that microstructure of this sample has martensitic phase. When martensitic phase was tempered (in the sample 2), decrease was observed in hardness. The microhardness values of sample 3 and 4 were a slightly increased due to carbides which occurred in the microstructure with tempered. When the tempering temperature increased, the microhardness values of sample 5 and 6 decreased.
- The most effective parameters on Ra were determined as hardox and current. The most effective parameters on Kerf and MRR were determined as time off and hardox.
- The microhardness value of sample 6 was lower than the microhardness values of other samples. Therefore the kerf value of sample 6 was the best. The lowest microhardness could attribute to this result.
- In sample (2) having a tempered (150 °C) martensite structure with the best conductivity, it was seen in (3) sample of having a tempered (200 °C) in the lowest conductivity.
- Kerf, Ra and MRR values, obtained according to the experimental design by using the taguchi experimental design method in the experimental studies, were converted to S/N ratios and the best parameter levels were determined. By using analysis of variance (ANOVA),
- Average best surface roughness (Ra) values after processing with WEDM were obtained in the ranking of 3, 6, 2, 4, 1 and 5. According to these results, it was determined that best and worst surface roughness values were obtained from tempered martensite structures (200 °C) and tempered martensite structures (300 °C), respectively.
- Average best MRR values after processing with WEDM were obtained in the ranking of 5, 3, 1, 6, 4 and 2. According to these results, it was determined that best and worst MRR values were obtained from tempered martensite structures (300 °C) and tempered martensite structures, tempered martensite structures (150 °C), respectively.
- The best (lowest) kerf value was obtained from sample-6 that was tempered from 350 °C. The microstructure of this sample was composed of commonly α -ferrite and few pearlites. The worst (highest) kerf value was obtained from sample-5. This sample had tempered martensite microstructure. In other words, the microstructure of this sample was composed of α -ferrite and pearlite. The electricity conductivity of the sample 5 had the worst than the electricity conductivity of the sample 6. Therefore, as the conductivity capacity of sample decreased, the kerf value increased.
- The best (lowest) Ra value was obtained from sample-3 that was tempered from 200 °C. The microstructure of this sample was composed of few α -ferrite and

commonly pearlites. This sample had the lowest electricity conductivity, therefore the best Ra value could attribute to this result.

- The best MRR value was obtained from sample-5 that was water quenching from 300 °C. The microstructure of this sample was composed of almost equally α ferrite and pearlites. The worst MRR value was obtained from sample-2. The microstructure of this sample was composed of martensite and fine α -ferrite. It was observed that, MRR and kerf values of this sample confirmed each other.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study is supported by Inonu University Scientific Researches Projects. Thank to the Rectorate of Inonu University for their support. Thank you for your contributions to "Çetin Cıvata" and "Turgut Durmaz".

REFERENCES

- [1] Aqueel S., Mufti N.A., Rakwal D., Bamberg E., "Material Removal Rate, Kerf, and Surface Roughness of Tungsten Carbide Machined with Wire Electrical Discharge Machining", *Journal of Materials Engineering and Performance*, 20(1): 71-76, (2011).
- [2] Yan M.T., Huang P.H., "Accuracy Improvement of WireEDM by Real-Time Wire Tension Control", *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, 44(7-8): 807-814, (2004).
- [3] Hsue A.W.J., Su H.C., "Removal Analysis of WEDM Tapering Process and Its Application to Generation of Precise Conjugate Surface", *Journal of Materials Processing Technology*, 149(1-3): 117-123, (2004).
- [4] Rakwal D., Bamberg E., "Slicing, Cleaning and Kerf Analysis of Germanium Wafers Machined by Wire Electrical Discharge Machining", *Journal of materials processing technology*, 209(8): 3740-3751, (2009).
- [5] Mahapatra S.S., Patnaik A., "Optimization of wire electrical discharge machining (WEDM) process parameters using Taguchi method", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 34(9-10): 911-925, (2007).
- [6] Jangra K., Jain A., Grover S., "Optimization of multiple-machining characteristics in wire electrical discharge machining of punching die using grey relational analysis", *Journal of Scientific and Industrial Research*, 69: 606-612, (2010).
- [7] Hari S., Khanna R., "Parametric optimization of Cryogenic treated D-3 for cutting rate in wire electrical discharge machining", *J Eng. Technology*, 1:(2) 59-64, (2011).
- [8] Kansal H.K., Singh S., Kumar P., "Parametric optimization of powder mixed electrical discharge machining by response surface methodology", *Journal of Materials Processing Technology*, 169(3): 427-436, (2005).
- [9] Gupta P., Khanna R., Gupta R.D., Sharma N., "Effect of process parameters on kerf width in WEDM for HSLA using response surface methodology", *Journal of Engineering and Technology*, 2(1): 1-6, (2012).
- [10] Tosun N., Cogun C., Tosun G., "A study on kerf and materials removal rate in wire electrical discharge machining based on taguchi method", *Journal of Materials Processing Technology*, 152: 316-322, (2004).

- [11] Chaudhary R., Rampal R., Sharma N., "Investigation and Optimization of Material Removal Rate For Wire Cut Electro Discharge Machining In EN5 Steel Using Response Surface Methodology", *International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology*, 3(1): 192-199, (2013).
- [12] Altuğ M., Erdem M., Ozay C., "Experimental investigation of kerf of Ti6Al4V exposed to different heat treatment processes in WEDM and optimization of parameters using genetic algorithm", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 78: 1573-1583, (2015).
- [13] Kuriakose S., Shunmugam M.S., "Multi-objective optimization of wire electro-discharge machining process by Non-dominated Sorting Genetic Algorithm", *Journal of Materials Processing Technology*, 170: 133-141, (2005).
- [14] Pasam V.K., Battula S.B., Madar V.P., Swapna M., "Optimizing Surface Finish in WEDM Using the Taguchi Parameter Design Method", *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, XXXII(2): 107-113, (2010).
- [15] Ikram A., Mufti N.A., Saleem M.Q., Khan A.R., "Parametric optimization for surface roughness kerf and MRR in wire electrical discharge machining (WEDM) using Taguchi design of experiment", *Journal of Mechanical Science and Technology*, 27(7): 2133-2141, (2013).
- [16] Jabbaripour B., Sadeghi M.H., Faridvand S.H., Shabgard M. R., "Investigating the effects of edm parameters on surface integrity MRR and TWR in machining of Ti-6Al-4V", *Machining Science and Technology*, 16: 419-444, (2012).
- [17] Singh J., Sharma S., "Effects of Process Parameters on Material Removal Rate and Surface Roughness in WEDM of H13 Tool Steel", *International Journal of Current Engineering and Technology*, 3(5): 1852-1857, (2013).
- [18] Shah A., Mufti N. A., Rakwal D., Bamberg E., "Material Removal Rate, Kerf, and Surface Roughness of Tungsten Carbide Machined with Wire Electrical Discharge Machining", *Journal of Materials Engineering and Performance*, 20(1): 71-76, (2011).
- [19] Bobbili R., Madhu V., Gogia A.K., "Effect of Wire-EDM Machining Parameters on Surface Roughness and Material Removal Rate of High Strength Armor Steel", *Materials and Manufacturing Processes*, 28: 364-368, (2013).
- [20] Frydman S., Konat L., Kalski G., "Structure and hardness changes in welded joints of Hardox steels", *Archives Civil and Mechanical Engineering*, VIII(4): 15-27, (2008).
- [21] Konovalov S.V., et al., "Formation Wear Resistant Coatings on Martensite Steel Hardox 450 by Welding Methods", *Materials Science and Engineering*, 142: 2-5, (2016).
- [22] Filip A.C., et al., "Experimental research on the machinability of Hardox steel by abrasive waterjet cutting", *DOI: 10.1051/mateconf/20179403003* (2017).
- [23] Hlavac L.M., et al., "Experimental method for the abrasive water jet cutting quality", *Journal of Materials Processing Technology*, 209: 6190-6195, (2009).
- [24] Chamarthia S., et al., "Investigation Analysis of Plasma arc cutting Parameters on the Unevenness surface of Hardox-400 material", *Procedia Engineering*, 64: 854-861, (2013).
- [25] Mindivan H., "Effects of Combined Diffusion Treatments on the Wear Behaviour of Hardox 400 Steel", *Procedia Engineering*, 68: 710-715, (2013).
- [26] Gondalia R.V., Sharma A.K., "Parametric Investigation and Optimization of Co2 Laser Cutting process used for Cutting Hardox-400 materials", *International Journal of Science and Engineering Applications*, 2(6): 123-129, (2013).
- [27] Prajapati B.D., Patel R.J., Khatri B.C., "Parametric Investigation of CO2 Laser Cutting of Mild Steel and Hardox-400 Material", *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 3(4): 204-208, (2013).
- [28] Majerik J., Barený I., "Experimental Investigation Into Tool Wear Of Cemented Carbide Cutting Inserts When Machining Wear Resistant Steel Hardox 500", *Engineering Review*, 36(2): 167-174, (2016).
- [29] Montgomery D.C., "Design and Analysis of Experiments", Wiley, New York, USA, (2001).
- [30] Gökmeşe H., Özdemir M., "The Effect Of Heat Treatment On The Formability Behavior Of Hardox-500 Sheet Material", *Gazi University J. Sci Part:C*, 4(4): 343-349, (2016).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

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



Isı borulu güneş kolektörlerinde nano çözelti ile performansın iyileştirilmesi

Heat pipe evacuated tubular solar collector performance improvement by applications of nanofluid

Yazar(lar) (Author(s)): Umut Önder SU¹, Adnan SÖZEN², Tayfun MENLİK³

ORCID¹: 0000-0003-2863-9132

ORCID²: 0000-0002-8373-2674

ORCID³: 0000-0003-0970-6600

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Su U. Ö., Sözen A., ve Menlik T., "Isı borulu güneş kolektörlerinde nano çözelti ile performansın iyileştirilmesi", *Politeknik Dergisi*, 22(1): 245-257, (2019).

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

DOI: 10.2339/politeknik.512092

Isı Borulu Güneş Kolektörlerinde Nano Çözelti ile Performansın İyileştirilmesi

Araştırma Makalesi / Research Article

Umur Önder SU*, Adnan SÖZEN, Tayfun MENLİK

Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Bölümü, ANKARA

(Geliş/Received : 20.06.2017 ; Kabul/Accepted : 05.01.2018)

ÖZ

Güneş enerjili sistemler, günümüzde çok farklı alanlarda, farklı amaçlar için yaygın olarak kullanılmaktadır. Güneş enerjili sistemlerin en önemli elemanı güneş kolektörleridir. Güneş kolektörleri genel olarak düzlem yüzeyle (DYGK), vakum tüplü (VTGK), ısı borulu (IBGK) ve parabolik (PGK) olmak üzere dört tipe ayrılmakla beraber en yaygın olarak DYGK kullanılmaktadır. DYGK'nin verimini etkileyen parametreler; kolektörlerde kullanılan akışkanın ısı iletkenliği, ısı kayıpları ve optik kayıplardır. DYGK'ların düşük verimlerinden dolayı son zamanlarda güneş enerjili sistemlerde VTGK ve IBGK'ların harmonizasyonu olan vakum tüplü ısı borulu güneş kolektörleri (VTIBGK) kullanılmaya başlanmıştır. VTIBGK'lar DYGK'lerin termik ve optik kayıplarını minimize etmekte ve verim artmaktadır. Bu çalışmada Güneş kolektörlerinde verimi etkileyen diğer bir parametre çalışma akışkanı olup literatürde örneğine pek rastlanmamış olunan amorf yapıdaki nano partiküller kullanılarak hazırlanmış nano akışkanların performansa etkisi irdelenmiştir. Son yıllarda yapılan çalışmalarda nanoakışkanları ısı sistemlerinde ve özellikle ısı borularında iyi sonuçlar verdiği ve verimlerini dikkate değer derecede artırdığı görülmüştür. VTIBK'lerde nano çözelti kullanılması ile düşük ısı direnç, yüksek ısı iletkenlik, yüksek çalışma sıcaklıkları, kısa sürede istenen sıcaklık değerlerine ulaşılması ve verimin artırılması hedeflenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Isı borusu, güneş kolektörleri, nano çözelti, nano akışkan, performans iyileştirilmesi, güneş enerjisi.

Heat Pipe Evacuated Tubular Solar Collector Performance Improvement By Applications of Nanofluid

ABSTRACT

There are many different type of solar energy systems, which are being used widely for different applications. The most important element of these solar systems is solar collector. There are four main types: Flat Panel (FPSC), Evacuated Tube, Heat Pipe and Parabolic. The most popular type is FP, which was invented in 1950s and this type is predominantly used for last three decades not only in residential but also industrial areas. This is because of two main factors: low initial investment and easy usage. Efficiency of FPSCs are mainly effected by 3 parameters: working fluid thermal conductivity, heat losses and optical losses. Due to low efficiency of FPSCs, Evacuated Tubular Heat Pipe Solar Collectors (ETSCs) are now being studied to replace FPSCs. In this type of solar collectors, optical and thermal losses are minimized and performance of the system is better. In this study, ETSCs which are tested by charging Nano fluid were studied and these researches are very limited in the literature. Last studies proved that Nano fluids are increasing thermal efficiency especially in heat pipes. The outcomes from this study shows that using Nano fluids in ETSCs provides following benefits: Low thermal resistance, high thermal conductivity, higher working temperatures, acceleration in reaching working temperature and improvement in efficiency.

