

Politeknik Dergisi

Journal of Polytechnic

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

Yayın Yönetmeni / Publishing Manager
Prof. Dr. Süleyman TEKELİ
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
Doç. Dr. Serhat KARYEYEN
Gazi Üniversitesi / Gazi University

YARDIMCI EDİTÖRLER/ASSOCIATE EDITORS

Prof. Dr. Jose Manuel LOPEZ-GUEDE, University of the Basque Country
Prof Sanjeevikumar PADMANABAN, University of Johannesburg
Prof. Dr. Josep M. GUERRERO, Aalborg University
Prof. Dr. Hacı Bayram KARADAĞ, İnönü Üniversitesi
Prof. Dr. İhsan ALP, Gazi Üniversitesi
Prof. Dr. Hilal KURT, Gazi Üniversitesi
Prof. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ, Çankırı Karatekin Üniversitesi
Prof. Dr. Figen BALO, Fırat Üniversitesi
Prof. Dr. Zafer TEKİNER, Gazi Üniversitesi
Prof. Dr. Hakan KESKİN, Gazi Üniversitesi
Prof. Dr. Ahmet DURGUTLU, Gazi Üniversitesi
Prof. Dr. Murat YÜCEL, Gazi Üniversitesi
Doç. Dr. Bünyamin CİYLAN, Gazi Üniversitesi
Doç. Dr. Mustafa ÖZER, Gazi Üniversitesi
Doç. Dr. Hamit SOLMAZ, Gazi Üniversitesi
Doç. Dr. Hülya DURMUŞ, Manisa Celal Bayar Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Kasım SERBEST, Sakarya Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Amjad ANVARI-MOGHADDAM, Aalborg University

YAYIN DANIŞMA KURULU/EDITORIAL ADVISORY BOARD

Abid ABU-TAIR , Berzeit University	Murat HOŞÖZ , Kocaeli Üniversitesi
Adel NASİRİ , University of Wisconsin Milwaukee	Musa ATAR , Gazi Üniversitesi
Ali Kemal YAKUT , Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi	Mustafa AKTAŞ , Gazi Üniversitesi
Arcan DEREÇİOĞLU , Orta Doğu Teknik Üniversitesi	Myung Hyun KİM , Kyung Hee University
Arif WANI , California State University	Nadire Şule ATILGAN , Hacettepe Üniversitesi
Ayhan ÖZÇİFTÇİ , Aksaray Üniversitesi	Nizamettin KAHRAMAN , Karabük Üniversitesi
Bekir Sami YILBAŞ , King Fahd University	Nobumasa MATSUI , Nagasaki University
Dilek KUMLUTAŞ , Dokuz Eylül Üniversitesi	Nusret AS , İstanbul Üniversitesi
Engin ÖZDEMİR , Kocaeli Üniversitesi	Oğuz TURGUT , Gazi Üniversitesi
Erol ARCAKLIOĞLU , Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi	Osman İSIKAN , Marmara Üniversitesi
Farzollah MIRZAPOUR , University of Zanjan	Peter LUND , Helsinki University of Technology
Hakan YAVUZ , Çukurova Üniversitesi	Ramazan BAYINDIR , Gazi Üniversitesi
Hamit SARUHAN , Düzce Üniversitesi	Ramazan KÖSE , Dumlupınar Üniversitesi
Hani H.W.SAIT , King Abdulaziz University	Ramazan YILMAZ , Sakarya Üniversitesi
Henryka Danuta STRYCZEWSKA , Politechnika Lubelska	Recep ÇALIN , Kırıkkale Üniversitesi
Hüseyin AKILLI , Çukurova Üniversitesi	Recep YAMANKARADENİZ , Bursa Uludağ Üniversitesi
Hüseyin Rıza BÖRKLÜ , Gazi Üniversitesi	Rodica MILICI , Stefan cel Mare Suceava University
İbrahim DİNÇER , University of Ontario, Institute of Technology	Saffa B. RIFFAT , Nottingham University
İbrahim SEFA , Gazi Üniversitesi	Sare SAHİL , Gazi Üniversitesi
İhsan KORKUT , Gazi Üniversitesi	Saw Sor HEOH , INTI International University
İlhami ÇOLAK , İstanbul Gelişim Üniversitesi	Sing LEE , Institute for Plasma Focus
İlker USTA , Hacettepe Üniversitesi	Souad A.M.ALBATHI , International Islamic University of Malaysia
İshak KARAKAYA , Orta Doğu Teknik Üniversitesi	Tayfun MENLİK , Gazi Üniversitesi
Jamal KHATIB , University of Wolverhampton	Turgay AKBULUT , İstanbul Üniversitesi
Jerzy SMARDZEWSKI , Ponzan University	Ulvi ŞEKER , Gazi Üniversitesi
John KINUTHIA , University of South Wales	Yasin VAROL , Fırat Üniversitesi
Mahmood GHORANNEUISS , Azad University	Yılmaz ARUNTAŞ , Gazi Üniversitesi
Metin GÜRÜ , Gazi Üniversitesi	Yunus ÇENGEL , Nevada Üniversitesi
Metin İPEK , Sakarya Üniversitesi	

Cilt / Volume : 23	Sayı / Issue : 3	Eylül / September : 2020
<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 23 SAYI 3) KATKI VEREN HAKEMLER (REVIEWERS)		
Adem TEKEREK	Halil İbrahim KURT	Seda DURUKAN
Ahmet ÇAĞLAR	Halil İbrahim VARIYENLİ	Selim ACAR
Ahmet Talat İNAN	Harun AKKUŞ	Serhat KARYEYEN
Ahmet UYUMAZ	Hasan KÖTEN	Soner ÇELEN
Ali Murat ATEŞ	Hasan Şakir BİLGE	Süleyman Sungur TEZCAN
Ataollah KHANLARI (3 kez)	Hüseyin ERTAP	Tacettin GEÇKİL
Azım Doğuş TUNCER	İlhami Muharrem ORAK	Tayfun MENLİK
Aytunç ATEŞ	İsa VURAL	Tevfik Raci SERTBAKAN
Berna UNUTMAZ	Kurtuluş BORAN	Tuncay DİKİCİ
Bilgehan ERKAL	Levent GÖKREM	Uğur DAĞDEVİREN
Bülent ÖZDALYAN	Mehmet Emin DENİZ	Yasin CANTAŞ
Cahit GÜRLEK	Mehmet Selçuk MERT	
Cevdet Emin EKİNCİ	Mine ÇOMAK GÖÇER	
Duygu ATÇI	Muhammed TAŞOVA	
Ediz ŞAYKOL	Muhittin TURAN	
Emel ERGENE	Murat BAYDOĞAN	
Emin Sertaç ARI	Mustafa ACARER	
Emre ARABACI	Mustafa ÖZTÜRK	
Emre DUNDER	Mustafa SARIOĞLU	
Ergun ERASLAN	Mücahit SOYASLAN	
Erhan PULAT	Necati ATABERK	
Erman ÇAKIT	Nurullah YÜKSEL	
Ersin BAHÇECİ	Oktay HACIHAFIZOĞLU	
Eylül DEMİR	Osman ÇULHA	
Fatih APAYDIN	Ömer BAY	
Fatih KAHRAMAN	Ömer EREN	
Fecir DURAN	Recep Onur UZUN	
Fulya ERDEMİR	Rukiye KARAKIŞ	
Ganimet KIZILIRMAK	Sabri KOCER	
Gözde Rabia AKTAŞ	Sadettin ORHAN	
<p>Yazışma Adresi / Correspondence Address : Politeknik Dergisi Editörlüğü Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Tanıtım ve Yayın Müdürlüğü 06500 Teknikokullar ANKARA –TÜRKİYE</p> <p>Tel : 0312-202 34 12 Fax : 0312-212 00 59 Elektronik Posta Adresi / e-mail : politeknik@gazi.edu.tr</p>		
<p>Teknik Sorumlu / Technical Manager: Erdem ÇİFTÇİ</p> <p>Dizgi / Compositor: İdris ÖZÇELİK</p>		
<p>e - ISSN : 2147-9429</p>		



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

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



100Cr6 çeliğinde kısmi ve tam östenitlemede karbür çözünmesi kinetiği

Carbide dissolution kinetics in 100Cr6 steel partial and full austenitization

Yazar(lar) (Author(s)): Ersoy ERIŞİR¹, Ahmet Efe GEZMİŞOĞLU²

ORCID¹: 0000-0002-9949-5394

ORCID²: 0000-0003-0524-5181

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Erişir E., Gezmişoğlu A.E., “100Cr6 çeliğinde kısmi ve tam östenitlemede karbür çözünmesi kinetiği”, *Politeknik Dergisi*, 23(3): 597-604, (2020).

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

DOI: 10.2339/politeknik.556964

100Cr6 Çeliğinde Kısmi ve Tam Östenitlemede Karbür Çözünmesi Kinetiği

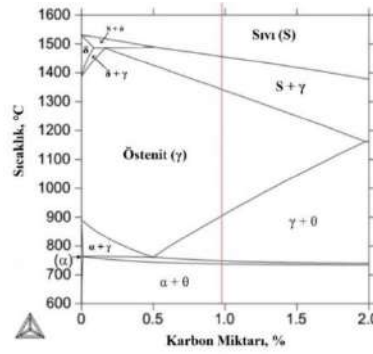
Carbide Dissolution Kinetics in 100Cr6 Steel Partial and Full Austenitization

Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ 100Cr6 çeliğinde kısmi ve tam östenitleme koşullarında sementit çözünme kinetiği incelenmiştir./ In 100Cr6 steel, cementite dissolution kinetics were investigated under partial and full austenitization conditions.
- ❖ ImageJ yazılımı ile SEM mikrografları analiz edilmiştir./ SEM micrographs were analyzed with ImageJ software.
- ❖ Elde edilen çözünme eğrileri DICTRA sonuçları ile karşılaştırılmıştır./Dissolution curves obtained were compared with DICTRA results.

Grafik Özet (Graphical Abstract)

Bu çalışmada, 100Cr6 çeliğinde kısmi ve tam östenitleme koşullarında sementit çözünme kinetiği incelenmiştir. 840 °C ve 1050 °C sıcaklıkta farklı sürelerde ısıtılma tabii tutulan numunelerde sementit hacim oranındaki ve boyutundaki değişim belirlenmiştir. / In this study, cementite dissolution kinetics were investigated in partial and full austenitization conditions in 100Cr6 steel. The variations in cementite volume ratio and size were determined in the samples that were heat treated at different temperatures at 840°C and 1050°C.



Şekil. Deneysel bileşime ait faz diyagramı /Figure. Phase diagram for experimental composition

Amaç (Aim)

Düşük alaşımli ötektoidüstü çeliklerde ikincil karbürlerin östenitte çözünmesi ve karbür bandlaşmasının giderilmesinin araştırılmıştır./The dissolution of secondary carbides in austenite and removal of carbide banding in low alloy eutectoid steels were investigated

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Thermo-Calc çalışmaları TCFE6 veri tabanı kullanılarak gerçekleştirilmiştir./Thermo-Calc studies were carried out using the TCFE6 database.

Özgünlük (Originality)

DICTRA çalışmalarında ise MOBFE2 veri tabanı kullanılarak östenitleme sıcaklığı ve süresine bağlı olarak karbür hacim oranındaki değişim ve karbür-östenit arayüzündeki alaşım elementi dağılımı hesaplanmıştır./ In the DICTRA studies, using the MOBFE2 database, the change in the carbide volume ratio and the alloy element distribution at the carbide-austenite interface were calculated depending on the austenitization temperature and duration .

Bulgular (Findings)

Thermo-Calc hesaplamaları sonucunda söz konusu kimyasal kompozisyon için 600 °C'de hesaplanan karbür miktarı hacim %14,30 olarak belirlenmiştir./As a result of Thermo-Calc calculations, the amount of carbide calculated at 600 °C for the chemical composition in question was determined as 14.30%.

Sonuç (Conclusion)

Thermo-Calc ile hesaplanmış faz diyagramı ve hedef bileşim için sıcaklığa bağlı olarak oluşabilen faz miktarları şekillerle gösterilmiştir./The phase diagram calculated with Thermo-Calc and the amount of phases that can occur depending on the temperature for the target composition are shown in the Figures.

Etik Standartların Beyanı(Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

100Cr6 Çeliğinde Kısmi ve Tam Östenitlemede Karbür Çözünmesi Kinetiği

Araştırma Makalesi / Research Article

Ersoy ERİŞİR*, Ahmet Efe GEZMİŞOĞLU

Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü

(Geliş/Received : 22.04.2019 ; Kabul/Accepted : 10.06.2019)

ÖZ

Bu çalışmada, 100Cr6 çeliğinde kısmi ve tam östenitleme koşullarında sementit çözünme kinetiği incelenmiştir. 840 °C ve 1050 °C sıcaklıkta farklı sürelerde ısıtılma tabii tutulan numunelerde sementit hacim oranındaki ve boyutundaki değişim belirlenmiştir. ImageJ yazılımı ile SEM mikrografları analiz edilerek karbürlerin boyutu ve hacim oranları belirlenmiştir. Elde edilen istatistiksel veriler “lineer olmayan eğri uydurma” yöntemi kullanılarak çözünme eğrilerine dönüştürülmüştür. Tam ve kısmi östenitleme işlemlerinin başlangıcında sementit çözünme hızının yüksek olduğu belirlenmiştir. Bir model kurularak DICTRA yazılımında karbür çözünmesi hesaplanmıştır. Elde edilen çözünme eğrileri DICTRA sonuçları ile karşılaştırılmıştır. SEM mikrograflarından elde edilen istatistikler ile DICTRA hesaplamalarının uyumlu olduğu görülmüştür. Elde edilen hesaplama sonuçlarına göre başlangıçtaki hızlı karbür çözünmesinin nedeni, C atomları difüzyonu ile kontrol edilen ve Cr difüzyonunun ihmal edildiği “ihmal edilebilir yerel denge” modunda çözünmenin gerçekleşmesidir.

Anahtar Kelimeler: Östenitleme, kinetik simülasyon, çözünme kinetiği, görüntü analizi, imageJ.

Carbide Dissolution Kinetics during Partial and Full Austenitization in 100Cr6 Steel

ABSTRACT

In this work, cementite dissolution kinetics was studied in 100Cr6 steel during partial and full austenitization. The change in cementite volume fraction and size was determined from samples heat treated for different durations at 840 °C and 1050 °C. The SEM micrographs were analyzed by using ImageJ software to count size and volume fraction of carbides. The obtained statistical data were used to draw the dissolution curves with a nonlinear curve fitting method. It was found that the cementite dissolution rate is fast at the beginning of partial and full austenitization. A model was established and carbide dissolution was calculated using DICTRA software. The dissolution curves were obtained and compared with the DICTRA simulations. The calculation results are in good agreement with the dissolution curves from statistical results of SEM micrographs. According to the calculation results, the fast carbide dissolution is due to dissolution under non-partitioning local equilibrium (NPLE) mode controlled by diffusion of C atoms and neglecting diffusion of Cr.

Keywords: Austenitization, kinetic simulations, dissolution kinetics, image analysis, imageJ.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Rulman çelikleri arasında en çok kullanılan kalite 100Cr6 çeliğidir. Bu ötektoid üstü çeliğin kimyasal bileşiminde kütlece %1 karbon ve %1,5 krom bulunur. 100Cr6 çeliklerinin martenzitik veya beynitik matriksleri içerisinde dağılmış küresel (Fe,Cr)₃C karbürler aşınma dayanımını artırır. Bu karbürlerin oluşumu çeliğin üretim süreci ile yakında ilişkilidir. Bir rulmanın üretim süreci sürekli döküm, sıcak haddeme, sıcak dövme, küreselleştirme, soğuk şekillendirme ve talaşlı işlemler ile birlikte sertleştirme ve temperleme adımlardan oluşmaktadır. Sertleştirme işlemi genellikle 840 °C’de östenit ve karbürlerin birlikte bulunduğu çift faz alanında kısmi östenitleme yapılarak uygulanır. Sertleştirme sonrası martenzitik matrikste yaklaşık hacim-%6 oranında kalıntı östenit ile birlikte hacim-%3-4 oranında çözünmemiş küresel karbürlerden oluşan bir mikroyapı elde edilir. Bu küresel karbürlerin ortalama çapları 0,4-

0,6 µm aralığındadır, ancak bazı karbür çapları 2 µm üzerinde olabilir [1].

Rulman çeliklerinde karbür boyutu ile ilgili olarak literatürde çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Stickels (1974) mikroyapıdaki karbürlerin ince ve homojen dağılmış olması durumunda malzemenin yorulma dayanımının artacağını ortaya koymuş ve küreselleştirmeden gelen kaba karbürlerin ise olumsuz yönde etkileyeceğini belirtmiştir [2]. Benzer şekilde Xi v.d. (2015) karbür morfolojisinin yorulma çatlaklarının ilerlemesine etkili olduğunu ileri sürmüşlerdir. Bu çalışmaya göre tane içi ve taneler arası çökeltilerin yorulma çatlaklarının ilerleme hızına etkisi karşılaştırıldığında tane içi çökeltilerin daha yüksek yorulma dayanımı sağladığı tespit edilmiştir [3]. Diğer yandan, karbür bandlaşması da önemli bir husustur. Verhoeven (2000) çalışmasında AISI 52100 rulman çeliğinde mikrosegregasyon sonucu oluşan bandlaşmayı incelemiştir. Bu çalışmaya göre düşük alaşımli ötektoidüstü çeliklerde ikincil karbürlerin östenitte

*Sorumlu Yazar (Corresponding author)
e-posta : eerisir@kocaeli.edu.tr

çözünmesi ve karbür bandlaşmasının giderilmesi mümkündür. 1100 °C'de 30 dakika östenitleme sonrasında 400 °C/saat hızda fırında soğutma ile bandlaşmanın ortadan kalktığı belirtilmiştir [4]. Adishesha (2002) ise AISI 52100 çeliğinde üretim sürecinin karbür bandlaşması üzerindeki etkisini çalışmıştır. Çalışmada östenitleme sıcaklığı ve süresi arttıkça bandlaşmanın azaldığı belirtilirken, diğer yandan sıcaklık artışının süre artışından daha etkili olduğu öne sürülmektedir. Bununla birlikte, yüksek sıcaklıkların tane büyümesi ve su verme sonrası çatlakların oluşmasına neden olduğu belirtilmiştir [5]. Görüldüğü üzere istenilen karbür boyut dağılımının elde edilebilmesi ve bandlaşmanın ortadan kaldırılabilmesi için yüksek sıcaklık ve sürelerde östenitleme yapılması gerekirken, östenit tanelerinin kabalaşması başka bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu sebeple karbür çözünme davranışının anlaşılması rulman çeliklerine uygulanacak ısı işlemlerin optimizasyonu açısından önem arz etmektedir.

Çözünme davranışının ortaya konulabilmesi için “ihmal edilebilir paylaşımlı yerel denge” (NPLE) ve “paylaşımlı yerel denge” (PLE) modlarının anlaşılması gerekmektedir. Çözünme sırasında çökelti ve matriks fazlarında yeralan elementlerinin konsantrasyonunun farklı olması durumunda arayüzeyde bir gradyent söz konusu olacaktır. Bu gradyent oluşumuna bağlı elementel birikme, matriks fazının içine doğru bir dağılım meydana getirir. Difüzyon kontrollü paylaşımlı yerel denge (PLE) olarak adlandırılan bu modda yeralan elementlerinin önemli miktarlarda paylaşılması söz konusudur. Diğer yandan, difüzyon kontrollü ihmal edilebilir paylaşımlı dönüşüm (NPLE) modunda durum farklıdır. Çökelti ve matriks fazlarında yeralan alaşım elementlerinin konsantrasyonları aynı ise, konsantrasyon eğrisi arayüze yakın keskin bir pik olarak görülecektir. Bu modda düşük miktarda aşırı doyum söz konusudur ve yeralan elementleri paylaşılmaz. Özetle, dönüşüm hızı PLE modunda yeralan elementlerinin difüzyonuna NPLE modunda ise arayer elementi olan karbonun hızına bağlı olarak gerçekleşir [6]. Buna göre rulman çeliklerinde ısı işlemler sırasında karbür çözünmesine bağlı olarak bir krom ve karbon dağılımı oluşur. Karbür çözünmesi ile ilgili olarak Zhao v.d. SAE 52100 çeliğinde yaptıkları bir çalışmada 860 °C sıcaklıkta östenitleme sırasında karbür çözünmesinin sürecin başında hızlı gerçekleştiğini ancak artan östenitleme süresi ile ara yüzeydeki karbon ve krom gradyentine bağlı olarak kademeli olarak yavaşladığını belirlemişlerdir. Karbonun yüksek mobilitesi sayesinde her aşamada fazlar içerisinde homojen dağıldığı, ancak kromun östenit karbür arayüzeyinde biriktiği tespit edilmiştir [7]. Epp v.d. yayınladıkları çalışmada “In situ XRD” analizi ile 100Cr6 çeliğinde küresel karbürlerin çözünmesini araştırmışlardır. Bu çalışmada (Fe,Cr)3C karbürlerin çözünmesi sırasında arayüzeyde artan alaşım elementi konsantrasyonu sebebiyle itici gücün azaldığını ve çözünmenin devam edebilmesi için alaşım elementlerinin östenit içerisinde tekrar dağılması gerektiğini ortaya koymuşlardır [8].

Günümüzde karbür çözünmesi bilgisayar hesaplamalı yaklaşımlar ile de ele alınmaktadır. Li v.d. (2017) SAE 52100 çeliğinde çözünme sırasında karbür boyut dağılımı ve karbür hacim oranındaki değişimi deneysel çalışmalar ve kinetik hesaplama yöntemleri ile incelemişlerdir. Artan sıcaklık ve sürenin çözünme karbür miktarını arttırdığını ortaya koymuşlardır. Başlangıç yapısı üzerinde yapılan görüntü analiz sonuçlarına göre %15 oranında karbür hacim oranı 840 °C'de 3600 saniye sonrasında yaklaşık olarak %4'e gerilemiştir. Aynı zamanda artan östenitleme sıcaklığı ve süresiyle karbür boyut dağılımında ince karbürlerin frekansının arttığı görülmüştür. Yapılan DICTRA hesaplamaları ile elde edilen çözünme eğrileri ve deneysel veriler karşılaştırıldığında hesaplama sonuçlarının deneysel verilere göre bir miktar daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu nedeni hesaplamalarda ortalama karbür boyutunun dikkate alınırken, mikroyapıda bir boyut dağılımı olmasına bağlı olarak açıklanmıştır [9]. Daha önceki bir çalışmamızda çift aşamalı ısı işlemin nihai yapıdaki karbür boyut dağılımına etkisi incelenmiştir. Bu çalışmada kısmi östenitleme ve sertleştirme adımı öncesinde bir tam östenitleme adımı eklenmesi ile daha ince ve homojen dağılımlı karbürler elde edilmiştir [10]. Başka bir çalışmamızda ise benzer bileşime sahip bir 100Cr6 çeliğinde Thermo-Calc ve DICTRA çalışmalarına ek olarak “line intercept” yöntemi ile karbür boyutları tespit edilmiştir. Elde edilen karbür boyutları DICTRA modelinin kurulmasına kullanılmıştır. Çalışmada 915 °C'de 10 dakika östenitlemenin tam karbür çözünmesi için yeterli olmadığı, 1050 °C'de 10 dakika sonrasında ise tüm karbürlerin çözüldüğü tespit edilmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlar DICTRA simülasyonları ile uyum göstermiştir [11].

Bilgisayar hesaplamalı yaklaşımlarda mikroyapısal görüntü analizi ilk aşamadır. Bu aşamada hesaplamalar için başlangıç verisi oluşturulmaktadır. Bu nedenle ölçülen değerler ile mikroyapının doğru bir şekilde temsil edilmesi gereklidir. Karbür çözünmesi ile ilgili yapılan çalışmalarda görüntü analiz metodları ile mikroyapıdaki karbür hacim oranı ile birlikte karbür boyut ve dağılımı tespit edilir. ImageJ bu doğrultuda yaygın olarak kullanılan açık kaynak kodlu bir yazılımdır [12-14]. Coudert v.d. (2017) havacılık sektöründe kullanılan rulmanlar ile ilgili yaptıkları bir çalışmada SEM görüntüleri üzerinde ImageJ kullanarak görüntü analizi gerçekleştirmişlerdir. ImageJ yazılımında piksellerin renklerine göre eşik (threshold) işlemi uygulanarak karbürlerin matriksten ayrılması sağlanmış ve her bir karbürün alanından karbür çapı hesaplanmıştır. Böylece karbür boyut dağılımlarını çıkarmışlardır [15].

2. MALZEME VE YÖNTEM (MATERIAL and METHOD)

Thermo-Calc çalışmaları TCFE6 veri tabanı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar ile denge durumundaki faz miktarları belirlenmiştir. DICTRA

çalışmalarında ise MOBFE2 veri tabanı kullanılarak östenitleme sıcaklığı ve süresine bağlı olarak karbür hacim oranındaki değişim ve karbür-östenit arayüzündeki alaşım elementi dağılımı hesaplanmıştır [16]. DICTRA simülasyonları için kurulan model **Şekil 1**'de gösterilmiştir. Bu modelde küreselleştirme tavlama sonrası tüm karbürlerin küresel olduğu varsayılmış ve ortalama karbür çapı esas alınmıştır. Isıtma sırasında karbür çevresindeki ferritik matriksin hızlı şekilde östenite dönüştüğü ve başlangıçtaki ferrit kompozisyonuyla aynı olduğu varsayılmıştır. Karbür hacminden yarıçap dönüşümünde kullanılan formül **Denklem (2.1)**'de sunulmuştur [17].

Karbür 289,43 nm	Östenit 273,24 nm
---------------------	----------------------

Şekil 1. Mikroyapıyı temsil eden DICTRA modeli. (DICTRA model representing the microstructure)

$$V_f^\theta = \frac{V_\theta}{V_{\text{toplam}}} = \frac{r_\theta^3}{r_{\text{toplam}}^3}$$

Denklem 2.1

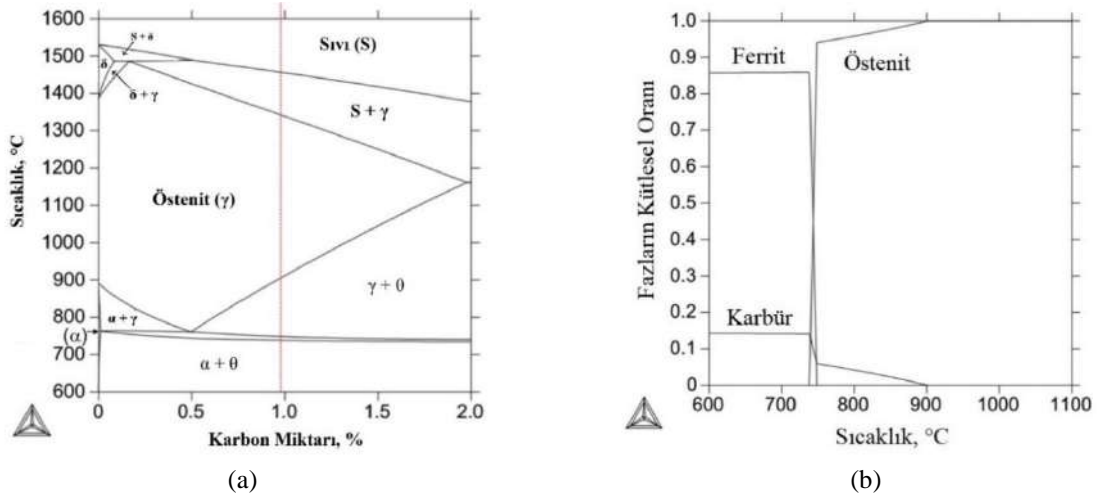
Isıl işlem deneylerinde 70 mm çapta sıcak haddelenmiş 100Cr6 çeliği kullanılmıştır. Küresel tavllanmış ticari çeliğin kimyasal kompozisyonu **Çizelge 1**'de verilmiştir. 10×10×5 mm³'lük numuneler kesilmiş ve metalografik incelemeler hadde doğrultusuna dik yapılmıştır. Isıl işlemler sırasında sıcaklık kontrolü sağlanabilmesi adına "K" tipi termoeleman kullanılmıştır. Uygulanan ısıl işlemlerin sıcaklık ve süreleri **Çizelge 2**'de sunulmuştur. SEM incelemeleri öncesinde numuneler metalografik olarak hazırlanmıştır ve %4 Pikral ile 1 dakika dağlama uygulanmıştır. SEM incelemelerinde Jeol 6060 taramalı elektron mikroskobu kullanılmıştır. SEM görüntüleri ImageJ yazılımı yardımı ile SEM görüntülerinden karbür hacim oranı ve karbür boyutları ölçülmüştür.

Çizelge 1. 100Cr6 çeliği kimyasal kompozisyonu. (Chemical composition of the 100Cr6 steel)

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Al	Cu	Ti
0,938	0,194	0,275	0,0222	0,0069	1,42	0,1	0,0293	0,136	0,0020

Çizelge 2 Uygulanan ısıl işlem parametreleri. (Heat treatment parameters)

Sıcaklık, °C	Süre, sn						
	30	60	300	600	900	1800	3600
840 °C			X	X	X	X	X
1050 °C	X	X	X	X	X		



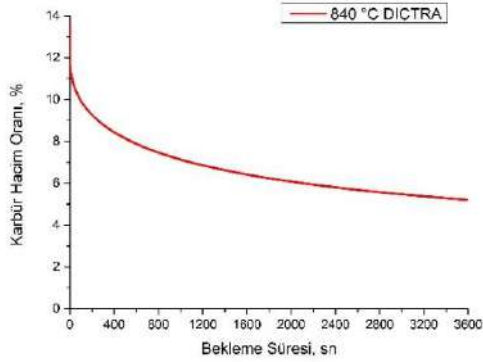
Şekil 2. Thermo-Calc ile elde edilen termodinamik hesaplama sonuçları (a) Deneysel bileşime ait faz diyagramı ve (b) sıcaklığa bağlı olarak faz miktarlarındaki değişim. (Thermodynamic calculation results obtained using Thermo-Calc (a) phase diagram for experimental composition and (b) change in phase quantities depending on temperature.)

3. SONUÇLAR (RESULTS)

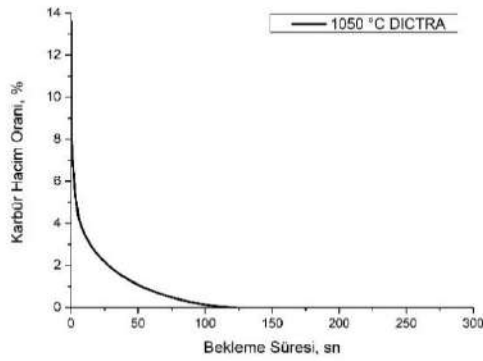
Thermo-Calc hesaplamaları sonucunda söz konusu kimyasal kompozisyon için 600 °C'de hesaplanan karbür miktarı hacim %14,30 olarak belirlenmiştir. Hesaplamalara göre tipik sertleştirme sıcaklığı 840 °C'de denge durumundaki karbür hacim oranının %2,78 olması

ve 901,72 °C üzerindeki sıcaklıklarda karbürlerin çözünmesi beklenmektedir. Thermo-Calc ile hesaplanmış faz diyagramı ve hedef bileşim için sıcaklığa bağlı olarak oluşabilen faz miktarları **Şekil 2**'de gösterilmiştir.

Süreye bağlı olarak faz dönüşümleri kinetik hesaplamalar yardımıyla ile öngörüleabilmektedir. Karbür çözünme davranışının anlaşılabilmesi amacı ile DICTRA çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalarda kısmi ve tam östenitleme koşullarına karşılık gelen iki farklı sıcaklık olan 840 °C ve 1050 °C'de östenitleme süresine bağlı olarak karbür hacim oranındaki değişim hesaplanmıştır. Şekil 3'te her iki sıcaklıkta da karbür hacim oranının zamana bağlı olarak azalmakta olduğu görülmektedir. Kısmi östenitleme sıcaklığı 840 °C'de karbür miktarı başlangıçta hacim %14,30'dan 3600 sn süre sonunda hacim %5,20'ye kadar azalmakta olduğu hesaplanmıştır. Diğer yandan aynı başlangıç durumu için sıcaklık 1050 °C olduğunda karbür çözünmesi 120 sn'de tamamlanmakta ve yapının tamamı östenite dönüşmektedir. Her iki durumda da başlangıçtaki çözünme hızı daha yüksek olup, NPLE modundan PLE moduna geçilmesi ile karbür çözünmesi yavaşlamaktadır.



(a)

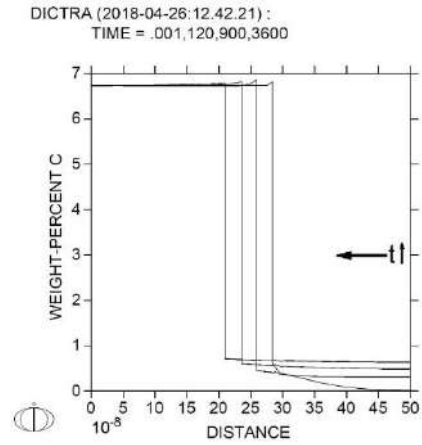


(b)

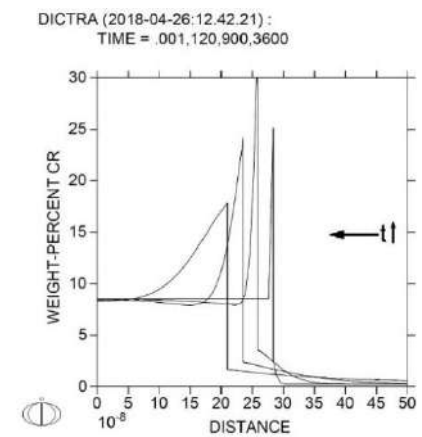
Şekil 3. Östenitleme süresine bağlı olarak karbür hacim oranındaki değişim (a) 840 °C ve (b) 1050 °C (Change in the volume amount of carbides depending on austenitization time at (a) 840 °C and (b) 1050 °C)

DICTRA ile bu sıcaklıklarda farklı süreler için her bir elemente ait konsantrasyon profilleri de hesaplanabilmektedir. 840 °C'de 3600 saniyeye kadar östenitleme sonucunda östenit/karbür arayüzeyinde oluşan karbon ve krom elementlerinin konsantrasyon

profilleri Şekil 4'te verilmiştir. Karbon demir kafesinde yer alan elementi olduğu için hızlı bir şekilde yerel dengeye (NPLE) ulaşmaktadır. Şekil 4a'da görüldüğü gibi çözünme boyunca karbon konsantrasyon profillerinde ihmal edilebilir ölçekte bir gradyent görülmüştür. Şekil 4b'de ise kromun arayüzeydeki dağılımı verilmiştir. Krom östenit kafesinde çözünmediği ve bir yer alan elementi olduğu için arayüzeyde karbür tarafında örneğin 3600 sn sonrasında yaklaşık 150 nm genişlikte bir gradyent oluşumu göstermektedir. Bu durumda arayüzeyde karbür tarafında kromun %17,8'e kadar zenginleşebildiği öngörülmüştür. Diğer yandan, tam karbür çözünmesi beklendiği 1050 °C'de östenit/karbür arayüzeyinde oluşan alaşım elementi dağılımı Şekil 5'te sunulmuştur. Bu sıcaklıkta 600 saniye gibi kısa bir sürede östenitleme sonrasında karbon ve krom elementlerinin homojen şekilde dağıldığı ve denge durumuna ulaşıldığı öngörülmektedir. Hesaplamalara göre çözünme tamamlanmadan önce, örneğin 120 sn sürede, karbür yarıçapının yaklaşık 20 nm'ye kadar azaldığı görülmüştür.



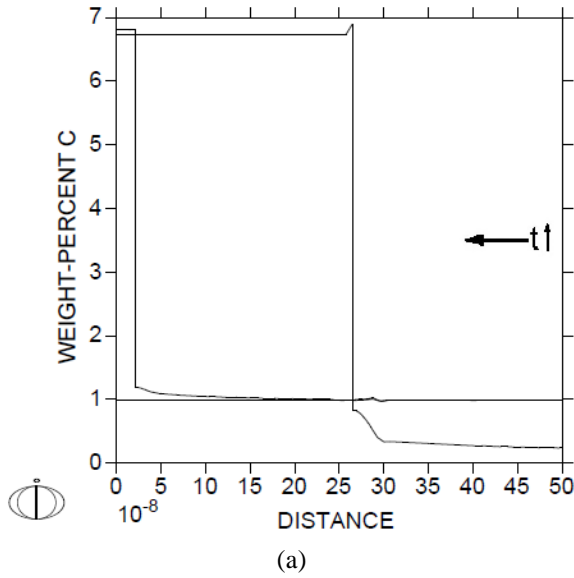
(a)



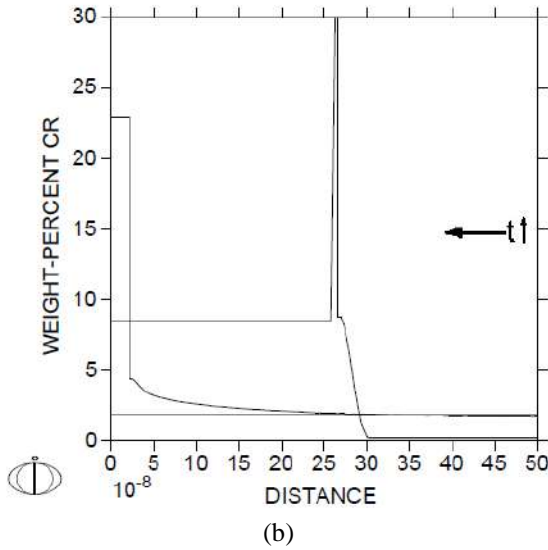
(b)

Şekil 4. 840 °C'de farklı ısıl işlem süreleri sonrasında arayüzeydeki alaşım elementi dağılımı (a) karbon ve (b) krom. (Partitioning of the alloying elements (a) carbon and (b) chromium at the interface at 840 °C for different austenitization durations)

DICTRA (2019-04-02:14.21.51) :
TIME = .001,120,600



DICTRA (2019-04-02:14.21.51) :
TIME = .001,120,600

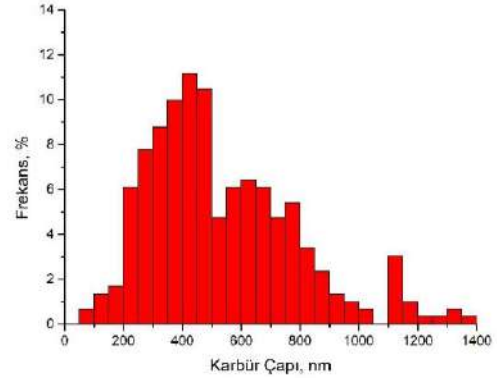


Şekil 5. 1050 °C'de farklı ısıl işlem süreleri sonrasında arayüzeydeki alaşım elementi dağılımı (a) karbon ve (b) krom. (Partitioning of the alloying elements (a) carbon and (b) chromium at the interface at 1050 °C for different austenitization durations)

3.1 Isıl İşlem

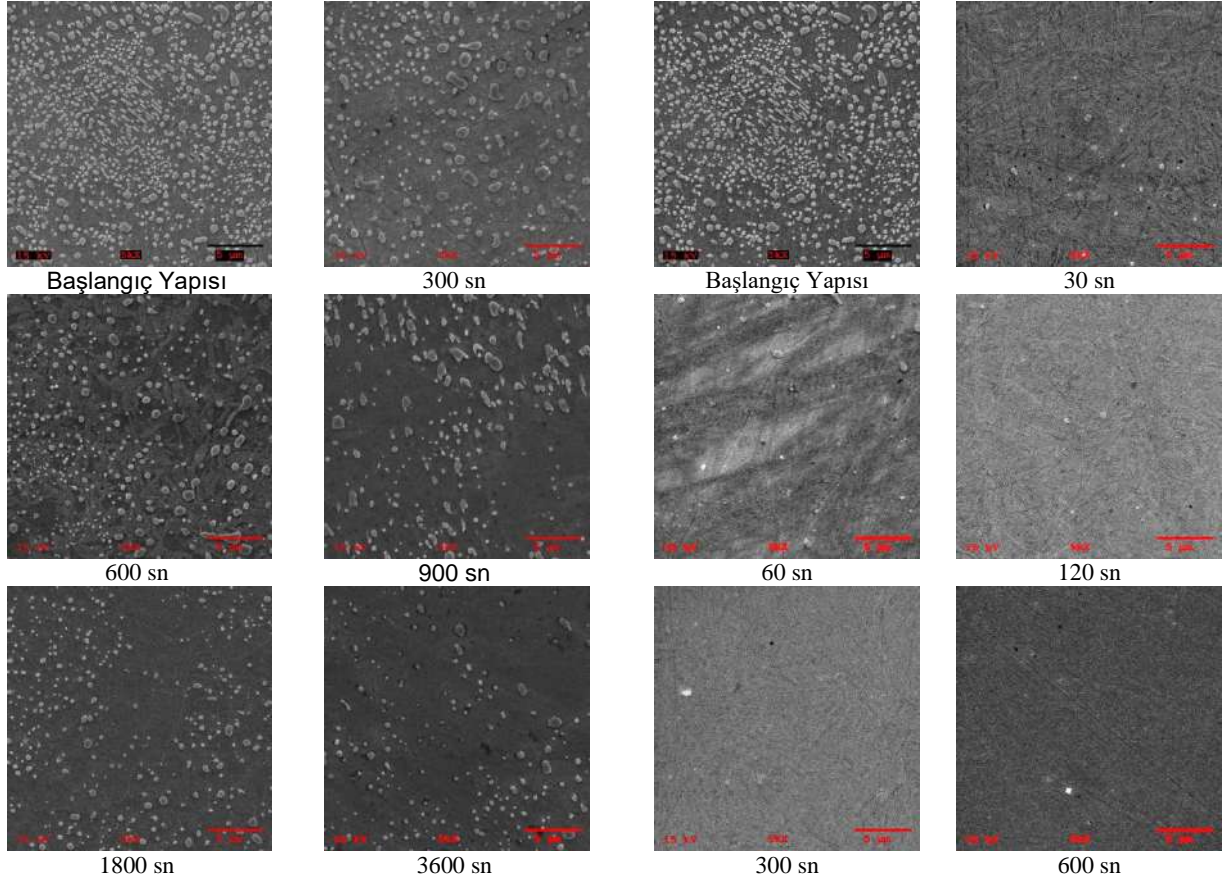
Termodinamik ve kinetik hesaplamalara paralel olarak deneysel çalışmalarda ısıl işlemler sonrası metalografik olarak karbür boyutları belirlenmiştir. Deneysel çalışmalarda kullanılan küreselleştirilmiş başlangıç yapısında ferritik matris içerisinde küresel karbürlerden oluşan bir yapı bulunmaktadır. Mikroyapı üzerinden görüntü analiz çalışmaları sonucunda karbür hacim oranı %13,61 ve ortalama karbür çapı 578,68 nm olarak belirlenmiştir. Karbür boyut dağılımını gösteren bir

grafik **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**'da verilmiştir. Bu değerler DICTRA modelinin kurulması amacı ile kullanılmıştır. Küresel başlangıç yapısına ait SEM görüntüsü **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**'da görülebilir.



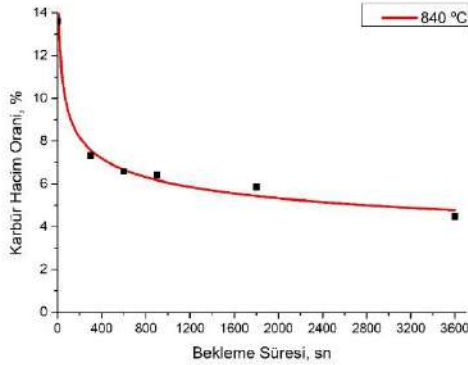
Şekil 6. Başlangıç yapısına ait karbür boyut dağılımı. (Carbide size and distribution in the initial microstructure)

Şekil 7'de başlangıç mikroyapısı ile karşılaştırılmalı olarak 840 °C'de farklı sürelerde bekleme sonrasında su verme yapılan numunelere ait SEM mikrografları verilmiştir. Pikral ile dağlama sonrasında matrisi oluşturan martenzit ve kalıntı östenit derin dağlanırken, karbürlerin dağlamadan daha az etkilenecek görüntü analizi için uygun bir kontrast oluşturduğu gözlenmektedir. Mikroyapılar incelendiğinde 300 sn sonrasında karbür çözünmesinin başlamış olduğu ve özellikle başlangıçta görece ince boyutlu olan çökeltilerin çözünmesi tamamlandığı anlaşılmaktadır. Çözünme sonucu boyutu sürekli azalan bazı karbürler 900 sn sonrasında ince boyut gösterirken, diğer karbürlerin aglomerasyon ve koelesans (yumrulaşma ve birleşme) sürecine girdikleri görülmektedir. En uzun süreli deney olan 3600 sn sonrasında karbür hacim miktarı %4,46'ya düştüğü görülmektedir. Thermo-Calc hesaplamaları sonucunda **Şekil 2'**ye göre bu sıcaklıkta denge karbür hacim miktarı %2,78'dir. Buna göre hesaplanan denge miktarına yaklaşıldığı, ancak karbür çözünmesinin sürdürdüğü söylenebilir. SEM mikrograflarından ölçülen karbür hacim oranları **Şekil 8'**de verilmiştir. Burada ölçülen değerlere "lineer olmayan eğri uydurma" işlemi uygulanarak çözünme eğrisi oluşturulmuştur. Çözünme reaksiyonun başlangıçta hızlı gerçekleştiği, artan süreyle dengedeki hacim oranına yaklaştıkça eğrinin asimptotik olarak ilerlediği gözlenmiştir.



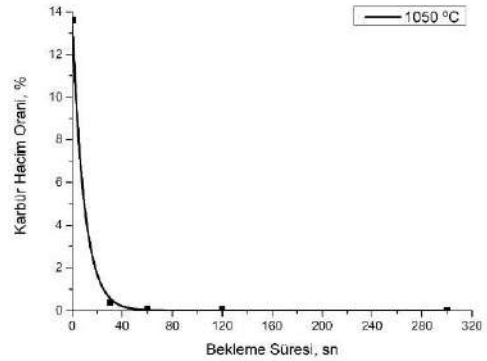
Şekil 7. 840 °C'de farklı sürelerde östenitleme sonrası su verilen numunelerin SEM görüntüleri. (SEM micrographs from quenched samples after austenitizing at 840 °C for different durations)

Şekil 9. 1050 °C'de farklı sürelerde östenitleme sonrası su verilen numunelerin SEM görüntüleri. (SEM micrographs from quenched samples after austenitizing at 1050 °C for different durations)



Şekil 1. 840 °C'de artan süreyle değişen karbür hacim oranı. (Volume amount of carbides at 840 °C for different austenitization durations)

Tam çözünmenin beklendiği 1050 °C'de farklı sürelerde yapılan östenitleme sonrası su verilen numunelerin SEM görüntüsü **Şekil 9**'da verilmiştir. Mikroyapılar incelendiğinde 30 sn süreden itibaren tüm karbürlerin hızla çözüldüğü görülmektedir. 300 sn ve üzeri sürelerde neredeyse tam bir çözünme olduğu gözlenmiştir. Artan süreyle değişen karbür hacim miktarı grafiği **Şekil 10**'da verilmiştir. İlk 60 saniye içerisinde karbürlerin yüksek oranda çözüldüğü, tam karbür çözünmesi için 300 saniye östenitleme gerektiği tespit edilmiştir.



Şekil 10. 1050 °C'de artan süreyle değişen karbür hacim oranı. (Volume amount of carbides at 1050 °C for different austenitization durations)

5. TARTIŞMA (DISCUSSION)

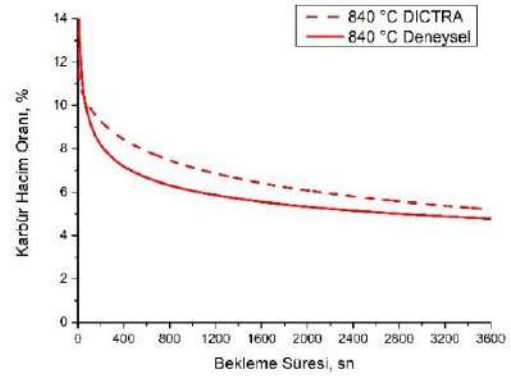
Bu çalışma kapsamında 100Cr6 çeliğinde iki farklı sıcaklıkta ve farklı sürelerde östenitleme sırasında karbür çözünme kinetiği incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda tartışılmıştır.

Küresel tavllanmış durum sonrasında östenitleme ile karbür çözünmesi davranışının ortaya konulabilmesi için

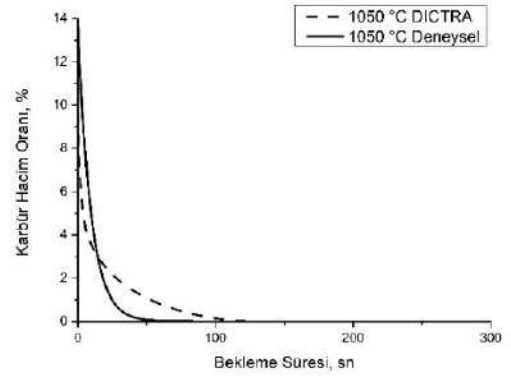
başlangıç mikroyapısı incelenmiştir. Thermo-Calc hesaplamalarına göre küreselleştirilmiş başlangıç yapısında hacimce %14,30 oranında karbür öngörülmüştür. Küresel başlangıç yapısında gerçekleştirilen mikroyapısal incelemelerde bu oran %13,61 olarak ölçülmüştür. Hesaplanan ve ölçülen miktarların birine yakın olduğu söylenebilir.