Keywords: Heat pipe, solar collectors, nano solution, nano fluid, performance, improvement, solar power.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

İhtiyaç duyulan enerji miktarının sürekli olarak artması artan nüfus ve yükselen yaşam standartlarının doğal sonucudur. İhtiyaçların sınırsız fakat kaynakların ise sınırlı olması mevcut olan enerji kaynaklarının daha bilinçli tüketilmesi ve verimi arttırmayı zorunlu kılarak diğer taraftan alternatif enerji kaynakları arayışına girerek bir arz çeşitliliği ortaya koyulması insanlığın varlığını devam ettirmesi için kaçınılmaz hale gelmiştir.

Bu hem eskiyi daha verimli kullanmak için araştırmalar yapmayı hem de yeniyi keşfetme şevkini netice vermiştir.

Fosil yakıtlara alternatif olarak birçok enerji kaynağı ortaya atılsa da en bol ve ücretsiz olarak Güneş enerjisi ilk sırayı almaktadır. Güneşten bir gün içinde dünyaya yayılan enerji miktarı dünyada yıllık tüketilen enerjiden daha fazla olmakla birlikte bu enerji kaynağından % 0.02 mertebelerinde faydalanılabilmektedir [1]. Şüphesiz güneş enerjisini kullanılabilir hale getirmek için çok fazla fikirler üretilmiş ve bir kısmı hayata geçirilmişken bir kısım fikirler ise üretilmeyi ve uygulamaya geçirilmeyi beklemektedir. Bilim tarihi bize gösteriyor ki bilginin ve

*Sorumlu yazar (Corresponding Author)
e-posta : umutsu@gmail.com

bunu teknoloji halinde insanlığa faydalı hale getirme yollarının sonu yoktur. Güneş enerjisi özelinde, ülkemiz ve dünya genelinde sıcak su elde etme başta olmak üzere birçok şekilde günlük hayatta istifade yolları karşımıza çıkmaktadır [2]. Isınma dışında güneş enerjisinden doğrudan elektrik elde etmek için fotovoltaik gibi birçok alanda çalışmalar devam etmekte; var olanı daha verimli kullanma ve yenileri ise keşfedip ortaya çıkarma çabaları devam etmektedir [3]. Güneş enerji piyasası 1920'li yıllarda başlayıp 1950'li yıllara kadar gelişimini sürdürmüştür. Doğalgazın yaygınlaşması ile maliyetlerin düşmesinden dolayı bu teknolojiye yapılan yatırımlar azalmıştır [40]. Bu bağlamda ısı borulu vakumlu güneş kolektörlerinde nano çözelti kullanarak performans artırma çalışmaları hem mevcut teknolojileri daha verimli kullanma hem de yeniyi keşfetme yani nano akışkanların üretilmesi, kullanılması ve yaygınlaştırılmasına hizmet etmektedir.

2. ISI BORULARI (HEAT PIPES)

Isı borularının bilimsel gelişiminin tarihsel sürecine baktığımızda 1831 yılında Angier March Perkins tarafından yapılan hermetik boru kazanının ısı borusu fikrinin temelini oluşturduğu söylenebilir. 1944 yılında ise Gaugler patentini de aldığı ısı borusu ise günümüz ısı borusunun temel ilkelerini ortaya koymuştur. Bu tarihten sonra çeşitli türleri geliştirilmiş olmakla birlikte temel olarak şu başlıklar altında toplanabilir [4] :

- Konvansiyonel Isı Borusu
- Titreşimli Isı Borusu
- Minyatür Isı Borusu
- Döngülü Isı Borusu
- Yassı Plaka Isı Borusu

Isı borularının temel çalışma ilkeleri şu şekildedir. Boru içerisindeki çalışma akışkanı güneşten aldığı enerji ile ısınarak faz değiştirip buharlaşır. Buharlaşan çalışma akışkanı yükselerek ısı transferini gerçekleştireceği ortama doğru yükselir. Burada ısıyı diğer ortama transfer ettikten sonra yoğunlaşarak tekrar ısı borusunun alt kısmına inmekte ve bu çevrim sisteme ısı girişi oldukça devam etmektedir [1,2]. İki iç içe geçmiş cam boru arası vakumlandığından iletim ve taşınım yoluyla sistemden ısı kaybının önünde geçilmesi hedeflenmektedir.

Isı borularında akışkan seçiminde donma ve kaynama noktaları dikkate alınır. Yüksek buharlaşma gizli ısısına ve ısı iletkenliğe ve düşük viskoziteye sahip akışkan tercih edilir. Akışkanın temin kolaylığı ve maliyeti ise diğer önemli bir belirleyici unsurdur. Isı borusu uygulamalarında çalışma sıcaklığına bağlı olarak çok düşük (kriyojenik, -73 derece ye kadar), düşük (-73 derece ile 227 derece arası), orta (227 ile 427 derece) ve yüksek (428 derece ve üzeri) olarak isimlendirilir. Isı boruları kalıp imalatı ve plastik enjeksiyon, elektronik parçaların soğutulması, ısıtma, soğutma ve iklimlendirme sistemleri ile uzay ve havacılık alanlarında kullanılmaktadır. Bu nedenle verimi artırılması durumunda birçok sektöre olumlu etkisi olacaktır [4].

3. GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİ (SOLAR COLLECTORS)

Güneş enerjisinden faydalanmanın iki temel yolu vardır:

- Elektrik enerjisine çevirmek (PV hücre gibi)
- Isı enerjisine çevirmek (Güneş kolektörleri gibi)

Güneş kolektörleri işletme faaliyetlerinde doğa dostu olsa da hem imalat hem de bakım zamanlarında bazı olumsuz çevresel etkileri olmaktadır. Güneş enerjisinin ilk yatırım maliyeti yüksek fakat işletme maliyeti yok denecek kadar azdır. Ekonomik analiz yapılırken hayat boyu maliyetler, geri ödeme süresi, yatırımın net bugünkü değeri ve iç karlılık oranı gibi unsurlara bakılmaktadır. Bazı yazılımlar ile güneş kolektörünün verimi ölçülmektedir: TRASY, MINSUN ve WATSUN. Hava durumu bilgisi METENORM, TMD ve TMY gibi veri tabanların alınabilmektedir. Verim ölçümü yapılırken USA ASHRAE- 93:2003 ve Avrupa ülkeleri EN-12975:2006 standartlarını kullanılmaktadır [20].

Güneş kolektörleri çok çeşitlilik arz etmektedir. Temel olarak güneşi takip eden hareketli sistemler ile sabit sistemler olarak ayrılmaktadır. Sabit olanlar kendi içinde üçe ayrılır: Düz Panel (FPC), Vakumlu Isı Borulu (ETSC) ve Parabolik Odaklı. En yaygın olarak kullanılan türü düz panel kolektörlerdir. 1950 lerde icat edilmiş olan bu tür son 30 yıldır yaygın olarak evsel ve ticari olarak kullanılmaktadır. İlk yatırım maliyeti ucuz ve kullanım kolaylığı nedeniyle tercih edilmektedir. Sonrasında ise ETSC gelmektedir. Tek Cidarlı ve Dewar Tüplü olmak üzere iki tip ETSC vardır. Bunlardan yaygın olarak kullanılan tek cidarlı tüpün değişik konfigürasyonları olsa da temel çalışma ilkesi hepsinde aynıdır [2,3]. Bu çalışmada bu tip kullanılacaktır. Vakumlu Isı Borulu Güneş kolektörlerinin bu türe göre oldukça üstün yönleri vardır ve aşağıda listelenmiştir [2]:

- Hem direk hem yayılan ışığı emme kabiliyeti
- Yüksek ısı iletkenliğiyle beraber, kolay kurulum ve taşıma
- Yüksek sıcaklık ihtiyacına cevap verebilir
- Silindirik tüp yapısı nedeniyle güneş ışığını gün boyunca dik olarak alma
- Vakum tüpler dolayısıyla düşük sıcaklık ve rüzgarlı ortamlarda iyi performans
- Sistem çalışmaya devam ederken kırılan-bozulan tüplerin değişimine olanak vermesi
- İletim ve taşınım ile ısı kayıplarının daha az olması
- ETSC yılın her zamanı evsel ihtiyaçlar için kullanılabilirken FPC ise genelde yaz aylarında kullanılır.
- Işığı yayma oranı daha düşüktür.
- Isı sağlama hızı daha yüksektir.
- FPC derzleme gerektirirken ETSC gerektirmez
- Çok soğuk (-18 °C) ortamlarda bile çalışmaya devam eder.

Bütün bu üstünlüklerine rağmen ilk yatırım maliyetinin yüksek olması nedeniyle henüz evsel ve endüstriyel kullanımı yaygınlaşmamıştır. Bununla birlikte yukarıda bahsi geçen avantajlarından dolayı araştırmacıların yoğun ilgisini çekmektedir. Literatürde tasarım değişikliği ile verimi arttırmak üzerinde çalışmalar çoğunlukla olmak kaydıyla bazı araştırmacılar da çalışma akışkanını değiştirerek sistemi daha verimli hale getirmeyi önermişlerdir. Çok az sayıda çalışmada nanoakışkanın optik özelliklerinin incelenmesi gerekliliği üzerinde durulmuş ve bu alanda sınırlı sayıda çalışma yapılmıştır [5].

Güneşten gelen enerji, optik kayıplar, faydalı enerji kazanımı ve ısı kayıpları (iletim, taşınım ve ışınım) olmak üzere 3 gruba ayrılabilir. ETSC kullanımında verimi arttırmak için kayıpları en aza indirmek ve faydalı enerji kazanımını en üst seviyeye çıkarmak gerekmektedir. Başka bir deyişle güneş enerjisi emilimi artırılmalı, ısı kayıpları azaltılmalı (çevreye yansımaya, sıcak yüzeyin ışıması ve kollektörden çevreye taşınım) ve vakumlu ısı borusundan akışkana ısı transfer oranı artırılmalıdır. Nanoakışkan kullanımı bu son noktada devreye girmektedir.

Kırılım indeksi ışık hızının vakum içerisindeki hızının ortam hızına oranıdır. Bir çalışmada güneş enerjisi uygulamalarında kullanılan temel akışkanların optik özellikleri incelenmiştir. Güneş enerjisinin ısı taşıyan dalga boyu görünür bantta olup 300-700nm dalga

boyunda iken akışkanların emilimi en yüksek 950-1000nm de gerçekleşmektedir. Normal su kullanılarak çalışan sistemlerde max emilim %13 tür. Hedeflenen emilim oranının %90 üzerinde olması için 1metre ve üzeri derinlikler gerekli olduğu belirtilmiştir. Suya nanopartikül eklendiği durumlarda emilimin 9 katına çıktığını iddia eden çalışmalar vardır. Optik özelliklerinin etkisinin kaydedeğer olması için akışkan ile güneş ışığının doğrudan temas halinde olması gerekirken ETSC'lerde bu durum yoktur. Cama glazing uygulaması yapılarak geçirgenlik artarken aynı zamanda geri yansımaya ile ısı kaybının önüne geçilmesi arzulanmaktadır. Yansımaya önleyici bir kaplama yapılır.

Kaplamanın geçirgenliği yüksek olmalı iken emme tabakasının yüksek emilimi olması gerekmektedir. Nanoakışkan kullanılması ile gelen ışığın sıvı içinde saçılması sağlanarak akışkana daha çok ısı geçişi sağlanır. Extinction katsayısı partikül çapına, derişime ve dalga boyuna bağlıdır. Güneş kollektörlerinde nanoakışkan kullanımıyla bu katsayı artırılmış olmaktadır. Optik özellikler parça boyutu, şekli ve nano partikül ile temel akışkanın optik özelliklerine bağlıdır [20].

Isı transfer miktarını arttırmak için Fourier denkleminde yola çıkarak ısı transfer katsayısını arttırmak, sıcaklık farkını arttırmak ve alan arttırmak seçenekleri vardır. Son ikisi hem teknik hem de ekonomik sebepler ile mümkün olmadığı birçok durumda ısı transfer katsayısını arttırmak tek seçenek olarak kalmaktadır. Bu durumlarda nanoakışkan kullanımı mümkün olabilmekte ve genelde metal veya metal oksit nanopartiküller ile temel akışkan olarak su kullanılarak hazırlanan süspansiyonların hem

iletim hem de taşınım katsayıları arttırılabilmektedir [42].

Güneş kollektörlerinin verimini ölçmekte iki farklı yol vardır: steady state (kararlı hal) ve quasi dynamic (yarı dengeli). Kararlı hal yönteminde güneş enerjisi yayılımı, ortam sıcaklığı ve kollektör giriş sıcaklığı sabit kabul edilirken yarı dengeli halde bunlar değişkendir. Isıl performans kollektör yüzeyine gelen güneş enerjisi, çevre sıcaklığı, emme tabakası ve bunun optik ve termal özellikleri, geçirgenlik ve emme geliş açısına, kullanılan akışkan türüne, debiye, özgül ısısına ve ısı kaybına bağlıdır [2].

Isı borulu güneş kollektörlerinin tercih sebeplerini ve türlerini ele alan bir çalışmada matematiksel modelleme alanında yapılan araştırmalar ele alınmıştır. Bununla birlikte evsel ve endüstriyel uygulamalarından bahsedilerek git gide ETSC'lerin yaygınlaştığından bahsedilmiştir. ETSC ile alakalı zorluklar ilk yatırım maliyeti, kırılma, kar giderme ve nadiren de olsa yüksek ısınma olarak ifade edilmiştir. Maliyet analizi yapılarak geri ödeme sürelerinin 2 yıldan az olduğu iddia edilmiştir. Tasarımsal değişikliklere yönelik çalışmalara çokça rastlanırken akışkan değiştirmeye yönelik fazla sayıda çalışmanın yapılmadığından bahsedilmiş ve bu alanda yapılan çalışmaların çoğunun FPC alanında olup ETSC alanında çok az sayıda çalışma olduğu belirtilmiştir.

Enerji dengesine göre güneş ışınları ile gelen enerji, faydalı enerji, ısı kayıp ve optik kayıp enerjilerinin toplamına eşittir. Kollektörde ısı enerjisi kaybı iletim, taşınım ve yayılımla olmaktadır. Güneş kollektörü performans ölçüm yöntemi Hotteland Woertz tarafından ortaya konmuş ve ASHRAE tarafından geliştirilmiştir. Verimi yükseltmek için bu çalışmalarda ortaya konan formüllerden hareketle aşağıdakiler gereklidir:

- Güneş enerjisi emilimini arttırmak
- Çalışma akışkanına ve son kullanıcıya ısı transferini arttırmak
- Isı kayıplarını azaltmak

Güneş kollektörlerinin geçirgenlik, yansıtma ve emilim özellikleri gelen enerjiye, ortam kalınlığına, kırılma indeksine ve malzemenin extinction katsayısına (K) bağlıdır. Cam en yaygın koruyucu malzeme olarak kullanılmaktadır. Kollektörün emme plakası seçilirken emme yüksek (α) ve uzun dalga boyu emisyon değeri (ϵ) düşük olmalıdır [20].

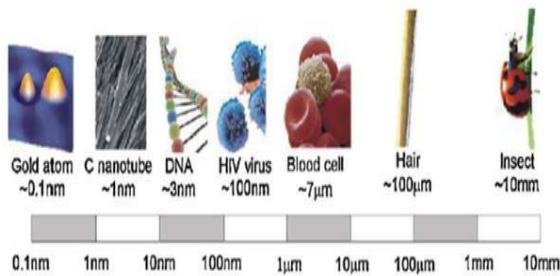
4. NANO AKIŞKANLAR (NANO FLUIDS)

Nanoakışkan kullanma fikri ilk olarak 1995 yılında Choi tarafından gündeme getirilmiştir [1]. O zamandan bu zamana nanoakışkanlara ilgi artarak devam etmektedir. Nano boyutta ve ısı iletkenlik katsayısı suya göre çok yüksek olan parçaların su veya diğer çalışma akışkanları ile hazırlanmış olan karışımlarına nanoakışkan adı verilmektedir [6]. Nanoakışkan hazırlamakta kullanılacak olan nano partiküllerin 100nm boyutundan küçük olması literatürde tavsiye edilmektedir. Nanoakışkan kullanımıyla ilgili olarak çok sayıda bilimsel çalışma son 20

yılda yapılmıştır ve gelecek vadeden bir alan olması sebebiyle de ilgi artarak devam etmektedir. Yapılan hemen hemen bütün çalışmalar ısı performansını arttırdığını fakat temel akışkana, seçilen nano malzemeye, derişime, çalışma sıcaklığına, yüzey aktifleştirici kullanıp kullanılmamasına ve kullanılmışsa türüne ve derişimine gibi faktörlere göre farklı oranlarda performans iyileştirmesi sergilediğini ortaya koymuştur. Bununla birlikte uzun dönem stabilite sorunu, nanoakışkan elde etme zorluğu ve maliyeti, viskozite artışı ve dolayısıyla pompa gerektiren sistemlerde güç talebi artışı ve nano malzemelerin toksik olabileceği gibi hususlar da aşılması gereken sorunlar olarak bildirilmektedir [1].

Gerek imalat ve gerek kullanım esnasında gerekli önlemleri aldıktan sonra bir çok toksik maddeden güvenilir bir şekilde halihazırda olduğu gibi nanoakışkanlardan da faydalanılması mümkündür. Nanoakışkan kullanımında hedeflenen ise emilen ısı miktarını ve hızını arttırmakla birlikte ısı veriminin artırılmasıdır. Nanoakışkanlar genelde iki-aşama yöntemi kullanılarak hazırlanmaktadır. Bu yöntemde önce istenen nano partiküller elde edilir. Sonra temel akışkan içerisine stabilitesini ve homojenliğini koruyacak şekilde dağılması sağlanır. Tek aşama (one- step) metodu ise nano partiküllerin hazırlanması ve akışkanın içine dağılımı bir aşamada gerçekleştirilir. Değişik yöntemler ile bu mümkün olmaktadır: Direk buharlaşma, VEROS tekniği, lazer ablyasyon metodu (Alimünyum nano akışkanlar için kullanılır) ve saf kimyasal sentez (bakır-EG için kullanılır) gibi tek aşama yöntemleri vardır [6].

Nanoakışkanlar çok çeşitli olabilmektedir: metaller, metaloksitler, yarı-iletkenler, nitritler, karbon nanotüpler, grafen gibi çok farklı nanoakışkanlar hazırlanarak araştırmalar yapılmış ve yapılmaya devam etmektedir. Araştırmaları deneysel, teorik ve numerik olarak bütün alanlarda devam etmektedir. Nanoakışkanların karakterizasyonu, termofiziksel özelliklerinin belirlenmesi ve genel geçer bir model/formül arayışları ve çalışmalarını sonucunda henüz net bir çözüm ortaya konamamıştır [1,5,6].



Şekil 1. Nano Boyut (Nano scale) [15]

Nanoakışkanların ısı iletim katsayısı, viskozite, taşınım katsayısı, özağırlık, özgül ısı ve basınç düşümü parametreleri ile alakalı çok sayıda çalışma yapılmıştır. Özellikle ısı iletkenlik üzerinde partikül derişimi, sıcaklık, boyut, şekil, baz akışkan ve pH etkileri derinlemesine incelenmiştir. Bazı çalışmalarda surfactant ismi verilen yüzey

aktifleştiricisi kullanılarak nano partikül eklenmesinden kaynaklı ortaya çıkabilecek sorunlar giderilmeye çalışılmıştır. Çünkü nano boyutta olan partiküllerin çökmesi, bir araya gelmesi veya topaklanması söz konusu olabilmektedir. Bununla birlikte benzer şekilde viskozite de meydana gelen artışın önlenmesi için çalışmalar yapılmıştır. Az sayıda da olsa hibrit nano partikül kullanımı konusunda araştırmalar da yapılmıştır [6,7].

Nanoakışkanların özellikleri temel olarak şu 5 parametreye dayanır: Termo akışkanlar, ısı transferi, partiküller, koloit ve lubrikasyon. Termo akışkan özellikleri sıcaklık, viskozite, yoğunluk, özgül ısı ve entalpi değerlerini kapsar. Isı transferi ise ısı iletim, ısı kapasitesi, Prandtl sayısı ve basınç düşümünü kapsar. Partikül ise büyüklük, şekil, BET (yüzey alanı analizi) ve kristal faz olarak alt başlıklara ayrılmaktadır. Koloit özellikler ise karışımın stabilitesi, zeta potansiyeli ve pH değerlerinden oluşur. Lubrikasyon açısından ise viskozite, viskozite indeksi, sürtünme katsayısı, aşınma hızı ve üst basınç değerlerine bakmak gerekmektedir [6].

Stoke Kanuna göre nanopartikül boyutu küçüldükçe çökme durumu yavaşlamakta ve stabilite artmaktadır. Brownian hareketine göre kritik nanopartikül boyutuna yaklaşıldığında sıfır çökme olması beklenmektedir. Tek aşama yöntemiyle üretilen nanoakışkanların stabilitesi yüksek ve topaklanma riski azdır. İki aşama yöntemiyle üretilenlerde ise yüzey enerjisi yüksek olan nanopartiküllerin çökme riski vardır. Stabiliteyi ölçmek için UV-vis spektrometre, zeta potansiyeli, TEM ve SEM gibi yöntemler kullanılmaktadır [20].

Nanoakışkan kullanımıyla ilgili olarak çok sayıda bilimsel çalışma son 20 yılda yapılmıştır ve gelecek vadeden bir alan olması sebebiyle de ilgi artarak devam etmektedir. Yapılan hemen hemen bütün çalışmalar ısı performansını arttırdığını fakat temel akışkana, seçilen nano malzemeye, derişime, çalışma sıcaklığına, yüzey aktifleştirici kullanıp kullanılmamasına ve kullanılmışsa türüne ve derişimine gibi faktörlere göre farklı oranlarda performans iyileştirmesi sergilediğini ortaya koymuştur. Bununla birlikte uzun dönem stabilite sorunu, nanoakışkan elde etme zorluğu ve maliyeti, viskozite artışı ve dolayısıyla pompa gerektiren sistemlerde güç talebi artışı ve nano malzemelerin toksik olabileceği gibi hususlar da aşılması gereken sorunlar olarak bildirilmektedir [1].

Nanoakışkanlardaki nanopartiküllerin bir araya gelme ve çökme eğilimi vardır. Bunların giderilmesi ve viskozitenin düşürülmesi için çalışmalar yapılması gerekmektedir. Bununla birlikte ETSC'lerde farklı nanoakışkanların kullanılması ve literatürde hiç rastlanmayan hibrit nano partiküller kullanılarak akışkan kullanımı alanında araştırmalar yapılabilir [3].

Nanoakışkanın sentezlenmesi ve stabilitesinin korunması önem arz etmektedir. Alan hacim oranı yüksek olduğu için yüksek yüzey gerilmesi sonucunda biraraya gelme ve topaklanma sorunu ortaya çıkabilir. Çökme, akışkanların tıkanma ve dolayısıyla ısı iletkenliğinin düşmesine yol açabilir. Yüzey aktifleştirici (surfactant) eklenerek

sorun giderilebilir ama köpük oluşma ihtimali vardır. Kovalent olmayan işlevselleştirme ile nano partiküllerin akışkan içinde dağılımı sağlanır. Nano akışkanların yüksek maliyeti, stabilite sorunu ve viskozite artışı nedeniyle optimum nano partikül derişim seviyesi belirlenmeli ve bunu yaparken ısıl iletkenlik artışı ile viskozite artışı hesabı katılmalıdır [10].

Nanoakışkan olarak hazırlanan çözeltilerde yaygın olarak şunlar kullanılır: Alüminyum, Titanyum Dioksit, Karbon nanotüpler, bakır vb. farklı şekillerde olabilir (küresel, silindirik vb). Nanoakışkanların ısıl özellikleri arttırdığı birçok çalışma ile doğrulanmıştır. Optik özelliklere etkisi de incelenmeye başlamıştır. Su güneşten yarılan enerjinin

%13'ünü emebilmektedir. Optik özelliklerde iyileşme sağlanarak bu oran kayda değer artırılabilir. ısıl özelliklerin iyileşmesi ile de daha çok ısı transfer edilebilir. Metal ve metal olmayan nano boyutta parçalar üretmek mümkün olup temel olarak fiziksel ve kimyasal olmak üzere iki üretim yöntemi vardır. Güneş kollektörlerinde karbon nanotüpler, alüminyum, titanyum dioksit ve gümüş yaygın olarak kullanılmaktadır. Nano akışkanlar bir veya iki aşama metodları ile üretilmektedir. İki aşama yöntemde önceden üretilmiş olan nano boyutta maddeler akışkan içerisine ultrasonik disrupter veya yüksek basınç homojenizer ile süspansiyon hazırlanmaktadır. Bu yöntem tek dezavantajı zamanla çökme ve bir araya gelme olayıdır. Bunun sebepleri arasında partiküllerin yüksek yüzey enerjisi, Van der Waals kuvvetleri ve yer çekimi vardır. Bu sorunu aşmak adına stabilizasyon ajanı veya surfactant kullanarak partiküller arasında itme kuvvetleri ortaya çıkarmak gerekir. Surfactant uzun organik molekül olup su ve yağ seven bir yapıya sahiptir. Ayrıca surfactant kullanımı partiküllerin yüzey aktivitelerini ve pH seviyesini değiştirmekle beraber yüzey enerjisini azaltmakta da etkilidir. Surfactant aracılığı ile hidrofilik-hidrofobik karakterler arasında geçiş sağlanması mümkündür. Yaygın olarak kullanılan surfaktantlar: SDBS, Gemini, gum Arabic, CTAB, chitosan ve Triton X-100 [5].