DICTRA yazılımı ile 840 °C ve 1050 °C'de zamana bağlı olarak karbür hacim oranlarındaki değişim hesaplanmıştır. Yine bu sıcaklıklarda yapılan deneysel çalışmalar sonucunda ölçülen karbür hacim oranı ve DICTRA sonuçlarının karşılaştırılması Şekil 11'de verilmiştir. Deneysel veriler ve simülasyon sonuçlarının uyumlu olduğu ancak deneysel değerlerin genel olarak hesaplanmış hacim miktarından düşük olduğu görülmüştür. Benzer bir sonuç Li v.d. 2017 yılında yayınladıkları bir çalışmada da görülmektedir. İlgili çalışmada 1,02C-0,23Si-0,37Mn-1,49Cr bileşimindeki bir çelik alaşımında 840, 860 ve 880 °C sıcaklıklarda farklı sürelerde östenitleme uygulamış ve elde ettikleri deneysel sonuçları DICTRA hesaplamaları ile karşılaştırmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre deneysel olarak ölçülen karbür hacim oranlarının DICTRA ile hesaplanan değerlerin altında olduğu gözlenmiştir. Bu durum modelleme sırasında karbür boyutlarının ortalamasının alınmasına bağlanmıştır [9]. Bu çalışmada Şekil 6'da da verildiği gibi geniş karbür boyut dağılım aralığı söz konusudur. DICTRA çalışmalarında ise ortalama karbür boyutu kullanılarak bir model kurulmuştur. Pratikte farklı çaptaki karbürler östenitleme boyunca farklı hızlarda çözünmektedir. Diğer taraftan, kısa sürelerde (20 sn ve altında) ise hesaplama sonuçlarının daha düşük olduğu görülmektedir.

Arayüzeydeki alaşım elementlerinin dağılımını öngörmek için yapılan DICTRA çalışmalarında 840 °C'de NPLE modunda başlayan çözünmenin 120 saniye sonrasında PLE modunda devam ettiği görülmüştür. İlk aşamada çözünme karbonun difüzyonuna bağlı olarak ilerlemektedir. Karbonun mobilitesinin yüksek olması sebebiyle bu aşamada çözünme hızı yüksektir. Artan süreyle arayüzeyde krom gradiyenti oluşur ve çözünme bu elementlerin difüzyon hızına bağlı olarak devam eder. Yeralan elementi kromun düşük mobilitesi sebebiyle çözünme hızı düşmektedir. 1050 °C için yapılan hesaplamalarda ise 600 saniye sonunda tüm alaşım elementlerinin östenit içerisinde homojen olarak dağılım gösterdiği hesaplanmıştır. Deneysel olarak çözünme hızının östenitlemenin başlangıcında hızlı olduğu ve bekleme süresine arttıkça hızın yavaşladığı belirlenmiştir.



(a)



(b)

Şekil 11. DICTRA hesaplamaları ve deneysel çalışmalar ile elde edilen zamana bağlı karbür hacim oranı eğrileri (a) 840 °C (b) 1050 °C. (Curves obtained by DICTRA calculations and experimental studies for carbide volume amount depending on durations at (a) 840 °C and (b) 1050 °C)

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Yazarlar, TÜBİTAK'a bu çalışmaya 115M445 nolu projesi kapsamındaki verdiği destekten ötürü teşekkürlerini sunar.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Bhadeshia, H. K. D. H. (2012). Steels for bearings. *Progress in Materials Science*, 57(2): 268-435.
- [2] Stickels, C. A. (1974). Carbide refining heat treatments for 52100 bearing steel. *Metallurgical Transactions*, 5(4): 865-874.
- [3] Xi, Z. J., Koyama, M., Yoshida, Y., Yoshimura, N., Ushioda, K., & Noguchi, H. (2015). Effects of cementite morphology on short-fatigue-crack propagation in binary Fe-C steel. *Philosophical Magazine Letters*, 95(7): 384-391.

- [4] Verhoeven, J. D. (2000). A review of microsegregation induced banding phenomena in steels. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 9(3): 286-296.
- [5] Adishesha, P. K. (2002). Effect of steel making and processing parameters on carbide banding in commercially produced ASTM A-295 52100 bearing steel. *In Bearing Steel Technology*. ASTM International.
- [6] Van der Ven, A., & Delaey, L. (1996). Models for precipitate growth during the $\gamma \rightarrow \alpha + \gamma$ transformation in Fe-C and Fe-C-M alloys. *Progress in Materials Science*, 40(3): 181-264.
- [7] Zhao, L., Vermolen, F. J., Sietsma, J., & Wauthier, A. (2006). Cementite dissolution at 860 C in an Fe-Cr-C steel. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 37(6): 1841-1850.
- [8] Epp, J., Surm, H., Kessler, O., & Hirsch, T. (2007). In situ X-ray phase analysis and computer simulation of carbide dissolution of ball bearing steel at different austenitizing temperatures. *Acta Materialia*, 55(17): 5959-5967.
- [9] Li, H., Zhang, H., Lv, Z. F., & Zhu, Z. F. (2017). Cementite Dissolution Kinetics of High Carbon Chromium Steel During Intercritical Austenitization. *Journal of Phase Equilibria and Diffusion*, 38(4): 543-551.
- [10] Erişir, E., Bilir, O. G., & Gezmişoğlu, A. E. (2017, March). Carbide banding formation and prevention in 52100 bearing steels. In TMS 2017 *146th Annual Meeting & Exhibition*
- [11] Erişir, E., Bilir, O. G., & Gezmişoğlu, A. E. (2017, February). A study of carbide dissolution in bearing steels using computational thermodynamics and kinetics. *In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 179(1): 012021. IOP
- [12] Schneider, C. A., Rasband, W. S., & Eliceiri, K. W. (2012). NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nature Methods*, 9(7): 671.
- [13] Barrow, A. T. W., Kang, J. H., & Rivera-Díaz-del-Castillo, P. E. J. (2012). The $\epsilon \rightarrow \eta \rightarrow \theta$ transition in 100Cr6 and its effect on mechanical properties. *Acta Materialia*, 60(6-7), 2805-2815.
- [14] Krishna, S. C., Tharian, K. T., Chakravarthi, K. V. A., Jha, A. K., & Pant, B. (2016). Heat treatment and thermo-mechanical treatment to modify carbide banding in AISI 440C steel: a case study. Metallography, *Microstructure, and Analysis*, 5(2): 108-115.
- [15] Coudert, J. B., Mondelin, A., Alglave, J. L., Carrerot, H., & Maheo, Y. (2017). Assessment of Advanced Aerospace Bearing Steel RCF Performances Using a Discriminating Multicontact Test. In Bearing Steel Technologies: 11th Volume, *Advances in Steel Technologies for Rolling Bearings*. ASTM International.
- [16] Andersson, J. O., Helander, T., Höglund, L., Shi, P., & Sundman, B. (2002). Thermo-Calc & DICTRA, computational tools for materials science. *Calphad*, 26(2): 273-312.
- [17] Zhang, G. H., Chae, J. Y., Kim, K. H., & Suh, D. W. (2013). Effects of Mn, Si and Cr addition on the dissolution and coarsening of pearlitic cementite during intercritical austenitization in Fe-1mass% C alloy. *Materials Characterization*, 81: 56-67



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

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



Yaya özellik tanıma için LM filtre temelli derin evrimsel sinir ağı

LM filter-based deep convolutional neural network for pedestrian attribute recognition

Yazar(lar) (Author(s)): Hüseyin ÜZEN¹ , Kazım HANBAY²

ORCID¹: 0000-0002-0998-2130

ORCID²: 0000-0003-1374-1417

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz(To cite to this article): Üzen H. ve Hanbay K., “Yaya özellik tanıma için lm filtre temelli derin evrimsel sinir ağı”, *Politeknik Dergisi*, 23(3): 605-613, (2020).

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

DOI: 10.2339/politeknik.525600

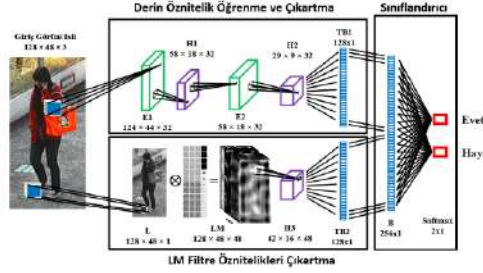
Yaya Özellik Tanıma için LM Filtre Temelli Derin Evrişimsel Sinir Ağı

LM Filter-Based Deep Convolutional Neural Network for Pedestrian Attribute Recognition

Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Hibrit Derin Evrişimsel Sinir Ağı Mimarisi (Deep Hybrid Convolutional Neural Network Architecture)

Grafik Özet (Graphical Abstract)



Şekil. Geliştirilen HESA mimarisi / Figure. The developed HESA architecture

Amaç (Aim)

Bu ağ mimarisinin temel amacı, LM filtrelerinden elde edilen geleneksel özellikler ile ESA mimarisinden elde edilen derin özellikleri birleştirerek güçlü bir özellik verisi oluşturmaktır. / The main purpose of this network architecture is to combine the traditional features obtained from the LM filters and the deep features obtained from the CNN architecture so thus create a strong feature data for classification.

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Önerilen modelde yaya görüntüsünden elde edilen LM filtre özellikleri ve derin özellikler eşzamanlı olarak hesaplanmaktadır. Daha sonra bu özellikler birleştirilir ve 1×256 farklı özellikten oluşan bir özellik vektörü oluşturulur. Bu özellik vektörü tam bağlı katmanlar yardımı ile sınıflandırma işlemine alınır. / In the proposed model, the LM filter features and deep features of the pedestrian image are calculated simultaneously. Then, these features are combined and features vector consisting of 1×256 different features is built. This feature vector is taken into the classification process with the help of fully connected layer.

Özgünlük (Originality)

Bu çalışmada hem geleneksel hem de derin özellikleri hesaplamak için yeni bir Hibrit Evrişimsel Sinir Ağı (HESA) mimarisi önerilmiştir. / In this paper, a new Hybrid Convolutional Neural Network (HESA) architecture is proposed to calculate both the traditional and the deep features.

Bulgular (Findings)

Geliştirilen HESA mimarisi çok zor bir problem olan yaya özellik sınıflandırması için uygulanmıştır. Önerilen model PETA veri tabanında SVM ve MRF tabanlı yöntemlerden önemli ölçüde daha iyi performans göstermiştir. Ayrıca, ReduceLROnPlateau modelinin HESA yönteminde kullanılması yüksek başarıların elde edilmesine önemli bir katkı sağlamıştır. / The developed HESA architecture has been applied for the pedestrian attribute classification which is a very difficult problem. The proposed model significantly outperforms the SVM and MRF based methods on the PETA database. In addition, the use of the ReduceLROnPlateau model in the HESA method has made a significant contribution to achieving high successes.

Sonuç (Conclusion)

Önerilen HESA mimarisi güçlü bir özellik çıkartma ve sınıflandırma yapısı oluşturulmuştur. Oluşturulan bu hibrit ESA mimarisi yaya özellik tanıma problemine uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlara bakıldığında, bu mimari sayesinde daha güçlü bir ESA mimarisi geliştirme olanağı sağlanabileceği görülmüştür. / The proposed HESA architecture has a strong feature extraction and classification structure. This hybrid ESA architecture has been applied to the pedestrian feature recognition problem. Considering the results obtained, it was seen that this architecture could provide the opportunity to develop a stronger ESA architecture.

Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

Yaya Özellik Tanıma için LM Filtre Temelli Derin Evrişimsel Sinir Ağı

Araştırma Makalesi / Research Article

Hüseyin ÜZEN*, Kazım HANBAY

Bingöl Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Türkiye
(Geliş/Received : 11.02.2019 ; Kabul/Accepted : 17.06.2019)

ÖZ

Günümüzde Evrişimsel Sinir Ağı (ESA) mimarileri güvenlik, endüstri ve büyük veri gibi birçok farklı alanda aktif olarak kullanılmaktadır. Bu mimarilerdeki evrişim katmanları, bir sınıflandırma veya tanımlama problemi için istenilen sonuçları verebilecek en iyi öznelikleri otomatik olarak çıkartabilmektedir. Bu çalışmada, hem geleneksel hem de derin öznelikleri hesaplamak için yeni bir Hibrit Evrişimsel Sinir Ağı (HESA) mimarisi önerilmiştir. Bu ağ mimarisinin temel amacı, LM filtrelerinden elde edilen geleneksel öznelikler ile ESA mimarisinden elde edilen derin öznelikleri birleştirerek güçlü bir öznelik verisi oluşturmaktır. Önerilen modelde yaya görüntüsünden elde edilen LM filtre öznelikleri ve derin öznelikler eşzamanlı olarak hesaplanmaktadır. Daha sonra bu öznelikler birleştirilir ve 1×256 farklı öznelikten oluşan bir öznelik vektörü oluşturulur. Bu öznelik vektörü tam bağlı katmanlar yardımı ile sınıflandırma işlemine alınır. Geliştirilen HESA mimarisi çok zor bir problem olan yaya özellik sınıflandırması için uygulanmıştır. Önerilen model PETA veri tabanında SVM ve MRF tabanlı yöntemlerden önemli ölçüde daha iyi performans göstermiştir. Ayrıca, *ReduceLRonPlateau* modelinin HESA yönteminde kullanılması yüksek başarıların elde edilmesine önemli bir katkı sağlamıştır.

Anahtar Kelimeler: Yaya özellik tanıma, derin öğrenme, öznelik çıkartma.

LM Filter-Based Deep Convolutional Neural Network for Pedestrian Attribute Recognition

ABSTRACT

Today, Convolutional Neural Network (CNN) architectures have been used actively in many different areas such as security, industry and big data. Thanks to the convolution layers in these architectures, they can automatically extract the best features that can give the desired results for a classification or definition problem. In this paper, a new Hybrid Convolutional Neural Network (HESA) architecture is proposed to calculate both the traditional and the deep features. The main purpose of this network architecture is to combine the traditional features obtained from the LM filters and the deep features obtained from the CNN architecture so thus create a strong feature data for classification. In the proposed model, the LM filter features and deep features of the pedestrian image are calculated simultaneously. Then, these features are combined and features vector consisting of 1×256 different features is built. This feature vector is taken into the classification process with the help of fully connected layer. The developed HESA architecture has been applied for the pedestrian attribute classification which is a very difficult problem. The proposed model significantly outperforms the SVM and MRF based methods on the PETA database. In addition, the use of the *ReduceLRonPlateau* model in the HESA method has made a significant contribution to achieving high successes.

Keywords: Pedestrian attribute recognition, deep learning, feature extraction

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Geniş bir alanı gözlemleyen kameralardan bir nesne veya yayanın görsel olarak tanımlanması sınır kontrolü, güvenlik ve reklamcılık gibi çeşitli alanlar için kritik bir öneme sahiptir. Özellikle yayaların cinsiyet, giyim tarzı gibi kişisel özelliklerin sınıflandırılması [1, 2] restoranlarda, süpermarketlerde müşteri istatistiklerinin toplanması ve kamu güvenliği gibi alanlarda oldukça kullanışlı olabilmektedir [3]. Ancak ortak yaşam alanlarında insanların özelliklerinin (giyim, cinsiyet, aksesuar vb.) otomatik bir şekilde sınıflandırılması ortam şartları ve kameradan kaynaklanan problemlerden dolayı zor bir işlemdir.

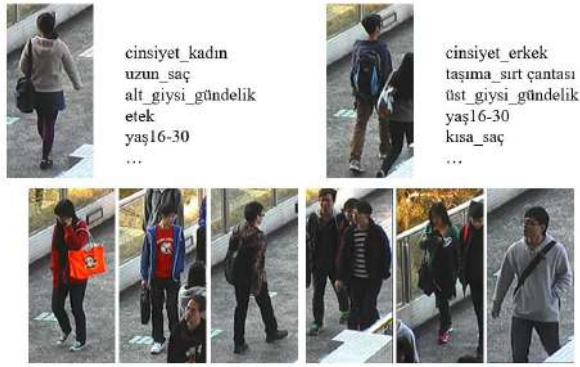
Yayaların fiziksel özelliklerinin sınıflandırılması temel olarak iki problem içermektedir. Bunlar sırasıyla insan

özelliklerinin oldukça çeşitli olması ve kameralardan alınan görüntülerde bulanıklığın ve belirsizliklerin bulunmasıdır [4, 5]. Birinci problem olan kişi özelliklerin çok çeşitli olması durumu, bir bireyin sahip olduğu giyim tarzı, saç uzunluğu, takılar gibi özelliklerin çok öznel olabilmesinden kaynaklanmaktadır. İkinci problem ise analiz edilen görüntülerdeki gürültü, kontrast eksikliği, nesnelerin ve insanların çakışık olması ve izlenen ortamın dinamikliğidir [4, 6]. Bu zorlukların temel sebebi görüntülerin alındığı ortamların genellikle açık alanlar olması ve görüntülerin uzak bir mesafeden alınması durumlarıdır.

Literatürde yaya özelliklerinin tanımlanması ve sınıflandırılması için geliştirilmiş olan yöntemler birçok farklı veri kümesi üzerinde test edilmiştir. Bu veri kümeleri genellikle farklı insan görüntüsü ve her bir görüntüye ait birçok farklı özellikleri içerisinde barındırmaktadır (Şekil 1). Literatürdeki birçok çalışma

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : huzen@bingol.edu.tr

içerdiği özellik sayısının çok olması ve 19000'den fazla görüntü içermesinden dolayı Peta veri kümesini kullanmıştır.



Şekil 1. Peta veri tabanından örnek insan görüntüleri ve etiketleri (Sample human images and labels from Peta dataset)

Literatürde bulunan yaya özellik sınıflandırma veya tanımlama yöntemleri genellikle her bir özellik için ayrı bir sınıflandırıcı eğitmişlerdir. Her bir eğitim kümesindeki görüntüler ele alınan özelliğe sahip olma durumlarına göre pozitif veya negatif olarak etiketlenmiştir. Bununla birlikte sınıflandırıcılara verilmek üzere görüntülerden genellikle düşük seviyeli özneliklerin elde edildiği görülmektedir [3, 7]. Ancak günümüzde otomatik ve görüntüyü daha yüksek seviyede analiz eden öznelik çıkartma ve sınıflandırma yöntemleri de mevcuttur [4, 8]. Literatürdeki yaya özellik sınıflandırma yöntemlerinde sınıflandırıcı olarak destek vektör makinesi de (DVM) yoğun bir şekilde kullanılmıştır [1, 9, 10]. Bunun yanında AdaBoost (Adaptive Boosting) [11], KNN [7, 12], rastgele ormanlar (Random Forest) [3] ve softmax [4, 8] gibi sınıflandırıcıları kullanan yöntemlerde mevcuttur. Bununla birlikte bazı çalışmalar fiziksel insan özelliklerinin birbirleriyle olan ilişkisinin önemli olduğunu kabul ederek ortak bir sınıflandırıcı eğitmeyi amaçlamışlardır [6, 13]. Bourdev vd. [14] yaptıkları çalışmada her bir özellik için elde edilen ayrı ayrı sınıflandırıcı sonuçlarını ortak bir DVM sınıflandırıcı ile birleştirmiştir. Zhu vd. her bir özelliğe ait sınıflandırıcı sonuçlarını ağırlıklandırarak birleştirmeye çalışmıştır [13]. Fakat bu çalışmalarda en büyük problem bazı fiziksel insan özelliklerinin birbiri ile olan ilişkisinin az ya da tanımlanmasının zor olmasıdır. Örneğin cinsiyet tespitinde kişinin erkek veya kadın olarak sınıflandırılması tek bir sınıflandırıcı ile kolay olabilmektedir. Ancak şapka, yaş ve takı gibi birbiri ile etkileşimi zor olan fiziksel özelliklerin ortak bir sınıflandırıcı ile tespit edilmesi zordur.

Cao vd. tarafından geliştirilen cinsiyet tespit yöntemi yaya özellikleri temel alınarak yapılan ilk çalışmalardan biridir [3]. Bu çalışmada öncelikle insan görüntülerinden ham piksel değerleri ve HOG özellikleri çıkartılmıştır. Zhu vd. insan görüntülerindeki kişisel fiziksel özellikleri sınıflandırmak için görüntülerin renk (HSV renk kanalları), doku (LBP) ve HOG özneliklerini

kullanmışlardır [12]. Her bir görüntüden elde edilen bu özneliklerden ikili özellik tespiti için AdaBoost sınıflandırıcı, çoklu fiziksel özellik sınıflandırması için ise KNN sınıflandırıcı kullanılmıştır. Layne vd. fiziksel insan özelliklerini sınıflandırmak için 8 farklı renk kanalı (RGB, HSV ve YCbCr) ve bu kanallar üzerinde geçirmek üzere 21 farklı doku filtresi (8 Gabor filtresi ve 13 Schmid filtresi) kullanmıştır [7].

Son yıllarda yaya özellik tespitinde derin öğrenme tabanlı yöntemler kullanılarak başarılı çalışmalar yürütülmüştür. Bu çalışmalardan biri Su vd. tarafından Peta veri kümesini kullanarak yapılan derin öğrenme tabanlı ve yarı denetimli insan özellik tespiti çalışmasıdır [15]. Bu çalışma insan özelliklerini 3 aşamalı bir eğitim şeması kullanarak öğrenmeyi hedeflemiştir. Zhu vd. geliştirdikleri derin öğrenme tabanlı ağ mimarisi sayesinde yaya özelliklerini başarılı bir şekilde sınıflandırmıştır [16]. Yaptıkları çalışmada öncelikle görüntüler 15 parçaya bölünmüştür. Her bir görüntü parçası oluşturulan özel ağ mimarisinden geçirilerek bu görüntülerin öznelikleri ayrı ayrı hesaplanmıştır. Bir başka çalışmada ise tüm parçalardan elde edilen öznelikler tam bağlı bir katman aracılığıyla birleştirilmiştir [4]. Daha sonra bu tam bağlı katmandaki çıktılar bir softmax katmanına gönderilmiştir. Görüntülerin sadece evrimsel özelliklerinin kullanılmasının bazı fiziksel özellikleri ayırt etmede yetersiz kaldığı bazı çalışmalarda vurgulanmıştır. Liu vd. yaptıkları çalışmada ele alınan görüntüden ayrı ayrı bölgesel ve genel öznelikleri çıkartan güçlü bir ağ mimarisi geliştirilmiştir [17]. Bununla birlikte birbirine benzeyen fiziksel özelliklerin ayırt edici piksel ve bölge tabanlı özneliklerinin sadece geleneksel derin öğrenme algoritmaları kullanılarak hesaplanması istenen düzeyde başarılı sonuçlar vermemektedir.

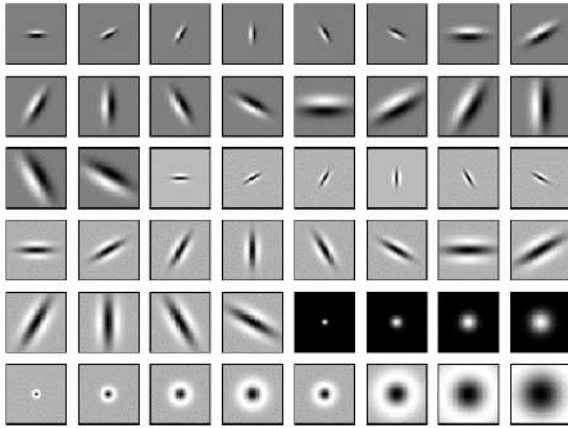
Bu çalışmada yaya fiziksel özelliklerinin tanımlanması ve sınıflandırılabilmesi için Leung-Malik (LM) filtre bankası ile derin öğrenme tabanlı bir ağ mimarisi birlikte kullanılmıştır. Böylece görüntülerin evrimsel özellikleri ile birlikte güçlü dokusal öznelikleri de LM filtreleri ile elde edilmiş ve sınıflandırma sürecine aktif olarak dâhil edilmiştir. LM filtreleri farklı ölçek ve açısallarda tasarlanarak ölçekten ve açısallı yönelimden bağımsız bir sınıflandırma yöntemi geliştirilmiştir. Geliştirilen evrimsel ağ mimarisinde LM filtresinden elde edilen dokusal öznelikler ile evrimsel sinir ağından elde edilen yüksek seviyeli öznelikler birleştirilmiş ve hibrit bir özellik vektörü inşa edilmiştir. İnşa edilen ESA mimarisi elde edilen her iki özellik vektöründen herhangi bir bilgi kaybına ve manipülasyonuna yol açmayacak şekilde ve çıkarılan öznelikleri tam kullanacak şekilde tasarlanmıştır. Elde edilen bu öznelikler softmax katmanı öncesinde birleştirilerek yüksek sınıflandırma başarısı elde edilmiştir. Bölüm 2'de LM filtre bankası ve ESA hakkında bilgiler verilmiştir. Bölüm 3'te insan fiziksel özelliklerinin sınıflandırılmasında geliştirilen hibrit yaklaşım detaylandırılmıştır. Bölüm 4'te önerilen yöntemin performansı güncel diğer yöntemlerle

karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Bölüm 5'te ise elde edilen sonuçlara yer verilmiştir.

2. ESA MİMARİLERİ VE LEUNG-MALIK (LM) FİLTRELERİ (CNN ARCHITECTS AND LEUNG-MALIK (LM) FILTERS)

2.1. Leung-Malik (LM) Filtreleri (Leung-Malik (LM) Filters)

LM filtre bankası içerdiği farklı yön ve ölçeklerdeki filtrelerden oluşan bir filtre bankasıdır. Bu filtre bankası 48 adet filtre içermektedir. Bunların 36 tanesi 6 farklı açısız yön ve 3 farklı ölçekte tasarlanan Gaussian birinci ve ikinci türev filtreleridir. 8 tanesi Gaussian filtrelerin merkez-çevre farkı filtresi ve kalan 4 tanesi ise alçak-geçiren Gaussian filtredir. Herhangi bir görüntü üzerinde bu filtrelerin uygulanması ile her bir pikselin 1×48 boyutunda filtre yanıtlarından oluşan öznelik vektörü elde edilmiş olur. LM filtreleri sonucu elde edilen özellikler dönmeden bağımsızdır. Bu filtre bankası kullanılarak görüntülerdeki özel yapılar güçlü filtre yanıtlarının içerdikleri dokusal öznelikler ile tanımlanabilmektedir. Şekil 2'de LM filtre bankası gösterilmiştir.



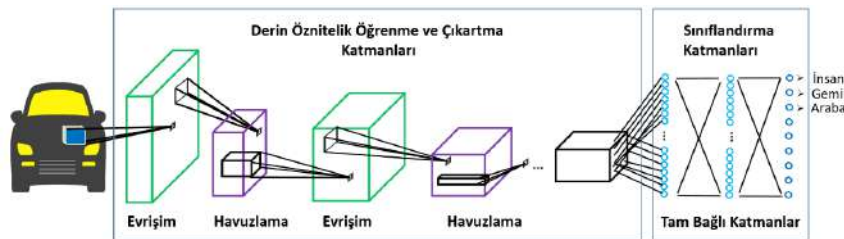
Şekil 2. Leung-Malik (LM) Filtreleri (Leung-Malik (LM) Filters)

2.2. Evrişimsel Sinir Ağı (ESA) (Convolutional Neural Network (CNN))

Günümüzde evrişimsel yapay sinir ağları (ESA, Convolutional Neural Network) görüntü tanıma ve sınıflandırmak için en yaygın kullanılan yöntemlerden biridir [18–20]. ESA mimarilerinin temel çalışma

prensibi hiyerarşik olarak giriş katmanından alınan görüntünün özneliklerinin çıkartılması ve çıkartılan özneliklerin tam bağlı katmanlarda sınıflandırılması şeklinde özetlenebilir [19–21]. Geliştirilmiş bir ESA mimarisinin geleneksel yöntemler gibi eğitim ve test aşamaları bulunmaktadır. Eğitim aşamasında; eğitim veri kümesi kullanılarak ESA mimarisindeki katmanların parametrelerinde en yüksek başarıyı elde edecek şekilde güncellemeler yapılmaktadır. Test aşamasında ise ağ katmanlarındaki parametreler sabit tutularak ESA mimarisinin sınıflandırma başarıları hesaplanmaktadır. ESA tabanlı makine öğrenmesi yöntemlerinin geleneksel makine öğrenmesi yöntemlerinden temel farkı ise, ESA'da öznelikleri otomatik bir şekilde çıkaran evrişim katmanlarının bulunmasıdır. ESA mimarileri bu evrişim katmanları sayesinde ele alınan problem için en uygun çözüme dayalı bir öznelik çıkartma modeli oluşturmaktadır [21, 22].

Bir ESA mimarisi temel olarak evrişim (convolution), havuzlama (pooling), aktivasyon ve tam bağlı katmanlardan oluşmaktadır (Şekil 3). Evrişim katmanları giriş verileri üzerinde bir filtreleme işlemi uygulayarak çıktı değerlerini oluşturmaktadır. Bu katmanın çıktısı $G \times Y \times D$ (Genişlik \times Yükseklik \times Derinlik) boyutları ile ifade edilmektedir [22]. Havuzlama katmanı boyut küçültme katmanı olarak da bilinmektedir. Bu katman genellikle evrişim katmanından sonra elde edilen yüksek boyutlu verilerin boyutunu azaltmak için kullanılmaktadır. Bu katman sayesinde önemli veriler alınarak bir boyut küçültme işlemine gidilmektedir. Aktivasyon katmanı ise gelen verilerde anlamlı bilgileri kaybetmeden bazı doğrusal değerlerin değiştirilmesine olanak sağlamaktadır. En çok bilinen aktivasyon katmanları ReLu ve Dropout katmanlarıdır. Son olarak sınıflandırma işlemleri için tam bağlı katmanlar kullanılmaktadır. Tam bağlı katmanlarda önceki katmanlardan gelen tüm veriler ağırlıklandırılarak birleştirilmektedir. Bu katmanlarda önceden belirlenmiş bir kayıp fonksiyonu kullanılarak eğitim boyunca en uygun nöron ağırlıkları bulunmaktadır. Bir ESA mimarisinde kullanılan tam bağlı katmanların sayısı ve katmanlardaki nöron sayısı (boyutu) ihtiyaca göre değişiklik gösterebilmektedir. Genellikle ağ mimarilerinin son katmanındaki tam bağlı katman için softmax gibi bir sınıflandırıcı görevi alan hata fonksiyonu kullanılmaktadır. Bu katmandaki nöron sayısı ayrıştırılmak istenilen sınıf sayısına eşittir. Bu nöronların çıktıları olasılıksal olarak sınıflandırma sonucunu vermektedir [22].



Şekil 3. Evrişimsel sinir ağı mimarisinin katmanları (Layers of convolutional neural network architecture)

3. YAYA ÖZELLİK TANIMA İÇİN HİBRİT EVRİŞİMSSEL YAPAY SİNİR AĞI MİMARİSİ (HYBRID CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK ARCHITECTURE FOR PEDESTRIAN ATTRIBUTE RECOGNITION)

Günümüzde birçok alanda kullanılan ESA mimarileri güçlü bir eğitim kümesine ihtiyaç duymaktadır. Fakat böyle bir eğitim kümesinin olmadığı durumlarda ESA mimarisinin katmanlarındaki parametreler doğru bir şekilde eğitilemeyecektir. Dolayısıyla yüksek seviyeli öznelikler ve başarılı bir sınıflandırıcı elde etmek imkânsız olacaktır. Bu problemlerden dolayı birçok çalışmada *Transfer Learning (TF)* metodlarına başvurulmuştur. TF metodunun temel çalışma prensibi sıfırdan bir ağ mimarisini kullanmak yerine önceden eğitilmiş bir ağ mimarisini güncelleyerek kullanmaya dayanmaktadır. Ancak ele alınan problem için önceden eğitilmiş benzer bir ağ mimarisini bulunmuyorsa, VGGnet gibi genel bir ağ mimarisini kullanılmaktadır. Fakat bu durumda kullanılan ESA mimarisini istenilen probleme çok uygun olmadığından, yüksek başarılar için ilk durumdaki gibi yine güçlü bir eğitim kümesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu çalışmada yukarıdaki problemde yola çıkarak Hibrit Evrişimsel Yapay Sinir Ağı Mimarisi (HESA) önerilmiştir. Bu ağ mimarisindeki temel amaç LM filtrelerinden elde edilen öznelikler ile ESA mimarisinden elde edilen derin öznelikleri birleştirmek ve bu şekilde sınıflandırma için güçlü bir öznelik uzayı oluşturmaktır.

3.1. Geliştirilen HESA Mimarisi (The Developed HESA Architecture)

Şekil 4'te geliştirilen HESA mimarisinin temel yapısı görülmektedir. HESA mimarisini giriş olarak $128 \times 48 \times 3$

3 boyutunda alınan görüntülerin özneliklerini hesaplamaktadır. HESA mimarisinin üst kısmındaki ESA mimarisine derin öznelikler elde edilmektedir. HESA mimarisinin alt kısmında ise LM filtre bankaları kullanılarak geleneksel dönme ve açılma değişimden bağımsız öznelikler elde edilmektedir. İleriki katmanlarda bu iki öznelik grubu birleştirilerek çıkışa doğru ilerletilmektedir.

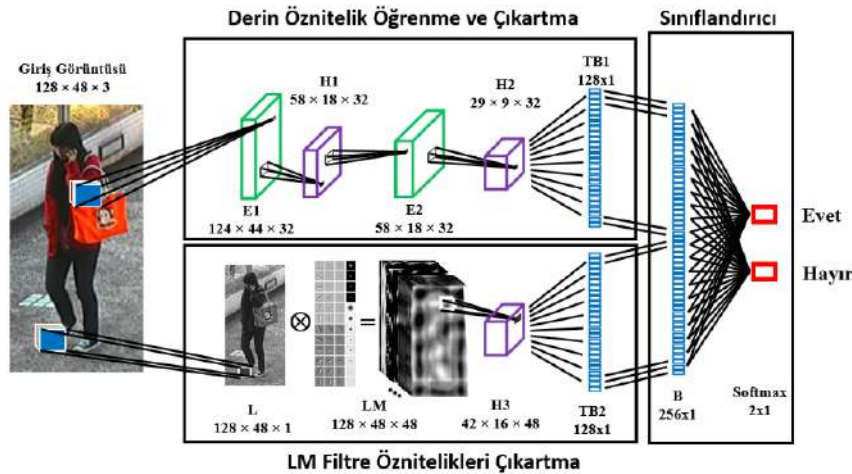
Geliştirilen HESA mimarisinin üst kısmını temsil eden ESA mimarisini evrişim (E), yığın normalizasyon (YN, Batch Normalization), aktivasyon (A) ve havuzlama (H) katmanlarından oluşmaktadır. İnşa edilen HESA mimarisinin katmanları hakkında detaylı bilgiler Çizelge 1'de verilmiştir. Evrişim katmanlarında denklem 1'de gösterildiği gibi giriş verileri üzerinde bir evrişim işlemi uygulanmaktadır.

$$Y_j = \sum_{j \in N} W_j * X + b_j \quad (1)$$

Buradaki X değeri giriş veri kümesini, Y_j değeri j 'nci evrişim filtresi için çıkış öznelik verisini, N değeri katmandaki filtre kümesini, $*$ simgesi evrişim işlevini ve son olarak b değeri bias değerini göstermektedir. Her evrişim katmanından sonra elde edilen veri kümesi yığın normalizasyon katmanından geçirilmektedir. Normalizasyon katmanlarının kullanılmasındaki temel amaç eğitim boyunca ESA mimarisinin eğitim veri kümesini ezberlemesini önlemektir. Normalizasyon katmanından sonra verilere ReLu aktivasyon işlemi uygulanmaktadır (Denklem 2).

$$f(v_i) = \max(0, v_i) \quad (2)$$

Buradaki temel işlem giriş değerindeki tüm negatif değerlerin sıfıra yükseltilmesidir.



Şekil 4. Geliştirilen HESA mimarisini (The developed HESA architecture)

Yukarıdaki işlemler sonucunda yüksek boyutlu bir veri kümesi elde edilmektedir. Bu veri kümesinin boyutunu küçültmek için en büyük değerleri alan bir havuzlama (Maxpooling) işlemi uygulanmaktadır.

Çizelge 1'den de görüleceği üzere ESA mimarisinde her bir evrişim katmanından sonra sırasıyla normalizasyon, aktivasyon ve havuzlama işlemi uygulanmıştır. Bu katmanlardan sonra elde edilen veri küpü, tam bağlı

katmanlara aktarılmak üzere boyut değiştirme (D, *Düzleştirme*) katmanından geçirilmiştir. Bu işlemler sonucunda Çizelge 1’de verildiği gibi 8352×1 boyutunda bir öznelik vektörü elde edilmiştir. Elde edilen bu öznelikler daha sonra bir tam bağlı katman yardımıyla 128 boyutuna indirgenmiştir. Sonuç olarak HESA mimarisinin üst kısmını oluşturan ESA mimarisi eğitim boyunca en yüksek başarıları elde edebilecek 128 farklı derin öznelik parametrelerini öğrenmektedir.

Geliştirilen HESA mimarisinde derin öznelikler ile birlikte yaya özellik tespitinde dönme, boyut değişikliği ve diğer çeşitli problemlerden etkilenmeyen dokusal öznelikler elde etmek için geleneksel LM filtre öznelikleri de hesaplanmıştır. LM filtre öznelikleri için öncelikle mimarinin giriş katmanından alınan görüntü *gri formata çevirme (L)* katmanından geçirilmektedir. Daha sonra 128×48 boyutundaki gri görüntüye LM filtreleriyle ayrı ayrı evrişim işlemi uygulanmaktadır (Denklem 3).

$$Y_j = \sum_{j \in N} W_j * X_{gri} \quad (3)$$

Bu denklemdeki X_{gri} değeri 128×48 boyutundaki gri giriş görüntüsünü, Y_j değeri J 'ninci LM filtresi için filtrelenmiş çıkış öznelikliğini ve * simgesi ise evrişim işlevini göstermektedir. Buradaki yapılan işlemler ESA mimarisindeki evrişim katmanlarından farklı olarak bias

değeri içermemektedir. LM filtreleme işlemi sonucunda giriş görüntüsünden $48 \times (128 \times 48)$ boyutunda bir öznelik küpü elde edilmiştir. Sayısal olarak çok fazla olan bu öznelik küpü Çizelge 1’de gösterildiği gibi havuzlama, düzleştirme ve tam bağlı (128 nöronlu) katmanlardan geçirilmektedir. Sonuç olarak HESA mimarisinin alt kısmında giriş görüntüsünden 128 farklı LM filtre öznelikleri elde edilmektedir.

HESA mimarisinin alt ve üst kollarından paralel şekilde elde edilen ayrı ayrı 1×128 boyutundaki öznelik vektörleri birleştirme katmanından geçirilerek 1×256 boyutunda hibrit bir öznelik vektörü oluşturulmuştur. Elde edilen bu öznelik vektörü görüntünün derin ve LM filtre temelli dokusal özneliklerinin birleşiminden oluşmaktadır. Son işlem olarak görüntünün aranan yaya öznelikliğini içerip içermediğini belirlemek için tüm öznelikler softmax sınıflandırma katmanına gönderilmektedir. Önceki katmanlardan gelen öznelikler işlenerek sınıflandırma sonucu elde edilmektedir (Denklem 4).

$$S = \text{Softmax}(FW + B) \quad (4)$$

Bu denklemde F öznelik kümesini ve S ise sınıflandırma tahminini göstermektedir. W ve B değerleri sırasıyla ağırlıklandırma ve bias değerlerini ifade etmektedir.

Çizelge 1. HESA mimarisinin katmanları (Layers of HESA architecture)

Katman Adı	Katman Tipi	Filtre Boyutu	Adım Genişliği	Çıkış Boyutu	Eğitilebilirliği
Giriş	Giriş			$128 \times 48 \times 3$	Hayır
E1	Evrışim	5×5	3	$124 \times 44 \times 32$	Evet
YN1	Yığın normalizasyonu			$124 \times 44 \times 32$	Evet
A1	Aktivasyon			$124 \times 44 \times 32$	Evet
H1	Havuzlama	3×3	3	$58 \times 18 \times 32$	Evet
E2	Evrışim	3×3	2	$58 \times 18 \times 32$	Evet
YN2	Yığın normalizasyonu			$58 \times 18 \times 32$	Evet
A2	Aktivasyon			$58 \times 18 \times 32$	Evet
H2	Havuzlama	3×3	2	$29 \times 9 \times 32$	Evet
D1	Düzleştirme			8352×1	Evet
TB	Tam bağlı katman			128×1	Evet
A3	Aktivasyon			128×1	Evet
L	Gri formata çevirme katmanı			$128 \times 48 \times 1$	Hayır
LM	LM filtre ile evrişim	49×49	1	$128 \times 48 \times 48$	Hayır
H3	Havuzlama	3×3	2	$42 \times 16 \times 48$	Hayır
D2	Düzleştirme			32256×1	Evet
TB2	Tam bağlı katman			128×1	Evet
A4	Aktivasyon			128×1	Evet
B	Birleştirme			256×1	Evet
Softmax	Tam bağlı katman			2×1	Evet

3.2. Uygulama Detayları (Application Details)

Geliştirilen HESA mimarisi *Tensorflow* tabanlı *Keras* kütüphanesi kullanılarak *Python* dili üzerinde tasarlanmıştır. Geliştirme ve uygulama testleri i7 6700HQ işlemci, 16 GB ram ve GeForce GTX 960M ekran kartına sahip bir bilgisayarda yürütülmüştür. Oluşturulan ağ mimarisinin eğitimi için *Adam* optimizasyonu kullanılmıştır. *Adam* optimizasyon algoritmasının öğrenme oranı başlangıç değeri olarak $\lambda = 1e - 3$ alınmıştır. Daha sonrasında eğitim oranının dinamik bir şekilde değişmesi için *Keras* kütüphanesindeki *ReduceLRonPlateau* modeli kullanılmıştır. Bu model temel olarak eğitim boyunca doğrulama veri kümesini kullanarak öğrenme oranında (λ) güncellemeler yapmaktadır. *ReduceLRonPlateau* modelinin temel çalışma prensibi şu şekildedir: doğrulama veri kümesinin başarı oranının belirli bir tur sayısı (*patience*) kadar sabit kaldığı durumlarda, öğrenme oranı sabit bir değer (*factor*) ile çarpılır ($\lambda_{yeni} = \lambda \times factor$) ve böylece öğrenme oranı düşürülür. Öğrenme oranı önceden belirlenmiş en düşük öğrenme oranına (λ_{min}) kadar azalma gösterebilmektedir. HESA mimarisi için *ReduceLRonPlateau* modelinin parametreleri sırasıyla *patience* = 5, *factor* = 5 ve $\lambda_{min} = 1e - 5$ şeklinde ayarlanmıştır.

ESA mimarilerinde tur sayısının doğru bir şekilde seçilmesi oldukça önemlidir. Tur sayısının küçük seçilmesi ağ mimarisinin eğitim verisini tam öğrenmemesine yol açarken, bu değerinin yüksek seçilmesi ise gereksiz zaman harcanmasına sebep olmaktadır. Bu problemten kaçınmak için *EarlyStopping* modeli kullanılmıştır. Bu model temel olarak doğrulama veri kümesinin başarı oranının belirli bir tur sayısı kadar sabit kaldığı durumlarda eğitim tamamlanma sinyali göndererek eğitimi durdurmaktadır. Bu çalışmada HESA mimarisi için *EarlyStopping* modeli kullanılmıştır. Yapılan uygulama sonuçlarında her bir yaya özneliğinin sınıflandırılması için *EarlyStopping* modeli sayesinde HESA mimarisinin 75 ile 150 arasında değişen tur sayıları kullandığı tespit edilmiştir.

Çizelge 2. Eğitim, doğrulama ve test veri tabanlarının boyutları ve yüzde oranları (%) (Dimensions and percentages (%) of training, validation and test datasets)

Peta	Eğitim	Doğrulama	Test
19003	13681	1521	3801
%100	%72	%8	%20

Peta veri kümesi uygulamalar için %72 eğitim, %8 doğrulama ve %20 test olacak şekilde ayrılmıştır (Çizelge 2). Veri kümeleri oluşturulduktan sonra HESA mimarisi kullanılarak Peta veri kümesindeki 35 farklı yaya özelliği ayrı ayrı sınıflandırılmıştır.

Peta veri kümesindeki bazı insan özelliklerine sahip örnek sayısı oldukça azdır. Örneğin eğitim veri kümesindeki bireylerin ceket giyenlerinin oranı % 8.6'dır. Bunun gibi bazı insan özelliklerinin sınıflandırılmasında en basit bir sınıflandırıcı tüm örnekleri negatif olarak öğrenmiş olsa bile %91.4 oranında başarılı olacaktır. Bundan dolayı etiketler arasında dengesizliğin olduğu yaya özelliklerinin olumlu ve olumsuz örnek sayılarının eşit alınması daha doğru sınıflandırma başarısı sağlayacaktır. Yapılan çalışmada yukarıda bahsedilen problemten kaçınmak için her bir yaya özellik sınıflandırılmasında etiketler arasındaki oran 0.35 ile 0.65 arasında değilse, eğitim modeli için etiketler arası örnek sayısı eşit sayıda almıştır.

4. DENEYSSEL SONUÇLAR (EXPERIMENTAL RESULTS)

Geliştirilen HESA mimarisinin performans değerlendirmeleri için PETA veri kümesi üzerinde testler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sınıflandırma sonuçları ikSVM ve MRFG2/MRFR2 yöntemleri ile kıyaslanmıştır [5, 6]. HESA yöntemi ile kıyaslanan yöntemler kısaca şu şekilde özetlenebilir. ikSVM yöntemi DVM tabanlı bir sınıflandırıcı kullanmış ve öznelik olarak öncelikle her bir görüntüyü 8 renk kanalına (RGB, HSV ve YCbCr) ayırtmıştır. Ayrıca Gabor ve Schmid filtreleri kullanılarak görüntülerden 21 farklı doku özneliği çıkartılmıştır. MRFG2 ve MRFR2 yöntemlerinde ise yaya görüntülerindeki insan özellik tespiti için Markov Rastgele Alan (MRF) yöntemi kullanılmıştır [6]. MRF yöntemi ile oluşturulan grafik topolojisi yardımı ile yaya görüntüleri arasındaki ikili benzerlikler ağırlıklandırılmıştır. Bu şekilde bir görüntüdeki yaya özellik tespiti için komşu görüntülerdeki bilgiler de kullanılarak performans başarısının artırılması hedeflenmiştir. Bu doğrultuda MRF yönteminin çekirdek fonksiyonu değiştirilerek 4 farklı alt yöntem geliştirilmiştir. Yaptığımız çalışmada bu yöntemlerden yüksek başarılar elde eden MRFG2 ve MRFR2 alt yöntemlerinin sonuçları kullanılmıştır. Bu iki model arasındaki temel fark ise yöntemlerde Gauss (MRFG2) ve rastgele ağaçlar (MRFR2) çekirdek fonksiyonlarının ayrı ayrı kullanılmasıdır. ikSVM, MRFG2 ve MRFR2 yöntemleri hakkında daha fazla bilgiye [5, 6] nolu çalışmalardan ulaşılabilir. Geliştirilen HESA yönteminin ikSVM, MRFG2 ve MRFR2 yöntemlerinden temel farkı, geleneksel ve derin öznelikleri bir arada kullanmasıdır. Bu sayede sınıflandırıcı için görüntülerden geleneksel özneliklerin yanında daha güçlü derin öznelikleri çıkartarak sınıflandırıcının ayırt edici gücü artırılmıştır.