Nanoakışkan hazırlanmasında katı parçaların bir araya gelip daha büyük formlar oluşturması istenmeyen bir durumdur. Özel ihtiyaçlara cevap verecek özel akışkanlar geliştirilmektedir. Nanoakışkanların stabil olabilmesi için 3 yöntem önerilmiştir:

- Karışımın pH değerini değiştirmek
- Yüzey aktivatörleri veya dispersant kullanımı
- Ultrasonik titreşim kullanımı

Yüksek zeta potansiyeli olan (pozitif veya negatif) daha iyi bir stabilite olduğu manasına gelmektedir [6].

Isı transfer alanında nanoakışkan kullanımına dair birçok çalışma yapılmıştır. Nanopartikül olarak saf metal (Au, Ag,Cu, Fe), metaloksitler (CuO, SiO₂, Al₂O₃, TiO₂, ZnO, Fe₃O₄), karbitler (SiC, TiC), nitritler (AlN, SiN) vedeğişik tip karbonlar (elmas, grafit, tek/çok duvarlı karbon nanotüpler) kullanılmıştır. Temel akışkan olarak da su, etilen glikol ve motor yağı kullanılmıştır. Bugüne

kadar yapılan çalışmalarda ısı iletim katsayısı, zorlanmış taşınım ve kaynama ısı transferi durumları incelenmiştir. Isı transferinde artış görünen durumlar açıklanırken Brownian hareketi, arayüz etkisi, enerji taşıyıcıların balistik etkisi ve termoforez üzerinde durulmuştur [18]. Sınırlı sayıda Bor içeren nanoakışkan hazırlanarak özellikleri incelenmiştir. Bunlardan birinde yüzey aktifleştirici kullanımının BN nanoakışkan özelliklerini nasıl etkilediği incelenmektedir. % 0.001 ile % 0.1 hacim fraksiyonları yüzey aktifleştirici kullanarak ve kullanmayarak 2 saat boyunca sonikasyona tabi tutulmuştur. Yüzey aktifleştiricisi kullanılmayan durumda (zeta potansiyeli ölçülerek) daha stabil olduğu sonucuna (her ne kadar literatürde diğer nanoakışkanlarda durum tam tersi olsa da) varılmıştır. Yapılan analizler sonucunda kullanılmadığı durumda izoelektrik noktası olan 9.25 ten uzak -40mV ve üzeri değerler elde edilmiştir. Bu da karışımın stabil olduğunu göstermektedir. Derişim % 0.1 e kadar çıktığında pH değeri % 8.69 artmış yüzey gerilmesi % 7.2 düşmüş ve elektrik iletkenliği 1.1032 mS/cm artmıştır. Derişim arttıkça ısıl iletkenlik katsayısı sürekli artmıştır. Derişim % 0.1 e kadar çıktığında Prandtl sayısı % 13.95 düşmüştür. Isı transfer katsayısı derişim % 0.00373 oranında arttığında % 7.09 oranında artmıştır [12].

Diğer bir çalışmada ise Hekzagonal Bor Nitrit (hBN) yüksek stabilitede yalıtkan seramik malzeme olup ısıl iletkenliği ve kimyasal inert olması nedeniyle tercih edilmektedir. Hekzagonal kristal yapısı nedeniyle BN ler arasında en yumuşak formdur. Bu çalışmada nBN nanoakışkan hazırlanırken saf su, saf etilen glikol ve % 50 su-EG karışımı kullanılarak hazırlanması, stabilitesi ve termofiziksel özellikleri deneysel olarak incelenmiştir. Ortalama boyutu 70nm olan stabil hBN nanoakışkanlar SDS ve PVP yüzey aktifleştiricileri kullanarak ve ltrasonikasyona tabi tutularak hazırlanmıştır. Yüzey aktifleştiricisi kullanımının termofiziksel özelliklere etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Stabilite ölçümü için zeta potansiyelinden yararlanılmıştır. Morfoloji karakterizasyonu için SEM ve TEM kullanılmıştır. %0.03 ile %3 arasında derişimlerin viskozite dahil olmak üzere etkileri deneysel olarak incelenmiştir. % 1 civarında BN kullanım durumunda 10 güne kadar stabilite gözlemlenmiştir. Daha uzun stabilite süreleri için yüzey aktifleştiricilerinde faydalanılabilir. hBN- su nanoakışkanında STEM görüntüsüne göre hem polidispersite hem de yerel bir araya gelmeler gözlemlenmiş ve bunların ısı iletimine olumlu etki yaptığı düşünülmemektedir. Derişim arttıkça ısıl iletkenlik ve viskozite artmaktadır. % 3 hBN içeren nanoakışkan için ısıl iletkenlik % 26 seviyelerine kadar artarken bu durumda viskozite artışı % 22 civarında ölçülmüştür [13].

Yapılan başka bir çalışmada ise etilen glikol temel akışkan kullanılarak BN nanopartiküller ile nanoakışkan hazırlanmıştır. BN/EG nanoakışkanların ısıl iletkenlikleri transient hot wire metodu ile ölçülmüş ve 2 olağandışı durum gözlemlenmiştir. Birincisi düşük derişimlerde daha yüksek ısıl iletkenlik oluşması diğeri ise 140nm

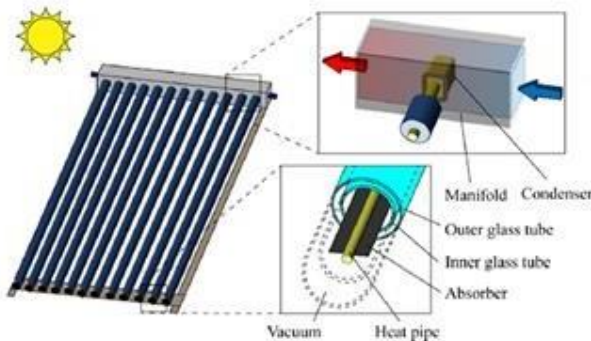
nanopartikül kullanılan akışkanın 70 nm nano-akışkana göre ısı iletkenlik iyileşmesinin daha fazla olmasıdır [16].

Sınırlı sayıda Bor içeren nano partiküller ile hazırlanan nano akışkanlarda literatürdeki diğer nano partiküllere göre farklı sonuçlar ve birbiriyle çelişen hususlar yer almaktadır. Bu da konunun daha çok çalışılarak açıklığa kavuşturulması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Araştırmacılara nano akışkanları gerek sentezlerken gerek ise kullanırken temkinli davranmaları tavsiye edilmektedir. Çünkü, Nanoteknoloji yeni yeni gelişen bir alan olması sebebiyle iş güvenliği ve sağlık açısından tam bir değerlendirme henüz ortaya konamamıştır. Bu nedenle zararsız olduğu ispatlanana kadar tedbirli davranılması gerekir. Nanopartiküllerin vücuda girmesinin üç yolu vardır: Solunum- akciğer sistemi; Emme- deri sistemi ve Yemek- sindirim sistemi. Hangi limitlerde olumsuz etkiler ve insan sağlığını tehdit eder hale geldiği kesin olarak bilinmemekle birlikte ciddi rahatsızlıklara yol açabileceği düşünülmektedir [15].

5. 5. ISI BORULU VAKUM TÜPLÜ GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİNDE NANO AKIŞKAN KULLANIMI (HEAT PIPE EVACUATED TUBULAR SOLAR COLLECTOR: APPLICATIONS OF NANOFLUID)

Isı borulu güneş kollektörlerinde nanoakışkan uygulamalarının incelendiği bir çalışmada her uygulamada verimin arttığı gözlemlenmiştir. Özel tasarlanmış bir açık termosifon uygulamasında de-iyonize su ve su bazlı CuO (%1.2 derişim) nanoakışkan kullanarak suya göre % 30 ısı transfer katsayısının yükseldiğini ortaya koymuşlardır. Başka bir çalışmada üç fitilsiz ısı borusundan oluşan iki tane aynı özellikte kollektör imal ederek deneyler yapmışlardır. Birinde normal su diğerinde ise CNT nanoakışkan kullanılarak yapılan çalışmada CNT olan sistem hep daha iyi sonuç vermiştir. Diğer bir çalışmada ise TiO₂ – su nanoakışkan kullanılan sistem %73 verimli iken sadece su kullanılan sistem % 58 verimli bulunmuştur [1].



Şekil 2. ETSC çalışma prensibi (Operating principal of ETSC) [3]

Uzun zamandır FPC' ler için verim iyileştirme çalışmaları devam etmektedir. Nanoakışkanlar çalışılırken katkı

maddesi olarak genelde Triton X-100 maddesi kullanılmıştır. pH ayarı yapılması gerektiğinde HCl ve NaOH dan faydalanılmıştır. Katkı maddesi (surfactant) kullanmanın temel amacı çökelmeyi engellemek ve partiküllerin biraraya gelmesini engellemektir. Bazı araştırmalar sonucunda nanoakışkan derişiminde bir optimum oran olduğu bu nedenle bu miktarın üzerine çıkılmaması gerektiği belirtilmiştir: hem maliyeti düşürmek hem de stabilite sorunlarını minimize etmek için. Bu tip kollektörlerde ısı borusu kullanımı çok nadiren incelenmiş ve bu alanda daha çok çalışmaya ihtiyaç vardır. Deneysel çalışmaların yanında teorik çalışmalar da yapılmaya devam etmektedir. Bu çalışmalar deneysel olanlara göre daha az maliyetli olup sonuçlara ulaşmak açısından daha kısa bir yoldur. Singh ve arkadaşları tarafından nanoakışkan kullanımında entropi üretimi ilk kez incelenmiş ve entropi üretiminde artışa neden olduğu iddia edilmiştir. Bununla beraber bazı araştırmacıların tersinin gerçekleştiği yönünde iddiaları da vardır. Bunlardan birinde Alim ve arkadaşları CuO nanoakışkan kullanarak entropi üretiminin % 4.34 azaldığını ve verimin % 22.15 arttığını iddia etmişlerdir. Gerekli pompa gücünde ise % 1.58lik bir artış rapor edilmiştir. Aynı zamanda ekserji alanında da çalışanlar olmuştur [3]. Açık termosifonun ısı performansının ölçülmesinde nanoakışkanlar yüksek sıcaklık vakumlu boru güneş kollektörlerinde kullanılmıştır. Deney kapalı mekanda deiyonize su ve su bazlı CuO nanoakışkan kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada doldurma oranı, ana akışkan türü, nanopartikül oranı ve işletme sıcaklığı üzerinde durulmuştur. % 1.2 nanopartikül oranı ile optimum ısı transfer iyileştirilmesi yapılmıştır. Otanicar ve arkadaşları nanoakışkan kullanılan direk emilim güneş kollektörlerinin verimini araştırmışlardır. 3x5 cm² panel ve kanal derinliği 140 mikrometre tercih edilmiştir. Kollektörü doldurmak için gerekli nanoakışkan miktarını azaltmak için mikrokanal tercih edilmiştir. Karbon nanotüpler, grafit ve gümüş bazlı nanoakışkanlar test edilmiştir. Nanopartikül eklenmesi ile başta hızlı bir artış olmuş ve nanopartikül arttıkça bu artış devam ederken bir noktadan sonra düşmeye başlamıştır. ASHRAE Standart 86-93 Yousefi ve arkadaşları tarafından kullanılarak düz güneş kollektörlerinde deneysel çalışma yapılmıştır. Emme alanı 1.51m², 1 ile 3 lt/dk debi, Al₂O₃ nanopartikül oranı %0.2 ile 0.4 ve surfactant ilavesi ile çalışma yapılmıştır. Anlık verim değerleri ışınım yayılımı, ortam sıcaklığı ve giriş akışkan sıcaklığının değişik kombinasyonları için kaydedilmiştir. Triton X-100 eklenmesi performansı arttırmıştır. % 0.2 Al₂O₃ derişimi için % 28.3 verim artışı kaydedilmiştir. pH değeri nanoakışkanların itme kuvvetlerini belirliyor. İzoelektrik noktasından uzaklaştıkça daha büyük itme kuvvetleri ortaya çıkıyor. Yousefi ve arkadaşları bu noktayı hesaba katarak 3.5, 6.5 ve 9.5 değerleri MWCNT ile deney yapmışlar. pH ayarı için Hidroklorik asit ve Sodyum Hidroksit kullanmışlar. İzoelektrik noktadan uzaklaştıkça verim artmıştır. Başka bir çalışmada surfactant eklenmesi ile verimin arttığını ortaya koymuştur. Bu alanda yapılan bir çalışma sedimantasyon problemini aş-

mak için akışkan hızını kontrol etmenin işe yaradığını ortaya koymuş ve böylelikle birikme (deposition) sorunu da azaltılabilmektedir. Başka bir çalışma solar kollektörün açık termosifon ile birleştirilmesiyle performans artırımı gerçekleştirilmiştir. Başka bir çalışmada bakır nanopartiküller eklenerek % 24 bir iyileştirme sağlanmıştır. Cho-ugule ve arkadaşları fitilsiz ısı borulu güneş kollektörlerinde su ve karbon nanotüp nanoakışkan kullanılarak farklı açılarda ve derişimlerde deneyler yapmışlardır. En iyi performans için optimum CNT miktarını belirlemişlerdir. Bazı araştırmalarda optimum debi belirlenmesi de yapılmıştır. Bir başka araştırmada Brownian motion etkisinin hareketli akışkanlarda statik olanlara göre daha belirgin olduğunu ortaya koymuştur [5].

Bir çalışmada 16, 22 ve 28 mm çapında ısı borulu vakumlu tüp güneş kollektörler imal edilerek optimum boru çapı belirlenmesi amaçlanmıştır. Akışkan olarak etanol kullanılmıştır. Her bir ısı borusu içine ısı borusunun toplam hacminin 1/3 oranında akışkan konmuştur. Boru içinde kalan hava vakumlanmıştır. Deponun ısı yalıtımı yapıldıktan sonra ısı borusunun buharlaştırıcı ve adyabatik kısmı (depo dışında kalan) vakum tüp içerisinde yerleştirilmiştir. Eş merkezli konumlandırmak için o-ring kullanılmıştır. Deneylerde çevre hava sıcaklığı, hava dağıtım kollektörü giriş sıcaklığı, her bir kollektör için çıkış sıcaklığı ve o güne ait güneş ışınımı şiddeti ölçülmüştür. Sonuç olarak yeterli miktarda ısı oluşmadığı durumlarda buharlaşma gerçekleşmediğinden sistemin çalışmadığı, akışkanın yeterince ısı atamayıp sıvı fazına dönememe durumunun oluşmaması için ısı transfer edileceği depo kısmına dikkat edilmesi gerektiği ve bu yoğunlaştırıcı kısmında daha hızlı ısı transferi için kanatçıklar gibi tasarimsal düzenlemelere gidilebileceği belirtilmiştir [8].

Isı borulu kollektörlerin incelendiği bir çalışmada ayrı ve birleşik ısı borularının verimleri deneysel olarak ölçülerek mukayese edilmiştir. Her iki kollektörde de ısı borusu olarak bakır boru ve çalışma akışkanı olarak R-134a kullanılmıştır. Boru çapı 15mm, sıvı dönüş borusunun çapı 12mm ve depo içindeki yoğunlaşma borusunun çapı 25 mmdir. Isı boruları arasındaki mesafe de 7.2 mmdir. Saydam örtü olarak 3mm kalınlığında cam kullanılmıştır. Kollektörlerin yan ve alt kısımlarından meydana gelen ısı kayıplarını önlemek için strafor malzeme ile yalıtım yapılmıştır. Depo malzemesi olarak 2mm kalınlığında sac kullanılmıştır. Depolardan çevreye ısı kayıplarını önlemek için her iki su deposu yalıtım malzemesi termoflex ile yalıtılmıştır. Sıcaklık ölçümü J tipi termokupl malzeme ile 12 kanallı Elimko- 6000 tipi ekipman kullanılmıştır. Güneş radyasyon ölçümünde solarimetre cihazı kullanılmıştır. Sonuç olarak ayrı olan sistemin ısı verimi % 48.5 iken birleşik olan sistemin verimi % 57.6 çıkmıştır. Bunun sebebi olarak birleşik sistemde ısı transferinin daha iyi gerçekleştiği yoğunlaştırıcı ve buharlaştırıcı kısımlardaki birliğin transfer hızını arttırdığı düşünülmektedir [9].

Bir çalışmada ilk defa farklı olarak yatay bir tank içerisine spinal boru yerleştirmek suretiyle Al₂O₃ / saf su nano akışkanı kullanılarak 18 adet borosilikat cam va-

kumlu tüp 100 lt olan yatay tanka bağlanmıştır. ETSC-lerde Al₂O₃ / saf su nano akışkanı kullanılmıştır. Hacim fraksiyonları % 0.03 ve % 0.06, nanopartikül boyutu 40nm olmak üzere yüzey aktifleştiricisi olarak Triton X-100 kullanılmıştır. Spinal ısı değiştiricisi içerisindeki debi 20 lt/saat, 40 lt/saat ve 60 lt/saat olacak şekilde çalışılmıştır. En yüksek verim olan % 57.63 verime, % 0.06 hacim fraksiyonu ve kütleli debi olarak 60 lt/saat koşullarında gerçekleşmiştir. Al₂O₃ Nanoakışkan Hazırlanması için iki aşamalı yöntem kullanılmıştır. Nanopartiküllerin karakterizasyonu için XRD ve FESEM kullanılmıştır. X-ray Diffraction 1 o/dk dan 5o – 70o e kadar 40kV/40mA koşullarında analiz yapılmıştır. Kullanılan malzeme doğrulanmıştır. Kollektör verimi şu unsurlara bağlıdır: Kollektörün tasarımı, güneş enerjisi etkileri (ışınım şiddeti, yayılma oranı ve geliş açısı), ortam koşulları (ortam sıcaklığı, rüzgar durumu ve hava sıcaklığı) ve işletme koşulları (akışkanın giriş sıcaklığı, akışkanın debisi ve ısı özellikleri, kollektörün eğimi ve yerleşimi). Çözeltinin stabilitesini koruması iyonik özelliklerine bağlıdır. İyonik özellikler arttıkça çökme ihtimali ve oranı artmaktadır. Nanopartiküllerin hacim fraksiyonu arttıkça akışkanın ısı kapasitesi düşmüş fakat ısı transfer katsayısı artmıştır [11].

Isı borusu içindeki akışkanın verime, çalışma sıcaklığına ve toplam ısı katsayısına doğrudan etkisi vardır. Akışkan olarak su, etanol, metanol veya bunların karışımlarının kullanıldığı birçok çalışma olmuştur. Su-etanol karışımının iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Vakumlu ısı borulu güneş kollektörlerinde (ETSC) sistem performansının iyi olması için vakumun muhafaza edilmesi ve sızıntı olmaması önemlidir. Düz panellerden farklı olarak ETSC gün içinde saate göre performans değişimi pek olmamıştır ve yüksek çıkış sıcaklıkları elde edilmiştir [17].

Isı borularındaki nanoakışkan çalışmaları üçe ayrılabilir:

- 1) Kılcal kuvvetlerin etkili olduğu ve taşınımın buharlaştırıcı ve yoğunlaştırıcı kısmında hakim olduğu durumlar: Mikro-oluk, ağ (meshes) ve sinterlenmiş metal ısı boruları
- 2) Isı gradyanının olduğu basınç dalgalarına yol açtığı ve itme kuvvetlerinin etkili olduğu durumlar: Titreşimli ısı boruları
- 3) İki fazlı termosifon durumunda ise havuz kaynama karakteristiğine benzer bir yapıda ısı transferi gerçekleştiği durumlar: normal ısı borusu

Bu gözden geçirilen çalışmaların ışığında nanoakışkan hazırlanırken kullanım süresi, stabilite, güvenilirlik, ekonomiklik ve kullanım yeri-maksadına uygun seçim büyük önem arz etmektedir. Bu alanda daha çok çalışmaya ihtiyaç olduğu ve özellikle çalışma sıcaklığı etkilerinin iyice araştırılması tavsiye edilmektedir [18].

Termosifon tipte ısı borularında film buharlaşma ve havuz kaynama ısı transferinde etkili olmaktadır. Yoğunlaştırıcıda sıvılaştıran akışkan yerçekimi ile buharlaştırıcı kısmına dönmektedir. Nanopartiküller çekirdeklenme bölgeleri ve buhar balon bombardımanı

oluşmasını sağlayarak ısı transferini arttırmaktadır. Bugüne kadar yapılan çalışmalarda ısı direnç düşüşü en çok %81 (gümüş nanopartikül ve su temel akışkan) ve %60 (CuO nanopartikül ve su temel akışkan) durumlarında rapor edilmiştir. Isıl iyileştirme sebepleri arasında azalan yüzey gerilimi ile ıslanabilirliğin artması ve çekirdek kaynama artışından kaynaklandığı düşünülmektedir. Derişime bağlı olarak bir optimum dolum oranı olduğu düşünülmektedir. Bir kısım çalışmalarda nanoakışkan kullanılmasına bağlı olarak temel akışkana göre daha kötü sonuçlar rapor edilmiştir. Sebep olarak da buharlaştırıcı kısımda nanopartikül birikmesi su buharını azaltmış ve toplam ısı direnç artması rapor edilmiştir. Bazı çalışmalarda ise optimal derişimden uzaklaşılması ve çevrimin sürekli olarak devam etmemesinden kaynaklı olarak çökme olması ısı direnci arttırmakta ve ısı verimi düşürmekte olduğu rapor edilmiştir. Hatta nanopartiküllerin bir araya gelerek büyük partiküllere dönüşmesinin de olumsuz etkilerinden bahsedilmiştir. Isı borularında nanoakışkan kullanımına dair yapılan 28 çalışma gözden geçirilmiştir. Isı borularında nanoakışkan kullanımı ile sınırlı sayıda analitik ve sayısal modelleme çalışması olduğu tespit edilmiştir [19]. MgO/su nanoakışkanın iki fazlı kapalı sistem termosifon tipi ısı borusu performansı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Triton-X 100 surfaktant olarak kullanılmıştır. 1/3 oranında doldurulan ısı borusu üç farklı ısı (200-300- 400 W) girişi durumunda ve üç farklı debide soğutma suyu (5, 7.5 ve 10 g/s) ile deneyler gerçekleştirilmiştir. İyileştirme oranı en yüksek % 26 olarak 200W ısı girişi ve 7.5 g/s soğutma suyu kullanıldığı durumda gerçekleşmiştir. Cidar sıcaklıkları suda yüksek MgO da ise daha düşük olmuştur. Ayrıca buharlaştırıcı- yoğurturucu arasında sıcaklık farkı da MgO da azalmıştır. Bu da ısı direncin MgO nanoakışkanında daha düşük ve performansın arttığını göstermektedir. Al₂O₃ e göre ise ısı borusu performans artışı ortalama olarak %6.6 ile 11.5 bandında olmuştur [21].

Duman külü ve Al₂O₃ nanopartiküller ile temel akışkan olarak su kullanılarak nanoakışkanlar hazırlanmıştır. İki fazlı kapalı termosifon ısı borusunda bu akışkanların ısı performansına etkisi incelenmiştir. Triton X-100, surfaktant olarak kullanılmıştır. Ağırlıkça % 2 oranında nanopartiküller ve % 0.2 oranında surfaktant ile nanoakışkanlar hazırlanmıştır. Isı borusu dolun oranı 1/3 olup 200,300 ve 400 W ısı girişi; 5,7.5 ve 10 g/s soğutma suyu çevrimi koşullarında deney 3 akışkan için gerçekleştirilmiştir. Isıl direnç düşümü olarak 400 W, 5 g/s ve duman külü nanoakışkan durumunda % 30.1 olarak ölçülmüştür [22].

DARS 1928 yılında icat edilmiştir. Bu sistem ev soğutma, karavan, kamp, ofis ve otel gibi yerlerde sessiz çalışması nedeniyle tercih edilmektedir. Veriminin düşük olması nedeniyle kullanım alanı ve yaygınlığı sınırlı kalmıştır. Nanoakışkan kullanılan sistemde 0 dereceye inmek 20 dk sürerken diğer sistemde 55 dk sürmüştür. Daha çok ısı emme kapasitesinin soğutma etkisi büyük olmasa da ısı verim artışı kayda değer olmuştur. REFP-ROP yazılımından faydalanılarak COP değerleri hesaplanmıştır. Nanoakışkan kullanılan sistemin COP değeri

0.295-0.225 arasında iken diğerinin 0.280-0.213 olup buradaki fark ortalaması % 51 olup iyileştirme oranı yüksektir [23].