Çizelge 3. Peta veri tabanındaki yaya özellik sınıflandırma sonuçları (Pedestrian attribute classification results in Peta dataset)

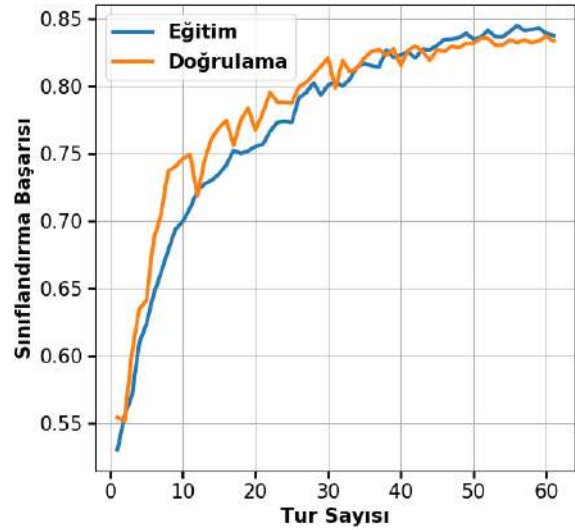
Yaya Özelliği	Yöntem			
	HESA	ikSVM	MRFg2	MRFr2
yaş16-30	81.08	80.40	81.70	83.80
yaş31-45	79.08	73.60	76.20	78.80
yaş46-60	79.35	73.10	75.20	76.40
yaş-60_ve_üstü	93.66	87.20	88.20	89.00
taşıma_sirt_çantası	73.79	66.70	67.10	67.20
taşıma_diğer	71.06	64.60	66.80	68.00
alt_giysi_gündelik	82.66	70.70	71.60	71.30
üst_giysi_gündelik	80.79	70.30	71.20	71.30
alt_giysi_resmi	85.98	71.00	71.80	71.90
üst_giysi_resmi	86.48	70.00	70.40	70.00
takı_şapka	93.19	82.30	84.30	86.70
ceket	80.21	67.70	68.40	67.90
kot	69.64	74.90	76.10	76.00
deri_ayakkabı	82.66	78.90	80.90	81.70
uzun_saç	86.92	71.50	72.60	72.80
cinsiyet_erkek	83.27	79.70	80.90	81.40
bel_çantası	78.16	71.80	74.30	75.50
takı_atkı	78.61	88.00	89.50	91.30
takı_yok	83.11	76.80	78.60	80.00
taşıma_yok	72.01	70.40	71.60	71.50
taşıma_naylon_poşet	87.32	74.90	75.50	75.50
sandalet	97.92	50.30	50.30	50.30
ayakkabı	77.58	70.60	72.50	73.60
şort	96.61	56.00	56.50	56.50
giysi_kısa_kol	72.90	71.30	71.80	71.60
spor_ayakkabı	69.35	67.50	69.00	69.30
takı_güneş_gözlüğü	96.84	52.40	52.40	51.70
pantolon	55.33	74.00	75.70	76.50
tişört	91.08	64.30	64.60	64.20
giysi_diğer	83.69	80.70	81.80	83.90
v_yaka	98.63	51.10	51.10	51.10
giysi_kareli	97.63	64.00	64.50	65.00
logo	95.76	51.10	51.10	50.70
giysi_çizgili	97.24	51.50	52.30	52.30
etek	92.79	64.00	64.00	64.30
Ortalama Doğruluk	83.78	69.52	70.59	71.11

Çizelge 3'teki sonuçlara bakıldığında, sınıflandırma için kullanılan 35 yaya özelliğinin 31 tanesinde önerilen HESA yöntemi diğer yöntemlere göre daha yüksek sonuçlar vermiştir. Çizelgenin son satırında görüleceği gibi, önerilen HESA yöntemi %83.78 oranında bir ortalama başarıya ulaşmıştır. Diğer yöntemler ise HESA yöntemine göre ortalama %13 oranında bir fark ile geride kalmıştır. Bunun temel sebebi geleneksel yöntemlerin yüksek seviyeli olmayan ve veriyi temsil etme kabiliyeti düşük olan öznelikler kullanmalarıdır. Yaya görüntülerinde bulunan ve daha önce bahsedilen zorluklar geleneksel özellik çıkartma yöntemlerini ciddi bir oranda zayıflatmıştır. Fakat önerilen yöntem bu zorluklardan kaçınmak için geleneksel özneliklerin yanında problem ve veri kümesine göre otomatik bir şekilde elde edilen derin öznelikleri de kullanmaktadır. Diğer yöntemlerin düşük başarılar gösterdiği logo, v_yaka, etek, kareli_giysi ve çizgili_giysi gibi insan özelliklerinde HESA yöntemi ortalama olarak %90 oranında başarılı sonuçlar vermiştir. Bunun temel sebebi; kıyafet gibi insan özellik tespitinde doku özneliği ifade eden aksesuarların tespit edilmesinde LM filtrelerinin elde ettiği dokusal özelliklerin sınıflandırmada HESA yöntemine büyük bir avantaj sağlamasıdır

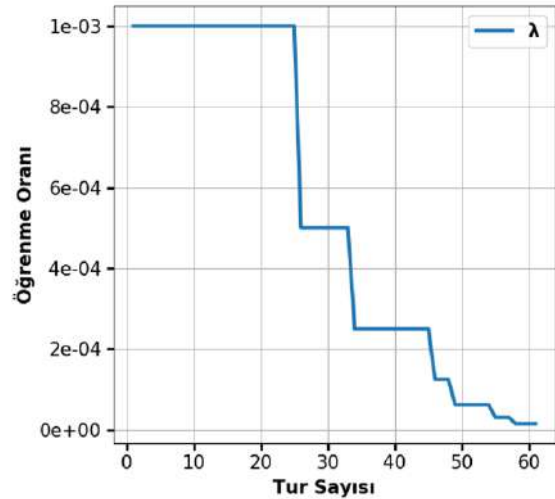
Bunun yanında logo, v_yaka, sandalet gibi LM filtreleri için oldukça zor problemler teşkil eden yaya aksesuarlarında ise HESA yöntemi uyarlamalı derin öznelikleri kullanarak diğer yöntemler karşısında avantajlı durumdadır. Bu sınıflar karşısında diğer yöntemler ise sadece renk ve dokusal öznelikleri kullandıkları için düşük sınıflandırma sonuçları üretmişlerdir. Bununla birlikte, veri kümesindeki kot, takı_atkı ve pantolan gibi yaya özelliklerinde MRF temelli yöntemler daha başarılı sonuçlar elde etmiştir. Kot pantolon gibi görüntüde belli oranda belirgin şekilde yer alan yaya özelliğinde piksel komşuluk bilgisi temelli çizge topoloji tekniği ile ayırt edici öznelikler çıkartılabilmektedir. 8 renk kanalı ve 21 doku kanalı ile üç farklı yaya özelliği daha iyi bir şekilde analiz edilebilmiştir. MRF temelli yöntemler 2784×1 boyutunda öznelik vektörü inşa etmiştir. Önerilen HESA yönteminde ise öznelik vektörü 256×1 boyutundadır. Sonuçlardan anlaşılacağı üzere bazı yaya özelliklerinde yüksek boyutlu özneliklerin MRFg2 ve MRFr2 yöntemlerine avantaj sağladığı anlaşılmıştır. Dolayısıyla daha yüksek başarılar elde etmiştir. ikSVM yönteminde ise, oldukça zor bir problem olan yaya özellik sınıflandırmada çıkartılan renk kanalı temelli öznelikler yetersiz kalmış ve dolayısıyla daha düşük sonuçlar elde edilmiştir. Genel olarak bakıldığında, özellikle benzer renk ve doku bilgisi içeren yaya aksesuarları sınıflarında MRFg2, MRFr2 ve DVM tabanlı yöntemler gürültü ve görüntülerin üst üste çakışması gibi istenmeyen durumlardan olumsuz etkilenmiştir.

Önerilen HESA yönteminin yüksek sınıflandırma başarıları elde etmesinde oldukça önemli bir katkıyı ise kullanılan *ReduceLROnPlateau* modeli sağlamıştır. Bu model sayesinde geliştirilen derin ağ mimarisi dinamik

bir öğrenme oranı kullanarak eğitim sürecinde ağ mimarisini daha güçlü bir şekilde eğitebilmiştir



(a)



(b)

Şekil 5. Cinsiyet sınıflandırma için öğrenme oranı ve sınıflandırma oranının analizi. (a) sınıflandırma başarıları, (b) öğrenme oranı. (Classification accuracy (a) and learning rate (b) Analysis of learning rate and classification accuracy for gender classification. (a) classification success, (b) learning rate).

ReduceLROnPlateau modelinde derin ağ mimarisi eğitim sürecinin hemen başında yüksek öğrenme oranı kullanmış ve böylece ağ mimarisinin belli bir noktaya kadar büyük adımlar atarak hızlı bir öğrenme stratejisine sahip olması hedeflenmiştir. Bu noktadan sonra öğrenme oranı düşürülerek daha yavaş fakat detaylı bir öğrenme modeline geçilmiştir. Örnek olarak veri tabanında bulunan yaya cinsiyet sınıflandırmasının eğitim süresince öğrenme oranındaki geçişler ve elde ettiği başarı oranı Şekil 5'te verilmiştir. Burada görüldüğü gibi öğrenme oranının sırasıyla 26, 33 ve 46'inci tur sayılarında ezberlemeden uzak olmakla birlikte kararlı ve tutarlı değişimler gösterdiği görülmektedir.

5. SONUÇ (CONCLUSION)

Günümüzde oldukça popüler olan ESA mimarileri birçok farklı problemde oldukça yüksek başarılar sunmaktadır. Fakat ESA mimarileri yüksek başarılar karşısında güçlü bir eğitim veri kümesine ihtiyaç duymaktadır. Önerilen HESA mimarisi sayesinde veri kümesinin kısıtlı olduğu problemler için doku tabanlı öznelik çıkartan LM filtreleri ile derin öznelikleri birleştiren güçlü bir özellik çıkartma ve sınıflandırma yapısı oluşturulmuştur. Oluşturulan bu hibrit ESA mimarisi oldukça zor bir problem olan yaya özellik tanıma problemine uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlara bakıldığında, bu mimari sayesinde daha güçlü bir ESA mimarisi geliştirme olanağı sağlanabileceği görülmüştür.

İleriki dönemlerde ESA mimarisi için LM filtre özneliklerinin yanında, farklı geleneksel öznelikler eklenerek daha güçlü derin öğrenme mimarileri geliştirmek için çalışmalar yapılacaktır. Ayrıca otokodlayıcı temelli derin öğrenme mimarilerinin geleneksel özellik çıkartma yöntemleri ile birlikte kullanılmalarının etkilerini gözlemek üzere çalışmalar yapılması planlanmaktadır.

6. KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] R. Layne, T. M. Hospedales, and S. Gong, "Attributes-Based Re-identification", *Person Re-Identification*, London: Springer London, 93–117, (2014).
- [2] M. Hirzer, C. Belezni, P. M. Roth, and H. Bischof, "Person Re-identification by Descriptive and Discriminative Classification", *Scandinavian conference on Image analysis*, Springer, Berlin, Heidelberg, 91–102, (2011).
- [3] L. Cao, M. Dikmen, Y. Fu, and T. S. Huang, "Gender recognition from body", *Proceeding of the 16th ACM international conference on Multimedia*, New York, New York, USA: ACM Press, 725–728, (2008).
- [4] J. Zhu, S. Liao, Z. Lei, and S. Z. Li, "Multi-label convolutional neural network based pedestrian attribute classification", *Image Vis. Comput.*, 58: 224–229, (2017).
- [5] Y. Deng, P. Luo, C. C. Loy, and X. Tang, "Pedestrian Attribute Recognition At Far Distance", *Proceedings of the ACM International Conference on Multimedia - MM '14*, New York, New York, USA: ACM Press, 789–792, (2014).
- [6] Y. Deng, P. Luo, C. C. Loy, and X. Tang, "Learning to Recognize Pedestrian Attribute", *arXiv Prepr. arXiv1501.00901*, (2015).
- [7] R. Layne, T. M. Hospedales, and S. Gong, "Towards Person Identification and Re-identification with Attributes", *European Conference on Computer Vision*, Springer, Berlin, Heidelberg, 402–412, (2012).
- [8] T. Matsukawa and E. Suzuki, "Person re-identification using CNN features learned from combination of attributes", *2016 23rd International Conference on Pattern Recognition (ICPR)*, 2428–2433, (2016).
- [9] E. S. Jaha and M. S. Nixon, "Soft biometrics for subject identification using clothing attributes", *IEEE International Joint Conference on Biometrics*, 1–6, (2014).
- [10] L. An, Xiaojing Chen, M. Kafai, S. Yang, and B. Bhanu, "Improving person re-identification by soft biometrics based reranking", *2013 Seventh International Conference on Distributed Smart Cameras (ICDSC)*, 1–6, (2013).
- [11] J. Friedman, T. Hastie, and R. Tibshirani, "Additive logistic regression: a statistical view of boosting (With discussion and a rejoinder by the authors)", *Ann. Stat.*, 28(2): 337–407, (2000).
- [12] J. Zhu, S. Liao, Z. Lei, D. Yi, and S. Li, "Pedestrian Attribute Classification in Surveillance: Database and Evaluation", *The IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV) Workshops*, 331–338, (2013).
- [13] J. Zhu, S. Liao, Z. Lei, and S. Z. Li, "Improve Pedestrian Attribute Classification by Weighted Interactions from Other Attributes", *Computer Vision - ACCV 2014 Workshops. ACCV 2014. Lecture Notes in Computer Science*, 545–557, (2014).
- [14] L. Bourdev, S. Maji, and J. Malik, "Describing people: A poselet-based approach to attribute classification", *2011 International Conference on Computer Vision*, 1543–1550, (2011).
- [15] C. Su, S. Zhang, J. Xing, W. Gao, and Q. Tian, "Deep Attributes Driven Multi-Camera Person Re-identification", *European conference on computer vision*, 475–491, (2016).
- [16] J. Zhu, S. Liao, D. Yi, Z. Lei, and S. Z. Li, "Multi-label CNN based pedestrian attribute learning for soft biometrics", *2015 International Conference on Biometrics (ICB)*, 535–540, (2015).
- [17] P. Liu, X. Liu, J. Yan, and J. Shao, "Localization Guided Learning for Pedestrian Attribute Recognition", *Localization Guid. Learn. Pedestr. Attrib. Recognit.*, (2018).
- [18] A. J. O'Toole, C. D. Castillo, C. J. Parde, M. Q. Hill, and R. Chellappa, "Face Space Representations in Deep Convolutional Neural Networks", *Trends Cogn. Sci.*, 22(9): 794–809, (2018).
- [19] Y. Seo and K. Shin, "Hierarchical convolutional neural networks for fashion image classification", *Expert Syst. Appl.*, 116: 328–339, (2019).
- [20] L. A. Gatys, A. S. Ecker, and M. Bethge, "Texture and art with deep neural networks", *Curr. Opin. Neurobiol.*, 46, 178–186, (2017).
- [21] K. Simonyan and A. Zisserman, "Very Deep Convolutional Networks for Large-Scale Image Recognition", *arXiv preprint arXiv:1409.1556*, (2014).
- [22] "CS231n Convolutional Neural Networks for Visual Recognition." [Online]. Available: <http://cs231n.github.io/convolutional-networks/#conv>. [Accessed: 17-Dec-2018].



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

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



CuZn39Pb3 malzemenin torna tezgâhında işlenmesinde oluşan akım, ses şiddeti, titreşim ve yüzey pürüzlülük değeri arasındaki ilişkinin incelenmesi

Investigation of the relationship between current, sound intensity, vibration and surface roughness in machining of CuZn39Pb3 material on lathe machine

Yazar(lar) (Author(s)): Abidin ŞAHİNOĞLU¹, Abdulkadir GÜLLÜ²

ORCID¹: 0000-0003-0040-442X

ORCID²: 0000-0003-1088-4105

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Şahinoğlu A. ve Güllü A., “CuZn39Pb3 malzemenin torna tezgahında işlenmesinde oluşan akım, ses şiddeti, titreşim ve yüzey pürüzlülük değeri arasındaki ilişkinin incelenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 23(3): 615-624, (2020).

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

DOI: 10.2339/politeknik.426106

CuZn39Pb3 Malzemenin Torna Tezgâhında İşlenmesinde Oluşan Akım, Ses Şiddeti, Titreşim ve Yüzey Pürüzlülük Değeri Arasındaki İlişkinin İncelenmesi

Investigation of the Relationship Between Current, Sound Intensity, Vibration and Surface Roughness in Machining of CuZn39Pb3 Material on Lathe Machine

Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ İşleme anında oluşan titreşim analizi (Vibration analysis during processing)
- ❖ Kesme anındaki ses şiddeti analizinin yapılması (Analysis of sound intensity at the time of cutting)
- ❖ Matematiksel modellerin çıkarılması (Creation of mathematical model)
- ❖ Yüzey pürüzlülük değerinin analizi (Analysis of surface roughness value)
- ❖ Anlık akım değerinin analizi Analizi (Analysis of instantaneous current value)

Grafik Özet (Graphical Abstract)

CuZn39Pb3 malzemenin işlenmesinde kesme parametrelerinin oluşan ses şiddeti, akım değeri, titreşim değeri ve yüzey pürüzlülük değeri üzerindeki etkisi incelenmiştir.



Şekil. Deney seti / Figure. Experimental setup

Amaç (Aim)

CuZn39Pb3 malzemenin işlenmesinde kesme parametrelerinin oluşan ses şiddeti, akım değeri, titreşim değeri ve yüzey pürüzlülük değeri üzerindeki etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Ful faktöriyel deney tasarımı yapılmış ANOVA ve RSM yöntemi kullanılarak veriler analiz edilmiştir.

Özgünlük (Originality)

CuZn39Pb3 malzeme CNC tornada farklı kesme parametrelerinin oluşan ses, titreşim, anlık akım değeri ve yüzey pürüzlülük değeri üzerindeki etkisi bir arada incelenmiş ve matematiksel modeller oluşturulmuştur.

Bulgular (Findings)

Yüzey pürüzlülük, anlık akım değeri, titreşim ve ses şiddeti arasında güçlü bir ilişki vardır. Titreşim değerinin artması ses şiddetinin artmasına neden olmaktadır. ses şiddeti, titreşim anlık akım değeri ve yüzey pürüzlülük değeri üzerinde en etkili parametre ilerleme miktarıdır.

Sonuç (Conclusion)

Artan ilerleme miktarı ile ses şiddeti, titreşim değeri, anlık akım değeri ve yüzey pürüzlülük değeri artmıştır. Yüzey pürüzlülük değeri üzerinde en etkili parametre ilerleme miktarıdır.

Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

CuZn39Pb3 Malzemenin Torna Tezgâhında İşlenmesinde Oluşan Akım, Ses Şiddeti, Titreşim ve Yüzey Pürüzlülük Değeri Arasındaki İlişkinin İncelenmesi

Araştırma Makalesi / Research Article

Abidin ŞAHİNOĞLU^{1*}, Abdulkadir GÜLLÜ²

¹Meslek Yüksek Okulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Çankırı Karatekin Üniversitesi, Türkiye

²Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye

(Geliş/Received : 23.05.2018 ; Kabul/Accepted : 14.04.2019)

ÖZ

Gelişen teknoloji ve artan talep miktarını karşılamak üzere talaşlı imalata yönelik birçok araştırma yapılmaktadır. Bunların önemli bir kısmı kesme parametreleri ile yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması ve kesme kuvvetlerinin ilişkisinin incelenmesi şeklinde olmuştur. Son yıllarda yapılan çalışmalarda titreşim, ses şiddeti ve tezgâhın çektiği akım değeri ile takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri arasında ilişki kurulmuştur. Bu çalışmada CNC torna tezgâhında, kuru kesme şartlarında, CuZn39Pb3 malzeme, 4 farklı ilerleme, 5 farklı talaş derinliği ve 4 farklı kesme hızında oluşan ses şiddeti, titreşim, tezgâhın çektiği akım değeri ve yüzey pürüzlülük değerleri arasındaki ilişki incelenmiştir. RSM (Response Surface Methodology) ile analiz edilmiştir. Optimum kesme parametreleri belirlenmiştir. İlerleme miktarı arttıkça yüzey pürüzlülük, ses şiddeti, titreşim ve tezgâhın çektiği akım değerinin arttığı görülmüştür. Titreşim değeri arttıkça, yüzey pürüzlülük değerinin ve ses şiddetinin arttığı görülmüştür. Tezgâh akım değerinin artması ile ses şiddetinin arasında güçlü bir ilişki olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: CuZn39Pb3, ses şiddeti, titreşim, güç tüketimi, yüzey pürüzlülüğü, ANOVA, RSM.

Investigation of the Relationship Between Current, Sound Intensity, Vibration and Surface Roughness in Machining of CuZn39Pb3 Material on Lathe Machine

ABSTRACT

Numerous researches are being carried out for machining to meet the growing technology and increasing demand. A significant part of them has been the examination of the relationship between cutting parameters and surface roughness, tool wear and cutting forces. In recent years, researches are explained that vibrations, sound level and current value of the machine have been related to tool wear, surface roughness and cutting forces. With more economical and easy to use measurements, the machining process is more understandable and controllable. In this study, the relationship between CuZn39Pb3 material in the CNC lathe machine, under the dry cutting conditions, 4 different feed rate, 5 different depth of cuts and 4 different cutting speeds effect on sound level, vibration, current value and surface roughness values. Analysed by RSM (Response Surface Methodology). Optimum cutting parameters are determined. As the increased of feed rate, surface roughness, Sound level, vibration and current value of the machine increased. Vibration value residue, surface roughness value and sound level increased. It was investigated that there is a strong correlation between the increase of the machine current value and the sound level.

Keyword: CuZn39Pb3, sound level, vibration, machine current, surface roughness, ANOVA, RSM

1.GİRİŞ (INTRODUCTION)

CuZn39Pb3 malzemeler endüstride korozyon direncinin yüksek olması ve dekoratif görünümünden dolayı başta hidrolik ekipmanlar, mermi kapsülleri, rekorlar, somunlar, civatalar, vanalarda, elektrik armatürleri, kapı kolları olmak üzere birçok alanda kullanılmaktadır [1].

Son yıllarda bu alanda birçok çalışma yapılmıştır [2-5].

Hızla gelişen teknoloji ve talepler daha kaliteli ve yüksek devirli makinaların kullanımını gerekli kılmıştır.

İş parçası yüzey pürüzlülük değerinin düşük olması, makine parçalarının daha uzun süre, daha verimli çalışmasını sağlamaktadır. Pürüzlülük değerinin artması sürtünmenin artmasına dolayısı ile sıcaklığın artmasına. İş parçasının ömrünün kısılmasına ve enerji sarfiyatının artmasına neden olmaktadır. Ayrıca yüzey kalitesi iş parçalarının vuruntusuz çalışmasında da büyük öneme sahiptir. Bundan dolayı yüzey pürüzlülüğü ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır [6-7]. Bu çalışmaların önemli bir kısmı en uygun kesme parametrelerini belirleme şeklinde olmuştur [8-11]. İlerleme miktarındaki artış yüzey pürüzlülük değerlerini olumsuz etkilediği görülmüştür [12-16].

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

CuZn39Pb3 malzemenin işlenmesinde oluşan aşırı titreşimler, ses şiddetinin yüksek olmasına neden olmaktadır. Yüksek ses şiddeti çalışma ortamında kısmi veya kalıcı duyma kayıplarına neden olmaktadır. Titreşimler yüzey pürüzlülüğüne, takımların hızla aşınmasına, enerji tüketimin artmasına, işleme süresinin uzamasına ve tezgâh zarar görmesine neden olur [17-18]. Bundan dolayı tezgâhlarında titreşim konusunda birçok çalışma yapılmıştır [19-20]. Titreşim değerlerinin bilinmesi ve kesme parametrelerinin buna göre belirlenmesi büyük önem taşımaktadır [21-23].

Talaşlı imalatta enerji sarfiyatının önemi büyüktür. İmalatın ekonomik olması rekabet için önem taşımaktadır. Bundan dolayı enerji tüketimi konusunda birçok araştırma yapılmıştır [24-27]. Ekonomik bir imalat için kesme parametreleri ile enerji tüketimi arasındaki ilişkinin bilinmesi gerekir [28-29].

Diğer taraftan enerji üretimi için başta fosil yakıtlardan yararlanılmaktadır. Bu yakıtların kullanılması karbon yayılımına neden olmaktadır. Bu durum ise çevresel dengenin bozulmasına ve iklimin bozulmasına neden olur. Bundan dolayı en az enerji tüketimi ile en çok iş parçası üretimi büyük önem taşımaktadır.

Yapılan literatür taramasında RSM yönetimi bir çok çalışmada kullanılarak en uygun işleme için en uygun kesme parametreleri belirlenmiştir [30-34]. Bu yöntem kullanılarak karmaşık olan imalat süreci daha kolay anlaşılır hale gelmiştir.

İki değişkenin arasındaki ilişki korelasyon katsayısı ile hesaplanır. -1 negatif yönlü güçlü bir ilişkiyi, +1 pozitif yönlü güçlü bir ilişkiyi, 0 ise değişkenler arasında ilişkinin olmadığını ifade eder.

Yapılan literatür taramasında, talaşlı imalata kesme parametrelerinin ölçülen ses şiddeti, titreşim, yüzey pürüzlülüğü, akım değeri ile olan ilişkileri açıklanmıştır. Bu konuda yapılmış olan buluş [36] ve akademik çalışmalar talaşlı imalata önemli katkılar sağlayacağı öngörülmektedir. Bu çalışmada CuZn39Pb3 malzemelerde kesme parametreleri ile ses şiddeti, titreşim, yüzey pürüzlülük ve tezgâhta çekilen akım değerleri arasındaki ilişki açıklanarak talaşlı imalat sürecinin kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesine gereksinim duyulmuştur. Ayrıca bu değerlerin birbiri üzerindeki etkilerin tanımlanması talaşlı imalat sürecini daha anlaşılır ve daha etkili olmasını sağlayacaktır. Bu bağlamda bu deneysel çalışmaların yapılmasına gereksinim duyulmuştur.

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

Yapılan deneysel çalışmada kullanılan malzeme, kesme parametreleri, kesici takım, tezgâh, kullanılan cihazlar ve yöntemle dair bilgiler dört alt başlık şeklinde açıklanmıştır.

2.1. Deneysel numuneleri (Experiment samples)

Deneysel çalışmalarda CuZn39Pb3 malzeme kullanılmıştır. Malzeme %57 Cu (bakır), %2.5 Pb(kurşun), geri kalan kısım ise Zn (çinko) dan

oluşmaktadır. Yoğunluğu 8.5 gr/cm^3 tür. 50 mm çapındaki numuneler 100 boyundan kesilip, kuru kesme şartlarında tornalama işlemine tabi tutulmuştur.

2.2 İşleme parametreleri (Cutting Parameters)

Kesme parametreleri belirlenirken, mevcut literatür çalışmalarında, kesici takım için önerilen kesme değerlerinden yararlanılmıştır. Çizelge 2. de kesme parametreleri ve seviyeleri belirtilmiştir.

Çizelge 1. Kesme parametreleri ve seviyeler (Cutting parameters and their levels)

Parametreler	S.	Birim	Seviyeler				
			1	2	3	4	5
Kesme hızı	v	m/min	50	75	100	125	
İlerleme miktarı	f	mm/rev	0.1	0.2	0.3	0.4	
Talaş derinliği	d	mm	1	1.5	2	2.5	3

2.3. Deneysel kullanılan Tezgâh, Kesici Takım ve Ölçme Cihazları (Late Machine, Tools and Measuring Instruments Used In Experiments)

Tornalama işlemi Taksan firmasına ait TTC 630 model CNC torna tezgâhta yapılmıştır. Kesici uç olarak, TaeguTec firması tarafından üretilen WNMG 080408 MT kodlu, TT5100 kalitede TİN kaplamalı türü kullanılmıştır. Takım tutucu olarak MBC firmasına ait MWLNR 25x25 M08 model kullanılmıştır.

Ses şiddeti, ortam sesinin en az olduğu zaman aralığında, Lutron SL-401 ses şiddeti ölçüm cihazı ile Slow pozisyonunda ölçülmüştür. Cihaz ile ayna arasındaki uzaklık 1 m dir.

Titreşim ölçümü için Pro Vibro marka PVM 303 model cihaz kullanılmıştır. Cihazın mıknatıslı probu, tezgâhın aynasına tutturulmuştur. Cihazın mm/s konumunda ölçme yapmıştır.

Bir fazdan geçen Akım değeri UNI-T UT201 pensampermetre ile ölçülmüştür. Akım değeri üç ile çarpılarak toplam akım değeri hesaplanmıştır.

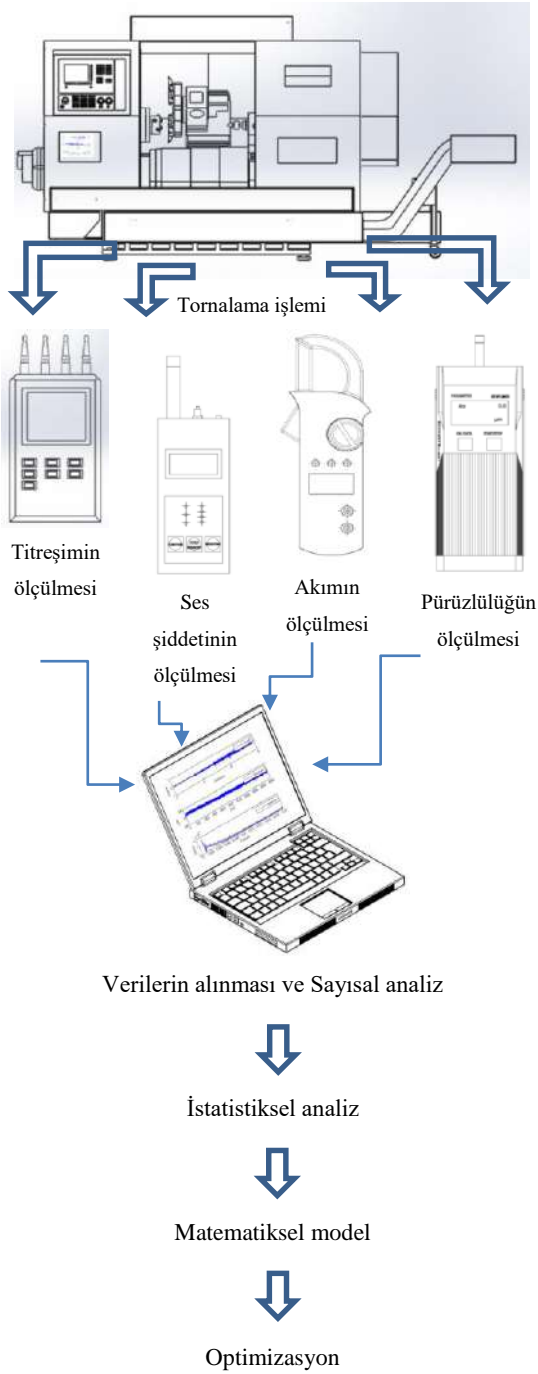
Yüzey pürüzlülük değeri Mitutoyo SJ 201 pürüzlülük ölçüm cihazı ile 0.8 mm örnekleme uzunluğu seçilerek ölçülmüştür. Her bir değer için 3 ayrı noktada ölçüm alınmış ve ortalama pürüzlülük değeri hesaplanmıştır.

Şekil 1 de Deneysel düzeni görülmektedir.



Şekil 1. Deneysel düzeni (Experimental setup)

Deneyel çalışmalarda titreşim, ses şiddeti ve akım değeri anlık olarak alınıp kaydedilmiştir. Her bir deneyel çalışmadan sonar iş parçası aynadan alınıp yüzey pürüzlülük değeri ölçülmüştür.



Şekil 2. Organizasyon şeması (Organization chart)

İşleme deneylerinin uygulanış sıralaması ve yöntemler şekil 2 de gösterilmiştir.

2.4. Verilerin analizi (Data analysis)

Deneyel çalışmalarda elde edilen verilerin istatistiksel analizinde, Minitap 16 paket programı kullanılmıştır. RSM (Response Surface Methodology) yöntemi tercih edilmiştir. 2. Dereceden regresyon formülleri çıkartılmış, optimum değerler belirlenmiştir.

3. DENEYSEL BULGULAR (EXPERIMENTAL RESULT)

Kesme parametrelerinin ses şiddeti, titreşim, akım ve yüzey pürüzlülük değeri üzerinde etkileri incelemek üzere 81 adet deneyel çalışma yapılmıştır. Elde edilen veriler Çizelge 3 te verilmiştir.

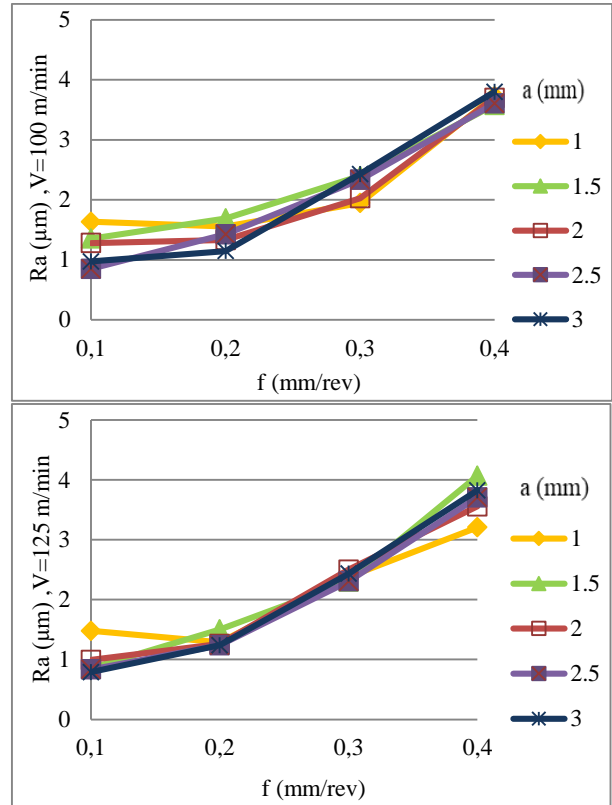
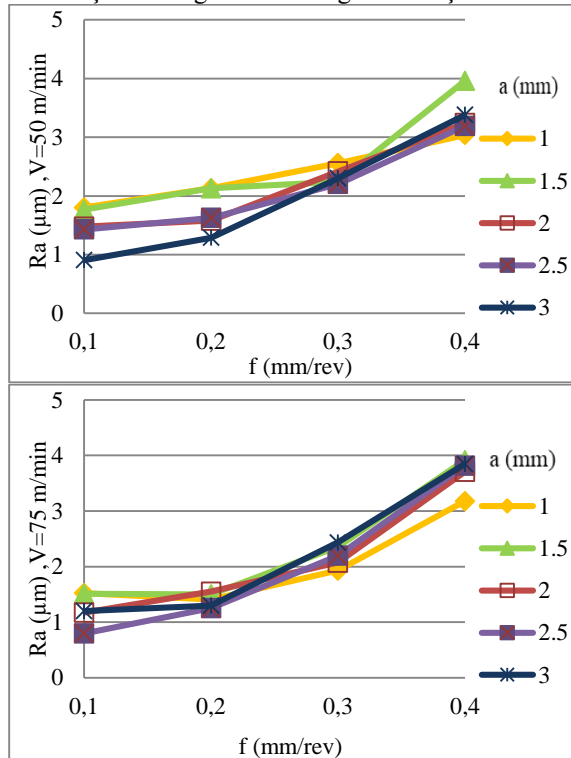
Çizelge 2. Titreşim, ses şiddeti, akım ve yüzey pürüzlülük için deneyel sonuçlar (Experimental results for vibration, sound level, current and surface roughness)

Exp.No	a (mm)	V (m/dak)	f (mm/dev)	Vib. (mm/s)	Sound L. (dB)	Current (A)	Ra (µm)
1	1	50	0,1	0,1	74,6	6,78	1,80
2	1	50	0,2	0,2	82,1	6,63	2,13
3	1	50	0,3	0,4	85,8	6,24	2,56
4	1	50	0,4	0,5	96	7,5	3,04
5	1	75	0,1	0,2	74,5	6,87	1,52
6	1	75	0,2	0,2	79,4	7,17	1,41
7	1	75	0,3	0,3	83,6	7,53	1,93
8	1	75	0,4	0,5	88	7,53	3,18
9	1	100	0,1	0,2	74,2	7,89	1,63
10	1	100	0,2	0,3	77,3	8,31	1,56
11	1	100	0,3	0,4	84,2	8,88	1,95
12	1	100	0,4	0,7	88,9	9,24	3,72
13	1	125	0,1	0,3	73,4	8,16	1,48
14	1	125	0,2	0,3	76,3	9,18	1,29
15	1	125	0,3	0,4	82,5	9,45	2,38
16	1	125	0,4	0,6	86,7	10,41	3,21
17	1,5	50	0,1	0,1	81	5,7	1,76
18	1,5	50	0,2	0,2	85	6,03	2,13
19	1,5	50	0,3	0,3	89	6,33	2,24
20	1,5	50	0,4	0,7	94	6,54	3,96
21	1,5	75	0,1	0,1	74	6,9	1,51
22	1,5	75	0,2	0,2	86	7,38	1,50
23	1,5	75	0,3	0,3	90	7,89	2,36
24	1,5	75	0,4	0,5	90	8,37	3,92
25	1,5	100	0,1	0,1	74	7,98	1,35
26	1,5	100	0,2	0,2	80	8,64	1,69
27	1,5	100	0,3	0,4	88	9,42	2,40
28	1,5	100	0,4	0,5	90	9,6	3,58
29	1,5	125	0,1	0,3	73	8,49	0,86
30	1,5	125	0,2	0,2	77	9,42	1,50
31	1,5	125	0,3	0,3	86	10,38	2,30
32	1,5	125	0,4	0,5	92	11,22	4,07
33	2	50	0,1	0,1	76	5,97	1,48
34	2	50	0,2	0,2	85	6,27	1,58
35	2	50	0,3	0,7	86	6,66	2,42
36	2	50	0,4	0,9	96	6,96	3,24
37	2	75	0,1	0,3	78	7,26	1,17
38	2	75	0,2	0,3	79	7,83	1,55
39	2	75	0,3	0,4	85	8,52	2,07
40	2	75	0,4	0,8	93	9,03	3,71
41	2	100	0,1	0,2	73	8,46	1,28
42	2	100	0,2	0,3	81	9,42	1,33
43	2	100	0,3	0,4	84	10,29	2,03
44	2	100	0,4	0,7	90	11,19	3,70
45	2	125	0,1	0,2	73	8,64	0,99
46	2	125	0,2	0,3	76	9,54	1,26
47	2	125	0,3	0,4	87	11,19	2,50
48	2	125	0,4	0,7	89	12,15	3,56
49	2,5	50	0,1	0,1	78	6,6	1,43

50	2,5	50	0,2	0,2	85	7,05	1,63
51	2,5	50	0,3	0,8	94	7,59	2,20
52	2,5	50	0,4	1,2	96	7,98	3,19
53	2,5	75	0,1	0,2	74	8,1	0,80
54	2,5	75	0,2	0,3	82	8,88	1,25
55	2,5	75	0,3	0,4	91	9,78	2,20
56	2,5	75	0,4	1	101	10,5	3,82
57	2,5	100	0,1	0,1	73	8,94	0,85
58	2,5	100	0,2	0,3	80,3	10,14	1,43
59	2,5	100	0,3	0,5	89	9,51	2,34
60	2,5	100	0,4	0,8	91	12,51	3,60
61	2,5	125	0,1	0,3	73,9	9,33	0,84
62	2,5	125	0,2	0,4	78,5	10,86	1,24
63	2,5	125	0,3	0,6	88	12,21	2,31
64	2,5	125	0,4	0,7	90	12,51	3,71
65	3	50	0,1	0,1	74	6,9	0,91
66	3	50	0,2	0,3	82	7,56	1,29
67	3	50	0,3	0,9	93	8,1	2,30
68	3	50	0,4	1,4	99	8,7	3,38
69	3	75	0,1	0,2	72,4	7,8	1,20
70	3	75	0,2	0,3	78	9,6	1,30
81	3	75	0,3	0,7	90	10,71	2,44
72	3	75	0,4	1,2	92	11,7	3,85
73	3	100	0,1	0,2	72,5	9	0,97
74	3	100	0,2	0,3	76,2	10,32	1,15
75	3	100	0,3	0,5	85,6	11,4	2,43
76	3	100	0,4	1	93	13,2	3,80
77	3	125	0,1	0,4	72,8	9,24	0,79
78	3	125	0,2	0,5	77	10,8	1,24
79	3	125	0,3	0,6	86,7	12,54	2,43
80	3	125	0,4	0,8	96	14,16	3,83

3.1 Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğü Üzerinde Etkileri (Cutting Parameters Effects on Surface Roughness)

Kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkileri şekil 3 te grafik olarak gösterilmiştir.

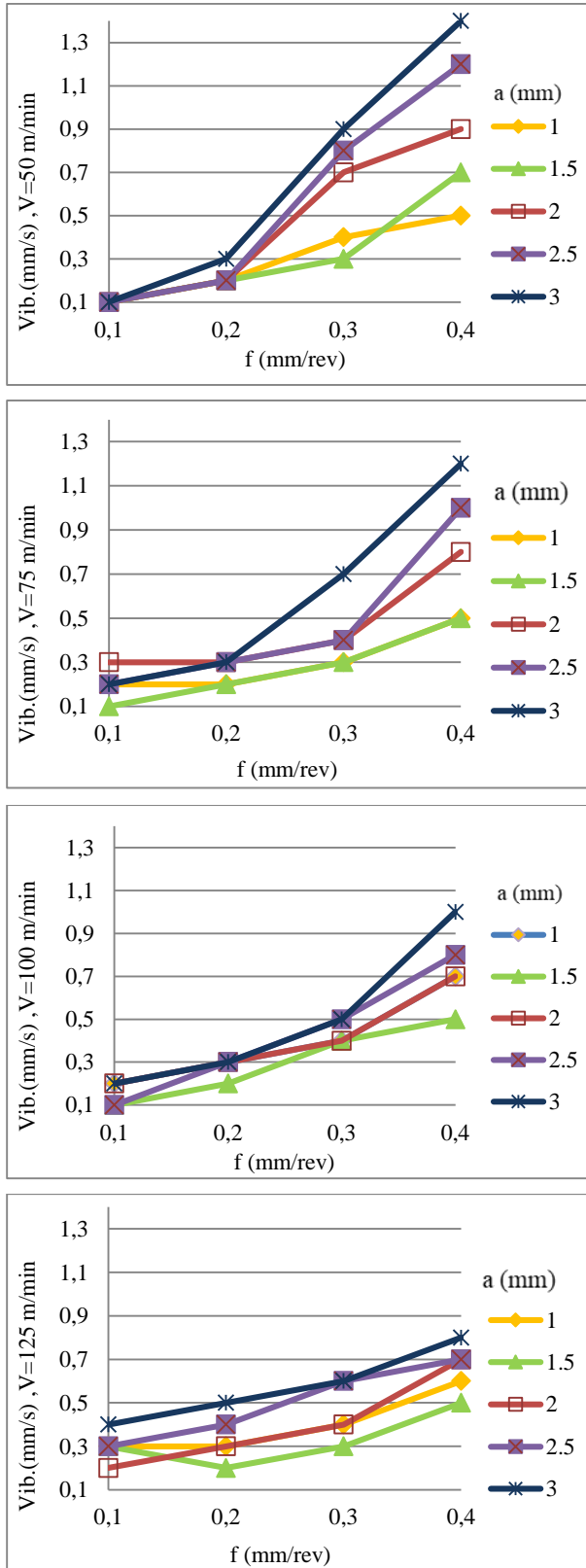


Şekil 3 Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğü Üzerinde Etkileri (Cutting Parameters Effects on Surface Roughness)

Şekil 3 te görüldüğü üzere, ilerleme miktarı arttıkça yüzey pürüzlülük değerlerinin artmaktadır. Literatürdeki birçok çalışmada benzer sonuçlar elde edilmiştir [12-16]. Yapılan bu deneysel çalışmada, talaş derinliği ve kesme hızının belirgin bir etkisi görülmemektedir. Karabulut ve Şahinoğlu [22] R260 çelik malzemeyi freze tezgâhında kesme işleminde tabi tutmuş ve talaş derinliğinin, yüzey pürüzlülük değeri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu sonucuna varmıştır. Bu durum deneylerin yapıldığı tezgâh rijitliğinin düşük olması (yatak ve şanzımandan kaynaklanan boşluk ve hatalar) ve düşük talaş derinliklerinde titreşiminin yüksek olmasından kaynaklanması muhtemeldir. Ayrıca işlenen malzeme yüksek titreşim ile sertleşme özelliğine sahiptir. Bundan dolayı bu tür malzemeleri tek pasoda işlemeye özen gösterilmektedir. Tezgâh yüksek talaş derinliklerinde yüke bindiği için titreşim azalmaktadır. Dolayısı ile daha iyi bir yüzey kalitesi elde edilmektedir.

3.2 Kesme Parametrelerinin Titreşim Üzerinde Etkileri (Cutting Parameters Effects on Vibration)

Kesme parametrelerinin titreşim üzerinde etkileri şekil 4 te grafik olarak gösterilmiştir



Şekil 4. Kesme Parametrelerinin Titreşim Üzerinde Etkileri (Cutting Parameters Effects on Vibration)

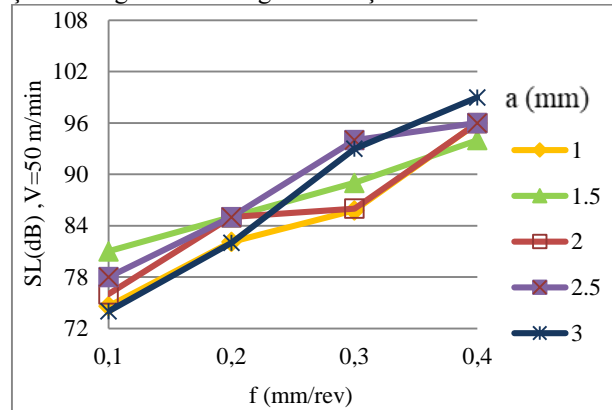
Şekil4 te ilerleme miktarındaki artışa bağlı olarak titreşim değerlerinin arttığı görülmüştür. Literatürde farklı malzemelerde de benzer sonuçlar görülmektedir

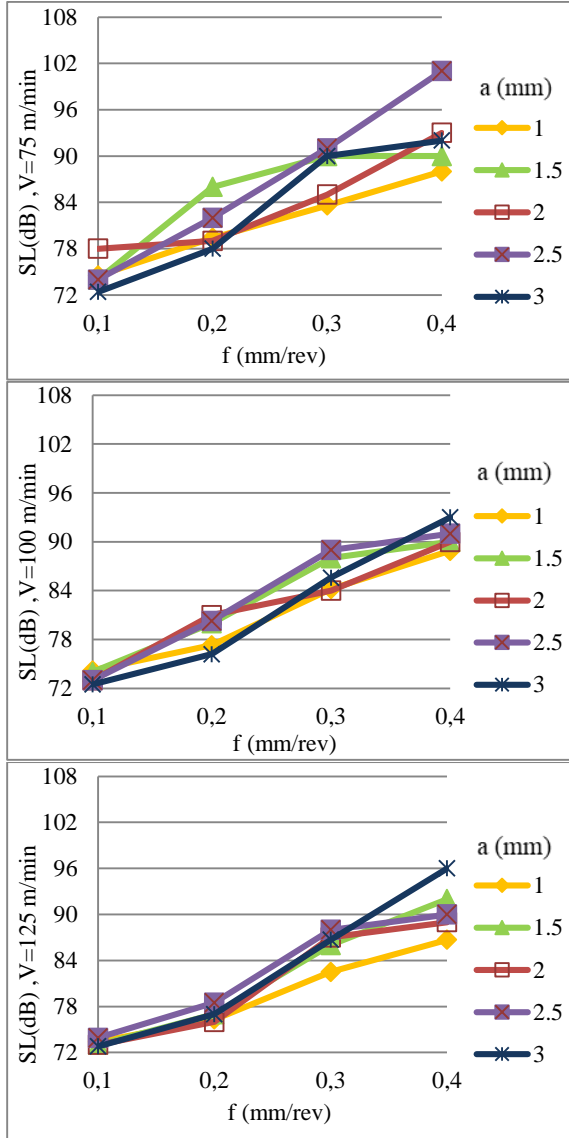
[23]. Ayrıca talaş derinliğindeki artış, titreşimin artması neden olmaktadır. Tezgâhta, talaş derinliği ve ilerleme miktarındaki artışa bağlı olarak yüklenme miktarı da artmakta bu durum titreşimin artmasına neden olmaktadır. Kesme hızındaki artış ise birim zamandaki tezgâh yükünün azalmasını sağlamaktadır. Aslan ve diğerleri [11] yaptığı çalışmada kesme hızı arttıkça, talaş derinliği ve ilerleme miktarı azaldıkça takım ömrünün arttığını belirtmiştir. Başka bir ifade ile birim zamanda talaş kaldırmaya bağlı olarak yükün azalması takım ömrünün artmasını sağlamaktadır. Bu durum yapmış olduğumuz çalışmada kesme hızı arttıkça, ilerleme miktarı ve talaş derinliği azaldıkça titreşimin azaldığını ve azalan titreşimin takım ömrünü arttırdığını izah etmek için önem teşkil etmektedir. Ayrıca kesme hızının artması, talaş derinliği ve ilerleme miktarının azalması durumunda tezgâhtaki yük miktarının azaldığı şekil 6 te kesme parametreleri ve akım ilişkisinin verildiği grafiklerde görülmektedir. Yine literatür çalışmaları incelendiği zaman kesme hızı arttıkça takım ömrünün azaldığı görülmektedir [14,31].bu durum kısa zamanda çok miktarda talaş kaldırılmasından kaynaklanmaktadır. Aynı hacimde kaldırılan talaş miktarında ise kesme hızının artırılması takım ömrüne olumlu katkı sağladığı vurgulanmıştır. Bu durum yüksek kesme hızlarında titreşimin azalması ve bu titreşimlerdeki azalmaya bağlı olarak takım ömrünün artmasından kaynaklandığı öngörülmektedir. Benzer şekilde kesme hızındaki artış kesme kuvvetlerinin azalmasına neden olmaktadır [31]. Bu durumda birim zamanda takıma binen yükün azalmasından kaynaklanmaktadır.

Titreşimdeki artışın takım ömrünü azalttığı vurgulanması titreşim değerinin ölçülmesinin önemini vurgulaması bağlamında önemlidir [37]. Ayrıca titreşim değerleri ile kesme kuvvetleri arasındaki ilişkinin vurgulanması çok daha ekonomik yöntemler ile kesme kuvvetlerinin tahmin edilebilirliğini vurguladığı için önem taşımaktadır.

3.3 Kesme Parametrelerinin Ses Seviyesi Üzerinde Etkileri (Cutting Parameters Effects on Sound Level)

Kesme parametrelerinin Ses şiddeti üzerinde etkileri şekil 5 te grafik olarak gösterilmiştir



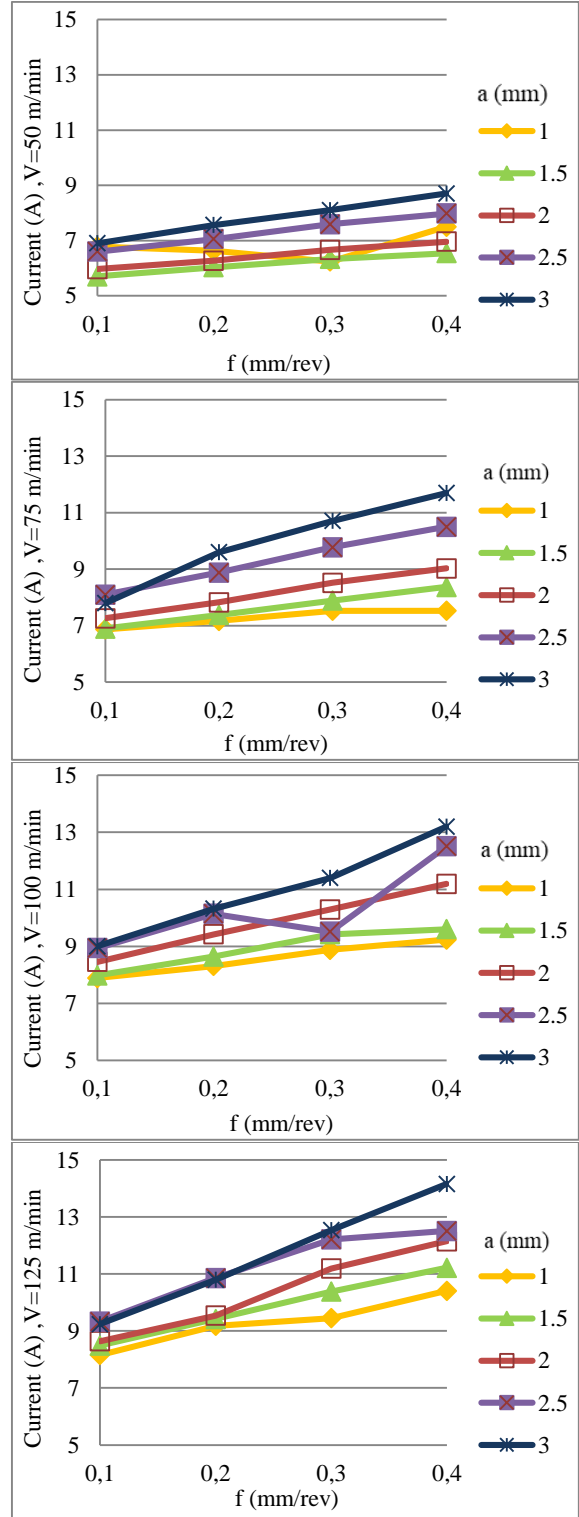


Şekil 5. Kesme Parametrelerinin Ses Seviyesi Üzerinde Etkileri (Cutting Parameters Effects on Sound Level)

Titreşimin bir fonksiyonu olan ses şiddeti, kesme parametreleri ile titreşimin arasında olduğu gibi; ilerleme miktarı ve talaş derinliğindeki artışa bağlı olarak artmaktadır. Kesme hızındaki artışa bağlı olarak da bir miktar azalmaktadır. Bu durumda kesme kuvvetleri ve takım aşınması konusunda titreşim ile birlikte ses şiddeti verilerinden yararlanılabileceğini göstermektedir. Fakat talaş kaldırma işleminin yapıldığı ortamlardaki gürültü seviyesinin yüksek olması, anlık değişmesi ve sürekli talaşın aynaya veya iş parçasına dolanması sonucu oluşan sesler ölçüm sonuçlarını etkilemektedir. Bu deneysel çalışmada CuZn39Pb3 malzemesinin kullanılması ve bu malzemede sürekli talaşın oluşmaması talaş dolanmasından kaynaklanacak gürültü sorununun oluşmasını engellemiştir.

3.4 Kesme Parametrelerinin Akım Üzerinde Etkileri (Cutting Parameters Effects on Current)

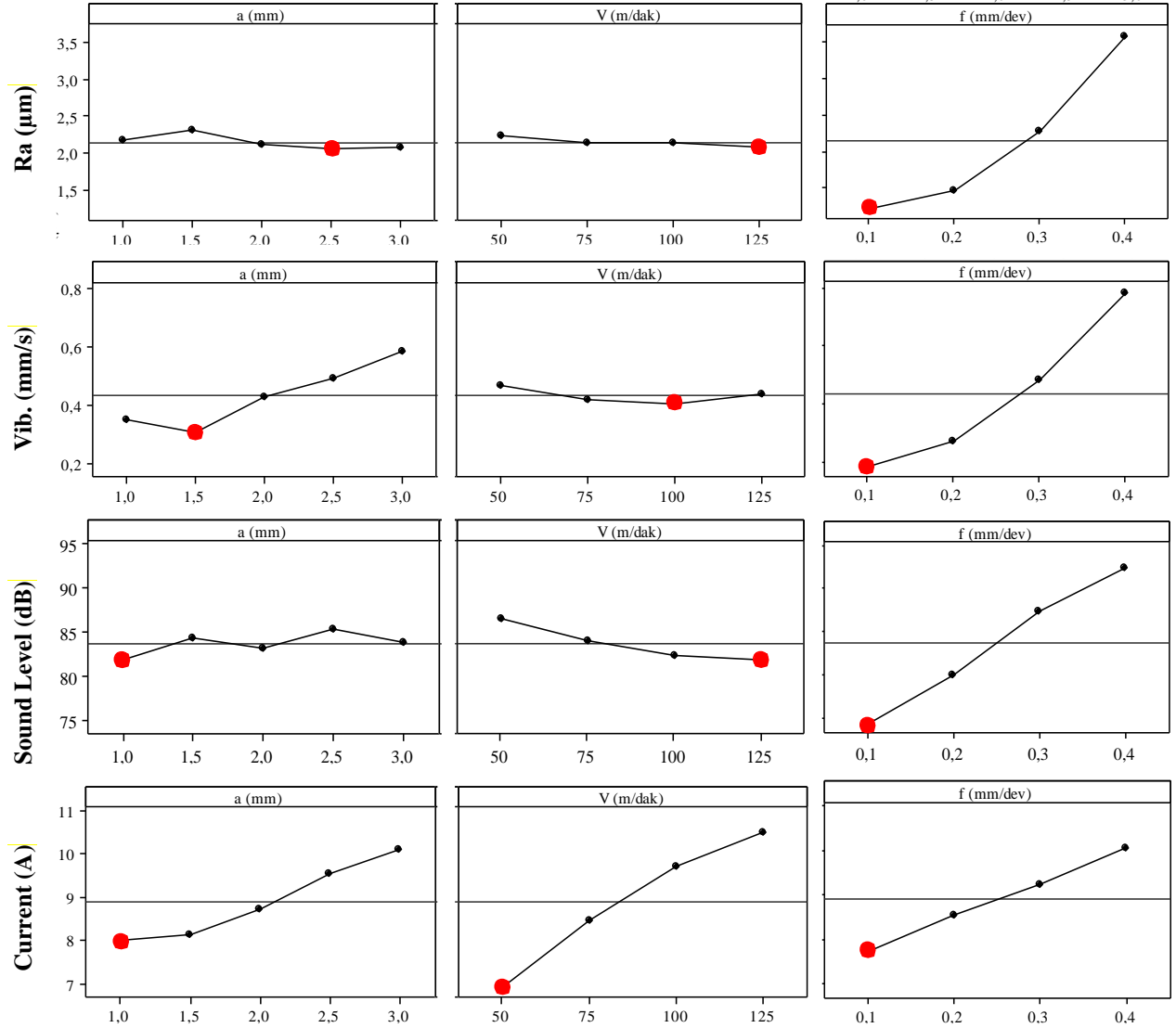
Kesme parametrelerinin akım değeri üzerinde etkileri şekil 6 te grafik olarak gösterilmiştir



Şekil 6. Kesme Parametrelerinin Akım Üzerinde Etkileri (Cutting Parameters Effects on Current)

İlerleme miktarı ve talaş derinliği arttıkça akım değerinin arttığı görülmektedir. Bu ilişki talaş kaldırma esnasında takımın daha yüksek miktarda talaş kaldırması için gereken enerji ihtiyacının artmasından kaynaklanmaktadır. Diğer taraftan Kesme hızındaki artış kesme kuvvetlerinin artışına neden olmasa da aynanın daha yüksek devirde dönmesi için gereken enerji

miktarından dolayı bir miktar artış şeklinde çektığı akım değerini en fazla etkileyen kesme görülmektedir. Benzer sonuç diğer literatür parametresi ilerleme miktarıdır. Benzer şekilde yüzey çalışmaları da görülmektedir [24] pürüzlülük, titreşim, ses şiddeti ve akım değerleri



Şekil 7. Yüzey pürüzlülüğü, titreşim, ses şiddeti ve akım için ortalama etki grafiği (Main effects plot for surface roughness, vibration, sound level, current)

Şekil7 de etki grafiklerinin bir arada incelediğimiz zaman arasında uyumlu bir değişim söz konusudur. yüzey pürüzlülük, titreşim, ses şiddeti ve tezgahın

Çizelge 3. Yüzey pürüzlülüğü, titreşim, ses seviyesi ve akım için ANOVA sonuçları (Result of ANOVA for surface roughness, vibration, sound level and current)

Yüzey pürüzlülüğü (surface roughness)							
Source	D	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P Value	Contr.(%)
a	1	0.3300	0.3300	0.3300	7.80	0.007	0.00
v	1	0.1825	0.1825	0.1825	4.31	0.042	0.00
f	1	62.8928	62.8928	62.8928	1486.16	0.000	84.38
a ²	1	0.0106	0.0106	0.0106	0.25	0.619	0.00
V ²	1	0.0119	0.0119	0.0119	0.28	0.597	0.00
f ²	1	5.7728	5.7728	5.7728	136.41	0.000	7.75
a x V	1	0.1368	0.1368	0.1368	3.23	0.077	0.00
a X f	1	1.2944	1.2944	1.2944	30.59	0.000	1.74
V x f	1	0.9385	0.9385	0.9385	22.18	0.000	0.00
Error	70	2.9623	2.9623	0.0423			3.97
Total	79	74.5326					100.00
Titreşim (vibration)							

Titreşim (vibration)							
Source	D	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P Value	Contr.(%)
a	1	0.70225	0.70225	0.70225	92.63	0.000	11.01
v	1	0.01102	0.01102	0.01102	1.45	0.232	0.17
f	1	3.98003	3.98002	3.98002	524.96	0.000	62.39
a ²	1	0.05161	0.05161	0.05161	6.81	0.011	0.81
V ²	1	0.03612	0.03613	0.03613	4.76	0.032	0.57
f ²	1	0.23112	0.23112	0.23112	30.48	0.000	3.62
a x V	1	0.07220	0.07220	0.07220	9.52	0.003	1.13
a X f	1	0.42320	0.42320	0.42320	55.82	0.000	6.63
V x f	1	0.34060	0.34060	0.34060	44.93	0.000	5.34
Error	70	0.53071	0.53071	0.00758			8.32
Total	79	6.37888					100.00
Ses Seviyesi (Sound level)							
Source	D	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P Value	Contr.(%)
a	1	41.11	41.11	41.11	8.79	0.004	0.90
v	1	265.36	265.36	265.36	56.72	0.000	5.82
f	1	3795.79	3795.79	3795.79	811.39	0.000	83.24
a ²	1	28.79	28.79	28.79	6.15	0.016	0.63
V ²	1	20.20	20.20	20.20	4.32	0.041	0.44
f ²	1	1.40	1.40	1.40	0.30	0.585	0.03
a x V	1	0.03	0.03	0.03	0.01	0.939	0.00
a X f	1	78.81	78.81	78.81	16.85	0.000	1.73
V x f	1	1.35	1.35	1.35	0.29	0.593	0.03
Error	70	327.47	327.47	4.68			7.18
Total	79	4560.32					100.00
Akım (Current)							
Source	D	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P Value	Contr.(%)
a	1	50.760	50.760	50.760	347.59	0.000	17.917
v	1	144.432	144.432	144.432	989.02	0.000	50.982
f	1	57.426	57.426	57.426	393.23	0.000	20.270
a ²	1	1.361	1.361	1.361	9.32	0.003	0.480
V ²	1	3.089	3.089	3.089	21.15	0.000	1.090
f ²	1	0.002	0.002	0.002	0.01	0.916	0.001
a x V	1	1.236	1.236	1.236	8.46	0.005	0.436
a X f	1	7.523	7.523	7.523	51.52	0.000	2.655
V x f	1	7.250	7.250	7.250	49.65	0.000	13.942
Error	70	10.223	10.223	0.146			3.609
Total	79	283.302					100.000

D: Serbestlik derecesi

Yüzey pürüzlülüğü, titreşim, ses seviyesi ve akım değeri için varyans analizi ve etki oranları çizelge 3 te verilmiştir. **P** değeri 0.05 ten küçük olan değerler (%95 güven aralığı) önemli bir etkiye sahiptir.

3.5 Kesme parametrelerinin optimum değerleri (Optimization of cutting parameter)

Özellikle bir çok değişkenin olduğu imalat sürecinde optimum parametrelerin belirlenmesi büyük önem

Çizelge 4. Yüzey pürüzlülük, titreşim, ses şiddeti ve akım değerleri için optimum kesme parametreleri (optimum cutting parameter for surface roughness, vibration, sound level and current)

S.	Ra (µm)			Vib.(mm/s)			Sound Level (dB)			Current (A)		
	a	v	f	a	v	f	a	v	f	a	v	f
1	2,1738	2,2330	1,2317	0,3500	0,4700	0,1900	81,7188	86,5750	74,4650	7,9856	6,9045	7,7505
2	2,3206	2,1342	1,4722	0,3063	0,4200	0,2750	84,3125	84,0450	80,1550	8,1431	8,4675	8,5515
3	2,1167	2,1390	2,2882	0,4313	0,4050	0,4850	83,1875	82,2600	87,4200	8,7113	9,7170	9,2310
4	2,0519	2,0890	3,6032	0,4938	0,4400	0,7850	85,2938	81,7400	92,5800	9,5306	10,4940	10,0500
5	2,0810			0,5875			83,7625			161,7300		
D	4	4	1	2	3	1	1	4	1	1	1	1

taşımaktadır. Çizelge 4 te ölçülen değerlere karşılık gelen optimum değerler verilmiştir.

Yüzey pürüzlülüğü, titreşim, ses şiddeti ve akım değerlerinin en düşük olduğu kesme parametreleri çizelge 4 te belirtilmiştir.

3.6 Yüzey Pürüzlülüğü için Regresyon Eşitliği (Regression Equation for Surface Roughness)

$$R^2 = 1 - \frac{SS_{residual}}{SS_{model} + SS_{residual}}$$

$$R^2 = \text{Total \%} - \text{Error\%} = 100 - 3.97 = 96.02 \%$$

$$SS_{residual} = 2.9623, SS_{model} = 71.5703 \text{ (Çizelge 3 den)}$$

$$R^2 = 1 - \frac{2.9623}{71.5703 + 2.9623} = 0.960255 = 96.02\%$$

$$Ra = 1.8115 - 0.09083 * a - 0.06407 * v + 1.18958 * f - 0.0275 * a^2 + 0.02747 * v^2 + 0.60441 * f^2 + 0.07845 * a * v + 0.24135 * a * f + 0.19496 * v * f$$

$$R^2 = 96.03 \%, R^2(\text{adj}) = 95.51\%$$

3.7. Titreşim için Regresyon Eşitliği (Regression Equation for Vibration)

$$R^2 = 91.68\%, R^2(\text{adj}) = 90.61\%$$

$$Vib = 0,30964 + 0,13250 * a - 0,01575 * v + 0,29925 * f + 0,06071 * a^2 + 0,04781 * v^2 + 0,12094 * f^2 - 0,05700 * a * v + 0,13800 * a * f - 0,11745 * v * f$$

3.8. Ses Seviyesi için Regresyon Eşitliği (Regression Equation for Sound Level)

$$R^2(\text{adj}) = 92.82\%, R^2(\text{adj}) = 91.90\%$$

$$SL = 83.9095 + 1.0138 * a - 2.4435 * v + 9.2415 * f - 1.4339 * a^2 + 1.1306 * v^2 - 0.2981 * f^2 + 0.0352 * a * v + 1.8332 * a * f - 0.234 * v * f$$

3.9. Akım için regresyon eşitliği (Regression equation for Current)

$$R^2 = 96.39\%, R^2(\text{adj}) = 95.93\%$$

$$Current = 8.97986 + 1.1265 * a + 1.80270 * v + 1.13670 * f + 0.31179 * a^2 - 0.44212 * v^2 + 0.01013 * f^2 + 0.2358 * a * v + 0.58185 * a * f + 0.54189 * v * f$$

4. SONUÇ (CONCLUSION)

1. Elde edilen varyans analizlerine göre, yüzey pürüzlülük değeri üzerinde ilerleme miktarının etkisi %96 dır. Yüzey pürüzlülük değeri % 96 doğruluk oranı ile modellenmiştir. İlerleme miktarı arttıkça yüzey pürüzlülük değeri artmaktadır. Yüzey pürüzlülük değeri üzerinde kesme hızı ve talaş derinliğinin önemli bir etkisi görülmemektedir.

2. Titreşim değeri üzerinde en etkili parametre % 76 lik bir etki oranı ile ilerleme miktarıdır. Bunu % 13 lik bir

etki ile talaş derinliği izlemektedir. Titreşim miktarı %92 doğruluk oranı ile modellenmiştir. İlerleme miktarı ve talaş derinliği arttıkça titreşim değeri artmaktadır.

3. Ses şiddeti üzerinde en etkili parametre % 86 lik bir oran ile ilerleme miktarıdır. Bunu % 6 ile kesme hızı izlemektedir. Ses şiddeti değeri %93 doğruluk oranı ile modellenmiştir. Her iki değerdeki artışa bağlı olarak ses şiddeti artmaktadır.

4. Tezgâhın çektiği akım değeri üzerinde kesme hızı %55 lik etki oranı sahipken ilerleme miktarı %22 talaş derinliği ise %19 luk bir etkiye sahiptir. Akım değeri %96 doğruluk oranı ile modellenmiştir. Her üç değerdeki artış akım değerinin artmasına neden olmaktadır.

5. Titreşim ve ses şiddeti arttıkça yüzey pürüzlülük değerinin arttığı görülmüştür. Tezgaha binen yüke bağlı olarak akım değeri arttıkça ses şiddetinin arttığı görülmüştür. Yüzey pürüzlülüğü, titreşim, ses şiddeti ve akım değeri arasında pozitif bir korelasyon olduğu görülmüştür.

6. İyi bir yüzey kalitesi, düşük titreşim değerleri ile daha uzun ömürlü bir tezgâh rijitliği ve düşük bir ses şiddeti ile çevrede en düşük gürültünün oluşması ilerleme miktarının düşük seçilmesi ile mümkündür. İlerleme değerinin düşük seçilmesi işleme süresini artırır. Bu kaybı telafi etmek, yüzey kalitesinde muhafaza etmek için yüksek talaş derinlikleri ve yüksek kesme hızları tercih edilebilir. Bu şekilde, iyi yüzey kalitesi, düşük titreşim – ses değerleri, düşük akım değeri ve çok sayıda iş parçası imalatı sağlanmış olur.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] G. Pantazopoulos, "A review of defects and failures in brass rods and related components," *Practical Failure Analysis*, 3: 14-22, (2003).
- [2] V. Bushlya, D. Johansson, F. Lenrick, J. Stahl ve F. Schultheiss, "Wear mechanisms of uncoated and coated cemented carbide tools in machining lead-free silicon brass," *Wear* 377: 143-151, (2017).
- [3] F. Schultheiss, D. Johansson, V. Bushlya, J. Zhou, K. Nilsson ve J. Stahl, "Comparative study on the machinability of lead-free brass," *Journal of Cleaner Production*, 149: 366-377, (2017).
- [4] M. Hanief, M. F. Wani ve M. Charoo, "Modeling and prediction of cutting forces during the turning of red brass (C23000) using ANN and regression analysis," *Engineering Science and Technology*, 20: 1220-1226, (2017).
- [5] E. Brinksmeier, W. Preuss, O. Riemer ve R. Rentsch, "Cutting forces, tool wear and surface finish in high speed diamond machining," *Precision Engineering*, 49: 293-304, (2017).
- [6] C. He, W. Zong ve J. Zhang, "Influencing factors and theoretical modeling methods of surface roughness in turning process: State-of-the-art," *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 129: 15-26, (2017).
- [7] C. Moganapriya, R. Rajasekar, K. Ponappa, R. Venkatesh ve S. Jerome, "Influence of Coating Material and Cutting Parameters on Surface Roughness and Material Removal Rate in Turning Process Using Taguchi Method," *Materials Today: Proceedings*, 5: 8532-8538, (2018).

- [8] G. Zheng, R. Xu, X. Cheng, G. Zhao, L. Li ve J. Zhao, "Effect of cutting parameters on wear behavior of coated tool and surface roughness in high-speed turning of 300M," *Measurement*, 125: 99-108, (2018).
- [9] A. S. More, W. Jiang, W. D. Brown ve A. P. Malshe, "Tool wear and machining performance of cBN-TiN coated carbide inserts and PCBN compact inserts in turning AISI 4340 hardened steel," *Journal of Materials Processing Technology*, 180: 253-262, (2006).
- [10] S. R. Das, D. Dhupal ve A. Kumar, "Experimental investigation into machinability of hardened AISI 4140 steel using TiN coated ceramic tool," *Measurement*, 62: 108-126, (2015).
- [11] E. Aslan, N. Camuşcu ve B. Bingören, "Design optimization of cutting parameters when turning hardened AISI 4140 steel (63 HRC) with Al₂O₃ + TiCN mixed ceramic tool," *Materials & Design*, 28: 1618-1622, (2007).
- [12] İ. Asiltürk ve H. Akkuş, "Determining the effect of cutting parameters on surface roughness in hard turning using the Taguchi method," *Measurement*, 44: 1697-1704, (2011).
- [13] H. Aouici, M. A. Yallese, K. Chaoui, T. Mabrouki ve J. Rigal, "Analysis of surface roughness and cutting force components in hard turning with CBN tool: Prediction model and cutting conditions optimization," *Measurement*, 45: 344-353, (2012).
- [14] G. C. Benga ve A. M. Abrao, "Turning of hardened 100Cr6 bearing steel with ceramic and PCBN cutting tools," *Journal of Materials Processing Technology*, 143: 237-241, (2003).
- [15] Z. Hessainia, A. Belbah, M. A. Yallese, T. Mabrouki ve J. F. Rigal, "On the prediction of surface roughness in the hard turning based on cutting parameters and tool vibrations," *Measurement*, 46: 1671-1681, (2013).
- [16] M. A. Yallese, K. Chaoui, N. Zeghib, L. Boulanouar ve J. F. Rigal, "Hard machining of hardened bearing steel using cubic boron nitride tool," *Journal of materials processing technology*, 209: 1092-1104, (2009).
- [17] M. Siddhpura ve R. Paurabally, "A review of chatter vibration research in turning," *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 61: 27-47, (2012).
- [18] G. Quintana ve J. Ciurana, "Chatter in machining processes: A review," *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 51: 363-376, (2011).
- [19] R. Kishore, S. Choudhury ve K. Orra, "On-line control of machine tool vibration in turning operation using electro-magneto rheological damper," *Journal of Manufacturing Processes*, 31: 187-198, (2018).
- [20] E. Plaza ve P. Lopez, "Application of the wavelet packet transform to vibration signals for surface roughness monitoring in CNC turning operations," *Mechanical Systems and Signal Processing*, 98: 902-919, (2018).
- [21] A. Şahinoğlu, Ş. Karabulut ve A. Güllü, "Study on Spindle Vibration and Surface Finish in Turning of Al 7075," *Solid State Phenomena*, 261: 321-327, (2017).
- [22] Ş. Karabulut ve A. Şahinoğlu, "Effect of the cutting parameters on surface roughness, power consumption and machine noise in machining of R260 steel," *Politeknik Dergisi*, 21(1): 237-244, (2018).
- [23] A. Şahinoğlu, A. Güllü ve M. Dönertaş, "GGG50 Malzemenin Torna Tezgahında İşlenmesinde Kesme Parametrelerinin Titreşim, Ses Şiddeti ve Yüzey Pürüzlülüğü Üzerinde Etkisinin Araştırılması," *Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2(1): 67-79, 2017.
- [24] A. Aggarwal, H. Singh, P. Kumar ve M. Singh, "Optimizing power consumption for CNC turned parts using response surface methodology and Taguchi's technique—A comparative analysis," *Journal of materials processing technology*, 200: 373-384, (2008).
- [25] S. A. Bagaber ve A. R. Yusoff, "Multi-objective optimization of cutting parameters to minimize power consumption in dry turning of stainless steel 316," *Journal of Cleaner Production*, 157: 30-46, (2017).
- [26] X. Li ve S. K. Tso, "Drill wear monitoring based on current signals," *Wear*, 231: 172-178, (1999).
- [27] D. R. Salgado ve F. J. Alonso, "An approach based on current and sound signals for in-process tool wear monitoring," *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 47: 2140-2152, (2007).
- [28] P. S. Bilga, S. Singh ve R. Kumar, "Optimization of energy consumption response parameters for turning operation using Taguchi method," *Journal of Cleaner Production*, 137: 1406-1417, (2016).
- [29] L. Zhou, J. Li, F. Li, Q. Meng, J. Li ve X. Xu, "Energy consumption model and energy efficiency of machine tools: a comprehensive literature review," *Journal of Cleaner Production*, 112: 3721-3734, (2016).
- [30] R. K. Bhushan, "Optimization of cutting parameters for minimizing power consumption and maximizing tool life during machining of Al alloy SiC particle composites," *Journal of Cleaner Production*, 39: 242-254, (2013).
- [31] K. Bouacha, M. A. Yallese, T. Mabrouki ve J. Rigal, "Statistical analysis of surface roughness and cutting forces using response surface methodology in hard turning of AISI 52100 bearing steel with CBN tool," *Int. Journal of Refractory Metals & Hard Materials*, 28: 349-361, (2010).
- [32] S. Saini, I. S. Ahuja ve V. S. Sharma, "Influence of cutting parameters on tool wear and surface roughness in hard turning of AISI H11 tool steel using ceramic tools," *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 13: 1295-1302, (2012).
- [33] V. N. Gaitonde, S. R. Karnik, L. Figueira ve P. Davim, "Analysis of Machinability During Hard Turning of Cold Work Tool Steel (Type: AISI D2)," *Materials and Manufacturing Processes*, 24: 1373-1382, (2009).
- [34] S. Chinchani ve S. K. Choudhury, "Effect of work material hardness and cutting parameters on performance of coated carbide tool when turning hardened steel: An optimization approach," *Measurement*, 46: 1572-1584, (2013).
- [35] M. Bezerra, R. Santelli, E. Oliveira, L. Villar ve L. Escalera, "Response surface methodology (RSM) as a tool for optimization in analytical chemistry," *Talanta*, 76(5): 965-977, (2008).
- [36] A. Şahinoğlu ve A. Güllü, "Akıllı Üretim Tezgahı ve Bu Tezgahın Kontrolü". *Türkiye Cumhuriyeti Patent* TR 2014 14379 B, (2018).
- [37] B. Prasad ve M. Babu, "Correlation between vibration amplitude and tool wear in turning: Numerical and experimental analysis," *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 20: 197-211, (2017).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

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



Confirmation of johnson-cook model parameters for nimonic 80A alloy by finite element method

Nimonic 80A alaşımının johnson-cook model parametrelerinin sonlu elemanlar yöntemiyle doğrulanması

Yazar(lar) (Author(s)): Mehmet Erdi KORKMAZ¹, Mustafa GÜNAY²

ORCID¹: 0000-0002-0481-6002

ORCID²: 0000-0002-1281-1359

Bu makaleye řu şekilde atıfta bulunabilirsiniz(To cite to this article): Korkmaz, M.E and Günay, M., "Confirmation of johnson-cook model parameters for nimonic 80A alloy by finite element method", *Politeknik Dergisi*, 23(3): 625-632, (2020).

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

DOI: 10.2339/politeknik.555271

Confirmation of Johnson-Cook Model Parameters for Nimonic 80A alloy by Finite Element Method

Highlights

- ❖ The determination of material constitutive model (Johnson-Cook) of Nimonic 80A superalloy.
- ❖ Three different types of compression tests (quasi-static, dynamic and high temperatures) in order to determine the equation parameters.
- ❖ The confirmation of Johnson-Cook parameters of Nimonic 80A superalloy.
- ❖ A suggestion of finite element simulation of any plastic deformation processes such as forging, rolling and deep drawing by using JC parameters of Nimonic 80A material as a next study.

Graphical Abstract

The aim of the study is to confirm the predetermined J-C model parameters for Nimonic 80A superalloys using finite element method.

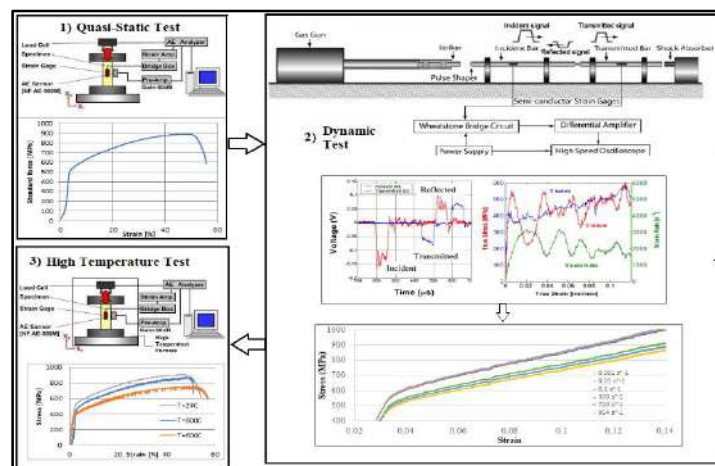


Figure. Experimental procedure

Aim

The aim of the study is to confirm the predetermined J-C model parameters for Nimonic 80A superalloys using finite element method.

Design & Methodology

JC parameters of Nimonic 80A nickel-based superalloys were identified via quasi-static tests, dynamic tests and different temperature tests.

Originality

By considering the literature, it is obviously seen that there is no study on simulation of plastic deformation processes based on finite element method for Nimonic 80A superalloy.

Findings

The mean deviation between experimental results and simulation results obtained with FEM were calculated as average of %3.23.

Conclusion

Consequently, the Johnson-Cook model parameters of Nimonic 80A was confirmed based on overall results. Hence, it was concluded that JC model parameters of the material can be confidently used for any plastic deformation processes.

Declaration of Ethical Standards

The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

Confirmation of Johnson-Cook Model Parameters for Nimonic 80A alloy by Finite Element Method

Araştırma Makalesi / Research Article

Mehmet Erdi KORKMAZ*, Mustafa GÜNAY

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Karabük University, Karabük, Turkey

(Geliş/Received : 17.04.2019 ; Kabul/Accepted : 08.06.2019)

ABSTRACT

Nimonic 80A superalloy is frequently used due to its high creep resistance, oxidation resistance and high resistance to high temperature corrosion. On the other hand, due to compatibility of simulation of plastic deformation processes, Johnson-Cook model is chosen among the materials models such as Zerille Armstrong, Bordner Partom, Steinberg-Guinan etc. In this study, primarily, quasi-static compression tests were performed for 10-3, 10-2 and 10-1 s-1 strain rates at room temperature. Secondly, dynamic compression tests were secondly conducted at high strain rates ranging from 370 to 954 s-1 using the Split Hopkinson Pressure Bar (SHPB) apparatus. Then, the compression tests were conducted at a temperature level from 24~200 °C at the reference strain rate. Johnson-Cook model parameters of Nimonic 80A were determined by analyzing the data obtained from the tests. Lastly, the compression simulations with finite element method (FEM) were performed in ANSYS Workbench to confirm the accuracy of the parameters. In the light of the results, it was determined that there is an average of %3.23 deviation between the experimental and the simulation values. The result showed that accuracy of the Johnson-Cook parameters for Nimonic 80A superalloy was verified with FEM.

Keywords: Nimonic 80A, johnson-cook parameters, finite element method, split-hopkinson pressure bar.

Nimonic 80A Alaşımının Johnson-Cook Model Parametrelerinin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Doğrulanması

ÖZ

Nimonic 80A alaşımı, yüksek sürünme mukavemeti, oksidasyon direnci ve yüksek sıcaklıktaki korozyona karşı güçlü direnci nedeniyle tercih edilmektedir. Bu makale Nimonic 80A süperalaşımının malzeme yapısal denklemini (Johnson-Cook parametresi) belirlemek için yazılmıştır. Literatürdeki farklı malzeme yapısal denklemlerinin (Zerille Armstrong, Bodner Partom, Johnson-Cook) arasında Johnson-Cook modeli tercih edilmiştir. Denklem parametrelerinin belirlenmesi için 3 farklı tipte basma testleri uygulanmıştır. Bunların ilki oda sıcaklığında gerçekleşen yarı-statik basma testleridir. Bu testler 10-3, 10-2 ve 10-1 s-1 gerinim hızlarında gerçekleştirilmiştir. Dolayısıyla bütün testler için referans gerinim hızı 10-3 seçilmiştir. İkinci test olarak oda sıcaklığında Split-Hopkinson çekme cihazı kullanılarak yüksek gerinim hızlarında (370 ~ 954 s-1) basma testleri gerçekleştirilmiştir. Son olarak referans gerinim hızında (10⁻³ s⁻¹) yüksek sıcaklıklarda (24 ~ 200 °C) basma testleri yapılmıştır. Testlerin birbiri ile uygun olduğu gözlemlenmiş olup, bu testlerden elde edilen veriler ile malzemeye ait Johnson-Cook parametreleri belirlenmiştir. Son olarak, sonlu elemanlar yöntemi vasıtasıyla gerçekleştirilen basma testi simülasyonları parametrelerin uygunluğunu onaylamak adına ANSYS Workbench yazılımında yapılmıştır. Bu sonuçlar ışığında, deneysel ve simülasyon sonuçları arasında %3.23 sapma elde edilmiştir. Bu sapma miktarı, Nimonic 80A alaşımına ait belirlenen Johnson-Cook model parametrelerinin doğruluğunu kanıtlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Nimonic 80A, johnson-cook parametreleri, sonlu elemanlar yöntemi, split-hopkinson basma cihazı.

1. INTRODUCTION

The Nimonic 80 A superalloys are incidents to nickel-based superalloys and is suitable for manufacturing of machine parts working at high temperature. It is chemically a complex superalloy whose main components of the alloying elements are Cr, Mo, W, Ti, Ta, Al. Nimonic 80A alloys are commonly used in jet engine, gas turbine because of their high creep strength,

oxidation resistance and strong resistance to high temperature corrosion [1-3].

It is known that some materials have higher hardness as they deform plastically. This condition, called strain hardening, results in an increase in the number of dislocations in the material depending on the amount of deformation. The strain hardening coefficient indicated by "n" is used to express how a material get strong due to its deformation. Being higher of this coefficient means that the material has a high strain hardening capacity and therefore is ductile. Unlike this, some materials appear to strain-rate hardening depending on the rate of

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

deformation. This means that when two tensile tests at different speeds are applied to a material with this property, the different stress-strain curves are obtained. In contrast, the curve of the sample for high speed tensile test is shifted upward compared to the other and it is understood that the material is strengthened. Especially, due to the fact that the investigations on plastic deformation processes are exclusive and time wasting, finite element (FE) modelling of the plastic deformation processes is practical as an alternate solution method [4–6]. Thus, the deformation behavior of materials can be analyzed in deformation processes and it is probable to make an important contribution to decrease the experimental costs. In this regard, the FE models have become a crucial tool in investigations of plastic deformation processes and analysis of engineering designs.

Depending upon the finite element method, the experimental results (stress, surface quality, etc.) of manufacturing process [7–11] need to be well-suited with the simulational results found from the computers' software. In this regard, that is very significant in order to model the material properly in simulation package. Several constitutive materials models are planned representing high strain behaviours at extensive ranges of strain rate and temperature [12]. The models are Zerille-Armstrong, JC model, modified JC model and it is underlined that the JC model is frequently used for various softwares performing FE analysis [13]. In order to determine the J-C material model, it is essential to conduct dynamic experiments along with quasi-static and high temperature experiments. That needs a SHPB test setup, which is immensely studied [14–18]. Many studies pertain to the identification of the J-C model parameters were performed via the setups. With this regard, Karkalos et al. optimized the J-C model parameters for AISI 316L stainless steel using high strain rate range and

temperature ranges [19]. Tan et al. determined the JC model parameters of Inconel 718 via compression tests [20]. Limbadri et al. determined the J-C material parameters of the Zircaloy-4 and investigated the stress variations for rolled sheet [21]. Ducobu et al. optimized the predetermined 20 J-C model parameters for Ti6Al4V alloy and determined the best JC model for orthogonal cutting process [22]. By considering the literature, it is obviously seen that there is no study on simulation of plastic deformation processes based on finite element method for Nimonic 80A superalloy although the material is important in aerospace areas requiring high temperature characteristics. In this case, the aim of the study is to confirm the predetermined J-C model parameters for Nimonic 80A superalloys [23] using finite element method.

2. MATERIAL and METHOD

2.1 Material and Equipment

The mechanical and physical properties and chemical composition of Nimonic 80A alloys were given in Tables 1 and 2, respectively [23].

Experiments performed to identify the JC material parameters for Nimonic 80A alloys consist of 3 steps. Firstly, dynamic experiments at high speeds such as 370-954 s⁻¹ were performed. The compression sample used for this step is shown in Fig. 1b before and after the test. Dynamic experiments were carried out on SHPB pertaining to the Material Laboratory of Ghent University (Fig. 1a). Figure 1b shows the compression test samples used also for the quasi-static and high-temperature experiments carried out with the Zwick / Roell Z600 Universal Testing Machine, which is located at the Iron and Steel Institute of Karabük University. Figure 2 shows the experimental procedure for all the steps.

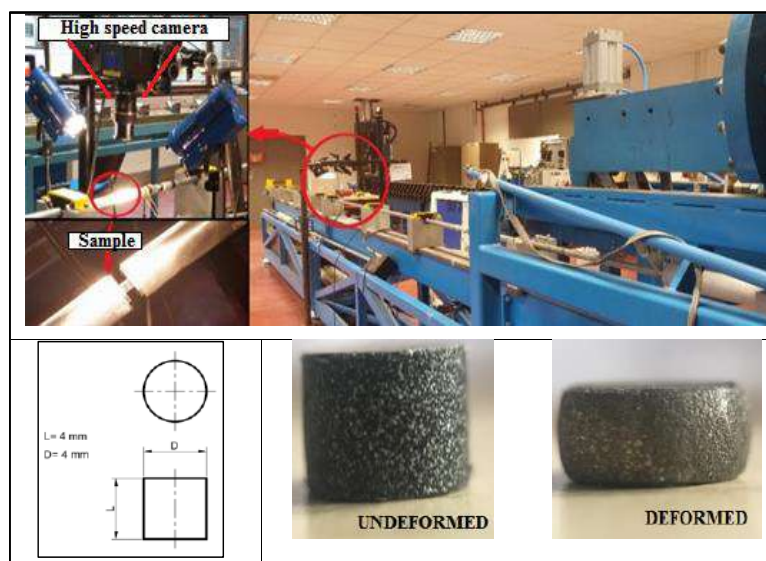


Figure 1. a) Split Hopkinson Pressure Bar, b) the compression sample

Table 1. Mechanical and physical specifications of Nimonic 80 A

Material	E (GPa)	T_m (°C)	α ($10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)	k ($\text{W}/\text{m}^{\circ}\text{C}$)	ν	ρ (kg/m^3)	c_p ($\text{J}/\text{kg}^{\circ}\text{C}$)
Nimonic 80A	183	1365	12.7	11.2	0.3	8190	448

Table 2. Chemical composition of Nimonic 80 A, % weight

C	Si	Mn	P	Al	S	Co	Fe	Ti	Cr	Ni
0.052	0.06	0.02	0.005	1.35	0.001	0.05	0.8	2.43	19.2	Balance

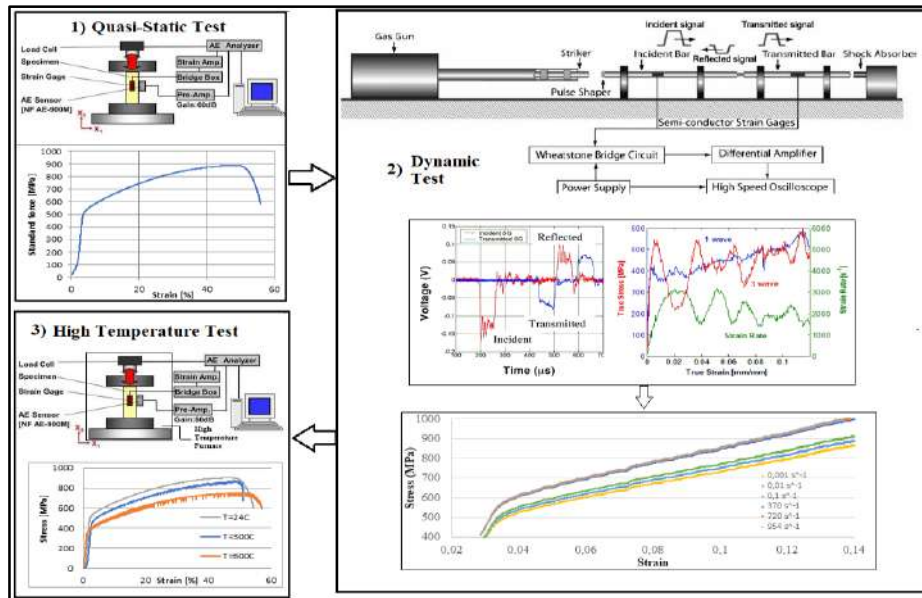


Figure 2. Experimental procedure

2.2 Determination of Johnson-Cook Parameters

The plastic deformation behaviour of the Nimonic 80A alloys is taken into consideration by J-C model. The material model is mainly appropriate to model the higher deformation rate of engineering materials. They are frequently applied for adiabatic transient dynamic analyzes. In J-C models, it is supposed that the yield stress (σ^0) is:

$$\sigma^0 = (A + B(\epsilon^p)^n) \left(1 + C \ln \left(\frac{\dot{\epsilon}^p}{\dot{\epsilon}_0} \right) \right) \left(1 - \left(\frac{T - T_r}{T_m - T_r} \right)^m \right) \tag{1}$$

Here parameters found from mechanical experiments that are A , B , C , n and m are yield strength under room temperature, strain hardening, strain rate constant, strain hardening constant and thermal softening constant, respectively. The additional parameters ϵ^p , $\dot{\epsilon}^p$, $\dot{\epsilon}_0$, T_r , T_m and T are equivalent plastic strain, plastic strain rate, reference strain rate, room temperature, melting temperature and reference temperature, respectively. Also, $\dot{\epsilon}_0$ and C are usually measured at or below the reference temperature.

2.3 Confirmation of Johnson-Cook Parameters

Finite element method (FEM) was applied with same deformation conditions since the results obtained from experimental studies should be approved with numerical modeling. Explicit Dynamic module of ANSYS Workbench was used for finite element analysis. Firstly, the Johnson-Cook material parameters determined with experiments were adapted to the software material data. Afterwards, the compression test simulations were performed according to the same compression test conditions with different strain rates (10^{-3} , 10^{-2} , 10^{-1} , 370, 720 and 954 s^{-1}). Finally, the experimental and FEM results were compared to confirm the J-C model parameters identified for Nimonic 80A alloys.

3 RESULTS AND DISCUSSION

3.1 Identification of A, B and n Parameters

In J-C material models, A specifies the yield strength at the reference strain rates (0.001 s^{-1}). Figure 3 shows that A parameter (strain at $24 \text{ }^{\circ}\text{C}$ and 0.001 s^{-1}) was measured as 487 MPa the data acquisition software of compression test setup according to the experiment performed at 10^{-3} s^{-1} .

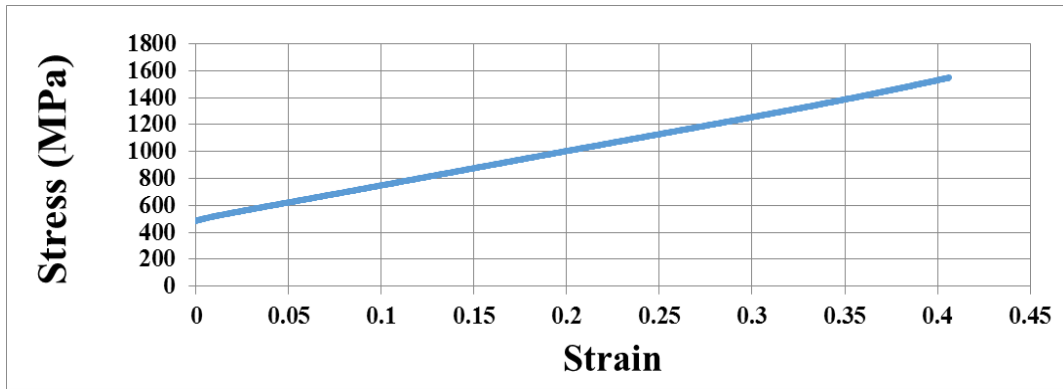


Figure 3. The stress-strain diagram in reference strain rate and room temperature

According to the test at 10^{-3} s^{-1} , the point which the yield strength starts is supposed as zero strain, and the constant of B and n are identified consistent with the increase in strength value at each amounts of deformation. This statement is between the yield stresses and ultimate stresses. Based on Figure 3, compressive stresses at 0.10, 0.20 and 0.30 strains were found to be about 748, 1003 and 1254 MPa. According to these average stress strain values and Equation 2, the constants B and n are calculated as 2511 MPa and 0.983, respectively.

$$\sigma^0 = (A + B(\epsilon^p)^n) \quad (2)$$

3.2 Identification of C Parameter (C Parametresinin Belirlenmesi)

In JC material models, C parameter indicate the strain rate constant. It was beheld that the compressive strength values increase with the increases of strain rates in the compression experiments performed at the room temperatures. That is reliable with the study in the literature [13]. In Fig. 4, the variations in stress values are shown by increasing the strain rate. Moreover, the strain and the displacement values at strain rate of 954 s^{-1} were approved with digital image correlation (DIC) by high speed camera (Fig. 1a) and the DIC images were given in Fig. 4.

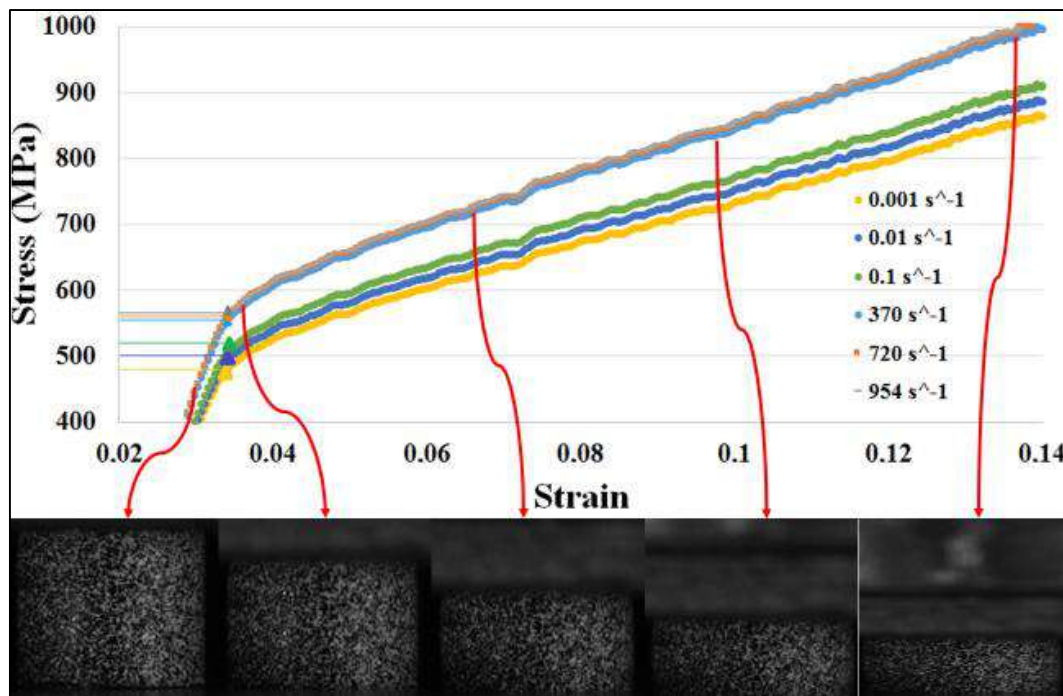


Figure 4. Stress-strain diagram in different strain rates

According to Fig. 4, it was measured from the data acquisition system that the yield stresses were 487, 500 and 513 MPa from the data acquisition software of compression test setup at 0.001, 0.01 and 0.1 s^{-1} strain rate values. At dynamic strain rate values (400, 700 and

1000 s^{-1}), yield strength increased to 562, 566 and 568 MPa, respectively, in the predictable range. The C constant is calculated as 0.0122 based on Eqn.3 and Fig.5 obtained from average stress-strain curves in different strain rates.

$$\sigma = \sigma^0 \left(1 + C \ln \left(\frac{\dot{\epsilon}^p}{\dot{\epsilon}_0} \right) \right) \quad (3)$$

3.3 Identification of *m* Parameter

The parameter of *m* indicates the temperature in the Johnson-Cook material model. In the compression test performed at 10^{-3} s^{-1} , the yield stress values commonly reduced with increasing test temperatures, as stated in some studies [3,24,25]. The variation in the compression stress by increase in the test temperatures is given in Figure 5.