Isı borulu güneş kolektörlerinde nanoakışkan kullanımıyla ilgili olarak sınırlı sayıda çalışma yapılmıştır. Bunlardan birinde su ve 30 nm boyutunda SiO₂ kullanılarak iki aşamalı yöntem ile microfluidizer prosesine tabi tutularak nanoakışkan elde edilmiştir. Daha sonra parça boyut analizi karakterize edilmiştir. Isıl iletkenlik ve geçirgenlik ölçümleri yapılmıştır. Kolektörler iyi güneş alacak şekilde yerleştirilerek solar radyasyon miktarı hesaplanmıştır. Isıl çiftler ısı borusu boyunca yerleştirilerek sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Kolektör tüpün içindeki ısı dağılımı ve hız değişimi modellenmesi için ANSYS ve FLUENT yazılımları kullanılmıştır. Partikül boyut analizine göre dağılım uniform olmuş ve topaklanma olmamıştır. Mikro taşınım etkisiyle ısı iletim iyileşmiştir. En çok iyileşme % 5 derişime sahip akışkanda vuku bulmuştur. Parçacıkların birbiriyle çarpışması ve enerji transferi gerçekleşmesi bunun temele sebebi olarak görülmektedir. 20 gün sonra ölçümler tekrar yapıldığında hala % 1 e göre yüksek değerler elde edilirken ; %3 ve % 5 taze karışımlara göre düşük değerler ölçülmüştür. Bu da zaman içinde topaklanma olduğunu göstermektedir. Ayrıca 500-1400 nm arasında geçirgenlik ölçümü yapılmıştır. Artan dalga boyu ile geçirgenlik artmıştır. % 1 derişimin geçirgenliği en üst düzeydedir: %91.42. Sayısal simülasyon sonucuna göre alttan üste doğru sıcaklık artmaktadır. Suya göre en yüksek sıcaklık farkı 4.2 derece olmuştur. Nanoakışkan kullanılan durum için sıcaklık alt tarafta 19.85 derece iken üst tarafta 51.26 olarak hesaplanmıştır. Nanopartikül eklenmesi sadece ısı iletkenliği arttırmamış aynı zamanda ısı akısını da arttırmıştır. Hız açısından incelendiğinde nanoakışkanın daha hızlı bir şekilde buharlaşarak yukarı doğru hareket ettiği ve daha hızlı bir şekilde ısıyı aktarıldığından döndüğü tespit edilmiştir. Bu da çevrim süresinin kısaldığını ve istenen sonuca aynı girdilerle daha çabuk ulaşılabileceğini göstermektedir [24].

Başka bir çalışmada CuO nanopartikülleri ile su kullanılarak hazırlanan nanoakışkanın ETSC de kullanımının ısı performansına etkisi incelenmiştir. Nanopartikül oranı % 0.03 ve % 0.06 olan akışkanlar ile saf su kullanılarak sistemin ısı verimi ölçülmüştür. Nanoakışkanların ısı iletkenliği ve ısı kapasiteleri belirlenmiştir. Soğutma çevrimi için 20, 40 ve 60 lt/dk debilerinde çalışılmıştır. Verim artışı suya göre % 0.03 derişimli nanoakışkan kullanımında % 14 e kadar bir artış göstermiştir [25]. Bir başka çalışmada U-tüp güneş kolektörlerinde Al O nanoakışkan kullanımı ve nanopartikül boyut etkisi araştırılmıştır. Isıl iletkenlik derişimin artmasıyla artarken partikül boyutunun büyümesi ile azalmıştır. 20-50 ve 100 nm boyutunda Al₂O₃ ile % 0.5, 1 ve 1.5 derişimlerde su kullanarak nanoakışkanlar iki aşamalı yöntem ile sentezlenmiştir. Soğutma suyu çevriminde ise 0.033 kg/s ve 0.047 kg/s olmak üzere 2 farklı debide çalışılmıştır. En yüksek verim % 1 derişim, 0.047 debi ve 20nm boyutunda gerçekleşmiş ve suya göre % 24.1 daha fazla olmuştur [26].

Başka bir çalışmada grafin nano paletler (GNP) ve su kullanılarak iki aşamalı yöntemle hazırlanan nanoakışkan kullanımının ETSC lerde ısı verime etkisi incelenmiştir. Ağırlıkça % 0.025, 0.05, 0.075 ve 0.1 derişimlerde hazırlanan nanoakışkanların stabilitesi, özgül ısısı, viskozite ve ısı iletimi incelenmiştir. Soğutma çevrimi 0.5, 1.0 ve 1.5 lt/dk olacak şekilde ısı verim değerlerine bakılmıştır. ASHRAE 93-2003 de belirtilen verim hesap yöntemleri kullanılmış ve en yüksek verim 1.5 lt/dk debi ve % 0.1 GNP olma durumunda % 90.7 olarak hesaplanmıştır [27].

Isı borulu olsun olmasın güneş kollektörlerinde yatayla yapılan açı önemlidir. Bir çalışmada Güneşe karşı konum ve yatayla yapılan açının etkisi incelenmiştir. Bulunduğu lokasyona göre güneşe karşı en yüksek 18.53 derece durumunda ısınım maksimum olmaktadır. Yatayla yapılan açı için yapılan verim analizinde en yüksek verim 50 derece durumunda elde edilmiş ve bu noktadan sonra düşmeye başlamıştır. Buoyancy kuvveti ile açı arttıkça buhar oluşumu artmış ve aynı zamanda sıvının evaporatöre dönmesi yerçekimi etkisiyle kolaylaşmıştır. Fakat 50 dereceden sonra yerçekimi etkisi nedeniyle ısı transferi gerçekleşmesi zorlaştığından verim düşmüştür. Bu çalışmada Soğutucu çevrim debisi 2 ile 14 kg/saat arasında değiştirilmiş ve ısı verim debi arttıkça artarak en yüksek değerine 12 kg/saat de ulaştıktan sonra düşmeye başlamıştır. Nanoakışkan içerisinde Al₂O₃ oranı arttıkça ısı verim artmıştır: %0.05, 0.25 ve 0.5 için sırasıyla % 3.79, 10.72 ve 15.24 suya göre artış olmuştur. Bunun sebebi olarak küçük buhar balonu oluşmasıyla katı-sıvı ara yüzünde ısı direnç düşmesiyle daha iyi ısı transferi gerçekleşmesi gösterilebilir. Eğer balon boyutu büyürse ısı direnç artacağından verim düşecektir. %0.5 lik nanoakışkana surfaktant ilavesi ile (1000 ppm) ısı verim iyileşmesi % 20 ye kadar çıkmıştır. Başka hiçbir çalışmada bahsi geçmeyen durum ise en yüksek verim suya sadece surfaktant ilave edildiği durumda ortaya çıkmış ve % 45.23 olmuştur. Araştırmacıların izahına göre çünkü yüzey gerilimi azalarak kaynama noktası sıcaklığı düşmektedir ve dolayısıyla daha az ısı ile daha çok buhar oluşmaktadır. Herhangi bir çalışma akışkan olmadığı durumda da soğutma çevriminde neredeyse sıcaklık giren-çıkan akışkan için değişmemiş olup çalışma akışkanına sistemin bağlı olduğunu göstermektedir [28].

Isı borularında yapılan bir çalışmada TiO₂ nanopartiküller %2 oranında saf su ile iki aşamalı yöntem kullanılarak hazırlanan nanoakışkan kullanılmıştır. 1/3 oranında doldurulan ısı borusuna 200-300-400W ısı verilerek 5-7.5-10g/s soğutma su debisi ile deneyler yapılmıştır. Isıl performansta en yüksek artış % 16.5 olarak iyileşme 200W ve 5 g/s soğutma su debisi durumunda olmuştur [29].

Isı değiştiricilerinde yapılan bir çalışmada Al₂O₃ ve uçucu kül % 2 oranında kütlece şekilde değerlendirilebiliyor olması ayrı bir kazanımdır [31].

Isı borusunda kullanmak üzere küresel gümüş nanopartiküller ve su kullanılarak tek aşama yöntemi ile nanoakışkan hazırlanmıştır. Surfaktant kullanılmadan stabil bir

karışım elde edilmiştir. Reaksiyon hızlandıkça daha küçük boyutta nanopartikül elde edilmektedir. Bu sayede ısı iletkenlik artmakta ve yüksek çalışma sıcaklarında su elde etmek mümkün olmaktadır. Ayrıca nanopartikül derişimi arttıkça ısı performansta artmaktadır. Bu nanoakışkan Newtonian bir davranış göstermiştir. Nanoakışkan kullanımının en belirgin üstünlüğü kısa zamanda tam kapasite çalışma koşullarında erişilmesi olmuştur. Isı borusunun tam kapasite çalışma koşullarına çıkma süresi derişimin kullanılarak, Triton X-100 surfaktant ve ultrasonik banyo uygulaması ile hazırlanan 2 tip nanoakışkanın eş merkezli paralel (PFCTHE) ve karşılıklı akışlı (CFCTHE) ısı değiştiricilerinde ısı performans etkisi incelenmiştir. Uçucu kül kullanım durumunda ısı verim bu iki ısı değiştiricisinde % 31.2 ve % 6.9 iyileştirilmişken; Al₂O₃ kullanımında % 5.1 ve % 2.8 iyileşme olmuştur. Her durum için 3 farklı debide çalışmalar yapılmıştır [30].

Karabük demir çelik fabrikasından demir fırınından alınan cüruf nanoboyuta indirilerek %2 oranında ağırlıkça suya ilave edilerek nanoakışkan hazırlanmıştır. İki fazlı kapalı termosifon tipi ısı borusunda 1/3 oranında doldurularak 200-300-400W ısı girişleri ile 5, 7.5 ve 10 g/s soğutma suyu debisiyle deneyler yapılmıştır. En yüksek verim artışı % 22 olup 200W ve 5 g/s koşullarında ortaya çıkmıştır. Nanoakışkan kullanımı ile cidar sıcaklıkları düşmüştür. Örneğin 300W ve 5g/s koşullarında cidar sıcaklığı 72.68 dereceden 66.6 dereceye düşmüştür. Isıl direncin düşmesiyle daha çok ısı transferi gerçekleştirilmiştir. Debinin artmasıyla ısı verim düşmüştür. En çok iyileştirme 200W ve 5 g/s durumunda suya göre % 21 artışla gerçekleştirilmiştir. Hem verim artışı sağlanmış hem de atık ürün olan cürufun bu en yüksek olduğu % 0.0032 durumunda 12 saniye iken saf su durumunda 32 saniyedir. Yoğuşturucu kısmında cidar sıcaklığı suya göre 4.6-8.3 derece daha fazla olmuştur. Derişimin en yüksek olduğu durumda sıcaklık farkı 4.2 o C iken saf su kullanımında buharlaştırıcı yoğuşturucu arasındaki sıcaklık farkı 12.1 derece olmuştur. Bunun sebebi olarak nanoakışkan kullanılması durumunda ısı direncin düşmesi ve ısı transferinin daha hızlı gerçekleştiriliyor olmasıdır. Isıl direnç düşümü maksimum seviyesine en yüksek derişimde çıkmış ve % 65.29 bir düşüş görülmüştür. Isı borusundaki büyük ısı direnç sıvı-katı arasındaki ara yüzde buhar kabarcığı oluşması sebebiyledir. Kabarcık büyüdükçe ısı direnç artmaktadır. Katı yüzeyden sıvıya ısı geçişi zorlaşmaktadır. Bu nedenle nanopartikül kullanılması ile kabarcık sayısı azalmakta ve boyutu küçülmekte dolayısıyla ısı verim artmaktadır [32].

Bor nanopartiküllerin kullanıldığı ender çalışmalardan birinde dekalın içerisinde çözülebilecek silanlı bor nanopartiküller elde edilerek yakıt performansını arttıracak katkı maddesi olarak kullanılabilmesi amaçlanmıştır. Yüzey modifikasyonu yapılarak BN nanopartiküllerin çözünürlüğü artırılmıştır. Karakterizasyon yapılırken XRD, TEM, FTIR, XPS ve TGA teknikleri kullanılmıştır. Bununla birlikte sıcaklığın ve derişimin stabilite üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bor nanopartiküllerin

yüzey modifikasyonunda üzerinde bulunan oksit katmanın önemli etkisi olduğu tespit edilmiştir [33].