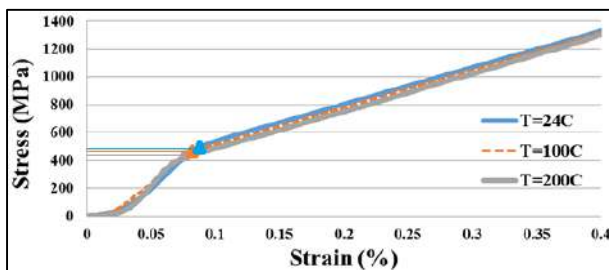


Figure 5. Stress-strain diagram in different temperatures

The yield stress was measured as 487, 465 and 450 MPa from the data acquisition software of compression test setup for 24, 100 and 200 °C, respectively. Then, Figure 5 was created by the experimental data from different temperature tests. The constant of *m* was calculated as 1.162 by using Eqn. 4 based on the stress-strain diagram.

$$\sigma = \sigma^0 \left(1 - \left(\frac{T-T_r}{T_m-T_r} \right)^m \right) \quad (4)$$

The Johnson-Cook model parameters of the Nimonic 80 A super alloy were determined by considering the quasi-static, dynamic and different temperature test. The values of overall parameters were given in Table 3.

Table 3. JC parameters of Nimonic 80A [23].

<i>A</i> (MPa)	<i>B</i> (MPa)	<i>n</i>	<i>C</i>	<i>m</i>	$\dot{\epsilon}_0$ (s^{-1})
487	2511	0.983	0.0116	1.162	10^{-3}

3.4. Finite Element Modelling Results

Since the results from experimental studies should be approved with numerical modeling, finite element modeling was performed with same deformation conditions. ANSYS Workbench (Explicit Dynamic module) was used by adapting JC material parameters to the software material data [26-29]. After this step, the compression test simulations were performed according to same compression test conditions (experimental) with different strain rates ($10^{-3}, 10^{-2}, 10^{-1}, 370, 720$ and 954 s^{-1}).

In engineering analysis based on finite element method, the mesh structure and mesh size are very important issue in terms of consistency between the simulation and experimental results. 3D and 10-node tetrahedral mesh structure was preferred due to cylindrical shape of the specimen (Fig. 6). Mesh size was determined as mesh-dependency method. For the first simulation (954 s^{-1}), the results were 620, 600, 588 and 585 MPa with the mesh size of 1, 0.5, 0.2 and 0.1 mm, respectively (Table 4). The mesh size of 0.1 mm was determined as actual mesh size due to less change of stress values after the transition of 0.2 to 0.1 mm. Thus, the mesh size less than 0.1 mm was not preferred because less mesh size means much solving time.

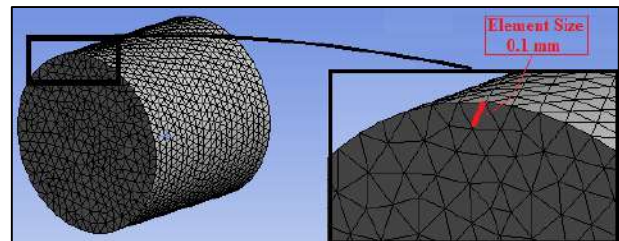


Figure 6. The element size of the mesh structure

Table 4. Mesh-dependency method

Element size (mm)	Yield stress (σ , MPa)
1	620
0.5	600
0.2	588
0.1	585

Figure 7 shows the yield stresses for experimental and numerical analysis in 10^3 s^{-1} strain rates. The actual value is 568 MPa when the simulated value is 585 MPa, and so the deviation between actual and modeling result were calculated as %2.98.

The yield stresses obtained with experimental and FEM at 370 s^{-1} strain rate was displayed in Figure 8. The simulated yield stress was calculated as 579.68 MPa, when the experimental value was found as 562 MPa, and so the deviation was calculated as %3.15.

According to Figure 9, the simulated yield stress was calculated as 531.26 MPa at 10^{-1} s^{-1} strain rate, when the experimental value was found 513 MPa, and so the deviation was calculated as %3.56.

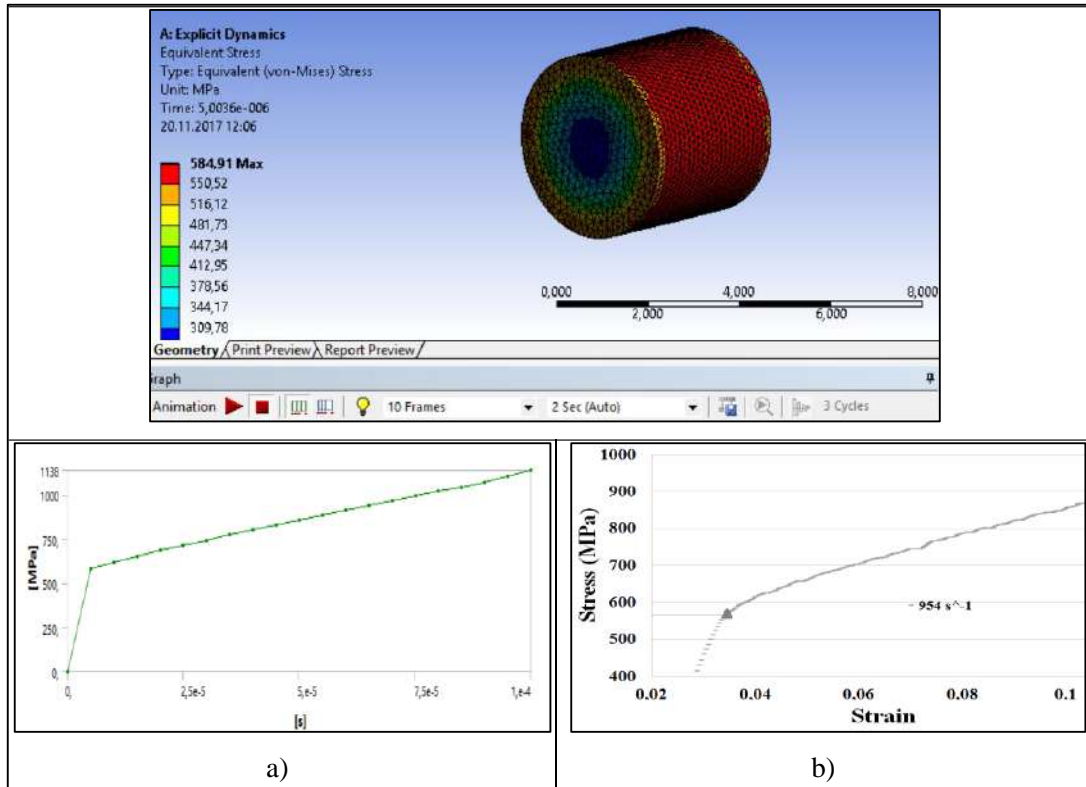


Figure 7. Stress-strain graph at 954 s^{-1} strain rate, a) Simulation, b) Experimental

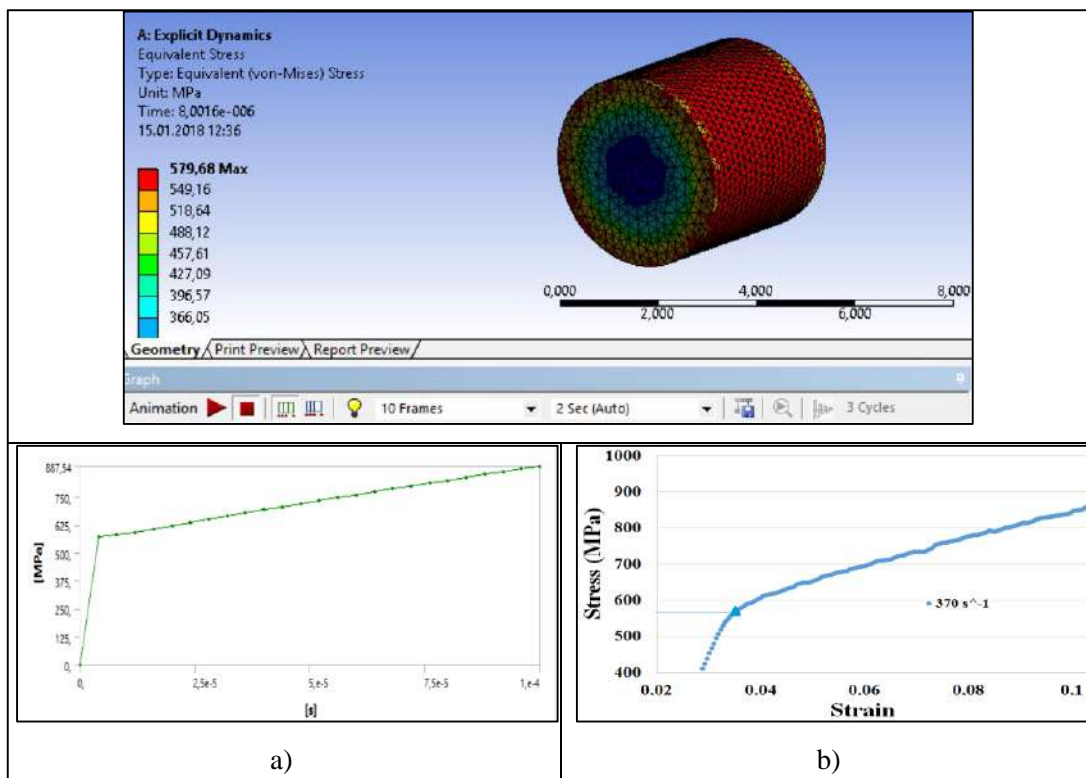


Figure 8. Stress-strain graph at 370 s^{-1} strain rate, a) Simulation , b) Experimental

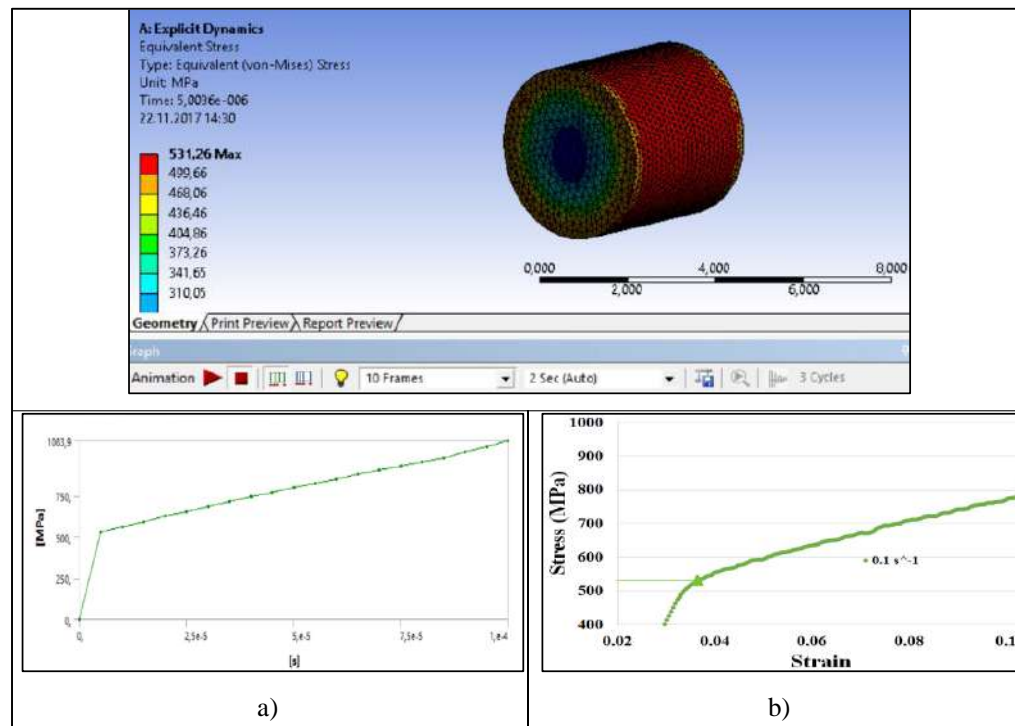


Figure 9. Stress-strain graph at 10^{-1} s^{-1} strain rate, a) Simulation, b) Experimental

Table 5. The deviations between simulation and experiment results

Strain rate (s^{-1})	Experimental results (σ , MPa)	Simulation results (σ , MPa)	Deviation (%)
0.001	487	502.83	3.25
0.01	500	516.60	3.32
0.1	513	531.26	3.56
370	562	579.68	3.15
720	566	583.66	3.12
954	568	584.91	2.98
Mean deviation			3.23

The mean deviation between experimental results and simulation results obtained with FEM were calculated as average of %3.23. Consequently, the Johnson-Cook model parameters of Nimonic 80A was confirmed based on overall results. Hence, it was concluded that JC model parameters of the material can be confidently used for any plastic deformation processes.

4. CONCLUSION

In the finite element analysis software, the material structural equation of workpiece material (Zerill Armstrong, Bodner Partom, Johnson-Cook) must be found in order to simulate plastic deformation processes such as machining, deep drawing, bending and forging, etc. Generally, the analysis of the finite elements for any plastic deformation process has usually used the default material equation parameters. Our goal is to confirm the JC parameters of a new material used in aerospace

technology in the future. For this reason, in this study, JC parameters of Nimonic 80A nickel-based superalloys were identified via quasi-static tests at low speeds ($10\text{-}3\text{-}10\text{-}1 \text{ s}^{-1}$), dynamic tests at high speeds ($370\text{-}954 \text{ s}^{-1}$) and different temperature tests ($24\text{-}200 \text{ }^\circ\text{C}$). By using the identified JC parameters of Nimonic 80A materials, a finite element analysis of the compression tests was performed with same experimental conditions in the next step. The mean deviation between experimental results and simulation results obtained with FEM were calculated as average of %3.23. Consequently, the Johnson-Cook model parameters of Nimonic 80A was confirmed based on overall results. To conclude, a FE modeling of other plastic deformation processes (bending, deep drawing, crash test, etc.) generated compressive load can be performed with the JC parameters as a next study.

ACKNOWLEDGEMENT

The authors would like to thank Karabük University Coordinatorship of Scientific Research Projects for the financial support with project number KBÜBAP-18-DR-005 and also Prof. Dr. Patricia Verleysen in the Material Laboratory of Ghent University.

REFERENCES

- Kim, D. K., Kim, D. Y., Ryu, S. H., and Kim, D. J., "Application of nimonic 80A to the hot forging of an exhaust valve head", *Journal Of Materials Processing Technology*, 113 (1-3): 148-152 (2001).
- Zhu, Y., Zhimin, Y., and Jiangpin, X., "Microstructural

- mapping in closed die forging process of superalloy Nimonic 80a valve head", *Journal Of Alloys And Compounds*, 509 (20): 6106–6112 (2011).
3. Quan, G., Pan, J., and Wang, X., "Prediction of the Hot Compressive Deformation Behavior for Superalloy Nimonic 80A by BP-ANN Model", *Applied Sciences*, 6 (3): 66 (2016).
 4. Günay, M., Korkmaz, M. E., and Yaşar, N., "Finite element modeling of tool stresses on ceramic tools in hard turning", *Mechanika*, 23 (3) (3): 432–440 (2017).
 5. Korkmaz, M. E. and Günay, M., "Finite Element Modelling of Cutting Forces and Power Consumption in Turning of AISI 420 Martensitic Stainless Steel", *Arabian Journal For Science And Engineering*, 43 (9): 4863–4870 (2018).
 6. Gok, K., "Development of three-dimensional finite element model to calculate the turning processing parameters in turning operations", *Measurement*, 75: 57–68 (2015).
 7. Parida, A. K. and Maity, K., "Numerical and experimental analysis of specific cutting energy in hot turning of Inconel 718", *Measurement*, 133: 361–369 (2019).
 8. Jain, A., Khanna, N., and Bajpai, V., "FE simulation of machining of Ti-54M titanium alloy for industry relevant outcomes", *Measurement*, 129: 268–276 (2018).
 9. Parida, A. K. and Maity, K., "Effect of nose radius on forces, and process parameters in hot machining of Inconel 718 using finite element analysis", *Engineering Science And Technology, An International Journal*, 20 (2): 687–693 (2017).
 10. Asif, M. M., Shrikrishana, K. A., and Sathiya, P., "Finite element modelling and characterization of friction welding on UNS S31803 duplex stainless steel joints", *Engineering Science And Technology, An International Journal*, 18 (4): 704–712 (2015).
 11. Parida, A. K. and Maity, K., "Comparison the machinability of Inconel 718, Inconel 625 and Monel 400 in hot turning operation", *Engineering Science And Technology, An International Journal*, 21 (3): 364–370 (2018).
 12. Şerban, D. A., Marsavina, L., Rusu, L., and Negru, R., "Numerical study of the behavior of magnesium alloy AM50 in tensile and torsional loadings", *Archive Of Applied Mechanics*, (1): 1–7 (2018).
 13. Dorogoy, A. and Rittel, D., "Determination of the johnson-cook material parameters using the SCS specimen", *Experimental Mechanics*, 49 (6): 881–885 (2009).
 14. Schindler, S., Steinmann, P., Aurich, J. C., and Zimmermann, M., "A thermo-viscoplastic constitutive law for isotropic hardening of metals", *Archive Of Applied Mechanics*, 87 (1): 129–157 (2017).
 15. Yin, T., Bai, L., Li, X., Li, X., and Zhang, S., "Effect of thermal treatment on the mode I fracture toughness of granite under dynamic and static coupling load", *Engineering Fracture Mechanics*, 199: 143–158 (2018).
 16. Verleysen, P. and Degrieck, J., "Experimental investigation of the deformation of Hopkinson bar specimens", *International Journal Of Impact Engineering*, 30 (3): 239–253 (2004).
 17. Lee, S., Kim, K.-M., Park, J., and Cho, J.-Y., "Pure rate effect on the concrete compressive strength in the split Hopkinson pressure bar test", *International Journal Of Impact Engineering*, 113: 191–202 (2018).
 18. Nguyen, K.-H., Kim, H. C., Shin, H., Yoo, Y.-H., and Kim, J.-B., "Numerical investigation into the stress wave transmitting characteristics of threads in the split Hopkinson tensile bar test", *International Journal Of Impact Engineering*, 109: 253–263 (2017).
 19. Karkalos, N. E. and Markopoulos, A. P., "Determination of Johnson-Cook material model parameters by an optimization approach using the fireworks algorithm", *Procedia Manufacturing*, 22: 107–113 (2018).
 20. Tan, Y. B., Ma, Y. H., and Zhao, F., "Hot deformation behavior and constitutive modeling of fine grained Inconel 718 superalloy", *Journal Of Alloys And Compounds*, 741: 85–96 (2018).
 21. Limbadri, K., Toshniwal, K., Suresh, K., Kumar Gupta, A., V Kutumbarao, V., Ram, M., Ravindran, M., and Kalyankrishnan, G., "Stress Variation of Zircaloy-4 and Johnson Cook Model for rolled sheets.", *Materials Today: Proceedings*, 5 (2): 3793–3801 (2018).
 22. Ducobu, F., Rivière-Lorphèvre, E., and Filippi, E., "On the importance of the choice of the parameters of the Johnson-Cook constitutive model and their influence on the results of a Ti6Al4V orthogonal cutting model", *International Journal Of Mechanical Sciences*, 122: 143–155 (2017).
 23. Korkmaz, M. E., Verleysen, P., and Günay, M., "Identification of Constitutive Model Parameters for Nimonic 80A Superalloy", *Transactions Of The Indian Institute Of Metals*, 71 (12): 2945–2952 (2018).
 24. Samantaray, D., Mandal, S., and Bhaduri, A. K., "A comparative study on Johnson Cook, modified Zerilli-Armstrong and Arrhenius-type constitutive models to predict elevated temperature flow behaviour in modified 9Cr-1Mo steel", *Computational Materials Science*, 47 (2): 568–576 (2009).
 25. Calvo, J., Cabrera, J. M., Guerrero-Mata, M. P., De La Garza, M., and Puigjaner, J. F., "Characterization of the hot deformation behaviour of nimonic 80A and 263 Ni-based superalloys", *Proceedings Of The 10th International Conference On Technology Of Plasticity, ICTP 2011*, Aachen, 892–896 (2011).
 26. Sjöberg, T., Kajberg, J., and Oldenburg, M., "Fracture behaviour of Alloy 718 at high strain rates, elevated temperatures, and various stress triaxialities", *Engineering Fracture Mechanics*, 178: 231–242 (2017).
 27. ANSYS Workbench 19.1 Edition.
 28. Korkmaz, M.E., "Determination and Verification of Johnson-Cook Parameters for 430 Ferritic Steels via Different Gage Lengths", *Transactions of the Indian Institute of Metals*, doi.org/10.1007/s12666-019-01734-9.
 29. Korkmaz, M. E., Günay, M. and Verleysen, P., Investigation of tensile Johnson-Cook model parameters for Nimonic 80A superalloy, *Journal of Alloys and Compounds*, 801: 542-549 (2019).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

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



Investigation of effects of fiber orientation angles on deflection behavior of cantilever laminated composite square plates

Ankastre tabakalı kompozit kare plakaların yer değişimi davranışı üzerinde fiber oryantasyon açılarının etkilerinin incelenmesi

Yazar(lar) (Author(s)): Savaş EVRAN

ORCID: 0000-0002-7512-5997

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Evran S., "Investigation of effects of fiber orientation angles on deflection behavior of cantilever laminated composite square plates", *Politeknik Dergisi*, 23(3): 633-639, (2020).

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

DOI: 10.2339/politeknik.558815

Investigation of Effects of Fiber Orientation Angles on Deflection Behavior of Cantilever Laminated Composite Square Slates

Highlights

- ❖ The deflection response of cantilever laminated composite square plates subjected to the weight of itself was analyzed using finite element and Taguchi methods.
- ❖ The plates with 12 plies were made of glass fiber reinforced polymer composites (GFRP).
- ❖ The arrangements and fiber orientation angles of the plies were conducted using Taguchi's $L9$ (3^3) orthogonal array.
- ❖ Analysis of signal-to-noise (S/N) ratio was used to evaluate the control factors with the optimum levels for minimum deflection response.
- ❖ Analysis of variance was carried out to analyze the powerful influential control factors and their percent contributions on responses.

Graphical Abstract

Finite element analyses of the cantilever laminated composite plates were conducted to investigate the influences of the fiber orientation angles on the response characteristic. The stacking sequences were designed using Taguchi's $L9$ orthogonal array.

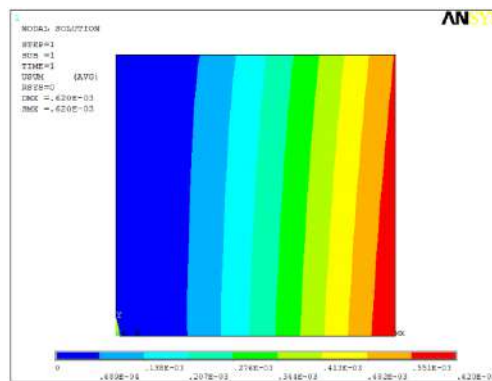


Figure. ANSYS optimal data

Aim

The deflection response of cantilever laminated composite square plates subjected to the weight of itself was investigated.

Design & Methodology

The deflection response was analyzed using Finite Element and Taguchi methods.

Originality

The arrangements and fiber orientation angles of the plies were conducted using Taguchi's $L9$ (3^3) orthogonal array.

Findings

The most effective plies called as A, B, and C were found to be 97.352 % contribution, 2.152 % contribution, and 0.482 % contribution respectively.

Conclusion

The increase of the fiber orientation angles of plates from 0^0 to 90^0 leads to the increase of deflection values.

Declaration of Ethical Standards

The author of this article declares that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

Investigation of Effects of Fiber Orientation Angles on Deflection Behavior of Cantilever Laminated Composite Square Plates

Araştırma Makalesi / Research Article

Savaş EVRAN*

¹Vocational School of Canakkale Technical Sciences, Department of Machine and Metal Technologies, Canakkale Onsekiz Mart University, Turkey

(Received / Geliş: 29.04.2019 ; Accepted / Kabul: 08.07.2019)

ABSTRACT

In this study, the deflection response of cantilever laminated composite square plates subjected to the weight of itself was analyzed using finite element and Taguchi methods. The plates with 12 plies were made of glass fiber reinforced polymer composites (GFRP). The arrangements and fiber orientation angles of the plies were conducted using Taguchi's L9 (33) orthogonal array. Each four plies was assumed to be control factor. Fiber orientation angles were varied from 10 to 90 in degree. Plates were modelled using finite element software ANSYS Parametric Design Language. Analysis of signal-to-noise (S/N) ratio was used in order to evaluate the control factors with the optimum levels for minimum deflection response. Analysis of variance was carried out in order to analyze the powerful influential control factors and their percent contributions on responses.

Keywords: Fiber reinforced composite laminates, finite element analysis, Taguchi method, plate.

Ankastre Tabakalı Kompozit Kare Plakaların yer Değişimi Davranışı Üzerinde Fiber Oryantasyon Açılarının Etkilerinin İncelenmesi

ÖZ

Bu çalışmada, kendi ağırlığına maruz bırakılmış ankastre tabakalı kompozit plakaların yer değişimi yanıtı sonlu elemanlar ve Taguchi metotları kullanılarak analiz edilmiştir. Plakalar 12 tabakalı cam fiberle güçlendirilmiş polimer kompozitlerden yapılmıştır. Tabakaların fiber oryantasyon açılarının sıralanması Taguchi L9 (33) ortogonal dizi kullanılarak yapıldı. Her dört tabaka kontrol faktörü olarak kabul edildi. Fiber oryantasyon açıları 10 dereceden 90 dereceye değiştirildi. Plakalar sonlu elemanlar yazılımı ANSYS kullanılarak modellendi. Sinyal gürültü oran analizi minimum yer değişim yanıtı için optimum seviyeli kontrol faktörlerini değerlendirmek için kullanıldı. Varyans analizi yanıtlar üzerinde güçlü etkili kontrol faktörleri ve onların yüzde katkılarını analizi için gerçekleştirildi.

Anahtar Kelimeler: Fiber takviyeli kompozit tabakalar, sonlu elemanlar analizi, Taguchi metodu, plaka.

1. INTRODUCTION

Fiber reinforced composite laminates can be manufactured as laminated composite plates or beams. The composite laminates have higher stiffness, strength and less weight according to the conventional metallic structures [1]. The laminated composite plates are generally used in the different areas. Thus many studies using these materials were presented for different analyses bending, vibration, buckling etc. In literature, there are many studies with deflection and bending analyses of laminated composite plates and beams. Rakočević and Vatin [2] studied bending behavior of plates made of laminated composite. Rakočević and Popović [3] evaluated the bending behavior of rectangular plates made of laminated composites under

simply supported boundary conditions. Iyengar and Umaretiya [4] investigated the deflection behavior of laminated plates made of hybrid composite. Reddy et al. [5] studied the bending behavior of plates made of laminated composite according to finite element approach. Četković and Vuksanović [6] evaluated the bending, natural vibrations, and buckling characteristics of the laminated composite and sandwich plates and they also used a layerwise displacement model. Maiti and Sinha [7] investigated the bending, natural vibration, and impact behaviors of thick plates made of laminated composite. Karama et al. [8] investigated the bending, buckling, and natural vibration characteristics of the laminated composite and they also used a transverse shear stress continuity model for analyses. Khdeir and Reddy [9] presented a study containing an exact solution about the bending behavior of thin and thick cross-ply laminated beams. Lee et al. [10] analyzed the bidirectional bending behavior of plates made of

*Sorumlu yazar (Corresponding Author)
e-posta : sevran@comu.edu.tr

laminated composites and they also used an improved zig-zag model in analysis. In this study, the effects of fiber orientation angles of plies on the deflection behavior of the laminated composite plates were investigated using finite element and Taguchi methods. In literature, the finite element method in many studies [11] were used for various analyses. The numerical analyses and arrangements of the fiber orientation angles was conducted using L9 orthogonal array based on Taguchi method. The finite element analysis were performed using ANSYS finite element software.

2. MATERIAL and METHOD

In the analyses, the rectangular square laminated composite plates were used. The laminated plates were made of glass fiber reinforced polymer composite (GFRP) [12]. The sum of plies for plates were assumed to be 12. Fibers with 0^0 angle were considered in the axial direction (x-axis). The stacking sequences of the plies were determined in the thickness direction. The material constant were listed in Table 1.

Table 1. The material constants [12]

E_1	$E_2=E_3$	$G_{12} = G_{13} = G_{23}$	$\nu_{12} = \nu_{13}$	ν_{23}	ρ
37.78 (GPa)	10.9 (GPa)	4.91 (GPa)	0.3 (-)	0.11 (-)	2003.5 (kg m ⁻³)

Fiber orientation angles were assumed to vary from 10^0 to 90^0 . The arrangements of the fiber angles were conducted using Taguchi's L9 orthogonal array. The array consists of three control factors and each control factor contains three levels. The levels were considered

to be fiber orientation angles. For laminated composite rectangular square plates, four plies were determined to be a control factor and it was symbolized to be A, B, and C. The control factors and levels were tabulated in Table 2.

Table 2. Control factors and levels

Control Factor	Unit	Symbol	Levels		
			Level 1	Level 2	Level 3
First Four Laminates	Degree	A	10	20	30
Second Four Laminates	Degree	B	40	50	60
Third Four Laminates	Degree	C	70	80	90

As can be seen from Table 2, fiber orientation angles for the first four laminates as called A were considered to vary from 10^0 to 30^0 . Fiber orientation angles for the second four laminates as encoded B were assumed to vary from 40^0 to 60^0 . Fiber orientation angles for the third four laminates as named C were designed to vary from 70^0 to 90^0 . The numerical deflection results of the laminated square composite plates were determined using statistical software Minitab 15 [13]. The finite element results were converted to S/N ratio data according to "Smaller is Better" quality characteristic as shown in Equation 1 [14].

$$(S/N)_{SB} \text{ for } y = -10 \cdot \log \left(n^{-1} \sum_{i=1}^n (y_i)^2 \right) \quad (1)$$

where, n represents the number of analyses for deflection in a trial and y_i shows ith data observed. In order to determine the minimum deflection result of the laminated composite plates subjected to the weight of itself, the quality characteristic was used.

3. FINITE ELEMENT MODELLING

The numerical analysis and modelling of the laminated composite plates were achieved using the finite element software ANSYS V13 Mechanical APDL called as ANSYS Parametric Design Language [15]. The numerical analyses for deflections were conducted based on L9 orthogonal array. Each laminated composite square plate was considered as length with 204.6 mm [12] and thickness with 2.11 mm [12]. The ply orientation distributions of the plates were assumed in thickness directions. Acceleration was defined to be 9.81 m/s^2 along the z-direction. The cantilever laminated composite plate was caused by the weight of itself. Mesh operation was done using 80×80 mesh sizes according to Mapped mesh. In the software, SHELL281 element type was used and it consists of eight nodes containing six degrees of freedom according to each node: translations based on the x, y, and z axes, and rotations for the x, y, and z axes [16]. The laminated composite plates were determined to be the left edge clamped and remaining edges free (C-F-F-F) boundary conditions. In addition, the plate with C-F-F-F boundary conditions and element geometry were demonstrated in Figure 1.

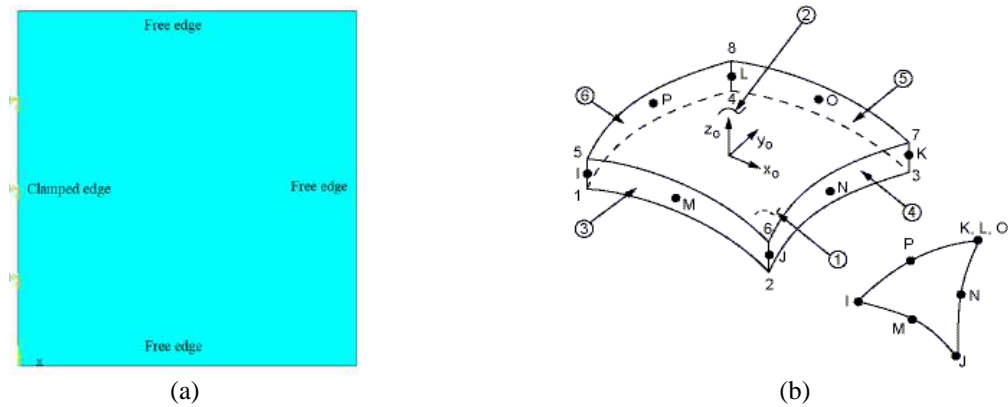


Figure 1. (a) Plate with C-F-F-F and (b) SHELL281 [16] element geometry

4. RESULTS and DISCUSSIONS

Finite element analyses of the cantilever laminated composite plates were conducted to investigate the influences of the fiber orientation angles on the response

characteristic. The stacking sequences were designed using Taguchi’s L9 orthogonal array. The finite element data and their S/N ratio values (η) for “Smaller is Better” quality characteristic were presented in Table 3.

Table 3. Numerical and S/N ratio results

Run	Designation	Control Factors			Results	
		Stacking Sequence			y (mm)	η (dB)
1	A ₁ B ₁ C ₁	(10) ₄	(40) ₄	(70) ₄	0.620	4.15217
2	A ₁ B ₂ C ₂	(10) ₄	(50) ₄	(80) ₄	0.638	3.90359
3	A ₁ B ₃ C ₃	(10) ₄	(60) ₄	(90) ₄	0.650	3.74173
4	A ₂ B ₁ C ₂	(20) ₄	(40) ₄	(80) ₄	0.688	3.24823
5	A ₂ B ₂ C ₃	(20) ₄	(50) ₄	(90) ₄	0.704	3.04855
6	A ₂ B ₃ C ₁	(20) ₄	(60) ₄	(70) ₄	0.704	3.04855
7	A ₃ B ₁ C ₃	(30) ₄	(40) ₄	(90) ₄	0.775	2.21397
8	A ₃ B ₂ C ₁	(30) ₄	(50) ₄	(70) ₄	0.775	2.21397
9	A ₃ B ₃ C ₂	(30) ₄	(60) ₄	(80) ₄	0.794	2.00359
Overall Means (\bar{T}_y)					0.705	

4.1 Effects of Fiber Angles

The laminated composite plates were made from different fiber orientation angles. The fiber angles were conducted using L9 orthogonal array. In order to see the influences of fiber orientation angles of the plies on the

deflection analysis, the average values of the deflection results for each control factor at level 1, level 2, and level 3 according to finite element and S/N ratio results were calculated using Minitab 15 statistical software. The numerical and statistical data calculated were tabled in Table 4.

Table 4. Response table for S/N ratio and mean

Level	S/N ratios in dB			Means in mm		
	A	B	C	A	B	C
1	3.932	3.205	3.138	0.6360	0.6943	0.6997
2	3.115	3.055	3.052	0.6987	0.7057	0.7067
3	2.144	2.931	3.001	0.7813	0.7160	0.7097
Delta	1.789	0.273	0.137	0.1453	0.0217	0.0100
Rank	1	2	3	1	2	3

It can be seen from Table 4 that the optimum result for the minimum deflection value was obtained using laminate with the first levels. In addition, the delta and rank values show that the first four plies encoded as A have the maximum effect on the deflection analysis and

it is followed by B and C respectively. The average results of the deflection values for each level of each control factor according to S/N ratio were plotted in Figure 2.

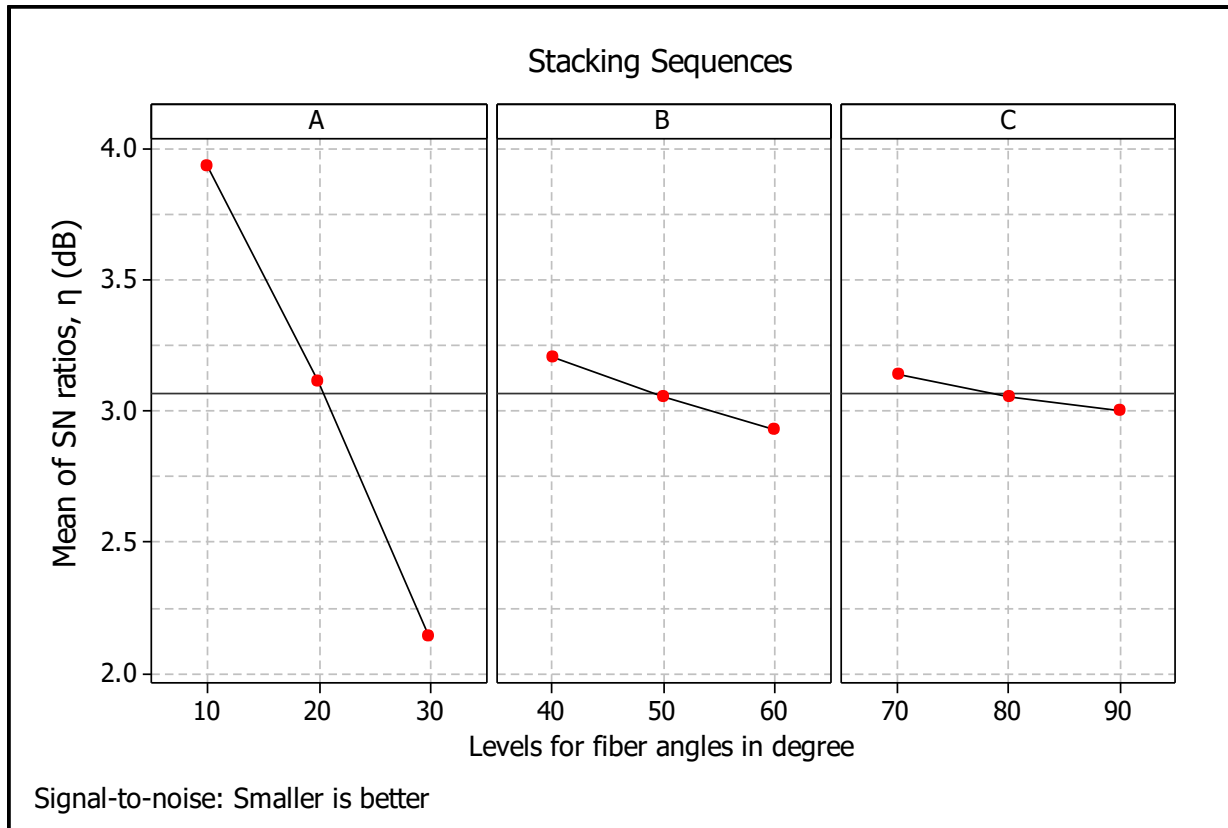


Figure 2. Main effects plot of S/N ratios

As can be seen from Figure 2, the increase of the levels of fiber angles causes the increase of the deflection values. In other words, the decrease of the fiber orientation angles of plies from 90 to 10 leads to the decrease of the displacement of the laminated composite plates along z-axes.

4.2 Analysis of Variance

In the deflection analysis of the laminated composite plates, analysis of variance (ANOVA) was employed in

order to analyze the powerful influential plies and their % contributions on the deflection behavior. The analysis was carried out using the numerical results according to the 95 % confidence level. The ANOVA result performed for R-Sq = 99.99 % and R-Sq(adj) = 99.94 % was listed in Table 5.

Table 5. ANOVA result

Source	DF	Seq SS	Adj MS	F	P	% Effect
A	2	0.0318830	0.0159410	6832	0.000	97.352
B	2	0.0007050	0.0003520	151	0.007	2.152
C	2	0.0001580	0.0000790	33.86	0.029	0.482
Error	2	0.0000047	0.0000023			0.014
Total	8	0.0327500				100

According to Table 5, the laminates called as A, B, and C were determined to be significant control factors on the

deflection analysis because of P-value < 0.05 depending on 95 % confidence level. The percent contributions of

the laminates such as A, B, and C were found to be 97.352 %, 2.152 %, and 0.482 % respectively. The error data was calculated to be 0.014 %.

4.3 Estimation of Optimum Deflection Characteristic

The optimum result of deflection behavior was predicted for the optimal levels of significant control factors. The significant control factors were determined to be A, B, and C in ANOVA. The estimated mean of response characteristic as called deflection behavior can be calculated in Equation 2 [14].

$$\mu_y = \bar{A}_1 + \bar{B}_1 + \bar{C}_1 - 2\bar{T}_y \tag{2}$$

where, \bar{T}_y is used to be overall mean of deflection results based on L9 orthogonal array in Taguchi method and it was taken to be 0.705 mm from Table 3. $\bar{A}_1=0.6360$, $\bar{B}_1=0.6943$, and $\bar{C}_1=0.6997$ were taken to be average values of numerical deflection results at first level of the control factors such as A, B, and C in Table 4. Substituting the values of different terms in Equation 2, μ_y was calculated to be 0.620 mm. The 95 % confidence intervals for confirmation analyses (CI_{CE}) and population (CI_{POP}) were analyzed using Equation 4 and Equation 5 [14].

$$CI_{CA} = \left(F_{\alpha;1;n_2} V_{error} \left[\frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{R} \right] \right)^{1/2} \tag{3}$$

$$CI_{POP} = \left(\frac{F_{\alpha;1;n_2} V_{error}}{n_{eff}} \right)^{1/2} \tag{4}$$

$$n_{eff} = \frac{N}{(1 + T_{DOF})} \tag{5}$$

in which, $\alpha=0.05$ represents the risk and n_2 is used to be the error value based on the degree of freedom and it is determined to be 2 in ANOVA. Thus $F_{0.05;1;2}$ is employed to be 18.5 [14] according to F ratio results for the 95 % CI ($\alpha=0.05$). Error value for variance in Table 5 was symbolized to be V_{error} and it is used 0.0000023 value. In addition, R is determined to be the sample size of confirmation analyses and it is used to be 1. Sum of the number of the data is encoded to be N and is used to be 9 in Table 3. Sum of the degrees of freedom for significant control parameters is shown to be T_{DOF} and is solved to be 6. n_{eff} is determined to be 1.286 so CI_{CA} and CI_{POP} are found to be ± 0.009 and ± 0.006 respectively. Thus, the predicted confidence interval according to confirmation analyses [14] is as follows:

$$\text{Mean } \mu_y - CI_{CA} < \mu_y < CI_{CA} + \text{Mean } \mu_y$$

The population according to the 95 % confidence interval [14] is as follows:

$$\text{Mean } \mu_y - CI_{POP} < \mu_y < CI_{POP} + \text{Mean } \mu_y$$

The numerical and predicted results for the optimal plies were calculated for CI_{CA} and CI_{POP} and these results were tabulated in Table 6. The finite element result and the stacking sequence for laminated composite plates made of the plies with optimum fiber orientation angles were demonstrated in Figure 3 visually.

Table 6. Numerical and predicted results

Optimal Plies	Numerical Result	Predicted Result	Estimated Confidence Intervals for 95% Confidence Level
A ₁ B ₁ C ₁	0.620 mm	0.620 mm	0.611 < μ_y < 0.629 for CI_{CA} 0.614 < μ_y < 0.626 for CI_{POP}

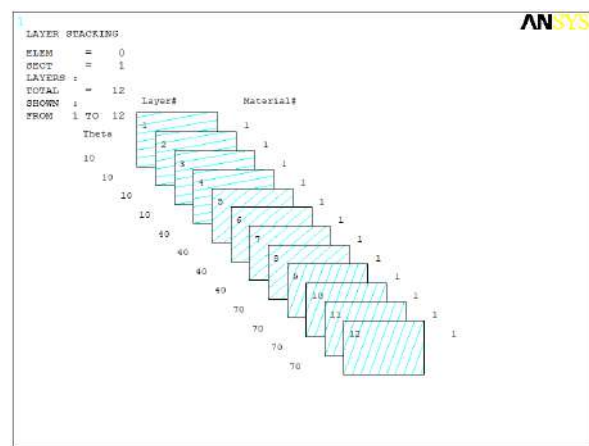
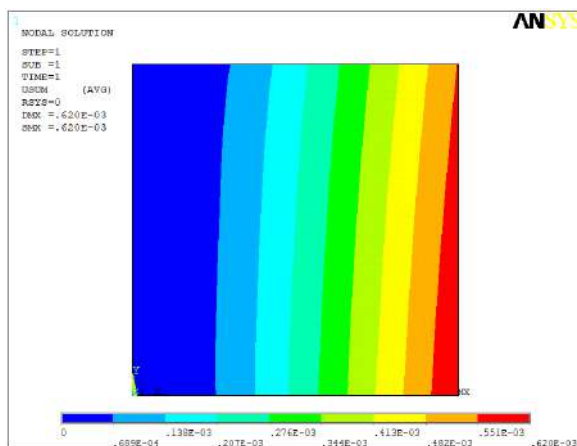


Figure 3. Optimal data: (a) ANSYS result and (b) stacking sequence

According to Figure 3a, the minimum deflection data was obtained on the clamped edge whereas the maximum deflection value was determined for opposite edge of this clamped edge.

4.4 Effects of Stacking Sequences

In order to see the effects of stacking sequences on the deflection analysis, the laminated composite plate with

optimum fiber angles was used. The plies with the optimum levels were determined using Taguchi method. Thus the different combinations of the plies with optimum fiber orientation angles were modelled using finite element software ANSYS and the numerical results obtained were tabulated in Table 7.

Table 7. Deflection results of different plates with optimum plies

Plate Combination	Designation	Stacking Sequence	y (mm)
Plate 1	A ₁ B ₁ C ₁	[(10) ₄ /(40) ₄ /(70) ₄]	0.620
Plate 2	C ₁ B ₁ A ₁	[(70) ₄ /(40) ₄ /(10) ₄]	0.620
Plate 3	A ₁ C ₁ B ₁	[(10) ₄ /(70) ₄ /(40) ₄]	0.531
Plate 4	B ₁ C ₁ A ₁	[(40) ₄ /(70) ₄ /(10) ₄]	0.531
Plate 5	B ₁ A ₁ C ₁	[(40) ₄ /(10) ₄ /(70) ₄]	0.815
Plate 6	C ₁ A ₁ B ₁	[(70) ₄ /(10) ₄ /(40) ₄]	0.815

It is noticed from Table 7 that the laminated composite plates with optimum levels for minimum deflection were determined as Plate 1 with [(10)₄/(40)₄/(70)₄] and Plate 2 with [(70)₄/(40)₄/(10)₄]. But, deflection values in the analysis performed using Plate 3 containing [(10)₄/(70)₄/(40)₄] and Plate 4 containing [(40)₄/(70)₄/(10)₄] smaller than displacements of the plates determined according to Taguchi method. It is clear that fiber orientation angle of the outermost layer has more significant effect on the deflection analysis of the laminated composite plates.

5. CONCLUSIONS

In this study, the effects of fiber orientation angles on the deflection analysis of the laminated composite plates were investigated using finite element and Taguchi methods. The laminated composite plates were determined to be the left edge clamped and remaining edges free (C-F-F-F) boundary conditions. Numerical deflection analysis was studied using finite element software ANSYS Parametric Design Language. The arrangements of the plies and numerical analyses were conducted using Taguchi's L9 (3³) orthogonal array. The optimum levels of the plies were carried out using analysis of S/N ratio. Significant control parameters on the deflection analysis were observed using ANOVA. The important conclusions from this study are explained as follows:

- ❖ The increase of the fiber orientation angles of plates from 0° to 90° leads to the increase of deflection values.
- ❖ According to analysis of signal-to-noise ratio, the minimum deflection result was obtained using the laminated composite plate with fist levels.
- ❖ The fiber orientation angle of the outermost layer has more significant effect on the deflection analysis of the laminated composite plates.

- ❖ It is clear from ANOVA that each four plies is significant control parameters due to P-value < 0.05 for 95 confidence level.
- ❖ The most effective plies called as A, B, and C were found to be 97.352 % contribution, 2.152 % contribution, and 0.482 % contribution respectively.
- ❖ Estimated minimum deflection results at 95 % confidence intervals of confirmation analyses (CI_{CA}) and population (CI_{POP}) are determined to be 0.611 < μ_y < 0.629 for CI_{CA} and 0.614 < μ_y < 0.626 for CI_{POP} respectively.
- ❖ The overall mean of deflection results was found to be 0.705 mm according to L9 orthogonal array.
- ❖ The minimum deflection result was observed on the clamped edge whereas the maximum deflection value was detected the opposite edge of this edge.
- ❖ The stacking sequence of the plies has important effects on deflection analysis of the cantilever laminated composite plates

REFERENCES

- [1] Sayyad A.S. and Ghugal Y.M., "Bending, buckling and free vibration of laminated composite and sandwich beams: A critical review of literature", *Composite Structures*, 171: 486-504, (2017).
- [2] Rakočević M. and Vatin N., "Bending of Laminated Composite Plates", *Applied Mechanics and Materials*, 725-726: 667-73, (2015).
- [3] Rakočević M. and Popović S., "Bending analysis of simply supported rectangular laminated composite plates using a new computation method based on analytical solution of layerwise theory", *Archive of Applied Mechanics*, 88: 671-89, (2018).
- [4] Iyengar N.G.R. and Umaretiya J.R., "Deflection analysis of hybrid laminated composite plates", *Composite Structures*, 5: 15-32, (1986).
- [5] Reddy B.S., Reddy A.R., Kumar J.S. and Reddy K.V.K., "Bending analysis of laminated composite plates using finite element method", *International Journal of*

- Engineering, Science and Technology*, 4: 177-90, (2012).
- [6] Ćetković M. and Vuksanović D., "Bending, free vibrations and buckling of laminated composite and sandwich plates using a layerwise displacement model", *Composite Structures*, 88: 219-27, (2009).
- [7] Maiti D.K. and Sinha P.K., "Bending, free vibration and impact response of thick laminated composite plates", *Computers & Structures*, 59: 115-29, (1996).
- [8] Karama M., Abou Harb B., Mistou S. and Caperaa S., "Bending, buckling and free vibration of laminated composite with a transverse shear stress continuity model", *Composites Part B: Engineering*, 29: 223-34, (1998).
- [9] Khdeir A.A. and Reddy J.N., "An exact solution for the bending of thin and thick cross-ply laminated beams", *Composite Structures*, 37: 195-203, (1997).
- [10] Lee K.H., Lin W.Z. and Chow S.T., "Bidirectional bending of laminated composite plates using an improved zig-zag model", *Composite Structures*, 28: 283-94, (1994).
- [11] Zhang Y.X. and Yang C.H., "Recent developments in finite element analysis for laminated composite plates", *Composite Structures*, 88: 147-57, (2009).
- [12] Yam L.H., Wei Z., Cheng L. and Wong W.O., "Numerical analysis of multi-layer composite plates with internal delamination", *Computers & Structures*, 82: 627-37, (2004).
- [13] MINITAB. Software (Minitab Inc State College, PA, USA) (www.minitab.com).
- [14] Ross P.J., Taguchi Techniques for Quality Engineering: McGraw-Hill International Editions, 2nd Edition, New York, USA; 1996.
- [15] ANSYS. Software (ANSYS Inc, Canonsburg, PA, USA) (www.ansys.com).
- [16] ANSYS. Help (Version 13).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

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



Çelik dökümde alternatif gaz giderme malzemesi olarak alüminyum cürufu kullanımının incelenmesi

Investigation of using of aluminum dross as an alternative gas removing material in steel casting

Yazar(lar) (Author(s)): Hasan HASIRCI

ORCID: 0000-0001-5520-4383

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Hasırcı, H., “Çelik dökümde alternatif gaz giderme malzemesi olarak alüminyum cürufu kullanımının incelenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 23(3): 641-647, (2020).

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

DOI: 10.2339/politeknik.532616

Çelik Dökümde Alternatif Gaz Giderme Malzemesi Olarak Alüminyum Cürufu Kullanımının İncelenmesi

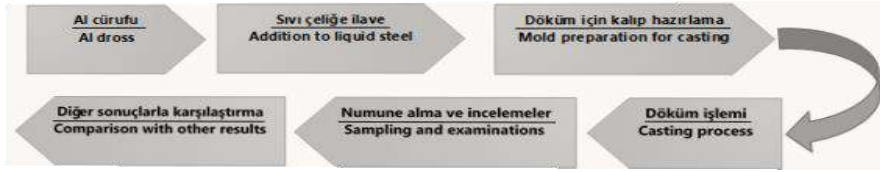
Investigation of Using of Aluminum Dross as an Alternative Gas Removing Material in Steel Casting

Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Alüminyum cürufu / Aluminium dross
- ❖ Gaz giderme / Degassing
- ❖ Geri dönüşüm / Recycling
- ❖ Çelik döküm / Steel casting
- ❖ Geliştirilmiş özellikler / Improved features

Grafik Özet (Graphical Abstract)

Bu çalışmada, Al cürufu çelik döküm işlemlerinde gaz giderici malzeme olarak kullanılmıştır. Çalışma sonuçları, Al cürufunun piyasada kullanılan gaz gidericilerle en az aynı veya daha fazla miktarda gaz giderme sağladığını göstermiştir. / In this study, Aluminum dross was used as degassing material in steel casting processes. The results of the study showed that Al dross provides at least the same or more degassing with the degassers used in the market.



Şekil. Al cürufu ile gaz giderme işlemi ve özelliklerin incelenmesi / **Figure.** Degassing process with Al dross and investigation of properties

Amaç (Aim)

Bu çalışma, Al cürufunun çelik döküm işlemlerinde alternatif gaz giderici olarak kullanılabilirliğinin incelenmesi ve etkilerinin değerlendirilmesi amacıyla yapılmıştır. / This study was conducted to examine the usability of Al dross as an alternative degassing in steel casting processes and to evaluate its effects.

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Al cürufunun geri kazanımı ve çelik dökümde gaz giderici olarak kullanımı deneysel olarak değerlendirilmiştir. / The recovery of Al dross and its use as degassing in steel casting has been evaluated experimentally.

Özgünlük (Originality)

Al cürufu daha önce gaz giderici olarak kullanılmamıştır. Bu nedenle, hem içerik hem de sonuçları bakımından orjinal bir çalışmadır. / Al dross has not been used as degassing before. Therefore, it is an original study in terms of both content and results.

Bulgular (Findings)

Al cürufunun mevcut gaz gidericiden daha iyi başarı sağladığını görülmüştür. / It has shown that Al dross performs better than present degasser.

Sonuç (Conclusion)

Al cürufunun hem gaz giderme hemde özellikleri geliştirmede faydalar sağladığı tespit edilmiştir. Bu çalışma ile geri dönüşüm de sağlanmıştır. / Al dross has been found to provide benefits in both degassing and improving properties. Recycling was also provided with this study.

Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazarı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The author of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

Çelik Dökümde Alternatif Gaz Giderme Malzemesi Olarak Alüminyum Cürufu Kullanımının İncelenmesi

Araştırma Makalesi / Research Article

Hasan HASIRCI*

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

(Geliş/Received : 26.02.2019 ; Kabul/Accepted : 08.07.2019)

ÖZ

Döküm artığı olan alüminyum (Al) cürufunun, çelik döküm işlemlerinde gaz giderici olarak kullanılan Al-Ca-Mg alaşımı yerine kullanılabilirliği bu çalışmada araştırılmıştır. Bu cüruf hiçbir saflaştırma (arıtma, temizleme) işlemine tabi tutulmamış ve aynı zamanda ekonomik değeri de yoktur.

Numuneler, GS-52 çelik malzeme kullanılarak reçineli kum kalıba döküm yöntemiyle üretilmiştir. Döküm numunelerde gaz giderme işlemleri, ağırlıkça %0,035 oranında Al-Ca-Mg ve alüminyum cürufu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu numunelerle karşılaştırma amacıyla gaz giderilmemiş numune de üretilmiştir. Bu çalışma sonuçları, AlCaMg alaşımı yerine özellikle Al cürufunun gaz (oksijen) giderme için kullanılabilirliğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Çelik döküm, deoksidasyon, Al cürufu, mikroyapı, mekanik özellik.

Investigation of Using of Aluminum Dross As An Alternative Gas Removing Material in Steel Casting

ABSTRACT

The use of aluminium (Al) dross with casting residue instead of Al-Ca-Mg alloy used as degasser in steel casting processes was investigated in this study. This dross has not been subjected to any purification (purification, cleaning) process and also has no economic value.

Samples were produced by GS-52 steel material using resin sand casting. The degassing processes in the casting samples were carried out by using 0.035% by weight Al-Ca-Mg and aluminum dross. For comparison with these samples, a non-degassed sample was also produced. The results of this study showed that, instead of the AlCaMg alloy, Al-dross could be used for gas (oxygen) removal.

Keywords: Steel casting, deoxidation, Al dross, microstructure, mechanical properties.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Çelik malzemelerden döküm yöntemi ile birçok endüstri kolu için gerekli parçaların üretimi çok yaygındır. Çelik malzemeler çok farklı özellikleri için tercih edilmektedir. Bu malzemelerin dökümü sırasında özellikle oksijene ilgileri sorunlar oluşturmaktadır. Bu ilgi nedeniyle oksijen çeşitli kaynaklardan ertitme, taşıma ve döküm aşamalarında metal içerisinde çözünmektedir. Bu çözünme neticesinde element halinde gaz atomu, molekül halde gaz boşluğu, bileşik olarak metal oksit vb. sorunlar meydana gelmektedir. Gaz çözünmesinin önlenmesi veya sınırlandırılması gerekmektedir. Gaz girişi önlenemediğinde gaz giderme işlemleri sıklıkla uygulanmaktadır [1-7]. Bu amaçla en sık kullanılan yöntem deoksidasyondur. Deoksidasyon sıvı metal içerisinde çözünmüş gaz atomlarının çeşitli etkenler kullanılarak temizlenmesi işlemidir. Deoksidasyon ya da oksijen giderme genellikle bir kimyasal ve soy gaz ilavesi veya vakum ortamında yapılmaktadır. Çelik dökümde genellikle oksijene ilgisi yüksek katı malzeme ilavesi veya vakum işlemleri uygulanmaktadır. Vakum işlemleri

en garantili yöntem olmasına karşın uygulama zorluğu ve ileri teknoloji gerektirmesi nedeniyle çok yaygın değildir. Bunun yerine Mn, Si, Al, Ca, Mg, B vb. elementleri içeren katı ilaveler yapılarak deoksidasyon işlemleri pota metalürjisi yöntemiyle gerçekleştirilmektedir [1,3-7]. Deoksidasyon karmaşık bir indirgeme sistemidir. Bu nedenle ilave edilecek malzemelerin tür ve miktarlarının çok iyi ayarlanması gerekmektedir. Bazı elementler oksijen giderirken intermetalik ve karbürlerin oluşmasına neden olmaktadır. Bu nedenle yan etkileri azaltmak amacıyla uygun elementlerin doğru miktarda kullanılması gerekmektedir. Özellikle Si, Al, Mg, Ca alaşım olarak sıklıkla tercih edilmektedir. Bu ilaveler ek maliyetler getirmesine karşın oksijenin istenilen düzeyde tutulabilmesi bakımından gereklidir. İkincil metalürjide (hurdadan üretim) genellikle ark ve indüksiyon fırınları kullanılmaktadır. Bu tür üretimde ise deoksidasyon öncesinde çözünmüş oksijen miktarı 400-800 ppm düzeyinde olabilmektedir. Bu miktarlar çeliğin özelliklerinin kötüleşmesine neden olduğundan düşürülmelidir. Şekil 1'de kütük (ingot) dökümde çözünmüş gazın etkileri gösterilmektedir. Deoksidasyon

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta : hasirci@gazi.edu.tr

uygulanmadığında veya yetersiz miktarda uygulandığında ingot içerisinde gelişi güzel dağılmış gözenekler oluşmaktadır. Deoksidasyon sonucunda ise sadece üst kısmında çöküntü şeklinde bir boşluk oluşmaktadır. Bu çöküntü de kolaylıkla ilave tedbirlerle (besleyici, çıkıcı vb.) giderilebilmektedir. Böylelikle gaz geçiren çelik dökümler üretilmesi mümkün olabilmektedir [1-6,9]. Gaz giderilmiş çelikler söndürülmüş veya öldürülmüş olarak ifade edilmektedir. Çünkü bu çeliklerde oksijen aktivitesi azaltılarak veya tamamen engellenerek döküm hataları giderilmektedir. Bu çeliklerde homojen yapı elde edilebilmekte ve bunun sonucunda eş mekanik özellikler sağlanabilmektedir. Herhangi bir çelik parçanın üretiminde iç kısımlarda gaz hataları olduğunda giderilemediğinden dolayı parçalar sakat olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle maliyet artmaktadır.

Aluminyumun oksijene olan yüksek ilgisinden dolayı; birincil ya da ikincil ergitme ile ergimiş metal transferi ve rafinasyon süreçlerinde oksidasyon meydana gelir. Bunun sonucunda amorf (düzensiz) yapıda metalik ya da intermetalik bileşikler oluşmaktadır. Oksidasyon ile cüruf oluşumu tersinir olmayan bir tepkimedir. Yani oluşan oksit termodinamik kararlılığı yüksektir (Gibbs Serbest Enerjisi negatiftir). Al cürufları; Al, Al_2O_3 ile hurda içeriğindeki alaşım elementleri ve kullanılan flakslara bağlı olarak diğer metal oksit, alkali ve halojenli bileşiklerden oluşur. Al cürufunun başlıca özelliği, var olan oksit katmanlarından (bifilm) kafes benzeri yapılar oluşturarak, ergitme sırasında tiksotropik davranışı ile metal damlacıklarını hapsedir. Cüruf içinde hapsolan metal damlacıkları, ergitme sürecindeki metalik Al kaybının temel nedenidir. Ancak cürufun içerdiği metal miktarı ile cüruftan kazanılabilen metal miktarı, metal ergitme, cüruf soğutma ve cüruf ergitme işlemlerine bağlı olarak farklıdır. Diğer bir deyişle cüruf içine hapsolan metalin tamamını kazanmak olanaksızdır. Soğuma sırasında termit reaksiyon (ince toz alüminyum taneciklerinin büyük ölçüde ısıveren reaksiyonları) sonucu tipik olarak dakikada % 1-2 oranında metalik Al kaybı söz konusudur [1-5,8-11]. Al cürufları karmaşık yapıdadır. Bu nedenle; şarj malzemesi ve ergitme teknolojisine bağlı olarak farklı oranlarda; metalik oksitler, nitrürler, karbürler, sülfürler, flaks kaynaklı tuz ve tuz artıkları (NaCl, KCl, Na_3AlF_6 , vs.), diğer kirlilikler, metalik ve metal dışı safsızlıklar ve metalik Al içermektedir [12-14]. Cüruf bileşimi ergitilen malzeme ve ergitme sistemi ile doğrudan ilişkilidir. Farklı ergitme fırınlarında üretilen Al metali içindeki empüriteler incelendiğinde, devrilebilir döner fırınlarda üretilen alüminyumda en önemli empüritelerin oksit esaslı olduğu gözlenmiştir. Öncelikle Al cürufu atık değil, metalik Al içeriğinden dolayı ekonomik değeri olan bir yarı üründür. Yani cüruf değerlendirme işlemlerinin ana amacı, cüruf içindeki metalik alüminyumu kazanmak ve oluşan ikincil cürufu çevre için tehlikesiz forma getirerek, bu cüruftan ekonomik bir değer üretmektir. Ergitme fırınlarda tuz altında cüruf ergitme sonucu oluşan tuz keklerinin açık alanlarda depolanması,

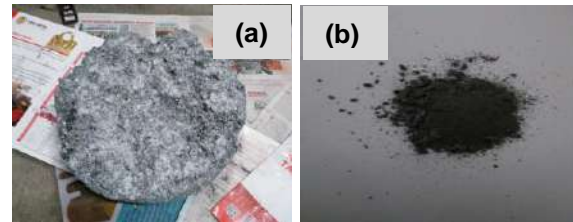
malzemenin su ve ortam nemine ve yağmur sularına olan yüksek reaktiviteleri nedeniyle hidrolizasyon sonucunda liç oluşabilmektedir. Oluşan liç nedeniyle zehirli, zararlı, yanıcı, hatta patlayıcı ve çevreye kötü kokular yayan, NH_3 , CH_4 , PH_3 , H_2 ve H_2S gibi gazlar oluşmaktadır [11-15]. Görüldüğü üzere uygun cüruf seçilip gerekli işlemlerden geçirildiğinde ekonomik bir değer taşımaktadır. Bu ekonomik değer için çelik döküm işlemlerinde alternatif gaz giderici olarak kullanılabilirliğinin araştırılması bu çalışmanın temel amacıdır.



Şekil 1. Gaz giderilmiş (1-3), kısmen giderilmiş (4,5) ve gaz giderilmemiş (6-8) çelik kütük dökümlerindeki gaz gözenek oluşumları [9] (Gas pore formations in degassed (1-3), partially removed (4,5) and non-degassed (6-8) steel billet castings)

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL AND METHOD)

Deneyel çalışmalar için öncelikle piyasada bulunan Al cürufların genel olarak araştırması yapılmıştır. Bu çalışmada dikkate alınan birinci husus Al cürufunun döküm işlemi sonucunda elde edilen ürün olmasıdır. Bunun nedeni döküm sonucu oluşan cürufun içerisindeki Al oranı, cüruf ayrıştırma işlemlerinin sonucu kalan cüruflarından daha fazla olmasıdır. Diğer husus ise, bu cüruf içerisinde tane inceltme ve modifikasyon işlemlerinde kullanılan malzeme katkıları da bulunmamasıdır. Bu amaçla yapılan piyasa araştırmaları sonucunda tane inceltme ve modifikasyon artıkları içermeyen Al cürufu (Şekil 2.a) tercih edilmiştir. Cüruf öncelikle öğütülerek içerisindeki flaks artıkları döküm işlemlerine etkisi olmaması için temizlenmiştir (Şekil 2.b).



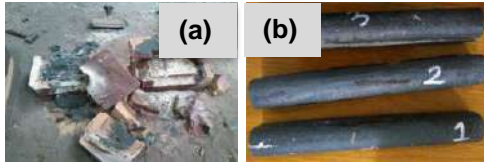
Şekil 2. a) Kütleli Al cürufu ve b) toz haline dekompote edilmiş tuz keki (flaks artığı) görüntüsü (a) Mass Al dross and b) powdered decomposed salt cake (flux residue)

Bu çalışmada döküm için Spectrolab marka spektrometre ile kimyasal bileşimi belirlenmiş (Çizelge 1) GS-52 çeliğinin kullanılması tercih edilmiştir. İlk olarak indüksiyon ocağında GS-52 çelik ham maddesi hazırlanmış ve ergitilmiştir. Ocağın sıcaklığın kontrolü sağlanması için daldırılmalı pirometre cihazları ile sıcaklık

ölçümü yapılmıştır. Sıcaklık 1640 °C ulaştığında döküm işlemleri; gaz giderme (ya da deoksidasyon) işlemi yapılmadan, ayrı ayrı ağırlıkça % 0.035 oranında Al-Ca-Mg alaşımı ve Al cürufu ile gaz giderme (ya da deoksidasyon) işlemleri yapılarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada numune üretimi için U-blok model kullanımını tercih edilmiştir. Döküm işlemlerinde kullanılan kalıplar furan reçine bağlayıcılı kumdan üretilmiştir (Şekil 3). Parçaların tamamen soğuması için yaklaşık 5 saat beklenmiştir. Parçalar tamamen soğuduktan sonra kalıplar bozulmuş ve U-bloklar çıkartılmıştır (Şekil 3.a). Daha sonra U-bloktan çubuk şeklindeki numuneler kesilerek ayrılmıştır (Şekil 3.b).

Çizelge 1. GS 52 çeliği kimyasal bileşimi (% ağırlıkça) (Chemical composition of GS 52 steel (% weight))

Alaşım Elementi	% Ağırlıkça
C	0.21
Si	0.55
Mn	0.65
Cu	0.055
Ti	0.002
Al	0.004
Cr	0.05
Fe	Kalan



Şekil 3. Numunelerin görüntüleri; a) Furan reçineli kalıpların bozularak U-blok dökümlerin çıkarılması ve b) kesilmiş çubuklar (Images of samples; a) removal of U-block castings by disrupting Furan resin molds and b) cut bars)

Çelik dökümünde standart işlemlerden olan normalizasyon ısı işlemi, homojen tane yapısı oluşturma ve gerilimlerin giderilmesi için uygulanmıştır. Bu amaçla, dökülen tüm numunelere 900 °C sıcaklıkta 1 saat normalizasyon ısı işlemi uygulanmış ve daha sonra durgun hava ortamında yavaşça soğutulmuştur. Numuneler standart metalografik hazırlık işlemlerinden (kesme, zımparalama ve parlatma) geçirildikten sonra yüzeyler % 2 nital ile dağlanmış. Bu yüzeyler üzerinde mikro yapısal analizler Leica marka mikroskop kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Faz ve tane boyut ölçümleri mikroskobun kendi görüntü analiz programı ile en az üç noktadan gerçekleştirilmiştir. Sertlik ölçümleri Emco marka cihaz kullanılarak Brinell sertlik ölçüm metodu ile 2.5 çap bilya ve 187.5 kg yük standardında numunelerin çeşitli noktalarından en az 5 ölçüm yapılarak gerçekleştirilmiştir. Çekme testleri Instron marka cihazda 0.5 mm/dak hızda 3 adet test tekrarı yapılarak gerçekleştirilmiştir. Çekme testi sırasında numunelerin kopma enerjileri (tokluk) de ölçülmüştür. Sonuçlar kısmında ortalama sonuçlar verilmiştir. Dökülen numuneler SEM-EDS (Tarama Elektron Mikroskobu-Element Difraksiyon Spektroskopisi) element

analizine tabi tutularak özellikle ilave edilen malzemelerden geçen elementlerin miktarları tespit edilmiştir. Oksijen miktarlarının yüzeyden içeriye doğru değişimini göstermek amacıyla XPS analizleri de yapılmıştır. Bu analizler, SPECS EA 300 marka XPS (X Işını Fotoelektron Spektroskopisi) cihazı ile 300 W 0.9 çözünürlükte 0-500 eV enerji düzeyleri kullanılarak analizler yapılmıştır. Gaz gidermenin etki düzeyinin belirlenmesi amacıyla, Arshimed prensibiyle çalışan yoğunluk kiti kullanılarak havada ve suda tartımlar yapılarak yoğunluk/gözenek oranları da ölçülmüştür. Buna göre; numune önce havada tartılır (A), ardından yoğunluğu bilinen suda (B) tartılır. Katı maddenin yoğunluğu (ρ) Eşitlik 1'e göre hesaplanmıştır.

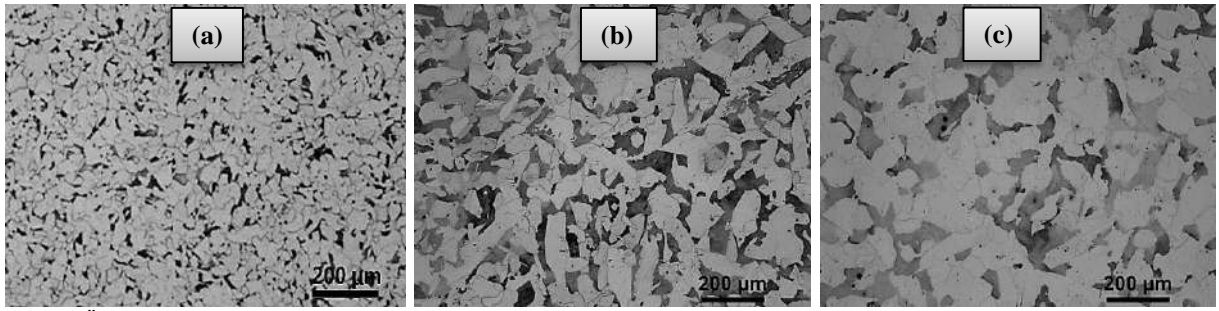
$$\rho = \frac{A}{A-B} (\rho_0 - \rho_L) + \rho_L \quad (1)$$

(ρ =Numunenin yoğunluğu, A=Numunenin havadaki ağırlığı, B=Numunenin sudaki ağırlığı, ρ_0 = Suyun yoğunluğu ve ρ_L = Havanın yoğunluğu)

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

Bu çalışma kapsamında 3 farklı numune üretilmiş, yapısal ve kimyasal analizler yapılmıştır. Gaz giderme yapılmamış, AlCaMg malzemesi ve Al cürufu ile gaz giderilmiş numunelerden elde edilen mikroyapı görüntüleri Şekil 4'de verilmektedir. Görüntüler incelendiğinde birbirlerine benzer görünüm ve türde bileşenlere sahip mikroyapıların elde edildiği görülmektedir. GS52 çeliği döküm ve ardından normalizasyon uygulandıktan sonra, genellikle ferritik (açık renkli alanlar) ve perlitik (koyu renkli alanlar) matris yapılarından meydana geldiği tespit edilmiştir. Gaz giderme uygulanmamış numunede (Şekil 4.a) daha ince tanelerin meydana geldiği, AlCaMg ve Al cürufu ile işlem yapılanlarda ise daha iri tane yapısının meydana geldiği görülmektedir. Döküm parçaların üretiminde; başka teknikler (sıcaklık kontrolü, hızlı soğutma, titreşim, basınç vb.) bulunmasına karşın, tane yapı ve boyutları özellikle işlem kolaylığı nedeniyle bazı ilaveler yapılarak (aşılmalı ve/veya element ilavesi) kontrol edilmektedir. Bu çalışmada sadece alaşım elementi ilavesi yapılmıştır. Gaz giderme işlemlerinde kullanılan elementler veya bunların içerisinde bulunabilen metalik bileşenler çekirdek oluşturucu görevi yapabilmekte ve buna bağlı olarak tane boyutu da küçülebilmektedir. Gaz giderme işleminde kullanılan Al cürufu malzemesi içerisinde daha fazla bulunan Al, Si ve Ti gibi elementler tane boyutuna dikkate değer etki yapmamışlardır. Özellikle toplamda % 0.035 oranında Al cürufu ilavesi yapıldığı düşünüldüğünde, bu oran metal hacmi ile orantılandığında çok düşüktür. Ayrıca, bu elementlerin tümü yüksek oranda oksijene ilgileri nedeniyle deoksidasyon sırasında tüketilmiştir. Deoksidasyondan sonra tane inceltme yapacak oranda sıvı çelikte bu elementlerin kalmaması nedeniyle; gaz giderilmemiş numune (Şekil 4.a) ve AlCaMg ilave edilen numuneye (Şekil 4.b) kıyasla, Al cürufu ilave edilmiş numunede (Şekil 4.c) tane boyutu daha kaba olmuştur. Diğer

yandan, gaz giderme uygulanmamış numunede (Şekil 4.a) ise; bahse konu elementler ve intermetalikler dışarıdan ilave edilmemesine karşın en küçük tane boyutu elde edilmiştir. Katılma sırasında bazı oluşumlar (intermetalikler, oksitler, gaz molekülleri vb) de çekirdeklenme için başlangıç noktaları oluşturmaktadır [16]. Bunlar gaz giderme işlemi ile temizlenmediğinde mekanik olarak çatlak başlangıcı oluşturma ve yorulma ömrünü azaltma gibi olumsuz etkilere neden olsalar da [5-8,16], çekirdek oluşumunu da teşvik etmektedirler. Bu nedenlerle gaz giderilmemiş numunede bu oluşumlara bağlı olarak çekirdeklenme artmış ve tane boyutu ise küçülmüştür. Diğer yandan optik spektrometre analiz sonuçları gaz gidermenin etkilerini göstermek bakımından yeterli olmadığından,



Şekil 4. Üretilen numunelerin mikro yapı görüntüleri, (a) Gaz giderme uygulanmamış, (b) AlCaMg ile gaz giderme uygulanmış ve (c) Al cürufu ile gaz giderme uygulanmış (Microstructure of the produced samples, (a) non-degassed, (b) degassed with AlCaMg and (c) degassed with Al dross)

SEM-EDS ölçümlerine ilave olarak; yüzeyden merkeze doğru oksijen miktarının değişimini göstermek amacıyla XPS ölçümleri de yapılmış ve sonuçlar Çizelge 2’de verilmiştir. XPS analizleri özellikle gaz atomlarının tespiti ve yüzeyden içe doğru değişimini de verdiği için tercih edilmiştir. XPS sonuçları incelendiğinde; gaz giderme uygulanmamış numunede yüzeyde 780 ppm olan oksijen düzeyi merkezde 340 ppm’e, AlCaMg ilavesiyle yüzeyde 710 ppm olan oksijen düzeyi merkezde 320 ppm’e ve Al cürufu ilavesiyle de yüzeyde 720 ppm olan oksijen düzeyi merkezde 250 ppm’e kadar azalmaktadır.

Bu sonuçlar, Al cürufu ile gaz giderme işlemlerinin sağladığı faydaları göstermesi bakımından son derece önemlidir. Hem SEM-EDS ve hem de XPS sonuçları birlikte incelendiğinde; gaz giderme işlemlerinin oksijen miktarını önemli oranda azalttığı, öte yandan Al cürufunun daha etkili olduğu açıkça görülmektedir. Al cürufu kullanıldığında daha etkin bir gaz giderme yapılabildiği için ve ticari kullanımda olan AlCaMg malzemesinden daha iyi sonuçların elde edilebildiği tespit edilmiştir. Ayrıca gaz giderme işlemlerinin sağladığı faydaların daha iyi gösterilebilmesi için Arshimed yöntemi ile ölçülen gözenek oranları (Çizelge 2 ve Şekil 6) incelendiğinde; gaz giderme uygulanmamış numunede oksijen miktarının daha yüksek olması sebebiyle gözenek miktarı da daha fazla olurken, gaz giderilmiş numunelerde gözenekler önemli oranda azalmıştır.

bu amaçla önce SEM-EDS analizleri yapılarak bir kısmı Şekil 5, Şekil 6 ve Çizelge 2’de verilmiştir. Testler, genel dağılımı göstermek amacıyla numune yüzeyinde yaklaşık 70-80 mm² alanı kapsayacak şekilde yapılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde; gaz giderme işlemine bağlı olarak oksijen miktarının azaldığını açıkça göstermektedir. Gaz giderme uygulanmamış numunede ortalama 746 ppm olan oksijen miktarı, AlCaMg ilavesiyle 585 ppm’e ve Al cürufu ilavesiyle de 203 ppm’e kadar indirilebilmiştir. Bu sonuçlara göre; Al cürufu kullanıldığında çok daha iyi oksijen giderilebildiği (\cong % 268), hatta AlCaMg malzemesinden daha iyi sonuçların (\cong % 188) elde edilebildiği görülmüştür.

Başlangıçta gaz giderilmediğinde % 7 olan gözenek miktarı, AlCaMg malzemesi kullanılan numunede % 2.6’ya ve Al cürufu kullanılan numunede ise % 2.1’e kadar azalmıştır. Gaz giderme uygulanmamış numuneyle kıyaslandığında; AlCaMg malzemesi kullanılan numunede yaklaşık olarak % 169 oranında gözenek miktarı azalırken, Al cürufu kullanılan numunede ise % 218 oranında azalmanın meydana geldiği tespit edilmiştir. Üretilen bu numunelerde, mekanik özelliklere etkilerinin fazla olması nedenleriyle tane boyutu ve perlit hacim oranı ölçümleri de yapılmıştır. İnceleme sonuçları Çizelge 2 ve Şekil 6’da verilmiştir. Elde edilen sonuçlara bakıldığında; gaz giderme uygulanmamış numunede % 18 olan perlit hacim oranı, AlCaMg ilavesiyle % 24’ye ve Al cürufu ilavesiyle de % 30’a kadar artmıştır. Al cürufu ilavesiyle perlit hacmi \cong % 67 oranında artış göstermiştir. Al’un çelik malzemelerde, C atomlarının difüzyonunu sınırlayarak perlit oluşumunu teşvik ettiği bilinmektedir.

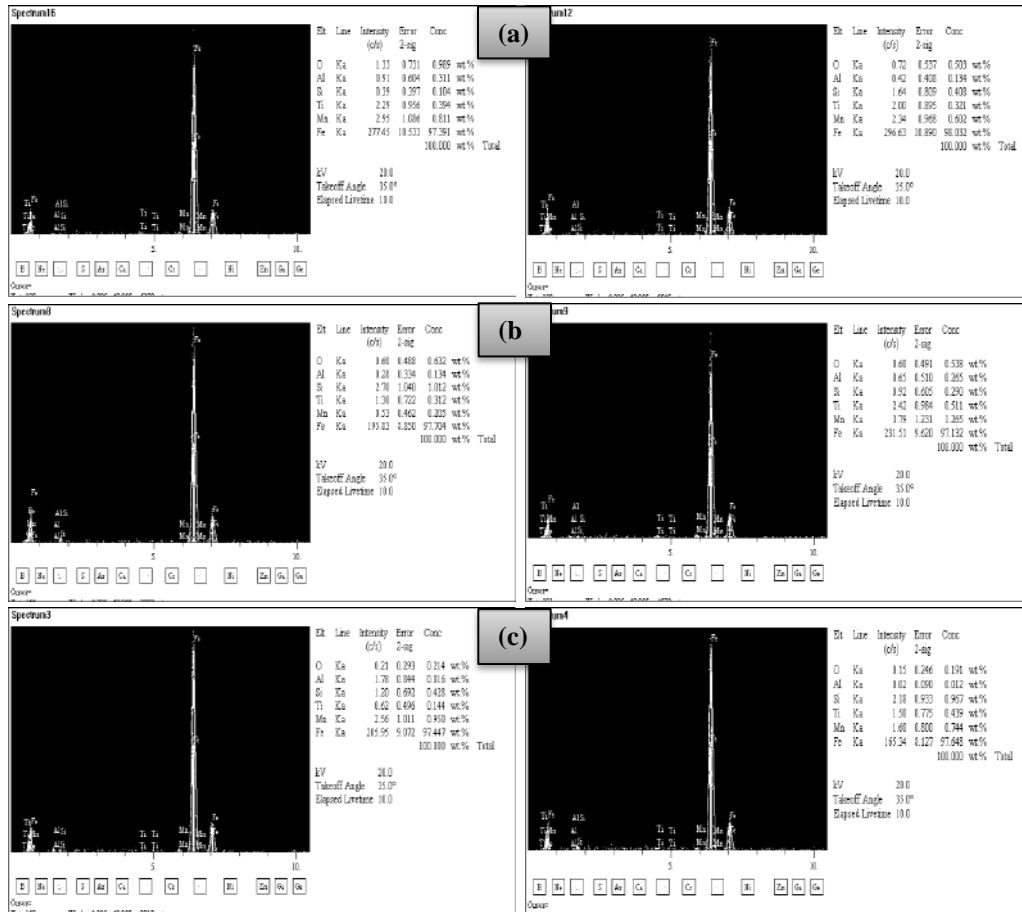
Bu nedenle gaz giderilmiş numunelerde Al miktarının artması neticesinde perlit oranı da artmıştır. Perlit oranına benzer şekilde gaz giderme uygulanmamış numunede 50 µm olan tane boyutu, AlCaMg ilavesiyle 98 µm’ye ve Al cürufu ilavesiyle de 127 µm’a kadar artmıştır. Gaz giderme işlemleri neticesinde; tane boyutu küçülmemiş, ancak daha önce de bahse konu olan nedenlerden dolayı özellikle Al miktarındaki artışın (Şekil 5) etkisiyle perlit hacim oranını yükselmiştir (Şekil 4 ve 6). Bu oksijen ve gözenek oranı ile tane boyutu ve perlit oranındaki

değişimler mekanik özellikleri doğrudan etkilemektedir. Çekme testleri sonucunda elde edilen uzama, çekme ve akma dayanım sonuçları Şekil 7’de ve çekme sırasındaki kopma enerjisi (tokluk) değişimleri ise Şekil 8’de verilmiştir.

Sonuçlar incelendiğinde; gaz giderme sonucunda gözenek ve gaz konsantrasyonunun azalmasına bağlı olarak (Şekil 5 ve 6) çekme ve akma dayanımları ile kopma enerjileri artarken, süneklik ise azalmıştır.

Bu sonuçların meydana gelmesinde etkili olan birinci faktör gaz gözenekleri olurken, ikinci faktör ise tane boyutu ve üçüncü en önemli faktör ise mikroyapıdaki perlit oranındaki değişimlerdir (Şekil 4, Şekil 6).

Bu değişimlere bağlı olarak; AlCaMg malzemesi ve Al cürufu kullanıldığında sırasıyla çekme dayanımında \cong % 4-10, akma dayanımında \cong % 2-9, kopma enerjisinde \cong % 2-3, sertlikte ise \cong % 2-9 artış meydana gelirken, uzamada ise \cong % 6-14 oranında azalma olmuştur.



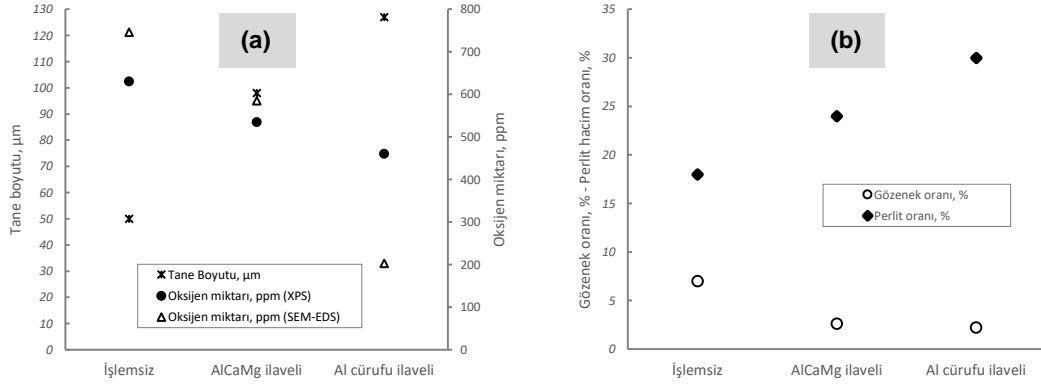
Şekil 5. Üretilen numunelerin SEM-EDS analizleri, (a) Gaz giderme uygulanmamış, (b) AlCaMg ile gaz giderme uygulanmış ve (c) Al cürufu ile gaz giderme uygulanmış (SEM-EDS analysis of the produced samples, (a) non-degassed, (b) degassed with AlCaMg and (c) degassed with Al cross)

Çizelge 2. Üretilen numunelerden elde edilen; (a) oksijen miktarları (XPS ve SEM-EDS analizi) ve tane boyutu, (b) gözenek ve matris yapı perlit hacim oranları (Obtained from the samples produced; (a) oxygen content (XPS and SEM-EDS analysis) and grain size, (b) density and matrix structure perlite volume ratios)

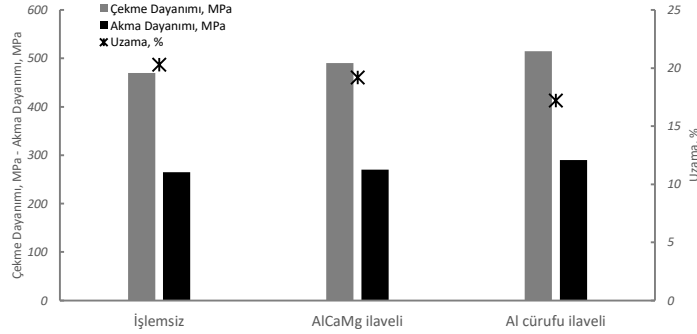
	Gaz giderme uygulanmamış	AlCaMg ilaveli	Al cürufu ilaveli
Oksijen miktarı, ppm (SEM-EDS)	989-503→746	632-538→585	214-191→203
Oksijen miktarı, ppm (XPS)	780→340	710→320	720→250
Tane boyutu, μm (\pm 4.2)	50	98	127
Perlit hacim oranı, % (\pm 3.4)	18	24	30
Gözenek oranı, % (\pm 0.4)	7	2.6	2.1

Metalik malzemelerde tane boyutunun azalmasıyla Hall-Petch kuramına göre dayanım artmaktadır. Tane boyutu küçüldükçe tane sınırı artmaktadır. Bu değişimlere bağlı olarak sertlik de artmakta, ancak genellikle uzama azalmaktadır. Gaz giderme uygulanmamış numunede perlit miktarının daha az olması nedeniyle daha yüksek süneklik elde edilmiştir. Üretilen numunelerin sertlikleri de ölçülmüş ve sonuçlar Şekil 8'de verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde; gaz giderme yapılmamış malzemede 265

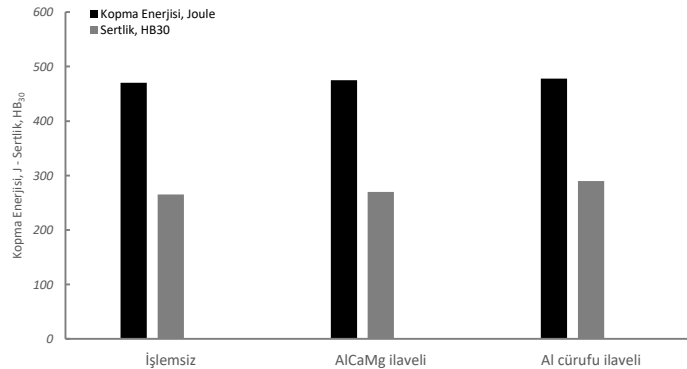
HB olan sertlik değerinin, AlCaMg malzemesi kullanıldığında \cong % 1.8 artışla 270 HB'e ve Al cürufu kullanıldığında ise \cong % 11.5 artışla 290 HB'e yükseldiği görülmektedir. Çelik malzemelerde sertliği alaşım elementleri tür ve miktarları, küçük tane boyutu ve sert faz hacim oranlarının yüksekliği belirlemektedir. Bu çalışmada özellikle perlit hacim oranının artmasına bağlı olarak sertliğin de arttığı tespit edilmiştir



Şekil 6. Üretilen numunelerden elde edilen; (a) oksijen miktarları (SEM-EDS analizi) ve tane boyutu, (b) yoğunluk ve matris yapı perlit hacim oranları (Obtained from the samples produced; (a) oxygen content (SEM-EDS analysis) and grain size, (b) density and matrix structure perlitite volume ratios)



Şekil 7. Üretilen numunelerden elde edilen % uzama, çekme ve akma dayanımı sonuçları (% Elongation, tensile and yield strength results obtained from produced samples)



Şekil 8. Üretilen numunelerden elde edilen kopma enerjisi ve sertlik sonuçları (Breaking energy and hardness results obtained from produced samples)

4. SONUÇLAR (RESULTS)

Yapılan test ve analizler sonucunda;

- ❖ Çelik malzemelerin döküm işlemlerinde mikroyapısal ve mekanik özelliklerin

geliştirilebilmesi için mutlaka gaz giderme (veya deoksiasyon) yapılmasının gerektiği,

- ❖ Mikroyapı görüntülerine bakıldığında, gaz giderme uygulanmamış numunede hem AlCaMg ile işlem yapılmış hemde Al cürufu ile deoksiasyon edilmiş

- numuneye kıyasla daha ince tane yapısının elde edilebildiği,
- ❖ SEM-EDS ve XPS analizleri sonuçları ve yoğunluk analizlerinden malzeme içerisindeki oksijen miktarları incelendiğinde, diğer numunelere kıyasla Al cüruf kullanılarak üretilen numunede daha iyi gaz gidermenin yapılabildiği,
 - ❖ Al cürufu ile gaz giderilmiş numunenin; AlCaMg ilavesiyle üretilmiş numuneye göre çekme ve akma dayanımı ile kopma enerjisi ve sertliğinin daha da geliştirilebildiği tespit edilmiştir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENT)

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde sağladıkları katkılar nedeniyle; 1139B411500372 kodlu projeye verdikleri destek nedeniyle TÜBİTAK'a, Al cürufunun teminindeki desteklerinden dolayı Yıldız Teknik Model Döküm ve döküm işlemlerinin gerçekleştirilmesinde gösterdikleri çaba ve katkılar nedeniyle Real Çelik Döküm firmasına teşekkür ederim.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Capurro C., Cerrutti G. and Cicutti C., "Influence of vacuum degassing on steel cleanliness", *9th International Conference on Clean Steel*, Budapest, Hungary, (2015).
- [2] Miltenberger R. S., Miltenberger, W. and Weirton V., "Process for preparing killed low carbon steel and continuously casting the same, and the solidified steel shapes thus produced", *Patent no: US3793000A*, (1972).
- [3] Chernyshov, E.A., Pichugina, E.Y. and Baev, I.M. "Effect of liquid metal degassing on alloy steel billet quality", *Metallurgist*, 58(1-2): 28-30, (2014).
- [4] Zhang L., Thomas B.G., Wang X. and Cai K, "Evaluation and control of steel cleanliness – Review", *85th Steelmaking Conference Proceedings*, ISS-AIME, Warrendale, PA, 431-452, (2002).
- [5] Laurent H., Pär J. and Reinholdsson, F., "The effect of deoxidation practise on inclusion characteristics in bearing steel production", *Steel Times International; Redhill*, 21 (6): 47-48, (1997).
- [6] Campbell J., "Effects of vibration during solidification", *Journal International Metals Reviews*, 26(1): 71-108, (2013).
- [7] Campbell, J., "Castings Practice: The ten rules of castings", *Butterworth-Heinemann*, 1st Edition, 1-224, (2004).
- [8] Lipiński T. and Wach A., "The effect of fine non-metallic inclusions on the fatigue strength of structural steel" *Archive of Metallurgy and Materials*, 60(1): 65–69, (2015).
- [9] Steel Deoxidation: Part One, *Total Materia*, <https://www.totalmateria.com/page.aspx?ID=CheckArticle&site=kts&NM=216>, (2019).
- [10] Z. Ma, A. Franke and D. Janke: "Improvement of castibility and quality of continuously cast steel by alternative deoxidation techniques", *Technical report*, TU Freiberg, (1999).
- [11] Janke D., Ma Z, Valentin P. and Heinen A., "Improvement of castability and quality of continuously cast steel", *ISIJ International*, 40(1): 31-39, (2000).
- [12] Manfredi O., Wuth W. and Bohlinger I., "Characterizing the physical and chemical properties of aluminium dross", *JOM*, 49(11): 48-51, (1997).
- [13] Hwang J.Y., Huang X. and Xu Z., "Recovery of metals from aluminium dross and saltcake", *Journal of Mineral&Materials Characterization&Engineering*, 5: 47-62, (2006).
- [14] Hryn J.N. and Daniels E.J., "Recycling aluminum salt cake,process engineering section, energy systems division", Argonne National Laboratory, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 44(23): 8852-8857, (2005).
- [15] Yücel O. ve Car E., "Alüminyum curuflarının değerlendirilmesi ve kalsiyum alüminat sentetik curuf yapıcı üretimi", *Metalurji Dergisi*, 175: 35-43, (2015).
- [16] Dimitrios S., "On deoxidation practice and grain size of austenitic manganese steel", *Licentiate thesis in Materials and Manufacturing, Jönköping University School of Engineering*, 1-57, (2017)



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

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



Pasif tümör hedefli inorganik ilaç nanotaşıyıcıların akciğer sağlıklı ve kanser hücreleri üzerindeki uzun dönemli etkisi

Long term effect of passive tumor targeted inorganic drug nanocarriers on lung healthy and cancer cells

Yazar(lar) (Author(s)): Cenk DAĞLIOĞLU¹, Fatma Necmiye KACI²

ORCID¹: 0000-0002-3857-2317

ORCID²: 0000-0003-3745-8173

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Dağlıoğlu C. ve Kaci F. N., “Pasif tümör hedefli inorganik ilaç nanotaşıyıcıların akciğer sağlıklı ve kanser hücreleri üzerindeki uzun dönemli etkisi”, *Politeknik Dergisi*, 23(3): 649-656, (2020).

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

DOI: 10.2339/politeknik.496354

Pasif Tümör Hedefli İnorganik İlaç Nanotaşıyıcıların Akciğer Sağlıklı ve Kanser Hücreleri Üzerindeki Uzun Dönemli Etkisi

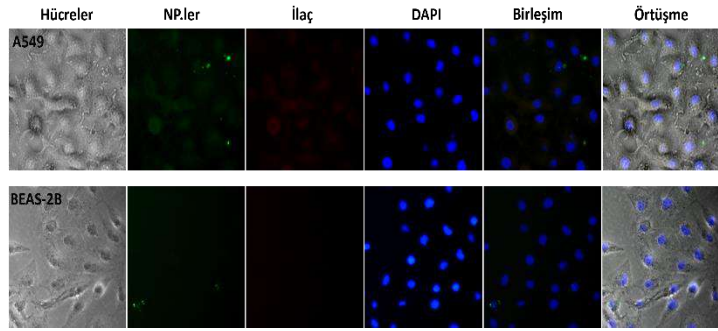
Long Term Effect of Passive Tumor Targeted Inorganic Drug Nanocarriers on Lung Healthy and Cancer Cells

Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ İlaç nanotaşıyıcıların akciğer sağlıklı ve kanser hücreleri üzerindeki uzun dönem etkileri araştırıldı. / Long time exposure effect of drug nanocarriers was examined on lung healthy and cancer cells.
- ❖ Nanotaşıyıcılar kanser hücresi canlılığını kısa inkübasyon sürecinde etkin bir şekilde azalttı. / The nanocarriers showed efficient reduction of cancer cell viability in short exposure time.
- ❖ Uzun inkübasyon sürecinde, sağlıklı hücreler düşük düzeylerde ilaç-aracılı sitotoksosite sergiledi. / During prolonged exposure, the nanocarriers exhibited lower level drug-mediated cytotoxicity on healthy cells.

Grafik Özet (Graphical Abstract)

A549 ve BEAS-2B hücrelerinin 48 saatlik nanotaşıyıcı inkübasyonları sonrası hücresel alım floresan mikroskobu görüntüleri. / Fluorescence microscopy images of A549 and BEAS-2B cells after 48 h nanocarriers incubations.



Amaç (Aim)

Bu çalışmada, pasif hedefli ilaç nanotaşıyıcıların insan akciğer epitel BEAS-2B hücreleri ve insan akciğer kanser A549 hücreleri üzerindeki uzun dönem etkileri araştırıldı. / This study examined long time exposure effect of passively targeted drug nanocarriers on human lung epithelial BEAS-2B cells and human lung cancer A549 cells.

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Görüntüleme ve tedavi edici özellikleri bir arada barındıran ilaç nanotaşıyıcıları kullanıldı ve hücresel birikim, sitotoksosite ve apoptoz üzerindeki etkileri araştırıldı. / Drug nanocarriers combining imaging and therapy were used and its cellular uptake, cytotoxicity and apoptotic effects were investigated.

Özgünlük (Originality)

Aktif hedefli muadillerine göre, pasif hedefli nanotaşıyıcılar tümörlü dokularda daha yavaş ve düşük düzeyde ilaç birikimi sağladığından kanserli hücrelerin yanında sağlıklı hücrelerde uzun süre bu nanotaşıyıcılara maruz kalmaktadır. / Tumor accumulation of passively targeted nanocarriers is generally more slowly and lower compared to their active counterparts. Thus in addition to cancer cells, healthy cells are also exposed to these nanocarriers at the same time.)