Isı borularında büyük bir kayıp olmadan ısı bir noktadan başka bir noktaya aktarılabilir. Bir çalışmada grafin nanoakışkanın ısı borularında performan etkisi araştırılmıştır. GNP grade C özelliklerinde spesifik yüzey alanı 750 m²/gr , kalınlığı 2 nm ve çapı 2 µm dir. Yoğuşturucu ve buharlaştırıcı arasındaki sıcaklık farkı giren ısı miktarı ile artmaktadır. Yatay ile yapılan açı 60 derece iken sıcaklık farkı en az olmaktadır. Yeteri kadar zaman yoğuşturucu da geçmezse ısı transferi kötü etkilenmekte ve buharlaştırıcı kısmında sıvı kalmamaktadır. Deney sonuçlarına göre GNP nanoakışkan kullanımında cidar sıcaklıkları düşmüştür. Derişim etkisi giren ısı miktarının etkisinden daha fazla cidar sıcaklıklarını etkilemektedir. Giren ısı artışı ile birlikte ısı verim daha yüksek olmakta çünkü ısı direnç daha düşük olmaktadır. Ayrıca yatayla 60 dereceye kadar ısı verim artmakta iken bu noktadan sonra düşmeye başlamaktadır. En yüksek verimin 90 derecede iken olması beklenirken 60 derecede olması fitilli ısı borularında yerçekimi etkisinin ısı verim üzerindeki etkisinin az olduğunu göstermektedir. Isı borusundaki performans iyileşmesinin sebepleri olarak buharlaştırıcı ve yoğuşturucu arasındaki sıcaklık farkı, buhar fazındaki sıcaklık düşüşü ve kayıpların azalması gösterilmektedir. Cidar sıcaklığında suya göre 27 derece düşüş sağlanmıştır. Son olarak GNP nanoakışkan kullanımıyla ısı transferi artmasından ısı transferi daha iyi olduğu sonucu SEM ve EDX resimlerinden anlaşılmıştır [34].

Bir çalışmada 50 farklı nanoakışkan, 3 farklı temel akışkan (su, etilen glikol ve motor yağı) ve derişim miktarları % 0.25 ile % 8 arasında değiştiği durumlarda ısı iletkenlik katsayısı ölçümü yapılmıştır.

Nanopartikülü oluşturan malzeme ile nanoakışkanın ısı iletkenlik katsayıları arasında doğrudan bir ilişki saptanamamıştır. Literatürde birbiriyle çelişen ifadeler ısı iletkenlik ile alakalı olarak kullanılmaktadır. En yaygın ölçüm metodu geçici sıcak tel (THW) metodudur. Hemen hemen bütün durumlarda nanopartikül ilavesi ile ısı iletkenliğin arttığı rapor edilmiştir. Parçacık boyutu ile ısı iletkenliğin ortaya çıkarılması için derişim dahil bütün koşullar aynı tutularak farklı boyutta aynı nanopartiküller ile hazırlanan nanoakışkanlara ihtiyaç vardır. Sonuç olarak partikül boyutu büyüdükçe ısı iletkenlik katsayısı artmaktadır. Aynı boyutta farklı materyaller kullanılarak yapılan deney sonuçlarına göre nanopartikül malzemesinin ısı iletkenlik açısından beklendiği gibi etkiliği olduğu ortaya çıkarılmıştır. Bununla birlikte ısı karakteristik özellikleri arasında doğrudan bir ilişki yoktur. Sonuç olarak nanopartikülün yoğunluğu arttıkça nanoakışkanın ısı iletim katsayısının arttığı sonucuna varılmıştır. Temel akışkan göre de ısı iletkenlik etkilenmektedir. Su motor yağına göre 5 kat etilen glikola göre 2 kat daha yüksek ısı iletkenliğe sahiptir. Bu nedenle nanopartikül eklenmesinin ısı iletkenliği temel akışkan göre iyileştirme yüzde etkisi iletkenliği kötü olan akışkan da daha yüksek olmaktadır. Sürfaktant kullanımı nanoakışkanın stabilitesini etkilese de ısı iletkenlik üzerinde doğrudan bir etkisi yoktur. Metal içeren nanoakışkanların

ısı iletkenliği metal oksit veya silikon içerenlere göre daha yüksektir [35].

Sıvıların ısı iletim katsayıları ölçümü yapılırken yerçekimi yönünde oluşabilecek sıcaklık gradyanına dikkat edilmesi gerekmektedir. Aksi halde suda taşıma akımı gerçekleşmesi ısı iletimin yanlış ölçülmesine yol açacaktır. Sıvıların şekli, boyutu ve kesit alanı gibi özellikleri olmaması nedeniyle ölçüm zorlaşmaktadır. Ayrıca katı nanopartiküllerin sıvı içerisinde homojen dağılımı da ölçümün sıhhati için önemlidir. Isı iletkenlik ölçümünde kullanılan tekniklerin başında geçici sıcak tel yöntemi (THW) bulunmaktadır ve yaklaşık olarak % 65 çalışmada bu yöntem tercih edilmiştir. Geçici sıcak tel yöntemi (THW) 1931 yılında tozların mutlak ısı iletim katsayısını belirlemek için geliştirilmiştir. Bunu takip eden ısı kompratör yöntemi bu alanda yapılan çalışmaların % 10 unda kullanılmıştır. Diğer kullanılan 5 yöntem ise geri kalan çalışmalarda kullanılmıştır: Isı Sabitler Analiz Yöntemi (%7), 3 Omega Yöntemi (%6), Sabit Paralel Plakalar Yöntemi (%6), Sıcaklık Salınım Yöntemi (%4) ve Silindirik Hücre Yöntemi (%2) [36].

Bir çalışmada boroksitten bilyalı öğütme ve tavlama yapılarak BN nanopartiküller elde edilerek karakterizasyonu yapılmıştır. Mikro morfolojisini incelemek için HRTEM tekniği kullanılmıştır. 200 µm boyutunda B O tozu 60 saat boyunca yüksek saflıkta Azot bulunan ortamda bilyalı öğütmeye tabi tutulmuştur. Burda kullanılan bilya- malzeme oranı 20:1 dir. Çelik bilyalar 6mm boyutunda olup devir sayısı dakikda 450 olmuştur. Ortalama boyutu 70 nm olup nanopartiküllerin boyutu 20-100 nm arasındadır. Daha sonrasında 1200 derece fırında 6 saat boyunca tutulmuştur. Kristal yapı XRD ile ve morfolojisi SEM ve TEM imajları ile analiz edilmiştir. Sonuç olarak başarılı bir şekilde BN nanopartiküller elde edilmiştir [37].

Başka bir çalışmada su ve nanoakışkanların termosifon ısı borularında kullanılmasının ısı transfer karakteristik özellikleri üç boyutlu sayısal analiz yapılarak araştırılmıştır. Nanoakışkan olarak γ -Fe₂O₃ ve su kullanılmıştır. γ -Fe₂O₃ nanopartikül boyutu 4-5 nm mertebelerindedir. Karakterizasyonda XRD, TEM, SAED ve HRTEM teknikleri kullanılmıştır. 2 metre boyunda ısı borusunun 850 mm lik kısmı buharlaştırıcı sonrasında 250 mm adyabatik kısmı ve 850 mm lik kısmı ise yoğuşturucu olarak tasarlanmıştır. Çalışma sıcaklıkları olarak 60,70,80 ve 90 derece olarak; nanoakışkan olarak % 2 ve % 5.3 γ -Fe₂O₃ içerikli iki akışkan ile saf su kullanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan CFD kodu ANSYS CFX-12.0 versiyonudur. Yapılan deney sonuçları ile sayısal çalışma sonucu uyum içerisinde [38].

Bir çalışmada fotoakustik (PA) tekniği bir optik uygulama olarak nanoakışkanların termofiziksel özelliklerini belirlemede kullanılmıştır. Bunun için nanoakışkanların transparant olması gerekmektedir. Bu teknikle nanoakışkan ile herhangi bir temas olmadığı gibi ölçümü etkileyecek herhangi bir zarar da yoktur. Bu nedenle iyi bir doğrulukla termofiziksel parametrelerin ölçümleri yapılabilmektedir. İki aşamalı yöntem kullanılarak TiO₂ ve

Al₂O₃ nanopartiküller ile temel akışkan olarak su kullanılmıştır. CTAB surfaktant olarak kullanılmıştır. XRD imajları ile kristal yapı kontrol edilmiştir. TEM ile Al₂O₃ boyutunun 3-7 nm olduğu ve TiO₂ 2 Deney sonuçlarına göre nanopartikül eklenmesi hem ısı yayılmayı hem de ısı effusiviteyi arttırmaktadır. Fakat ısı kapasite yoğunluk artışı nedeniyle bazen gerçekleşmeyebilir hatta düşebilir. Bu çalışmada genel literatür sonuçlarından farklı olarak TiO₂ daha yüksek çıkmıştır. Bunun sebebi kullanılan Al₂O₃ nanopartiküller boyutunun literatürdeki çalışmalara göre çok daha küçük olmasıdır. Bu nedenle yani parçaların ortalama fonon serbest yolundan küçük olması nedeniyle ısı transferi olumsuz etkileniyor olmasıdır ama yine de saf suya göre daha yüksektir [39].

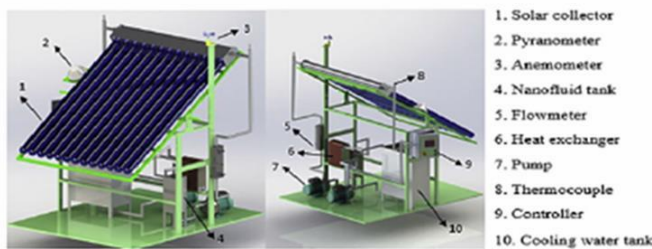
Bir gözden geçirme çalışmasında güneş kollektörler uygulamalarında nanoakışkan kullanılan çalışmalar gözden geçirilmiştir. Isıl iletiminin incelendiği 27 çalışma, viskozitenin incelendiği 11 çalışma ve 9 çalışmada ise güneş kollektörlerinde nanoakışkan kullanımı incelenmiştir. Bu çalışmaların hiç birisinde ETSC alanında ve Bor nanoakışkan kullanılmamıştır [40]. Bu çalışmada DASC (Direk Absorpsiyon Güneş Kollektörleri) larda nanoakışkan kullanımının etkisi teorik ve deneysel olarak incelenmiştir. Güneş enerjisi direk emilir ve çalışma akışkanına transfer edilir. Bu nedenle çalışma akışkanının optik performansı daha çok ısı emilebilmesi için yüksek olmalıdır. Nanoakışkan kullanım durumunda güneş enerjisinin emilimi suya göre 9 kat daha fazla olabilmektedir. Bu çalışmada gümüş nanopartiküller absorptik asit ile indirgenmiş ve sitrik asit ile stabilize edilerek sentezlenmiştir. Deney sonucu ile sayısal hesaplama sonuçları arasında hazırlanan ilk modele göre %23.6 ve ikinci modele göre % 7.1 fark ortaya çıkmıştır. Bu farkların kalibrasyon ve ölçüm hataları ile hesaplamaları basitleştirmek için yapılan kabullerden ortaya çıktığı düşünülmektedir. Derinlik ve derişim arttıkça nanoakışkan daha fazla güneş ısı emmiş fakat belli bir noktadan sonra artış olmamıştır. Güneş ışınımına maruz kalma süresi arttıkça verim düşmüştür. Çünkü sıcaklık farkının artmasıyla ısı kaybı artmıştır. Güneş enerjisinin birçoğu görünür dalga boyundadır. Bu tarz kollektörlerdeki verimi arttırmak için güneşin spektral ışınım yoğunluğuna benzer özellikte nanoakışkan geliştirilmesi yerinde olacaktır [41].

6. TARTIŞMA VE ÖNERİLER (DISCUSSION AND SUGGESTIONS)

Nanoakışkanlar ile alakalı yaşanan bazı zorluklar da kullanımının yaygınlaşması önünde büyük engeller olarak durmaktadır. Uzun dönemde stabil kalamamasından dolayı zamanla ısı verim düşmektedir. Stabil kalması için eklenen surfaktant miktarı gereğinden fazla olursa viskoziteyi arttırmakta, köpüklenmeye neden olarak ısı transferini olumsuz etkilemekte ve kimyasal stabiliteyi olumsuz etkileri olmaktadır. Bu nedenle surfaktant kullanırken doğru tip seçme ve yeteri kadar kullanma noktalarına dikkat etmek gerekmektedir. Ayrıca viskozite ve yoğunluk artışına bağlı olarak basınç düşümü artmakta ve ihtiyaç duyulan pompa gücü artmaktadır. Akış laminar özelliklerini kaybettiğçe nanoakışkanların ısı verimi temel akışkana göre düşmektedir. Bu nedenle kullanım yeri ve koşulları dikkate alınmalıdır. Son olarak da yüksek imalat maliyetleri ile üretiminde yaşanan zorluklar da nanoakışkan kullanımını sınırlamaktadır [42]. Aşağıdaki gibi bir sistem ile deneylerin gerçekleştirilmesi mümkün olacaktır.