Bulgular (Findings)

Pasif hedefli nanotaşıyıcılar kanser hücresi canlılığını etkin bir şekilde azaltırken, 24 saatlik inkübasyon sürecinde sağlıklı hücreler üzerinde kayda değer bir etki görülmedi. Ayrıca, nanotaşıyıcılar A549 hücrelerindeki apoptoz seviyelerini önemli ölçüde artırırken, BEAS-2B hücrelerinde 96 saat sonunda dahi apoptotik etki göstermedi. / Passively targeted nanocarriers showed efficient reduction of cancer cell viability. This did not affect internalization and viability of healthy cells in 24 h. Moreover, it was found that the nanocarriers considerable increased the percent of apoptotic cells in A549 cells whereas showed no apoptotic effect in BEAS-2B cells in 96h.

Sonuç (Conclusion)

Bu sonuçlar, pasif hedefli inorganik ilaç nanotaşıyıcıların, sağlıklı hücreleri ihmal edilebilir düzeyde etkileyerek, antikanser ilaçların kemoterapötik etkilerini artırmada umut verici olduğunu göstermektedir. / These results show that passively targeted inorganic drug nanocarriers could be promising for enhancing the chemotherapeutic effects of anticancer drugs, while producing negligible effects on healthy cells.

Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazarları çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The authors of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

Pasif Tümör Hedefli İnorganik İlaç Nanotaşıyıcılarının Akciğer Sağlıklı ve Kanser Hücreleri Üzerindeki Uzun Dönemli Etkisi

Araştırma Makalesi / Research Article

Cenk DAĞLIOĞLU^{1*}, Fatma Necmiye KACI²

¹İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Fen Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Urla/İzmir 35430, Türkiye

²Erzurum Teknik Üniversitesi, Fen Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Yakutiye/Erzurum 25050, Türkiye

(Geliş/Received : 31.12.2018 ; Kabul/Accepted : 08.07.2019)

ÖZ

İlaç nanotaşıyıcıları, kontrollü ve sürekli ilaç salım özellikleri ile kanser tedavisinde büyük bir potansiyele sahiptir. Bu nanotaşıyıcılar pasif veya aktif hedefli olarak ilaç taşınımı sağlayabilmektedir, ancak aktif hedefli muadillerine göre, pasif hedefli nanotaşıyıcılar tümörlü dokularda daha yavaş ve düşük düzeyde ilaç birikimi sağladığından kanserli hücrelerin yanında sağlıklı hücrelerde uzun süre bu nanotaşıyıcılara maruz kalmaktadır. Bu nedenle, bu çalışmada, pasif hedefli ilaç nanotaşıyıcıların insan akciğer epitel BEAS-2B hücreleri ve insan akciğer kanser A549 hücreleri üzerindeki uzun dönem etkileri araştırıldı. Bunun için, görüntüleme ve tedavi edici özellikleri bir arada barındıran Fe₃O₄@SiO₂(FITC)-DOX formülasyonuna sahip ilaç nanotaşıyıcıları kullanıldı ve hücresel birikim, sitotoksikite ve apoptoz üzerindeki etkileri araştırıldı. Hücresel alım ve sitotoksikite deneyleri, pasif hedefli nanotaşıyıcıların kanser hücresi canlılığının etkin bir şekilde azalttığını gösterirken, 24 saatlik inkübasyon sürecinde sağlıklı hücreler üzerinde kayda değer bir etki görülmedi. Ancak 96 saatlik uzun inkübasyon sürecinde, sağlıklı BEAS-2B hücreleri makul seviyelerde nanotaşıyıcı alımı gerçekleştirenken, A549 kanser hücrelerine kıyasla düşük düzeylerde ilaç-aracılı sitotoksikite sergiledi. Ayrıca, nanotaşıyıcılar A549 hücrelerindeki apoptoz seviyelerini önemli ölçüde artırırken, BEAS-2B hücrelerinde 96 saat sonunda dahi apoptotik etki göstermedi. Bu sonuçlar, pasif hedefli inorganik ilaç nanotaşıyıcıların, sağlıklı hücreleri ihmal edilebilir düzeyde etkileyerek, antikanser ilaçların kemoterapötik etkilerini artırmada umut verici olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Kanser, pasif tümör hedefleme, ilaç nanotaşıyıcılar, BEAS-2B hücreleri, A549 hücreleri.

Long Term Effect of Passive Tumor Targeted Inorganic Drug Nanocarriers on Lung Healthy and Cancer Cells

ABSTRACT

Drug nanocarriers have shown great potential in cancer therapy, as they provide controlled- and sustained-release properties. Nanocarriers can deliver drugs with passive or active targeting, but tumor accumulation of passively targeted nanocarriers is generally more slowly and lower compared to their active counterparts. Thus in addition to cancer cells, healthy cells are also exposed to these nanocarriers at the same time. In the light of this issue, this study examined long time exposure effect of passively targeted drug nanocarriers on human lung epithelial BEAS-2B cells and human lung cancer A549 cells. For this reason, Fe₃O₄@SiO₂(FITC)-DOX formulated drug nanocarriers combining imaging and therapy were used and its cellular uptake, cytotoxicity and apoptotic effects were investigated. Cellular uptake and cytotoxicity experiments demonstrated that passively targeted nanocarriers showed efficient reduction of cancer cell viability. This did not affect internalization and viability of healthy cells in 24 h. But after 96 h prolonged incubation time, non-tumoral BEAS-2B cells showed moderate level cellular uptake of nanocarriers and exhibited lower level drug-mediated cytotoxicity as compared to A549 cancer cells. Moreover, it was found that the nanocarriers considerable increased the percent of apoptotic cells in A549 cells, whereas showed no apoptotic effect in BEAS-2B cells in 96 h. These results show that passively targeted inorganic drug nanocarriers could be promising for enhancing the chemotherapeutic effects of anticancer drugs, while producing negligible effects on healthy cells.

Keywords: Cancer, passive tumor targeting, drug nanocarriers, BEAS-2B cells, A549 cells.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

İnorganik nanotaşıyıcılar sahip oldukları daha uzun kan dolaşımı, daha iyi ilaç salınım kinetiği, gelişmiş antikanser etkinliği ve düşük yan etkileri gibi üstün özellikleri sayesinde, geleneksel kanser tedavilerine karşı

etkili bir ilaç taşıma yöntemi olarak ortaya çıkmaktadır [1-2]. Bu taşıyıcılar arasında manyetik özelliğe (Fe₃O₄) sahip nanotaşıyıcılar, aynı anda hem diyagnostik hem de terapötik uygulamalarda kullanılabilmesi ve terapötik fonksiyonların taşıyıcılara kolayca entegre edilebilmesinden dolayı biyomedikal uygulamalarda ümit verici olmaktadır [3-4]. Ayrıca bu taşıyıcılar artmış geçirgenlik ve alıkonma (EPR) etkileri sayesinde tümör

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta : cenkdagliolu@iyte.edu.tr

bölgelerinde yüksek miktarlarda birikebilirken aynı zamanda taşıdıkları antikanser ilaçların antitümoral etkinliklerini de kayda değer düzeylerde artırabilmektedir [5]. Artmış geçirgenlik ve alıkonma (EPR: enhanced permeability and retention) etkisi, bir pasif hedefleme formudur ve çeşitli boyutlardaki nanotaşıyıcıların (genellikle 10-100 nm) tümör dokularında, sağlıklı dokularda mümkün olmayan şekilde birikmesi sonucu oluşur [6]. Nanotaşıyıcılar bu benzersiz özellikleri sayesinde, antikanser ajanların tümör hücrelerine taşınımını mümkün kılmaktadır. Bu sayede, nanotaşıyıcılar aracılığıyla kanser hücrelerinin içindeki ilaç konsantrasyonları artırılırken, normal hücrelere karşı meydana gelebilecek olan toksik etki de minimize edilmektedir. Ancak, uzun süreli maruz kalma sürelerinde, nanotaşıyıcıların organizma üzerindeki etkileri hala dokularda potansiyel birikimleri gibi soru işaretleri barındırmaktadır [7]. Bu nedenle, uzun süreli ilaç nanotaşıyıcı uygulamaları öncesi sağlıklı hücreler üzerinde meydana gelebilecek muhtemel birikim ve toksik etkilerin belirlenmesine ihtiyaç vardır. Böylece bir yandan istenmeyen sistemik reaksiyonlar elimine edilebilirken, diğer taraftan kullanılması gereken en uygun ilaç nanotaşıyıcı konsantrasyonları da belirlenebilir. Bu bağlamda bu çalışmanın amacı ilaç nanotaşıyıcılara uzun süreli maruz kalan sağlıklı hücrelerin, aynı süreçteki kanserli hücrelerle birlikte, yanıtlarını değerlendirmektir. Bunun için, nano-formülasyonu daha önceki çalışmalarımızda geliştirilen ve fizikokimyasal olarak da karakterize edilen, bir pasif hedefleme formu olan artmış geçirgenlik ve alıkonma (EPR) etkisi için sentezlenen $Fe_3O_4@SiO_2(FITC)$ -DOX multifonksiyonel nanotaşıyıcıları kullanıldı [8-9]. Pasif hedefli bu nanotaşıyıcıların insan akciğer epitel BEAS-2B hücreleri ve insan akciğer kanser A549 hücreleri üzerindeki uzun dönemli etkileri, göstermiş oldukları (1) hücresel alım; (2) floresan görüntüleme; (3) sitotoksik ve (4) proapoptotik etkileri araştırılarak karşılaştırıldı.

2. MALZEME VE YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)

2.1. Malzeme (Materials)

3-(4,5-dimetil-2-tiazolil)-2,5-difeniltetrazolyum bromid (MTT) ve tripsin *Sigma-Aldrich Chemicals* 'dan, %10 fetal bovin serumu (FBS), streptomisin, penisilin, L-glutamik asit, DMEM besiyeri *Gibco Life technologies* 'den temin edilmiştir. Kullanılan diğer tüm kimyasallar analitik saflıktadır ve denemeler boyunca ultra saf su kullanılmıştır.

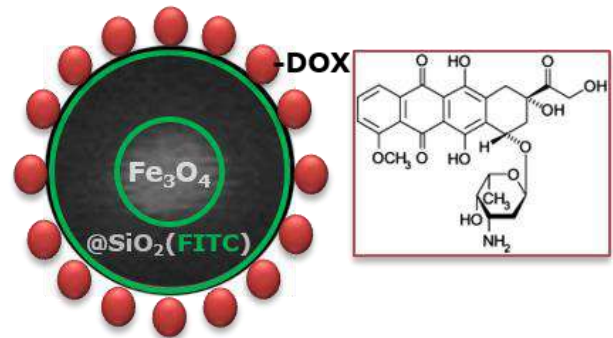
2.2. Hücre Kültürü (Cell Cultures)

İnsan akciğer epitel BEAS-2B ve insan akciğer kanser A549 hücre hatları İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Biyoteknoloji ve Biyomühendislik Araştırma ve Uygulama Merkezinden temin edildi. Kanser hücreleri, 10% (v/v) fetal bovin serumu (FBS), 100 µg/mL streptomisin, 100 U/mL penisilin ve 2 mM L-glutamik asit içeren DMEM besiyeri içinde kültüre edildi. Kültür,

steril koşullar altında 37 °C de, %5 CO₂ ihtiva eden inkübatörde gerçekleştirildi.

2.3. Nanotaşıyıcıların Sentezi ve Karakterizasyonu (Synthesis and Characterization of Nanocarriers)

$Fe_3O_4@SiO_2(FITC)$ -DOX formülasyonuna sahip inorganik nanotaşıyıcılar kaynakça 8 ve 9 de tarif edildiği gibi daha önceki çalışmalarımızda sentezlendi. Bunun için ilk olarak demir oksit (Fe_3O_4) çekirdek yapısı Fe^{+2}/Fe^{+3} tuzlarının ortak çöktürülmesi yöntemiyle sentezlendi. Nanotaşıyıcıların biyouyumluluk ve stabilite kazanması, ayrıca fizikokimyasal metodlarla yüzeylerinin fonksiyonelleştirilebilmesi için, demir oksit çekirdek, silika polimeri ile kaplandı. Bu amaç için sol-jel kimyasından yararlanıldı ve tetraetil ortosilikat (TEOS) ile demir oksit çekirdek kaplanarak $Fe_3O_4@SiO_2$ yapısı oluşturuldu. Daha sonra nanotaşıyıcıların hücre tarafından alındığının optik olarak izlenebilmesi için, $Fe_3O_4@SiO_2$ yapısına floresan özelliğine sahip floresan izotiyosyanat (FITC) enkapsüle edildi. Enkapsülasyon sayesinde, nanotaşıyıcıların fotokimyasal stabilitesini artırması sağlandı. Bu işlemler sonrasında, *in vivo* ve *in vitro* koşullarda takip edilebilen, silika manyetik-floresan [$Fe_3O_4@SiO_2(FITC)$] nanotaşıyıcı yapısı oluşturuldu. Son adımda ise, model bir antikanser ilaç olarak doksorubisin (DOX), amin-fonksiyonel nanotaşıyıcı yüzeyine schiff-bazı kimyası ile bağlanarak $Fe_3O_4@SiO_2(FITC)$ -DOX formülasyonuna sahip pasif hedefli ilaç nanotaşıyıcıları sentezlendi (Şekil 1). Nanotaşıyıcıların fizikokimyasal karakterizasyonları, dinamik ışık saçılım spektrometresi (DLS), zeta-potensiyeli ölçümü, X-ışınları difraksiyon analizi (XRD), Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR) ve elektron mikroskobu teknikleri (SEM, STEM ve EDX) ile gerçekleştirildi.



Şekil 1. $Fe_3O_4@SiO_2(FITC)$ -DOX formülasyonuna sahip nanotaşıyıcıların şematik gösterimi. Nanotaşıyıcıların çekirdek-kabuk yapısı (beyaz çekirdek-gri kabuk) taramalı-geçirimli elektron mikroskobu (STEM) aracılığıyla elde edildi. Gri silika kabuk içerisine FITC enkapsülasyonu sağlandı. Nanotaşıyıcıların yüzeyindeki kırmızı küreler antikanser ilaç doksorubisini (DOX) temsil etmektedir. (Figure 1. Schematic representation of nanocarriers with $Fe_3O_4@SiO_2(FITC)$ -DOX formulation. *The core-shell structure of the

nanocarriers (white core-gray shell) was obtained from the scanning transmission electron microscopy (STEM). The FITC label (the contrast agent) encapsulated in the grey shell of the nanocarriers. Red circles represent the chemotherapeutic agent doxorubicin (DOX).)

2.4. Hüresel Alım Deneylemleri (Cellular Uptake Analysis)

Fe₃O₄@SiO₂(FITC)-DOX nanotaşıyıcılarının, akciğer epitel BEAS-2B ve akciğer kanser A549 hücrelerini hedefleme potansiyelleri floresan mikroskopu kullanılarak araştırıldı.

Mikroskopik görüntüleme için, BEAS-2B ve A549 hücreleri 100.000 hücre/mL yoğunluğunda 6 kuyulu plakalarda 10 µg/mL nanotaşıyıcı konsantrasyonunda 4 / 12 ve 24 saat boyunca inkübe edildi. İnkübasyon sonrası hücreler; nanotaşıyıcılara enkapsüle edilen FITC için yeşil kanalda, nanotaşıyıcılara konjuge edilen ilaç için kırmızı kanalda, hücre çekirdek boyası DAPI için mavi kanalda ve hücre genel görüntüsü için aydınlık alanda floresan mikroskopu altında optik olarak izlendi. Nanotaşıyıcıların hüresel alımı, Olympus IX71 floresan mikroskopu kullanılarak görüntülendi. İlgili görüntülerin fotoğrafları CCD kamera kullanılarak çekildi ve ImageJ programı kullanılarak analiz edildi.

2.5. İnorganik İlaç Nanotaşıyıcıların Sitotoksik Etkileri (Cell Viability Analysis of Inorganic Drug Nanocarriers)

Fe₃O₄@SiO₂(FITC)-DOX nanotaşıyıcılarının, akciğer epitel BEAS-2B ve akciğer kanser A549 hücreleri üzerinde gösterdikleri sitotoksiste, MTT yöntemi kullanılarak belirlendi.

Sitotoksiste çalışmaları için, BEAS-2B ve A549 hücreleri 10.000 hücre/mL yoğunluğunda 96 kuyulu plakalarda 0.1 /1.0 /10 / 50 / 100 / 200 µg/mL nanotaşıyıcı konsantrasyonlarıyla 24 / 48 / 72 ve 96 saat boyunca inkübe edildi. Bu inkübasyonlardan sonra, hücreler 0.5 mg/mL MTT içeren ortamda 4 saat inkübe edildi ve ardından plakalar 1800 rpm de 10 dakika boyunca santrifüj edildi. Süpernatant uzaklaştırıldıktan sonra her bir kuyucukda oluşan formazan kristalleri 150 µL DMSO içerisinde çözüldü ve 570 nm deki absorbansları mikropılaka okuyucu aracılığıyla okunarak "yarı-maksimum inhibisyon konsantrasyonları" (IC₅₀) belirlendi. IC₅₀ değerleri GraphPad Prism 7.0 yazılımı ile hesaplandı.

2.6. İnorganik İlaç Nanotaşıyıcıların Pro-apoptotik Etkileri (Proapoptotic effects of Inorganic Drug Nanocarriers)

Fe₃O₄@SiO₂(FITC)-DOX nanotaşıyıcılarının, akciğer epitel BEAS-2B ve akciğer kanser A549 kanser hücreleri üzerinde gösterdikleri pro-apoptotik etkileri hücre çekirdek morfolojileri aracılığıyla, DAPI boyama yöntemiyle, Olympus IX71 floresan mikroskopu kullanılarak optik olarak analiz edildi.

Zamana bağımlı apoptoz çalışmaları için, BEAS-2B ve A549 hücreleri 100.000 hücre/mL yoğunluğunda 6

kuyulu plakalarda IC₅₀ konsantrasyonlarındaki nanotaşıyıcılarla 48 / 72 ve 96 saat boyunca inkübe edildi. İnkübasyon sonrası fosfat tamponlu çözelti (PBS) ile yıkanan hücreler 10 dakika boyunca % 4 paraformaldehit ile fikse edildi, ardından üç defa PBS ile yıkandı. Hücreler daha sonra 10 dakika boyunca % 0.1 Triton-X ile muamele edilerek hücre membranının geçirgenliği artırıldı ve akabinde tekrardan üç defa PBS ile yıkandı. Son olarak her bir kuyu 5 µL 1 mg/mL yoğunluğundaki DAPI çözeltisi ile boyandı. Boyama sonrası hücre çekirdekleri floresan mikroskopu altında optik olarak incelendi ve yoğunlaşmış veya parçalanmış çekirdekli hücreler apoptotik hücreler olarak kabul edildi. Görüntüler ImageJ programı aracılığıyla analiz edildi.

2.7. İstatistiksel Analiz (Statistical Analysis)

Tüm veriler, ortalama ± standart sapma (SS) olarak verildi. İstatistiksel analizler Student's *t* testi kullanılarak Microsoft Excel yazılımı aracılığıyla yapıldı. P ≤0.05 değeri istatistiksel olarak anlamlı kabul edildi.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

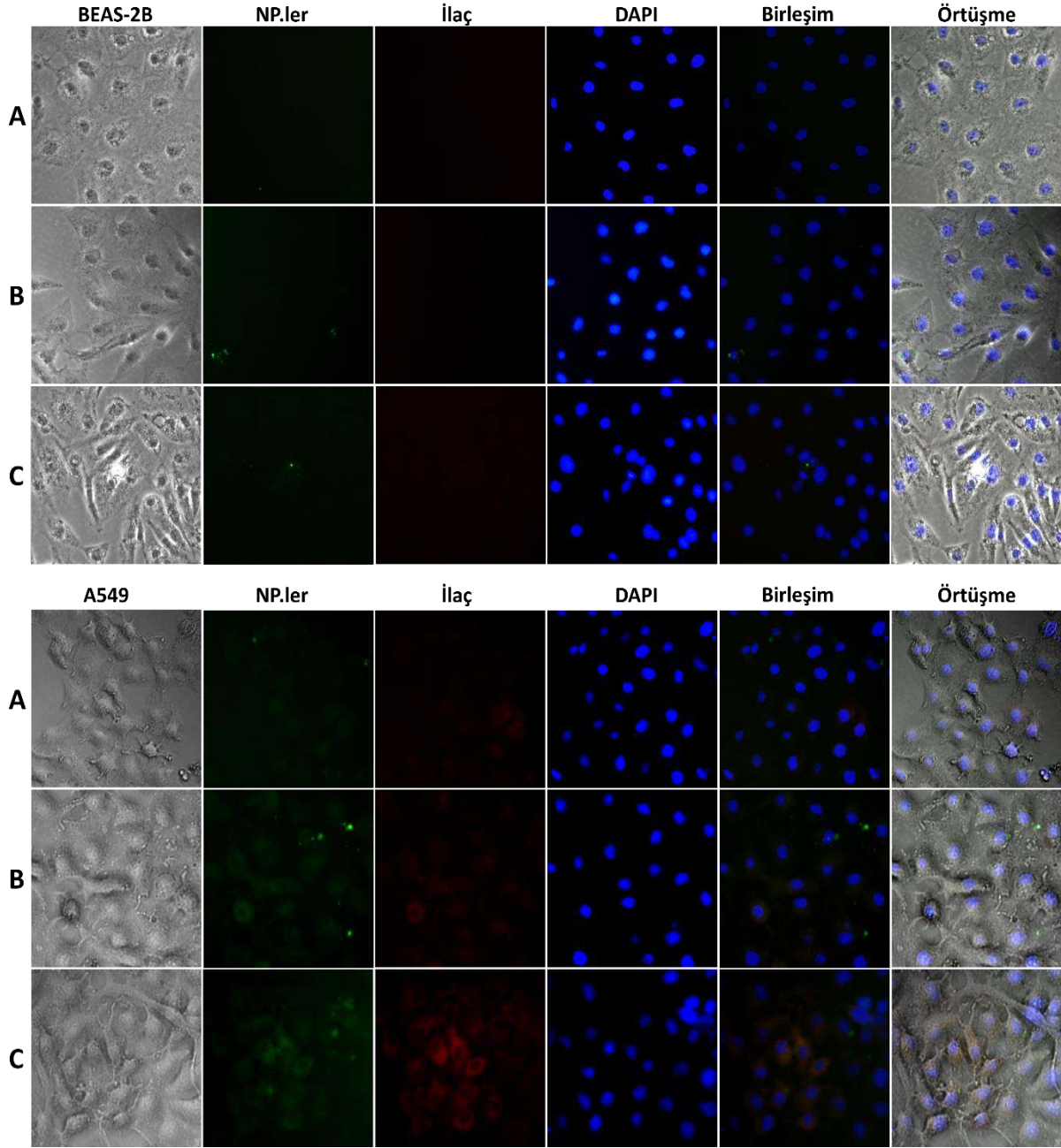
3.1. İnorganik İlaç Nanotaşıyıcıların Hüresel Alımı (Cellular Uptake Analysis of Inorganic Drug Nanocarriers)

Fe₃O₄@SiO₂(FITC)-DOX nanotaşıyıcılarının BEAS-2B ve A549 hücrelerini hedefleme potansiyellerinin araştırılması için aydınlık alan ve floresan mikroskop görüntüleri çekildi. Nanotaşıyıcıların hüresel lokalizasyonları, floresan görüntülerine karşılık gelen aydınlık alan görüntülerinin karşılaştırılmasıyla elde edildi. Hüresel alımı takip etmek için hücre çekirdeği ayrıca DAPI ile boyandı. Nanotaşıyıcılar zamana bağımlı olarak artan oranlarda A549 kanser hücrelerini hedefleyebilirken, aynı şekilde hücre içi kırmızı floresan yoğunluklarından anlaşıldığı üzere artan oranlarda ilaç yüklemesi de gerçekleştirdi. Sağlıklı akciğer epitel BEAS-2B hücrelerinde ise zamana bağımlı olarak 24 saatlik inkübasyon sonrasında, kanser hücreleri ile karşılaştırıldığında, ihmal edilebilecek düzeylerde nanotaşıyıcı alımı gerçekleşti (Şekil 2). Bu sonuçlar, Fe₃O₄@SiO₂(FITC)-DOX inorganik nanotaşıyıcıların A549 akciğer kanseri hücrelerine başarılı bir şekilde nüfuz edebildiğini, ancak sağlıklı akciğer epitel BEAS-2B hücrelerine karşı 24 saatlik uzun inkübasyon sürecinde dahi hüresel alım yönünde bir etki göstermediği doğrulamaktadır. Elde edilen bu sonuçlar, daha önce raporladığımız ve aktif olarak hedeflendirilen inorganik nanotaşıyıcıların sağlıklı hücreler yerine kanser hücrelerini daha yüksek afinitede hedeflendirdiğini gösterdiğimiz çalışmamızı da desteklemektedir [10]. Jung ve arkadaşları tarafından yapılan diğer bir çalışmada ise hedefleme ajanı olarak biyotinin kullanıldığı nanotaşıyıcılar ile A549 kanser hücrelerinin yarım saatlik süre içerisinde aktif olarak hedeflendirilebildiği gösterilmiştir. Fakat aktif hedefli bu nanotaşıyıcıların sağlıklı hücreler üzerinde

gösterebileceği potansiyel etkileri araştırmaya dâhil edilmemiştir [11]. Bu sonuçlar pasif hedefli nanotaşıyıcıların tümör mikroçevresine verimli bir şekilde lokalize olabildiği gösterirken, aktif hedefleme aracılığı ile tümör hücrelerinin nanotaşıyıcıları alımı hızlandırılabilir.

3.2. İnorganik İlaç Nanotaşıyıcıların Sitotoksik Etkileri (Cell Viability Analysis of Inorganic Drug Nanocarriers)

$\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{SiO}_2(\text{FITC})\text{-DOX}$ nanotaşıyıcılarının BEAS-2B ve A549 hücreleri üzerinde nasıl bir sitotoksik etki gösterdiğini incelemek için, zamana bağımlı MTT hücre

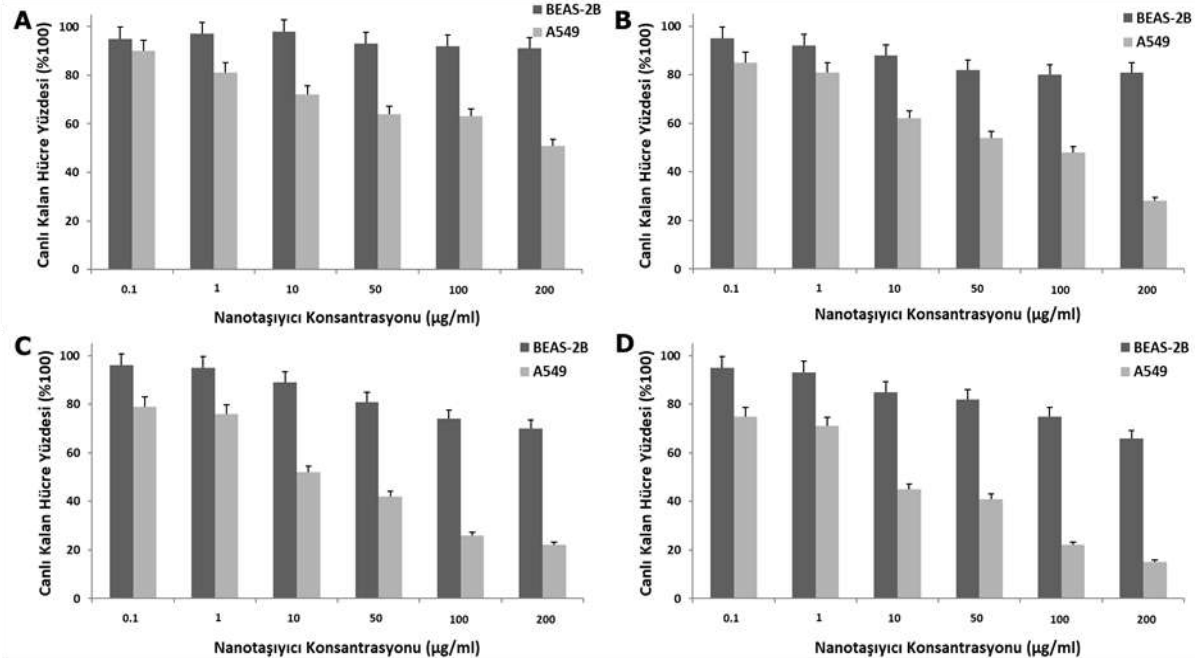


Şekil 2. BEAS-2B ve A549 hücrelerinin (A) 4, (B) 12 ve (C) 24 saatlik inkübasyonları sonrası hüresel alım floresan mikroskobu görüntüleri. Sütunlar için sırasıyla: (1) BEAS-2B ve A549 hücrelerinin aydınlık alan görüntüleri; (2) hücre içindeki nanotaşıyıcıların yeşil floresan görüntüleri; (3) hücre içine taşınan doksorubisinin kırmızı floresan görüntüleri; (4) DAPI ile boyanan hücre çekirdeklerinin mavi floresan görüntüleri; (5) nanotaşıyıcı, ilaç ve DAPI floresan görüntülerinin üst üste birleştirilmesi; (6) aydınlık alan, nanotaşıyıcı, ilaç ve DAPI görüntülerinin üst üste örtüştürülmesi. (**Figure 2.** Fluorescence microscopy images of BEAS-2B and A549 cells after (A) 4, (B) 12 and (C) 24 h nanocarriers incubations. The nanocarriers were observed as green fluorescence, DOX was observed as red fluorescence and DAPI was observed as blue fluorescence. For columns: (1) bright-field images; (2) fluorescence images of nanocarriers; (3) fluorescence images of DOX; (4) the stained nuclei of cells with DAPI; (5) the merger of nanocarriers, DOX and DAPI; and (6) overlay of bright-field images and fluorescence images.)

proliferasyonu analizi yapıldı. Bunun için, hücelere 24 / 48 / 72 ve 96 saat boyunca artan konsantrasyonlarda (0.1-200 µg/mL) inorganik nanotaşıyıcılar uygulandı. Sağlıklı BEAS-2B hücreleri ile karşılaştırıldığında, A549 kanser hücreleri ilk 24 saatlik süreçte yaklaşık sekiz kat daha düşük IC₅₀ değerleri ile çok güçlü bir sitotoksik etkiye maruz kaldı. Öte yandan, 96 saatlik inkübasyon sonrası dahi her iki hücrenin sergilediği IC₅₀ değerleri benzer aralıklarda sitotoksik etkiler göstermeye devam etti. Daha da önemlisi, BEAS-2B hücrelerinin 72 saatten sonra yakın IC₅₀ değerleri göstermesi, ilgili inorganik taşıyıcıların sitotoksik etkilerinin zamana bağımlı olarak sınırlı kaldığını göstermektedir (Tablo 1). Bu sonuçlar, nanotaşıyıcıların hücre sel alım sonuçlarını desteklerken ilgili nanotaşıyıcı formülasyonlarının, sağlıklı akciğer hücreleriyle karşılaştırıldığında, akciğer kanser hücrelerine karşı çok daha yüksek bir sitotoksik potansiyele sahip olduğunu göstermektedir (Şekil 3). Benzer bir şekilde daha önce yaptığımız çalışmalarda da, rasyonel olarak dizayn edilen inorganik ilaç nanotaşıyıcılarının, antikanser ajanların terapötik etkilerini tümör türevli çeşitli kanser hücre hatlarına karşı yüksek değerlere taşıdığı gösterilmiştir [12-15]. Bu sonuçlarla paralel bir şekilde Nair ve arkadaşları tasarladıkları pasif hedefli nanotaşıyıcıların 1 mM'lık yüksek konsantrasyonlarda (karsinoma hücrelerini etkileyen dozların çok üstü bir konsantrasyonda) dâhi sağlıklı mezenkimal kök hücreler (MSCs) üzerinde kabul edilebilir düzeylerde etki gösterdiğini belirlemişlerdir [16].

3.3. İnorganik İlaç Nanotaşıyıcıların Pro-apoptotik Etkileri (Proapoptotic effects of Inorganic Drug Nanocarriers)

Fe₃O₄@SiO₂(FITC)-DOX nanotaşıyıcılarının, BEAS-2B ve A549 hücreleri üzerinde gösterdiği 48 / 72 ve 96 saatlik apoptotik etkileri, floresan mikroskobu altında yoğunlaşmış veya parçalanmış çekirdekli hücreler incelenerek araştırıldı. Şekil 4. de görüldüğü üzere inorganik nanotaşıyıcılar, A549 kanser hücrelerine karşı zamana bağımlı olarak yükselen düzeylerde apoptoz induksiyonu gerçekleştirdi. Sağlıklı BEAS-2B hücrelerinde ise nanotaşıyıcılar 96 saatlik süreç sonunda dahi kayda değer bir apoptotik etki gösteremedi. Bu sonuçlar göstermektedir ki, inorganik nanotaşıyıcılar, A549 kanser hücrelerine zamana bağımlı olarak artan oranlarda kemoterapötik ajan yüklemesi sağlamakta ve bu sayede DOX-aracılı apoptoz oranlarını daha yukarı seviyelere taşımaktadır. BEAS-2B hücrelerinin aynı zaman dilimi içerisinde hücre sel alım düzeyleri kanser hücrelerine göre çok düşük seviyelerde kaldığı için, nanotaşıyıcıların yeterli bir apoptotik etki sergileyemediği görülmüştür. Park ve arkadaşları tarafından yapılan diğer bir çalışmada ise BEAS-2B epital hücreleri üzerinde ticari olarak satın alınan titanyum dioksit nanotaşıyıcılarının etkileri araştırılmış ve ilgili partiküller ilaç içermedikleri halde artan konsantrasyonlarda uygulanmaları sonrası DAPI boyalı hücre çekirdeklerinde artan oranlarda yoğunlaşmalarına sebep olmuştur [17], yine benzer sonuçlar Kim ve arkadaşları tarafından raporlanan gümüş nanotaşıyıcılar



Şekil 3. Fe₃O₄@SiO₂(FITC)-DOX nanotaşıyıcılarının BEAS-2B ve A549 hücreleri üzerinde gösterdiği (A) 24, (B) 48, (C) 72 ve (D) 96 saatlik sitotoksikite sonuçları. Her bir kolon üç bağımsız denemenin ortalama ±SS'sını temsil etmektedir. (Figure 3. Cytotoxic effects of Fe₃O₄@SiO₂(FITC)-DOX nanocarriers against BEAS-2B and A549 cells after (A) 24, (B) 48, (C) 72 and (D) 96 h of growth. Each column represents the mean ± SD of three independent experiments.)

Tablo 1. Fe₃O₄@SiO₂(FITC)-DOX nano taşıyıcılarının BEAS-2B ve A549 hücrelerindeki 24 / 48 / 72 ve 96 saatlik IC₅₀ değerleri. Değerler µg/mL cinsindedir ve üç bağımsız denemenin ortalama ±SS'sını temsil etmektedir.

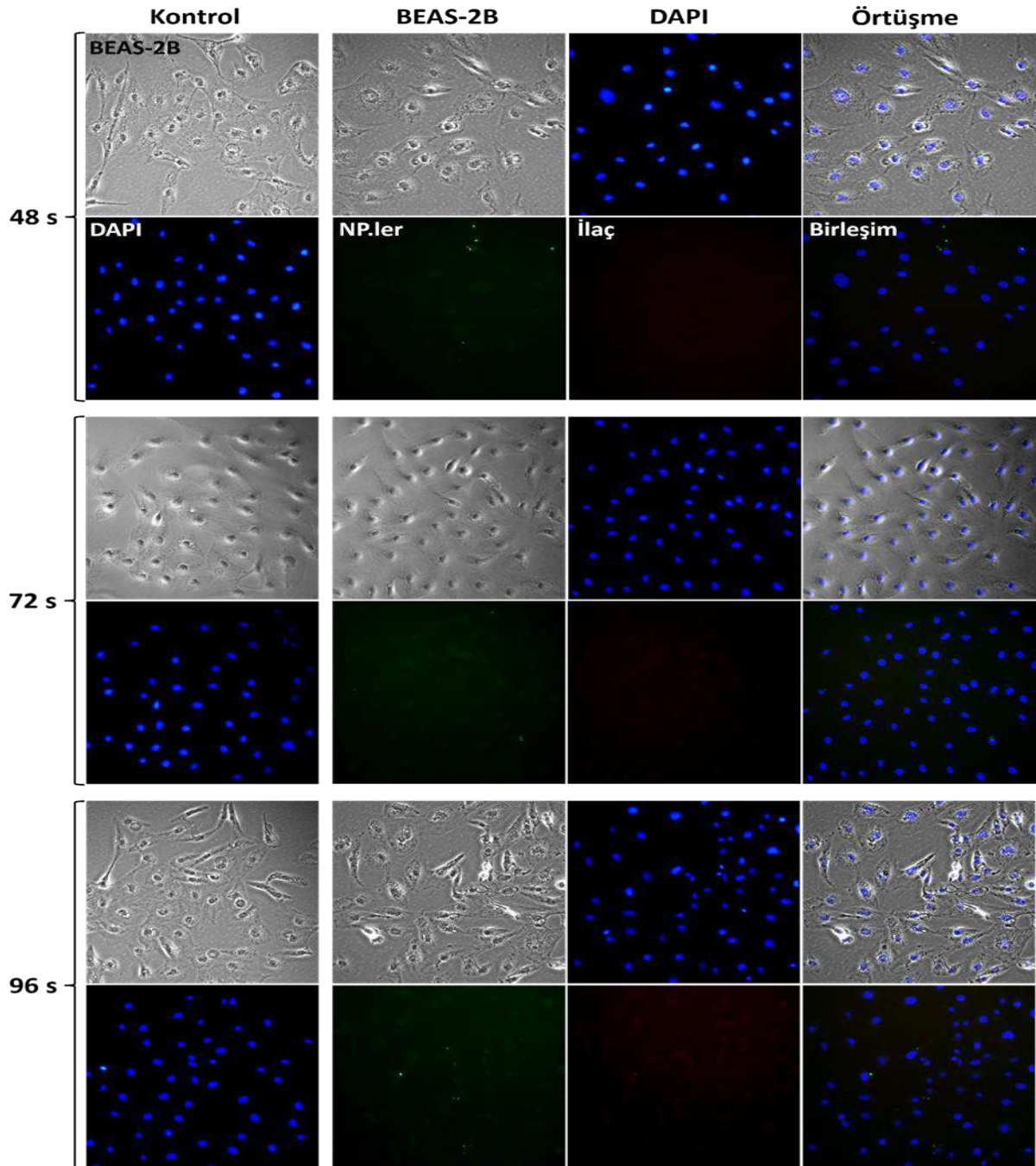
(Table 1. The IC₅₀ values of Fe₃O₄@SiO₂(FITC)-DOX nanocarriers in BEAS-2B and A549 cells when incubated for 24 / 48 / 72 and 96

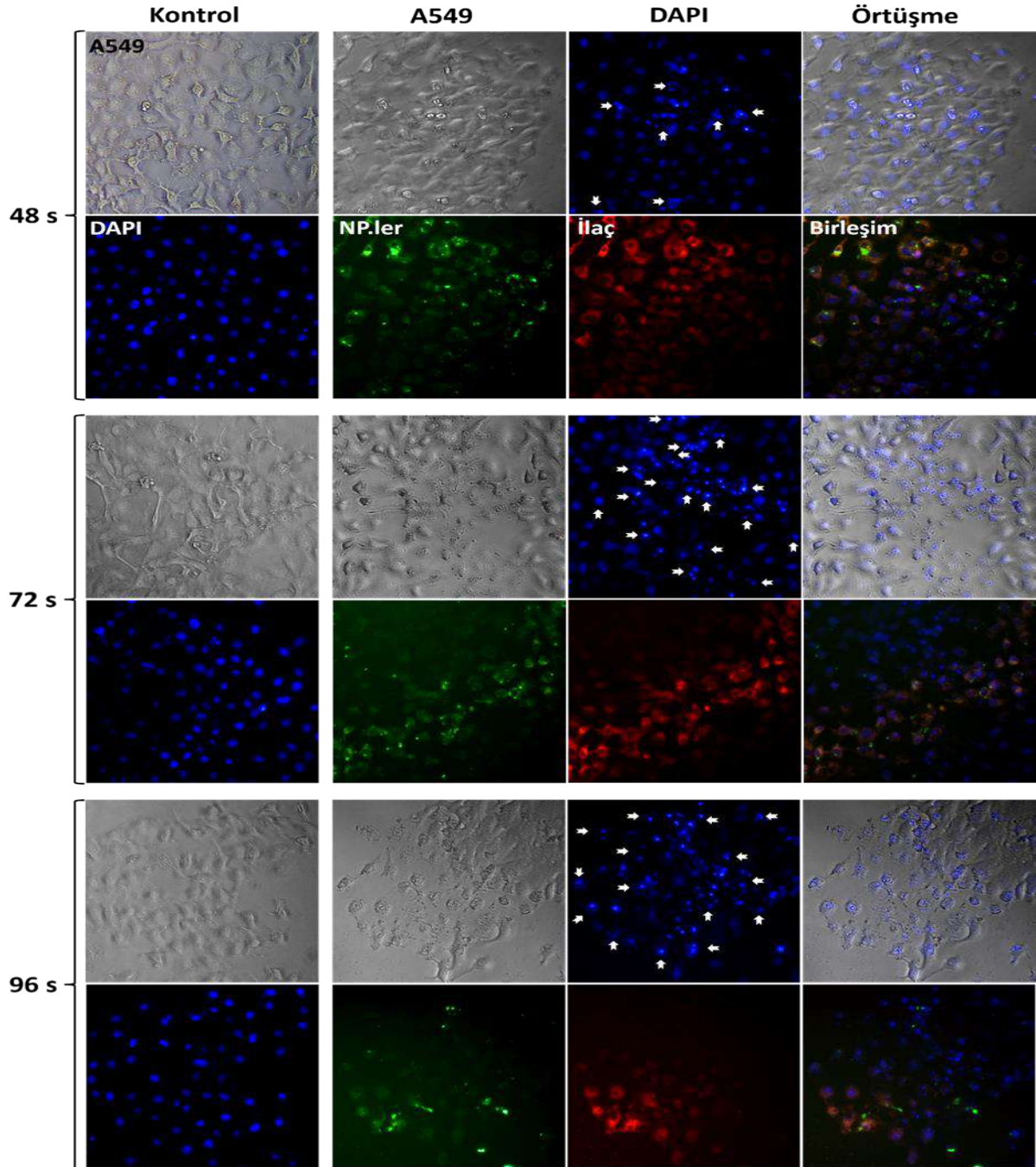
Hücreler	24 saat	48 saat	72 saat	96 saat
BEAS-2B	1538.0 ± 78.9	652,9 ± 34.1	327.3 ± 26.9	306.1 ± 25.8
A549	189.1 ± 15.3	98.8 ± 11.3	58.3 ± 12.4	41.2 ± 5.6

h. Values represent the mean ± SD of three independent experiments in µg/mL.)

ile yaptıkları çalışmada da elde edilmiştir [18]. Bu sonuçlar göstermektedir ki silika kaplı demir nano taşıyıcıları sağlıklı BEAS-2B hücreleri üzerinde,

titanyum ve gümüş nano taşıyıcıları ile karşılaştırıldığında, kabul edilebilir düzeylerde toksisite göstermektedir.





Şekil 4. BEAS-2B ve A549 hücrelerinin nanotaşıyıcılar ile 48, 72 ve 96 saatlik inkübasyonları sonrası apoptotik çekirdeklerinin floresan mikroskobu görüntüleri. İlk sütun nanotaşıyıcı uygulanmayan kontrol hücrelerinin aydınlık alan görüntüleri ve DAPI boyalı çekirdeklerinin mavi floresan görüntülerini göstermektedir. Oklarla gösterilen apoptotik hücreler nükleer parçalanma ve daha parlak mavi floresans göstermektedir. Sonraki sütunlar (1) nanotaşıyıcı uygulanan hücrelerin aydınlık alan görüntüleri; (2) DAPI ile boyanan hücre çekirdeklerinin mavi floresan görüntüleri; (3) aydınlık alan ve DAPI görüntülerinin üst üste örtüştürülmesi; (4) hücre içindeki nanotaşıyıcıların yeşil floresan görüntüleri; (5) hücre içine taşınan dokсорubisinin kırmızı floresan görüntüleri ve (6) nanotaşıyıcı, ilaç ve DAPI floresan görüntülerinin üst üste birleştirilmesidir. (**Figure 4.** Apoptosis analysis of BEAS-2B and A549 cells treated with nanocarriers for 48, 72 and 96 h, by fluorescence microscopy. Untreated cells served as control cells. Morphological changes of cell nuclei stained with DAPI were observed under fluorescence microscopy and arrows indicated apoptotic cells present nuclear fragmentation and brighter blue fluorescence. The first column: bright-field images and DAPI stained nuclei of the control cells. The other columns: (1) bright-field images; (2) the stained nuclei of cells with DAPI; (3) overlay of bright-field images and fluorescence images of DAPI; (4) fluorescence images of nanocarriers; (5) fluorescence images of DOX; and (6) the merger of nanocarriers, DOX and DAPI.)

4. GENEL DEĞERLENDİRME (CONCLUSION)

Bu çalışmada, pasif hedefli Fe₃O₄@SiO₂(FITC)-DOX ilaç nanotaşıyıcılarının insan akciğer epitel BEAS-2B hücreleri ve insan akciğer kanser A549 hücreleri üzerinde göstermiş olduğu uzun dönem etkileri araştırıldı. Bunun için nanotaşıyıcıların sağlıklı ve kanser hücrelerine karşı farklı inkübasyon süreçlerinde göstermiş olduğu hücresel birikim, sitotoksosite ve apoptotik etkileri karşılaştırıldı. Hücresel alım deneyleri ile nanotaşıyıcıların zamana bağımlı olarak artan oranlarda A549 kanser hücrelerini hedefleyebildiği, fakat sağlıklı BEAS-2B hücrelerinde artan inkübasyon süreçlerinde dahi hücresel alım kapasitelerinin çok düşük düzeylerde kaldığı belirlendi. Öte yandan, sitotoksosite deneyleri, pasif hedefli nanotaşıyıcıların A549 kanser hücrelerinin canlılığının etkin bir şekilde azalttığını gösterirken, 96 saatlik artan inkübasyon sürelerinde sağlıklı BEAS-2B hücreleri düşük düzeylerde ilaç-aracılı sitotoksosite sergiledi. Pro-apoptotik çalışmalarda, nanotaşıyıcılar A549 hücrelerindeki apoptoz seviyelerini önemli ölçüde artırırken, BEAS-2B hücrelerinde 96 saat sonunda dahi bir apoptotik etki gösteremedi. Bu sonuçlar, pasif hedefli inorganik ilaç nanotaşıyıcıların, sağlıklı hücreleri etkilemeden, antikanser ilaçların kemoterapötik etkilerini artırma potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir, fakat nanotaşıyıcıların uzun süreli kan dolaşımında kalması halinde, sağlıklı hücrelerin de belirli düzeylerde etkilenebileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Laboratuvarından çalışma fırsatı sağladığı için İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü'nden Sayın Hocamız Doç. Dr. Alper Arslanoğlu'na en içten dileklerimizle teşekkür ederiz. Laboratuvarından çalışma fırsatı sağladığı için İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü'nden Sayın Hocamız Doç. Dr. Alper Arslanoğlu'na en içten dileklerimizle teşekkür ederiz. Bu çalışma İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Bilimsel Araştırma Fonu tarafından desteklenmiştir (2020IYTE0050).