ETSCs' larda nanoakışkan kullanılması literatürde yapılan nadir çalışmalar incelendiğinde örneğine hiç rastlanmamış olunan Bor nano partiküller ile kullanılarak hazırlanan bir nanoakışkan kullanımının yerinde olacağı sonucuna varılmıştır. Bu da çalışmanın özgünlüğü ve akademik dünyaya sağlayacağı katkıyı ispatlamaktadır. Ülkemiz açısından değerlendirdiğimizde ise Bor bulunduğu üzere dünyada en çok Türkiye'de bulunmaktadır. Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü web sitesinde yer alan bilgilere göre 3 milyar ton rezerve sahip olduğumuz tespit edilmiştir. Verilere göre dünya genelinde rezerv miktarının

% 72.8 oranında kısmı ülkemizde yer almakta ve en yakın ülke % 7.6 ile Rusya olmaktadır. Bu nedenle Bor ülkemiz için çok önemli ve stratejik değer arz etmektedir. Borun çok çeşitli kullanım alanları vardır: Tarım, Enerji, Metalurji, Sağlık, Yapı Malzemeleri ve Çimento, Alev , Geciktiriciler, Temizleme ve Beyazlatma gibi birçok sektörde kullanılmaktadır [14]. Bu nedenle nasıl bazı ülkeler için petrol ve doğalgaz kaynakları büyük önem arz edip gerek doğrudan enerji ihtiyacında gerekse petro-kimya endüstrisi ile katma değeri daha yüksek ürünler elde edi-



Şekil 3. ETSC deney düzeneği [1]

lerek uluslararası rekabet ortamında ekonomik ve stratejik üstünlük sağlıyorlar ise bizlerin de ülkemizin yer altı kaynakları için piyasalar oluşturmak ve özellikle Bor gibi dünyada tartışmasız en yüksek rezerv değerine sahip olduğumuz elementin olası kullanım imkanlarını araştırıp yaygınlaştırmak üzerine çalışmalar yapmak akademik ve milli bir sorumluluğumuz olduğu düşünülmektedir.

SİMGELER (SYMBOLS)

K: Extinction Katsayısı

α : Emme Değeri

e: Emisyon Değeri

KISALTMALAR (ABBREVIATIONS)

DYGK : Düzlem Yüzeyle Güneş Kolektörleri
 VTGK : Vakum Tüplü Güneş Kolektörleri IBGK: Isı Borulu Güneş Kolektörleri PGK: Parabolik Güneş Kolektörleri
 VTIBGK : Vakum Tüplü Isı Borulu Güneş Kolektörleri
 VTIBK : Vakum Tüplü Isı Borulu Kolektör
 FPSC : Flat Panel Solar Collector FPC: Flat Panel Collector
 FP : Flat Panel
 ETSCs : Evacuated Tubular Solar Collector PV: Fotovoltaik Panel
 ASHRAE : American Society Of Heating, Refrigerating And Engineers
 BET : Yüze Alan Analizi UV: Ultra Viole
 TEM : Transmisyon Elektron Mikroskopi
 SEM : Scanning Electron Microscope
 SDBS : Sodium Dodecyl Benzene Sulfonate
 CTAB : Cetyl Trimethyl Ammonium Bromide
 hBN : Hekzagonal Bor Nitrit BN: Boron Nitrit
 pH : over of Hydrogen
 SDS : Sodium Dodecyl Sulfate PVP: Polyvinylpyrrolidone
 STEM : Semi Transmisyon Elektron Mikroskopi
 CNT : Carbon Nano Tube
 MWCNT : Mono Wall Carbon Nano Tube XRD: X Ray Diffraction
 Lt : litre
 FESEM : Field Emission Scanning Electron Microscopy
 W : Watt
 DARS : Direct Absorption Refrigeration System
 REFPROP: Reference Fluid Thermodynamic and Transport Properties (Yazılım)
 COP : Coefficient of Performance ANSYS: Yazılım

FLUENT : CFD Yazılımı GNP: Graphene Nanoplatelets Ppm: Part per Million
 SAED : Selected Area Electron Diffraction
 HRTEM : High Resolution Transmisyon Elektron Mikroskopi,
 CFD : Computational Fluid Dynamics,
 PA : Foto akustik,
 DASC : Direk Absorpsiyon Güneş Kolektörleri

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Hussein A. K. , Lib D. , Kolsic L. , Katad S., Sahoo B., “A review of nano fluid role to improve the performance of the heat pipe solar collectors, *Energy Procedia*, 109: 417 – 424, (2017)
- [2] Sabiha M. R. , Saidur R. , Mekhilef S. , Mahian O. , “Progress and latest developments of evacuated tube solar collectors”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51: 1038-1054, (2015)
- [3] Muhammad J. M. , Muhammad I. A. , Sidik N. A. C. , Yazid M. N. A. M., “Thermal performance enhancement of flat-plate and evacuated tube solar collectors using nanofluid”, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 76: 6–15, (2016)
- [4] Arslan G., Üç Kolonlu Titreşimli Isı Borusunun Matematiksel Modellenmesi ve Deneysel İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007.
- [5] Leong K.Y. , Ong H. C. , Amer N.H. , Norazrina M.J., Risby M.S. , KuAhmad K.Z., “An overview on current application of nanofluids in solar thermal collector and its challenges”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 53: 1092 – 1105, (2016)
- [6] Devendiran D. K. , Amirtham V. A., “A review on preparation, characterization, properties and applications of nanofluids, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60: 21 – 40, (2016)
- [7] Akilu S. , Sharma K.V. , Baheta A. T. , Mamat R. , “A review of thermo physical properties of water based composite nano fluids”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 66: 654 –678, (2016)
- [8] Ersöz M. A. , Yıldız A. , Isı Borulu Vakum Tüp Güneş Kolektörlerinde Optimum Boru Çapının Belirlenmesi, Abdullah Yıldız Şablon 28.03.2013
- [9] Acar B. , Öz E. S. Ve Gedik E. , Ayrık Ve Birleşik Isı Borulu Kolektör Verimlerinin Deneysel Olarak İncelenmesi, Makine Eğitimi Bölümü, Teknik Eğitim Fakültesi, Karabük Üniversitesi.
- [10] Sarsam W. S. , Kazi S.N. , Badarudin, “A review of studies on using nanofluids in flat-plate solar collectors”, *Solar Energy* 122: 1245–1265, (2015)
- [11] Ghaderian J. , Sidik N. A. C., “An experimental investigation on the effect of Al2O3/distilled water nanofluid on the energy efficiency of evacuated tube solar collector”, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 108: 972–987, (2017)
- [12] Krishnam M, Bose S. , Das C. , “Boron nitride (BN) nanofluids as cooling agent in thermal management system(TMS)”, *Applied Thermal Engineering*, 106: 951–958, (2016)
- [13] Beybin İ. , Kurt M. , Ertürk H., “Experimental investigation of heat transfer enhancement and

- viscosity change of hBN nanofluids”, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 77: 272–283, (2016)
- [14] İnternet: Bor Rezervleri (2014-2015- 2018) URL: <http://www.boren.gov.tr/tr/bor/bor- rezervleri>. Son Erişim Tarihi: 10.10.2018
- [15] Environmental Health & Safety (EHS), Nanomaterials Safety Guidelines, Concordia University
- [16] Li Y. , Zhou J. , Luo Z, Tung S. , Schneider E. , Wu J. and Li X, “Investigation on two abnormal phenomena about thermal conductivity enhancement of BN/EG nanofluids”, *Nanoscale Research Letters*, 6: 443, (2011)
- [17] Jahanbakhsh A. , Haghgou H.R. , Alizadeh S. , “Experimental analysis of a heat pipe operated solar collector using water–ethanol solution as the working fluid”, *Solar Energy* 118: 267–275, (2015)
- [18] Liu Z. H. , Li Y. Y., “A new frontier of nanofluid research – Application of nanofluids in heat pipes”, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 55: 6786–6797, (2012)
- [19] Poplaski L. M. , Benn S. P. , Faghri A., “Thermal performance of heat pipes using nanofluids”, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 107: 358–371, (2017)
- [20] Javadi F.S. , Saidur R. , Kamalisarvestani M., “Investigating performance improvement of solar collectors by using nano fluids”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 28: 232 – 245, (2013)
- [21] Menlik T. , Sözen A. , Gürü M. , Oztas S., “Heat transfer enhancement using MgO/water nanofluid in heat pipe”, *Journal of the Energy Institute* 88: 247 – 257, (2015)
- [22] Menlik T. , Sözen A. , Gürü M. , Boran K. , Kılıç F. , Aktaş M. , Çakır M.T., “A comparative investigation on the effect of fly-ash and alumina nanofluids on the thermal performance of two-phase closed thermosyphon heat pipes”, *Applied Thermal Engineering* 96: 330–337, (2016)
- [23] Sözen A. , Özbaşı E. , Menlik T. , Çakır M. T. , Gürü M. , Boran K., “Improving the thermal performance of diffusion absorption refrigeration system with alumina nanofluids: An experimental study” , *International Journal of Refrigeration* 44: 73– 80, (2014)
- [24] Yan S. , Wang F. , Shi Z. , Tian R., “Heat transfer property of SiO₂/water nanofluid flow inside solar collector vacuum tubes”, *Applied Thermal Engineering* 118: 385–391, (2017)
- [25] Ghaderian J. , Sidik N. A. C. , Kasaeian A, Ghaderian S. , Okhovat A , Pakzadeh A. , Samion S. , Yahya W. J., “Performance of copper oxide/distilled water nanofluid in evacuated tube solar collector (ETSC) water heater with internal coil under thermosyphon system circulations”, *Applied Thermal Engineering* 121: 520–536 , (2017)
- [26] Kim H. , Kim J. , Cho H., “Experimental study on performance improvement of U-tube solar collector depending on nanoparticle size and concentration of Al₂O₃ nanofluid”, *Energy* 118: 1304– 1312, (2017)
- [27] Iranmanesh S. , Ong H. C. , Ang B. C. , Sadeghinezhad E. , Esmailzadeh A. , Mehrali M. , “Thermal performance enhancement of an evacuated tube solar collector using graphene nanoplatelets nanofluid”, *Journal of Cleaner Production* 162: 121 – 129, (2017)
- [28] Pisea G. A. , Salveb S. S. , Pisea A. T. , Pisea A. A. , “Investigation of solar heat pipe collector using nanofluid and surfactant”, *Energy Procedia* 90: 481 – 491, (2016)
- [29] Çiftçi E. , Sözen A. , Karaman E., “TiO₂ içeren nanoakışkan kullanımının ısı borusu performansına etkisinin deneysel olarak incelenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 19(3): 367-376, (2016)
- [30] Sözen A. , Varyenli H. İ. , Özdemir M. B. , Gürü M., Aytaç İ., “Heat transfer enhancement using alumina and fly ash nanofluids in parallel and cross-flow concentric tube heat exchangers”, *Journal of the Energy Institute*, 89: 414 – 424, (2016)
- [31] Sözen A., Gürü M., Menlik T., Aktaş M., “Utilization of blast furnace slag nano-fluids in two-phase closed thermosyphon heat pipes for enhancing heat transfer”, *Experimental Heat Transfer*, 30(2): 112-125, (2017)
- [32] Wang W. , Duan G. , Li J. , Zhao W. , Li C. , ZLiu C., “The preparation and thermal performance research of spherical Ag-H₂O nanofluids & applied in heat pipe”, *Applied Thermal Engineering*, 116: 811–822, (2017)
- [33] Du M. , Li G., “Preparation of silane- capped boron nanoparticles with enhanced dispersibility in hydrocarbon fuels”, *Fuel*, 194: 75–82, (2017)
- [34] Sadeghinezhad E. , Mehrali M. , Rosen M. A. , Akhiani A. R. , Latibari S. T. , Mehrali M. , Metselaar H. S. C., “Experimental investigation of the effect of graphene nanofluids on heat pipe thermal performance”, *Applied Thermal Engineering*, 100: 775–787, (2016)
- [35] Pryazhnikov M.I. , Minakov A.V. , Rudyak V. Y. , Guzei D.V., “Thermal conductivity measurements of nanofluids”, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 104: 1275–1282, (2017)
- [36] Paul G. , Chopkar M. , Manna I. , Das P.K. , “Techniques for measuring the thermal conductivity of nanofluids: A review”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14: 1913–1924, (2010)
- [37] Li Y. , Wang Y. , Lv Q. , Qin Z. , Liu X., “Synthesis of uniform plate-like boron nitride nanoparticles from boron oxide by ball milling and annealing process”, *Materials Letters*, 108: 96–102, (2013)
- [38] Huminic G. , Huminic A., “Numerical study on heat transfer characteristics of thermosyphon heat pipes using nanofluids”, *Energy Conversion and Management*, 76: 393–399, (2013)
- [39] El-Brolossy T. A. , O. Saber O., “Non- intrusive method for thermal properties measurement of nanofluids”, *Experimental Thermal and Fluid Science* 44: 498–503, (2013)
- [40] Nagarajan P. K. , Subramani J. , Suyambazhahan S. , Sathyamurthy R., “Nanofluids for solar collector applications: A Review”, *Energy Procedia*, 61: 2416 – 2434, (2014)
- [41] Chen M. , He Y. , Zhu J. , Wen D., “Investigating the collector efficiency of silver nanofluids based direct absorption solar collectors”, *Applied Energy* , 181: 65–74, (2016)
- [42] Saidur R. , Leong K. Y. , Mohammad H. A. , “A review on applications and challenges of nanofluids”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15: 1646–1668, (2011)