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Wright J., "Nanotechnology: Deliver on a promise", *Nature*, 509: 58–59, (2014)
- [2] Kumari P., Ghosh B. and Biswas S., "Nanocarriers for cancer-targeted drug delivery", *J Drug Target.*, 24: 179–191, (2016)
- [3] Sun C., Lee J. S. and Zhang M., "Magnetic nanoparticles in MR imaging and drug delivery", *Adv Drug Deliv Rev.*, 60: 1252–1265, (2008)
- [4] Park J. H., von Maltzahn G., Ruoslahti E., Bhatia S. N. and Sailor M. J., "Micellar hybrid nanoparticles for simultaneous magneto-fluorescent imaging and drug delivery", *Angew Chem Int Ed Engl.*, 47: 7284–7288, (2008)
- [5] Kumar A., Chen F., Mozhi A., Zhang X., Zhao Y., Xue X., Hao Y., Zhang X., Wang P. C. and Liang X. J., "Innovative pharmaceutical development based on unique properties of nanoscale delivery formulation", *Nanoscale*, 5: 8307–8325, (2013).
- [6] Maeda H., Wu J., Sawa T., Matsumura Y. and Hori K., "Tumor vascular permeability and the EPR effect in macromolecular therapeutics: a review", *J. Control. Release*, 65: 271–284, (2000)
- [7] Vajjayanthimala V., Cheng P. Y., Yeh S. H., Liu K. K., Hsiao C. H., Chao J. I. and Chang H. C., "The long-term stability and biocompatibility of fluorescent nanodiamond as an in vivo contrast agent", *Biomaterials*, 33: 7794–7802, (2012)
- [8] Daglioglu C. and Okutucu B., "Synthesis and characterization of AICAR and DOX conjugated multifunctional nanoparticles as a platform for synergistic inhibition of cancer cell growth", *Bioconjug. Chem.*, 27: 1098–1111, (2016)
- [9] Daglioglu C., "İlaç taşıma sistemleri olarak nanopartiküller kullanılarak pasif ve aktif tümör hedeflemelerinin karşılaştırmalı incelenmesi", *Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 6: 01–07, (2018)
- [10] Daglioglu C., "Enhancing tumor cell response to multidrug resistance with pH-sensitive quercetin and doxorubicin conjugated multifunctional nanoparticles", *Colloids Surf. B Biointerfaces*, 156: 175–185, (2017)
- [11] Jung D., Maiti S., Lee J. H. and Kim J. S., "Rational design of biotin–disulfide–coumarin conjugates: a cancer targeted thiol probe and bioimaging" *Chem. Commun.*, 50: 3044–3047, (2014)
- [12] Daglioglu C., "Environmentally responsive dual-targeting nanoparticles: improving drug accumulation in cancer cells as a way of preventing anticancer drug efflux", *J. Pharma. Sci.*, 107: 934–941, (2018)
- [13] Daglioglu C. and Okutucu B., "Therapeutic effects of AICAR and DOX conjugated multifunctional nanoparticles in sensitization and elimination of cancer cells via survivin targeting", *Pharm. Res.*, 34: 175–184, (2017)
- [14] Daglioglu C., "İnsan kolon kanseri hücrelerine karşı inorganik nanopartikül-temelli ilaç taşıyıcı sistemlerin kullanılması: partikül büyüklüğünün antikanser aktivitesine etkisi" *Politeknik Dergisi*, DOI: 10.2339/politeknik.496351 (2019)
- [15] Daglioglu, C. and Kaci F. N., "Cascade therapy with doxorubicin and survivin-targeted tailored nanoparticles: an effective alternative for sensitization of cancer cells to chemotherapy" *Int J Pharm.* 561: 74–81, (2019)
- [16] Nair P. R., Alvey C., Jin X., Irianto J., Ivanovska I. and Discher D. E., "Filomicelles deliver a chemo-differentiation combination of paclitaxel and retinoic acid that durably represses carcinomas in liver to prolong survival" *Bioconjug Chem.*, 29(4): 914–927, (2018)
- [17] Park E. J., Yi J., Chung K. H., Ryu D. Y., Choi J. and Park K., "Oxidative stress and apoptosis induced by titanium dioxide nanoparticles in cultured BEAS-2B cells" *Toxicol Lett.* 180(3): 222–229, (2008)
- [18] Kim H. R., Shin D. Y., Park Y. J., Park C. W., Oh S. M. and Chung K. H., "Silver nanoparticles induce p53-mediated apoptosis in human bronchial epithelial (BEAS-2B) cells" *J Toxicol Sci.* 39(3): 401–412, (2014)



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

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



Sol-jel yöntemiyle üretilen alümina alkojelin fizikokimyasal ve yapısal özellikleri üzerine kurutma türünün etkisi

Effect of drying method on the physicochemical and structural properties of alumina alcogel produced by sol-gel method

Yazar(lar) (Author(s)): Dilek CANTÜRK ÖZ¹, Nihan KAYA²

ORCID¹: 0000-0002-1407-5631

ORCID²: 0000-0001-8676-6768

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Cantürk Öz D. ve Kaya N., “Sol-jel yöntemiyle üretilen alümina alkojelin fizikokimyasal ve yapısal özellikleri üzerine kurutma türünün etkisi”, *Politeknik Dergisi*, 23(3): 657-669, (2020).

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

DOI: 10.2339/politeknik.456871

Sol-Jel Yöntemiyle Üretilen Alümina Alkojelin Fizikokimyasal ve Yapısal Özellikleri Üzerine Kurutma Türünün Etkisi

Effect of Drying Method on the Physicochemical and Structural Properties of Alumina Alcolgel Produced by Sol-Gel Method

Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Yüksek gözenekliliğe sahip alkojellerin üretiminde uygun kurutma tekniğinin belirlenmesi / Determination of proper drying technique in the production of high porosity alcohols
- ❖ Amorf yapıya sahip arojel, kriyojel ve ambijellerin fizikokimyasal ve yapısal özellikleri / Physicochemical and structural properties of aerogel, cryogel and ambigel with amorphous structure

Grafik Özet (Graphical Abstract)

Başlangıç maddesi olarak Alüminyum-Tri-Sec-Bütoksit kullanılarak, sol-jel yöntemiyle alümina alkojeller hazırlanmıştır. Farklı kurutma koşullarında kurutulmuş bu jellerin fizikokimyasal ve yapısal özellikleri karakterize edilerek, en uygun kurutma türü belirlenmiştir. / Alumina alcohols were prepared by using sol-gel method using Aluminum-Tri-Sec-Butoxide as starting material. The physicochemical and structural properties of these gels, which were dried under different drying conditions, were characterized and the most suitable drying type was determined.



Şekil. Alümina alkojel sentezinin şematik gösterimi / Figure. Schematic representation of alumina alcolgel synthesis

Amaç (Aim)

Sol-jel yöntemiyle sentezlenen ve farklı koşullarda kurutulmuş alkojellerin yapısal ve fiziksel özelliklerindeki değişimlerin belirlenerek, en uygun kurutma yönteminin tespit edilmesidir. / It is the determination of the most appropriate drying method by determining the changes in the structural and physical properties of the alcohols synthesized by the sol-gel method and dried in different conditions.

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Farklı kurutma koşullarında (süperkritik şartlarda, ön işlem yapılarak ve yapılmadan iki farklı koşulda dondurarak ve atmosfer basıncında) hazırlanan jellerin fizikokimyasal ve yapısal özellikleri XRD, TGA/DSC, FT-IR ve BET analizleri ile karakterize edilmiştir. / The physicochemical and structural properties of the alcohols prepared in different drying conditions (under supercritical conditions, at atmospheric pressure, freezing in two different conditions with and without pretreatment) were characterized by XRD, TGA/DSC, FT-IR and BET analysis.

Özgünlük (Originality)

Alkojellerin hazırlanmasında en önemli aşama ıslak jellerin kurutulması olup, ıslak jelin gözenekliliğinin korunması için en uygun kurutma tekniğinin seçilmesi büyük önem arz etmektedir. / The most important step in the preparation of the alcohols is the drying of the wet gels, and it is of great importance to choose the most suitable drying technique to maintain the porosity of the wet gel.

Bulgular (Findings)

Islak jelin ön işlem yapılmadan dondurarak kurutulmasıyla daha yüksek spesifik yüzey alanı değerine ulaşılmıştır. Bu sonuç ıslak haldeki jelin yapısındaki mikro ve makro gözeneklerin kurutma işlemi sonrasında da bozulmadan kaldığına ve gözenekli dokunun korunduğuna işaret etmektedir. / By freezing the wet gel without pretreatment, a higher specific surface area value was achieved. This result indicates that the micro and macro pores in the wet gel structure remain intact after drying and the porous tissue is preserved.

Sonuç (Conclusion)

Islak alkojellerin kurutulmasında en uygun kurutma tekniğinin ön işlem yapılmadan dondurarak kurutma olduğu sonucuna ulaşılmıştır. / It is concluded that the most appropriate drying technique for drying wet alcohols is freeze drying without pretreatment.

Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazarları çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The authors of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

Sol-Jel Yöntemiyle Üretilen Alümina Alkojelin Fizikokimyasal ve Yapısal Özellikleri Üzerine Kurutma Türünün Etkisi

Araştırma Makalesi / Research Article

Dilek CANTÜRK ÖZ, Nihan KAYA*

Hitit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Çorum, Türkiye

(Geliş/Received : 03.09.2018 ; Kabul/Accepted : 14.07.2019)

ÖZ

Üstün termal ve mekanik özellikleri sebebiyle başta uzay teknolojisi olmak üzere pek çok alanda kullanılmakta olan alkojeller, düşük yoğunluğa ve yüksek gözenekliliğe sahip süper yalıtkan ve çevre dostu malzemeler olarak bilinmektedir. Genel olarak inorganik tuzlar ya da metal alkoksitlerin hidrolizi ve kondenzasyonu olarak bilinen sol-jel tekniği kullanılarak, üç aşamada üretilmektedirler. Son aşama hazırlanan ıslak jellerin kurutulması olup, ıslak jelin gözenekliliği ve jel ağının korunması için en uygun kurutma tekniğinin seçilmesi büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmada, sol-jel yöntemiyle sentezlenen alümina alkojellerden süperkritik şartlarda, atmosfer basıncında ve dondurarak olmak üzere üç farklı kurutma koşullarında elde edilen gözenekli malzemelerin fizikokimyasal ve yapısal özellikleri XRD, TGA/DSC, FT-IR ve BET analizleri ile karakterize edilmiştir. Farklı kurutma koşullarında aerojel, kriyojel ve ambijel ismini alan amorf yapıya sahip bu jellerin fizikokimyasal özellikleri ve ısıl davranışlarındaki değişimler dikkate alındığında, ıslak jellerin kurutulmasında en uygun kurutma tekniğinin ön işlem yapılmadan dondurarak kurutma olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sol-jel yöntemi, alümina alkojel, aerojel, ambijel, kriyojel.

Effect of Drying Method on the Physicochemical and Structural Properties of Alumina Alcolgel Produced by Sol-Gel Method

ABSTRACT

Because of its superior thermal and mechanical properties, alcogels, which are mainly used in space technology, are known as super insulation and environment friendly materials with low density and high porosity. Generally, they are produced in three stages using sol-gel technique known as hydrolysis and condensation of inorganic salts or metal alkoxides. The final stage is the drying of the wet gel, and it is of great importance to select the most suitable drying technique to protect the porosity and structure of wet gel. In this study, the physicochemical and structural properties of porous materials obtained by using sol-gel technique under three different drying conditions which are supercritical conditions, atmospheric pressure and freezing, were characterized by XRD, TGA/DSC, FT-IR and BET analyzes. Taking into account the physicochemical properties and thermal behavior of these gels, which have amorphous structure and named aerojel, cryogel and ambigel in different drying conditions, it is concluded that the best drying technique for drying wet gels is freeze drying without pretreatment.

Keywords: Sol-gel method, alumina alcolgel, aerojel, ambigel, cryogel.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Alkojeller ya da yaygın olarak bilinen ismiyle aerojeller, düşük yoğunluğa, düşük ısıl iletkenliğe ve düşük dielektrik sabitine sahip olmanın yanı sıra yüksek özgül yüzey alanına sahip nano gözenekli, üç boyutlu, ağ yapılı katı maddelerdir. Sol-jel teknolojisi ve özel kurutma yöntemleri kullanılarak, farklı başlangıç maddelerinden sentezlenebilirler. Günümüzde çok çeşitli aerojeller (silika aerojel, karbon aerojel, alümina aerojel, titanya aerojel, zirkonya aerojel, egzotik aerojel vb.) üretilmekte olup, katalizör ve katalizör dolguları, kimyasal sensörler, sorbent, termal ve akustik yalıtım malzemeleri ve yakt

hücreleri gibi pek çok farklı alanda kullanılmaktadırlar. Gerek kullanım alanlarının her geçen yıl artması gerekse aerojel olarak üretilen malzemelerin kimyasal bileşiminin çeşitlendirilebilmesi nedeniyle aerojeller konusunda yapılan araştırmalar son yıllarda büyük bir hız kazanmıştır [1, 2]. Ancak bu konuda literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde, genellikle silika aerojeller [3-7] üzerine yapılan araştırmaların yoğunlukta olduğu görülmektedir. Alümina aerojeller ile ilgili literatürde yer alan sınırlı sayıda çalışmada ise özellikle sol-jel yöntemiyle sentezlenen alümina aerojelin farklı sıcaklıklarda kalsine edilmesiyle, endüstriyel alanda geniş bir kullanım alanına sahip alümina formuna dönüştürülmesi amaçlanmış ve yüksek saflıkta, homojen alümina üretiminin mümkün olabileceği gösterilmiştir

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : nihankaya@hiit.edu.tr

[8-12]. Bu kapsamda düşünüldüğünde ve hali hazırda boksit cevherinden Bayer prosesi kullanılarak üretilen alüminanın üretim maliyetlerinde, son yıllarda boksit rezervlerinin hızla azalması sonucu ciddi artışlar yaşandığı göz önüne alındığında, boksit dışı kaynaklardan yani alümina alkojellerden alümina üretimi konusunun önümüzdeki yıllarda büyük bir ilgi odağı olacağı aşikardır [13]. Dolayısıyla farklı başlangıç maddelerinden farklı yöntemlerle alümina alkojellerin hazırlanması ve üretilen jellerin karakterize edilmesi oldukça önemlidir.

Islak jel içindeki sıvı bileşenin katı mikro yapıya zarar vermeden havayla yer değiştirilmesi sebebiyle "aerojel" (hava+jel) olarak adlandırılan bu gözenekli malzemeler, sol-jel yöntemi kullanılarak 3 aşamada sentezlenmektedirler. İlk aşama sol çözeltisinin hazırlanmasıdır. Nano yapıdaki sol parçacıklar çözelti içerisindeki hidroliz ve yoğunlaşma reaksiyonları ile kendiliğinden ya da katalizör ilave edilerek oluşturulur. İkinci aşama jelleşme basamağıdır. Bu aşamada sol partiküller çapraz bağlar oluşturarak kararlı bir ağ ile ıslak jeli meydana getirir. Son aşama ise kurutma basamağı olup, ıslak jel içindeki çözücünün hava ile yer değiştirmesi sağlanır [14]. Alümina alkojel gibi inorganik oksitlerin yaş jelleri tipik olarak, alkoksitlerinin veya inorganik tuzlarının hidrolize edilmesi ve yoğunlaştırılması ile hazırlanır ve böylece üç boyutlu bir ağ oluşturulur [15]. Son basamakta kurutma koşullarının değiştirilmesi ise nihai ürünün niteliğini belirler.

Aerojellerin hazırlanmasındaki en büyük zorluk, hali hazırda mevcut nano gözenekli yapıyı bozmadan sıvı çözücüyü jelden uzaklaştırmak ve böylece kurutulmuş jelin daha sonraki büzülme ve çatlamasını önlemektir. Islak jelleri kurutmak ya da çözücüyü jelden uzaklaştırmak için dört temel yaklaşım kullanılabilir. Bunlar;

- Süperkritik akışkan ekstraksiyonu ile kurutma,
- Dondurarak kurutma,
- Atmosfer basıncı altında kurutma,
- Buharlaştırma ile kurutma [16].

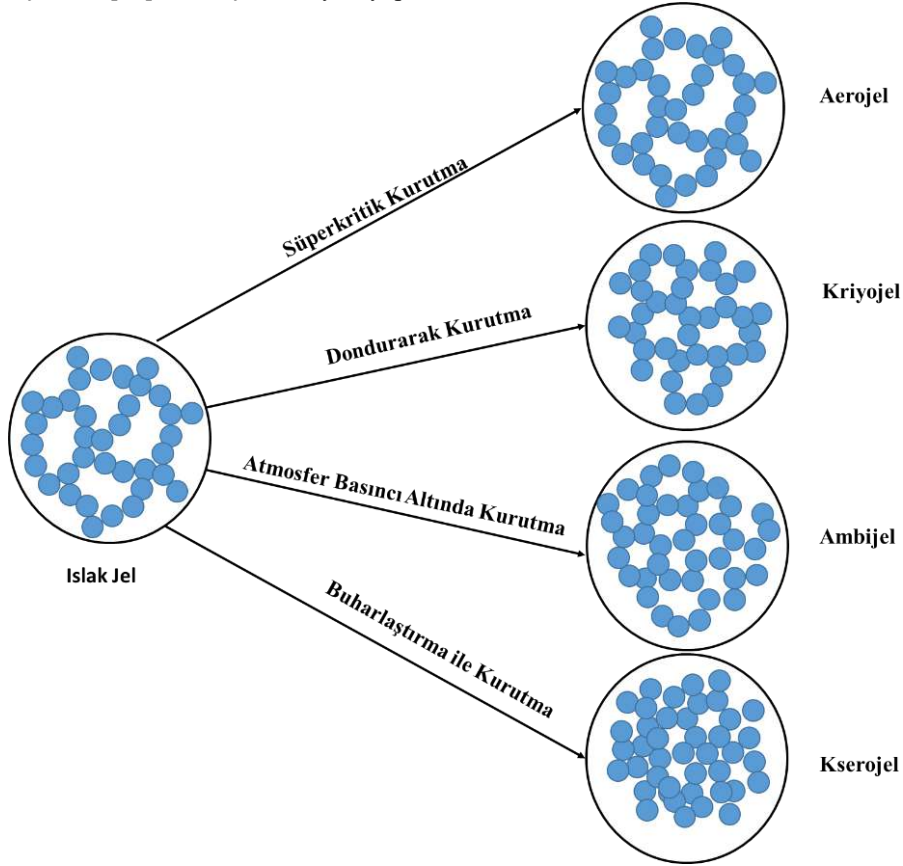
Islak jellerin nasıl kurutulduğuna bağlı olarak, yoğunluk sistematik olarak değiştirilebilir ve kurutma koşulları değiştirilerek; aerojel, kserojel, kriyojel ve ambijel üretilebilir (Şekil 1). Kurutma koşullarının değiştirilmesi ile sadece gözenekli malzemelerin isimleri değişmez aynı zamanda kurutma gerilmesi, yüzey alanı, gözenek hacmi, gözenek boyutu, gözenek morfolojisi veya yığın yoğunluğu gibi bir takım özellikleri üzerinde de önemli değişiklikler gözlemlenir [17]. Bu nedenle elde edilen jellerin kurutulmasında, bu jellerin kullanım alanlarına ve bu kullanım alanlarında sahip olması istenilen yapısal özelliklere bağlı olarak en uygun kurutma yönteminin belirlenmesi büyük önem arz etmektedir. Çünkü her bir kurutma tekniği birbirine göre avantaj ve dezavantajlara sahip olmakla birlikte jellerin yapısal özellikleri üzerinde de büyük değişimler yaratabilmekte ve özellikle

yoğunluk ve gözenek özellikleri ile mikro yapılarını etkileyebilmektedir.

Kurutma işlemi için yukarıda bahsi geçen yöntemler arasında maliyet ve uygulanabilirlik açısından en avantajlı olan yöntem hiç şüphesiz atmosfer basıncı altında kurutma tekniğidir ve bu teknik yaygın olarak kullanılmaktadır. Örneğin Wu ve Fu tarafından 2008 yılında gerçekleştirilen bir çalışmada, karbon aerojellerin hazırlanmasında ortam basıncında kurutmanın etkisi incelenmiş ve kurutma sırasında oluşan gerilmelerin ve kurutma küçülmesinin azaltılmasında yüzey aktif maddelerin rolü değerlendirilmiştir [18]. Hwang ve ark. (2010), çalışmalarında cam suyundan (sodyum silikat çözeltisi) mezo gözenekli silika aerojeller üretmek ortam basıncında kurutmuşlar ve yüzey modifikasyonunun aerojelin hidrofobikliğine etkisini incelemişlerdir [19]. Bir diğer çalışmada Zhu ve ark. (2009), süper hidrofobik silika ve silika/titanya aerojel üretmek üzere sol-jel prosesini ve ortam basıncında kurutma yöntemini kullanmışlar ve üretilen jelleri karakterize etmişlerdir [20]. Cao ve ark. (2015) ise çalışmalarında ortam basıncında kurutarak yüksek dayanıma sahip alümina aerojeller üretmeye çalışmışlardır. Ancak bu çalışmada başlangıç malzemesi olarak $AlCl_3 \cdot 6H_2O$, katalizör olarak 1 M HCl ve jelleşme tetikleyici madde olarak ise propilen oksit kullanılmıştır [21]. Verilen örneklerden görüldüğü üzere, her ne kadar farklı başlangıç maddelerinden hazırlanabilecek çeşitli aerojellerde (karbon, silika, titanya, alümina vb.) ortam basıncında kurutma tekniği yaygın olarak kullanılsa da, kurutma işlemi sırasında jellerin büzülmesini önlemek, mikro ve makro gözenekli yapıyı koruyabilmek ve özellikle kurutma süresini kısaltabilmek için farklı tekniklerin araştırılması büyük önem arz etmektedir. Bu teknikler süperkritik akışkan ekstraksiyonu ve dondurarak kurutma yöntemleridir. Şüphesiz bu yöntemler ortam basıncında kurutma yöntemine göre daha maliyetli ve zahmetli yöntemler olmakla birlikte, jellerin yapısal ve fiziksel özellikleri üzerinde de önemli farklılıklar yaratabilmektedirler. Örneğin Bono Jr. ve ark. (2010), hızlı süperkritik ekstraksiyon ile yüzey alanları 460 ile 840 m^2/g arasında, yığın yoğunlukları 0,025 ile 0,079 g/cm^3 arasında değişen alümina aerojeller hazırlamışlardır [22]. Ganesan ve ark. (2016) ise hiyerarşik gözenek yapıları selüloz aerojeller, kserojeller ve kriyojeller üretmek amacıyla mikro kristalin selüloz kullanmışlar ve sentez sonucu elde ettikleri jellerden aerojel elde etmek üzere saf karbon dioksit ile süperkritik kurutma işlemine tabi tutmuşlardır. Benzer şekilde kriyojel elde etmek amacıyla da önce -20 °C' de 24 saat, daha sonra da -50 °C' de 48 saat dondurarak kurutma işlemini gerçekleştirmişlerdir. Elde ettikleri aerojellerin BET özgül yüzey alanları yaklaşık 300 m^2/g iken, kriyojellerde bu değer 20 m^2/g ' ın biraz üzerindedir. Buharlaştırma yöntemi ile kurutulan kserojellerin ise BET özgül yüzey alanı değeri yaklaşık 100 m^2/g olarak kaydedilmiştir. Gözeneklilik değerleri ise aerojel için %96, kriyojel için %94 ve kserojel için %80'dir. Elde edilen numunelerin mekanik özellikleri

karşılaştırıldığında ise kserojellerin çok daha yüksek dayanım gösterdiklerini bildirmişlerdir [23]. Bir diğer çalışmada ise He ve ark. (2015) ürettikleri alümina-selüloz aerojelleri, dondurarak kurutma metodunu kullanarak kurutmuşlardır. Elde ettikleri jeli $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' de ve $\sim 25\text{ Pa}$ vakum altında 2-3 gün kurutmuşlardır ve jellerin gözenek özelliklerini ve mikro yapılarını karakterize etmişlerdir [24]. Sonuç itibariyle yapılan

literatür araştırmasında gerek başlangıç maddesi gerekse üretim/kurutma yöntemi değiştirilerek farklı yapısal özelliklerde jellerin üretilebileceği görülmüş olup, özellikle farklı kurutma yöntemleri kullanılarak jellerin yoğunluk ve gözenek özelliklerini iyileştirmenin ve mikro yapılarını korumanın mümkün olabileceği belirlenmiştir.



Şekil 1. Islak jelin kurutma koşullarına göre isimlendirilmesi (Naming wet gel according to drying conditions)

Bu çalışmada ise; başlangıç maddesi olarak Alüminyum-Tri-Sec-Bütoksit (ATSB) kullanılarak, sol-jel yöntemiyle alümina alkojel hazırlanmıştır. Süperkritik şartlarda, ön işlem yapılarak ve yapılmadan iki farklı koşulda dondurarak ve atmosfer basıncında olmak üzere farklı kurutma koşullarında kurutulan ve sırasıyla; aerogel, kriyojel ve ambijel ismini alan bu jellerin fizikokimyasal ve yapısal özellikleri XRD, TGA/DSC, FT-IR ve BET analizleri ile karakterize edilmiştir. Kurutma türünün, üretilen jellerin yapısal ve fiziksel özellikleri üzerine etkisi incelenmiş ve üretilen alümina alkojel için en uygun kurutma türü belirlenmiştir.

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

2.1. Malzemeler (Materials)

Bu çalışmada kullanılan, Alüminyum-Tri-Sec-Bütoksit- $\text{Al}[\text{OCH}(\text{CH}_3)\text{C}_2\text{H}_5]_3$ (ATSB), Etanol- $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ (EtOH), Metanol- CH_3OH (MetOH), Glasiyel Asetik

Asit- $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}$ (AA) ve Aseton- CH_3COCH_3 (A) sentez saflığında olup, Merck firmasından temin edilmiştir.

2.2. Alümina Alkojelin Hazırlanması (Preparation of Alumina Alcolgel)

Sol-jel yöntemiyle alümina alkojel sentezinde jelin hazırlanmasında, 2001 yılında Poco ve Hrubesh tarafından patenti alınan reçete kullanılmıştır [25]. İlk aşama; sol oluşumu yani alüminanın hidrolizidir. Bunun için Alüminyum-Tri-Sec-Bütoksit, etanol ve ultra saf sudan oluşan ve ATSB:EtOH:H₂O 1:16:0,6 molar oranında alınan karışım $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' ye ısıtılarak 45 dakika karıştırılmış ve kontrollü olarak hidroliz işlemi gerçekleştirilmiştir. Başlangıçta karışım, beyaz (bulanık) renkte ve viskoz iken, hidroliz tamamlandıkça şeffaf ve akışkan kıvama geldiği görülmüştür. Jelleşme aşamasına geçmeden önce sol çözeltisi oda sıcaklığına soğutulmuştur.

Jelleşme için sol çözeltisine kütle oranı, SOL:MetOH:H₂O:AA 1:0,2:0,003:0,03 olacak şekilde metanol, su ve asetik asit ilave edilmiştir ve 30 dakika boyunca karıştırılmıştır. Bu süre sonunda çözelti viskoz

bir kıvama gelmiş ve oluşan bu viskoz sıvının jelleşmesinin tamamlanması için kalıba dökülerek, 2 saat beklenilmiştir. Sonuç olarak şeffaf renkte ve oldukça kırılğan yapıda ıslak jeller elde edilmiştir.

Jelleşmenin tamamlanması ve güçlü bir ağ yapısının oluşması için jelleşme ve kurutma işlemi arasındaki ara adım olarak düşünülen yaşlanma süreci, jelin mikro yapı, gözeneklilik, yüzey alanı, gözenek boyutu ve hacim daralması üzerinde büyük etkiye sahiptir. Bu nedenle hazırlanan alümina alkojelin yaşlandırılması için elde edilen ıslak jeller öncelikle 24 saat metanol banyosunda dinlendirilmiş ve sonrasında belirli periyotlarla değiştirilen taze aseton banyosunda 7 gün boyunca yaşlandırılmıştır. Metanol banyo süresi tamamlandığında jellerin şeffaflığını kaybettiği ve daha opak renkte ve daha az kırılğan bir yapı gösterdiği gözlenmiştir [26].

2.3. Alümina Alkojelin Kurutulması (Drying of Alumina Alcolgel)

Banyo süresi tamamlanan ıslak jeller; 45°C sıcaklık ve 100 bar basınçta CO₂ atmosferinde süperkritik koşullarda 4 saat kurutularak, su içerisinde -70° C' de dondurularak ön işlem yapıldıktan sonra ve herhangi bir ön işlem uygulanmadan iki farklı koşulda Christ marka Epsilon 2-4 LSC model liyofilizatörde dondurularak kurutulmuş ve atmosfer basıncında 5 gün süreyle kurutularak, jelin gözenekleri içerisindeki sıvı, jelin yapısına zarar verilmeden farklı kurutma yöntemleri ile çıkartılmaya çalışılmıştır.

2.4. Karakterizasyon Çalışmaları (Characterization Studies)

Farklı kurutma koşullarında elde edilen jelleri karakterize etmek amacıyla BET (Brunauer–Emmett–Teller), FT-IR (Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi), XRD (X-ışını kırınımı), TGA (Termogravimetrik analiz) ve DSC (Diferansiyel taramalı kalorimetre) analizleri yapılmıştır.

2.4.1. BET analizi (BET analysis)

BET analizi Quantachrome marka IQ-Chemi model cihaz ile yapılmıştır. Numunelere analiz öncesinde 200 °C' de 12 saat degaz işlemi uygulanmış ve sonrasında 77,3 K' de sıvı N₂ ortamında, N₂ gazı adsorpsiyonu tekniğine dayalı olarak çok noktalı BET analizi yapılarak, özgül yüzey alanı belirlenmiştir.

2.4.2. FT-IR analizi (FT-IR analysis)

Numunenelerin FT-IR spektrumları KBr ile pellet yapılarak, Thermo Scientific marka Nicolet IS10 model FT-IR spektrofotometresi ile 400-4000 cm⁻¹ aralığında alınmış olup, elde edilen spektrumlardan her bir farklı kurutma yöntemi için numunelerde yapısal değişimin olup olmadığı, fonksiyonel grupların verdiği pikler yardımıyla belirlenmiştir.

2.4.3. XRD analizi (XRD analysis)

Numunelerin X-ışını kırınım desenleri Cu-K β radyasyonu ($\lambda= 1.392 \text{ \AA}$) kullanılarak 40 kV ve 30 mA' de çalışan Rigaku SmartLab X-ışını difraktometresi ile 10°–80° (2 θ) aralığında kaydedilmiştir.

2.4.4. Eş zamanlı TGA-DSC analizi (Simultaneous TGA-DSC analysis)

Numunelerin ısıl davranışı, Mettler–Toledo/TGA/DSC 1 HT marka cihaz ile 10 °C/dk' lık ısıtma hızıyla, hava ortamında 25-1400 °C sıcaklık aralığında ölçülmüştür. TGA eğrisinden sıcaklığa bağlı olarak kütle kaybı ve DSC eğrisinden ısı akışına bağlı olarak faz geçişleri yorumlanmıştır.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Sol-jel işlemi ile hazırlanan alkojellerin gözenekleri çözücü sıvı ile dolu olduğundan bu malzemeler ıslak jel olarak adlandırılır. Elde edilen bu ıslak jellerin gözeneklerindeki sıvının uzaklaştırılarak, kurutulması işlemi ise jel ağının büzülmesine neden olan kılcal kuvvetleri meydana getirebilmektedir. Bu nedenle jel ağının bozulmadan kalabilmesi ve jelin gözenekliliğini koruyabilmesi için jel yapısına zarar vermeyen uygun bir kurutma tekniği seçmek oldukça önemlidir. Bu noktada jellerin iskeletini korumak ve kuruma sırasında büzülmelerini en aza indirmek için, çözücüyü ıslak jelden süperkritik koşullar altında çıkarmak seçilebilecek kurutma yöntemlerinden biri olabilir. Çünkü kritik koşullarda, jel üzerinde yüzey gerilimi olmayacağı için bu durum jel yapısının büzülme olmadan yani bozulmadan kalmasını sağlayabilecektir [14]. Diğer bir kurutma yöntemi ise ıslak jelin yapısındaki çözücünün düşük basınçlarda süblimasyonu ile gerçekleştirilebilecek olup, bu yöntem dondurarak kurutma olarak bilinmektedir ve jellerin büzülmesini önleyebilmektedir [27]. Ancak her iki yöntem de maliyetli olup, bir o kadar da zahmetli proseslerdir. Bu nedenle üretim maliyetini önemli ölçüde azaltan ve üretim sürecini de büyük ölçüde kolaylaştıran atmosfer basıncında kurutma tekniği de ıslak jellerin kurutulmasında kullanılabilir bir diğer yöntemdir. Bu çalışmada aynı reçete ile sentezlenen fakat üç farklı kurutma tekniği kullanılarak üretilen jellerin karakterizasyonu gerçekleştirilerek, kurutma şekline bağlı olarak jellerin fizikokimyasal özelliklerindeki değişimler tespit edilmiş ve üç yöntemin birbirine üstünlükleri incelenmiştir.

Çalışma kapsamında farklı kurutma koşullarında hazırlanan alümina jellere ait bilgiler Çizelge 1' de verilmektedir.

Çizelge 1. Numune kurutma koşulları (Sample drying conditions)

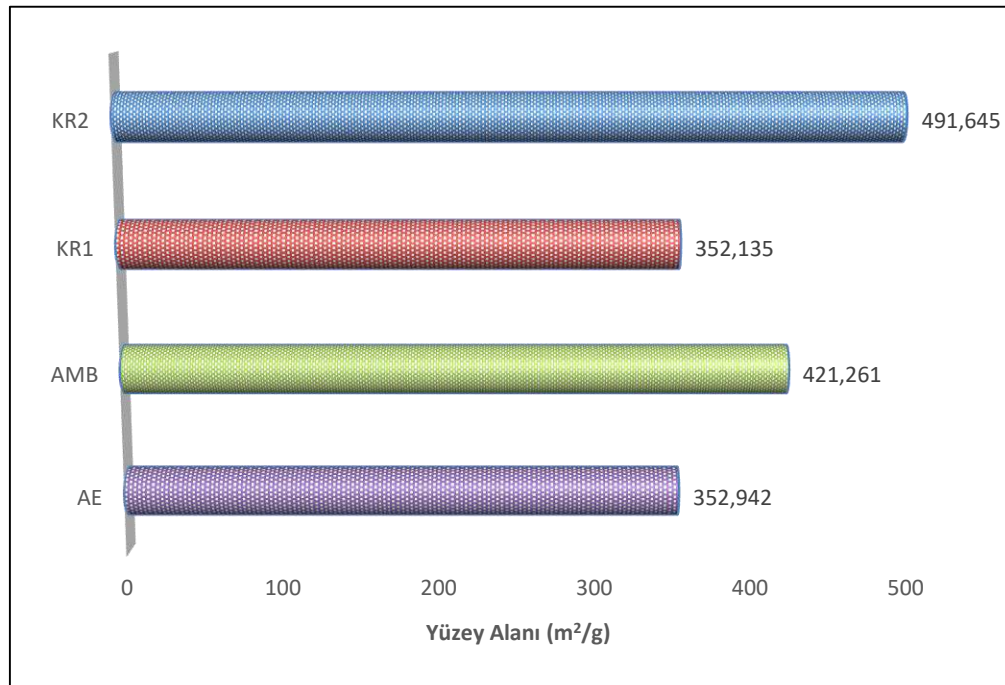
Numune Simgesi	Numune İsmi	Kurutma Şekli
AE	Aerojel	Süperkritik CO ₂ (45 °C - 100 bar) 4 saat
AMB	Ambijel	Atmosfer basıncında doğal kurutma (5 gün)
KR1	Kriyojel	Su içerisinde (- 70 °C - 24 saat) ön işlem sonrası dondurarak kurutma
KR2	Kriyojel	Ön işlem yapılmadan dondurarak kurutma (2 saat)

3.1. Kurutma Yönteminin YüzeAlanına Etkisi (Effect of Drying Method on Surface Area)

Sol-jel yöntemiyle sentezlenen ve farklı kurutma yöntemleriyle elde edilen alümina aerojel, ambijel ve kriyojelin yüzey alanı üzerine kurutma tekniğinin etkisini belirlemek amacıyla numunelere çok noktalı BET analiz yöntemi ile özgül yüzey alanı ölçümü yapılmış ve sonuçlar Şekil 2' de verilmiştir.

Genel olarak bakıldığında yüzey alanlarının oldukça yüksek olduğu ve KR1 ve AE numunelerinde oldukça yakın sonuçlar elde edildiği görülmektedir. En yüksek yüzey alanı değeri ön işlem yapılmadan dondurularak kurutulan KR2 numunesinde ve en düşük yüzey alanı değeri ise su içerisinde dondurulmak suretiyle ön işlem yapıldıktan sonra kurutulan KR1 numunesinde elde edilmiştir. Literatürde alümina esaslı monolitik

aerojellerin oluşumunu tarif eden çalışmalarda en yüksek gözeneklilik derecesinde elde edilen alümina aerojel için BET yüzey alanı 376 m²/g olarak belirlenmiştir [25]. Başta uzay teknolojileri olmak üzere pek çok farklı alanda her geçen gün kullanımı artan bu gözenekli sentetik malzemelerde, yüzey alanının önemli bir fiziksel özellik olduğu göz önüne alınırsa, sadece kurutma tekniği değiştirilerek literatüre kıyasla daha yüksek yüzey alanına sahip jelin üretilebiliyor olması büyük bir avantajdır. Özellikle dondurarak kurutma ve atmosfer basıncında kurutma yöntemleri ile elde edilen kuru numunelerde oldukça yüksek çıkan spesifik yüzey alanları, bu malzemelerin ıslak evrelerinde olduğu gibi yine oldukça gözenekli bir dokuya sahip olduklarına işaret etmektedir.

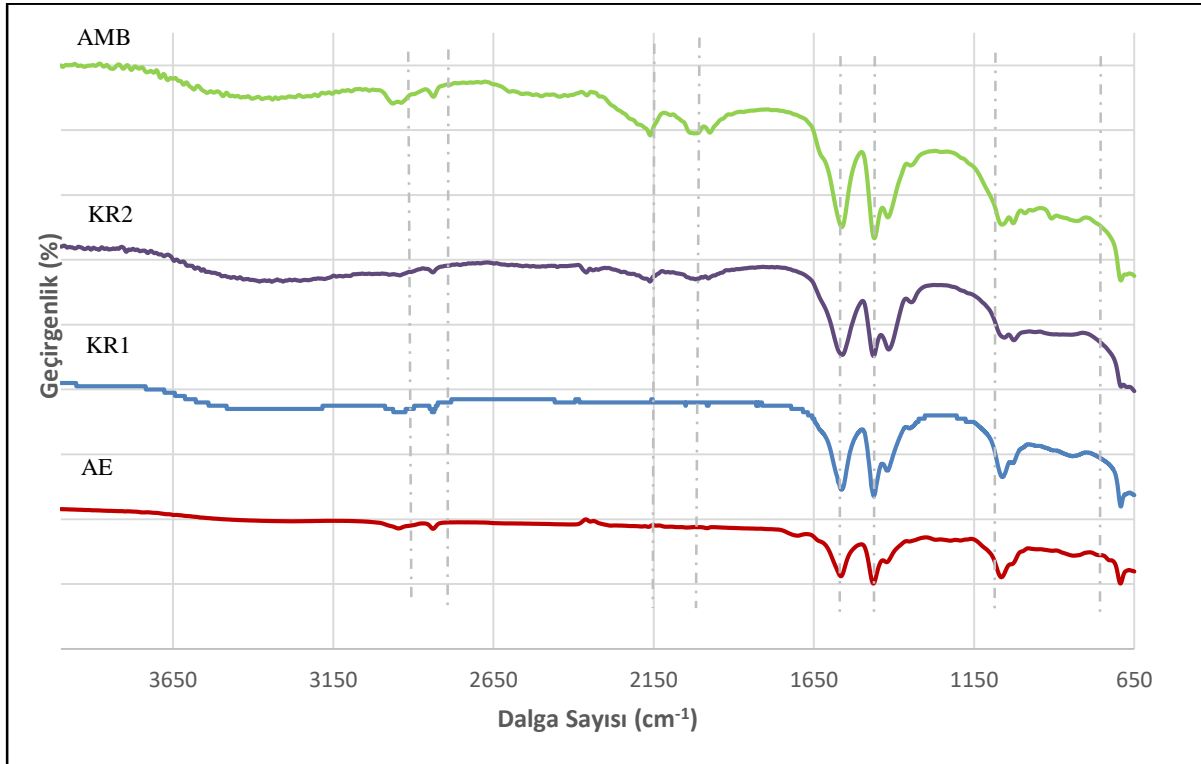
**Şekil 2.** Farklı yöntemlerle kurutulan jellerde, kurutma yönteminin yüzey alanına etkisi (Effect of drying method on surface area in gels dried by different methods)

3.2. Kurutma Yönteminin Yapısal Özelliklere Etkisi (Effect of Drying Method on Structural Properties)

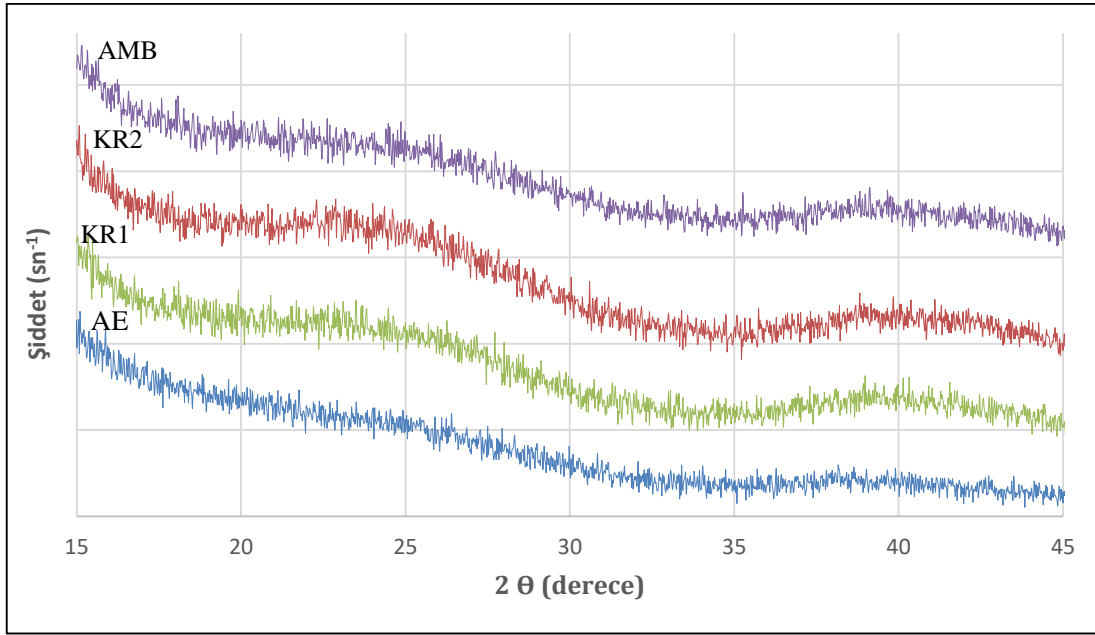
Farklı kurutma yöntemleriyle kurutulmuş elde edilen aerogel, ambijel ve kriyojel numunelerine ait FT-IR spektrumları Şekil 3’ de verilmiştir. Yapılan analiz sonucunda gerek parmak izi bölgesindeki gerekse fonksiyonel grup bölgelerindeki piklerin aynı kaldığı ancak şiddetlerinin değiştiği görülmüştür. Spektrumun fonksiyonel grup bölgesinde yer alan 3500 cm^{-1} ’deki geniş emilim, neme duyarlı alümina alkojellerin yüzeyinde adsorplanmış olan su moleküllerinden kaynaklanan hidroksil gruplarına ait (O-H) karakteristik germe titreşimidir [28]. Ayrıca 1630 cm^{-1} ’deki pikler yapıdaki serbest su moleküllerine ait H-O-H gerilme bandını göstermektedir [29]. Bu bilgiler ışığında; grafikten de görüldüğü gibi süperkritik şartlarda kurutulmuş olan aerogel içerisindeki nem miktarının en az, ortam basıncında kurutulmuş olan ambijel içerisindeki nem miktarının ise en fazla olduğu anlaşılmaktadır. $2150\text{ cm}^{-1} - 2175\text{ cm}^{-1}$ frekans aralığında, O-H grupları ile birlikte C-O komplekslerine ait ve 2850 cm^{-1} ve 2950 cm^{-1} ’de ise C-H gerilimine ait pikler bulunmaktadır [30, 31]. Bu pikler süperkritik şartlarda kurutma işleminde jel içerisindeki C-O, H-O ve C-H içerikli kalıntıların en az, atmosfer basıncında kurutulmuş jel içerisinde ise daha fazla olduğunu

göstermektedir. 2000 cm^{-1} ile 2500 cm^{-1} dalga boyu aralığındaki absorpsiyonlar, saçılmadan kaynaklanan ışık kaybını ve yaklaşık 1800 cm^{-1} ’de yoğunlukta keskin bir azalma dağılım sorununu göstermektedir [32]. Sonuç olarak her ne kadar sentez aşaması aynı olsa da kurutma tekniklerinin farklı olması elde edilen jel ürünlerin yapısında ve var olan kimyasal gruplarda temelde herhangi bir değişime sebep olmamıştır.

Şekil 4’ de ise hazırlanan aerogel, ambijel ve kriyojel numunelerine ait XRD spektrumları verilmiştir. Kırınım desenlerinde beklenildiği gibi amorf yapı gözlenmiştir. Çünkü jeller, düzenli bir kristal yapıya sahip olmadıkları için amorf yapıdadırlar. Dolayısıyla düzensiz yapıda bir kristal düzlemine gelen X-ışını demeti kristal düzlemlerine herhangi bir açıyla çarparsa, kırınım gerçekleşmez. Bu nedenle amorf yapıların XRD spektrumlarında herhangi bir kırınım piki gözlenmez. Çünkü kristal düzlemlerinden yansıyan X-ışınlarının aldıkları yolların uzunlukları farklı olduğundan, söz konusu ışınlar arasında faz farkı oluşur ve bu ışınlar birbirlerini iptal ederler. Bu nedenle Şekil 4’ den görüldüğü üzere amorf yapıdaki numunelerin kırınım desenleri birbirine benzer olup, keskin bir pike sahip değildirler. Bu sonuç uygulanan farklı kurutma teknikleri ile jellerin amorf yapısının bozulmadığını göstermektedir [22].



Şekil 3. Farklı yöntemlerle kurutulmuş aerogel, ambijel ve kriyojel numunelerine ait FT-IR spektrumları (FT-IR spectra of aerogel, ambijel and cryogel specimens dried by different methods)



Şekil 4. Farklı yöntemlerle kurutulan alümina aerojel, ambijel ve kriyojel numunelerine ait XRD deseni (XRD pattern of alumina aerogel, ambigel and cryogel specimens dried by different methods)

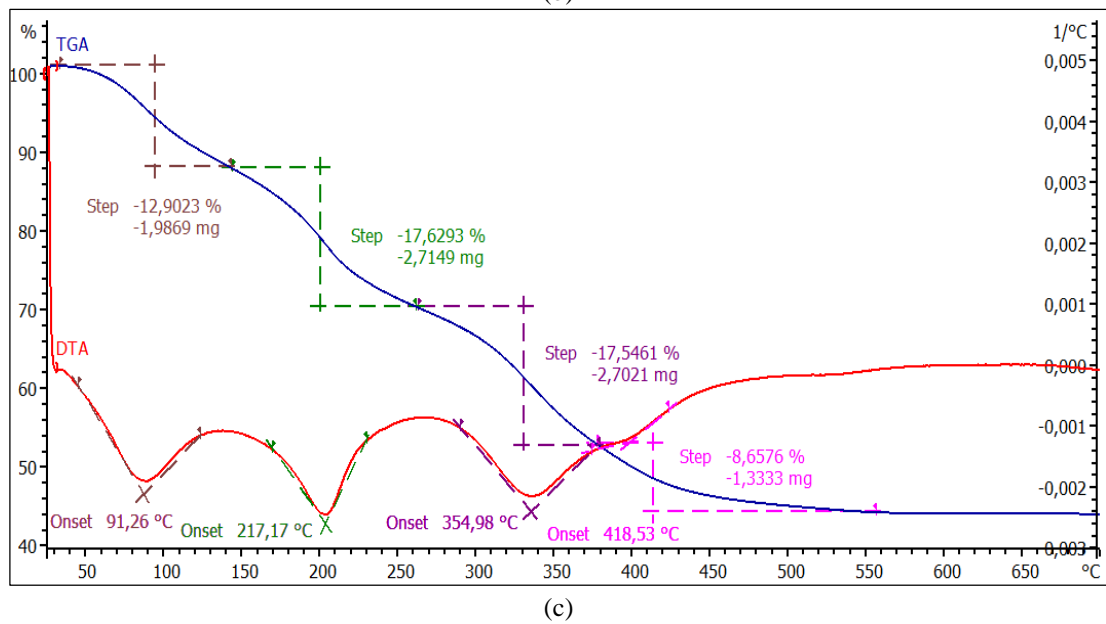
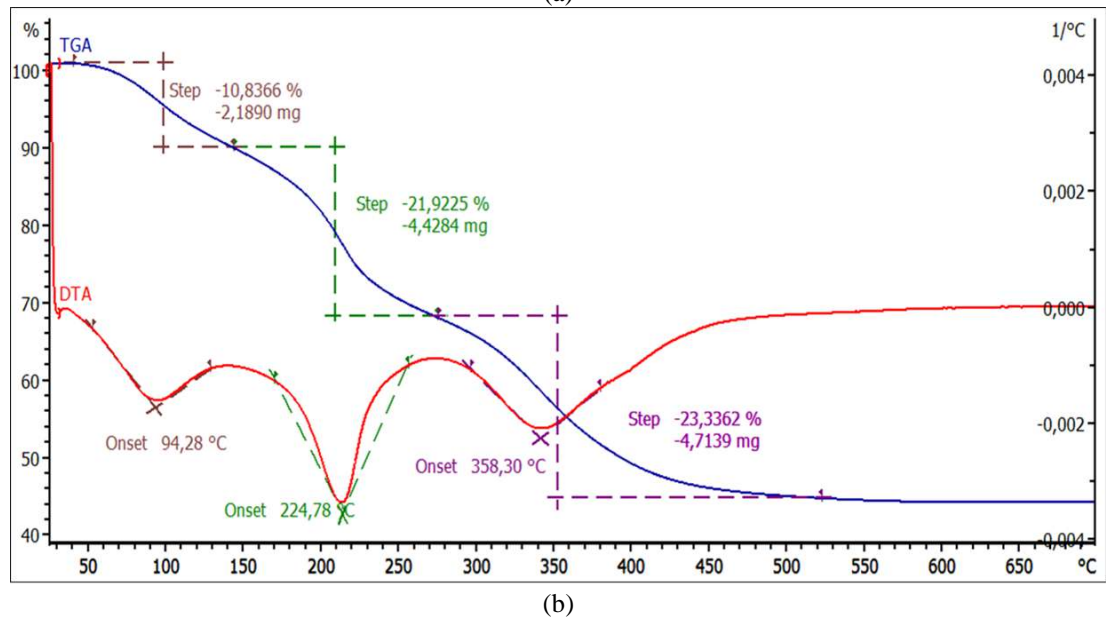
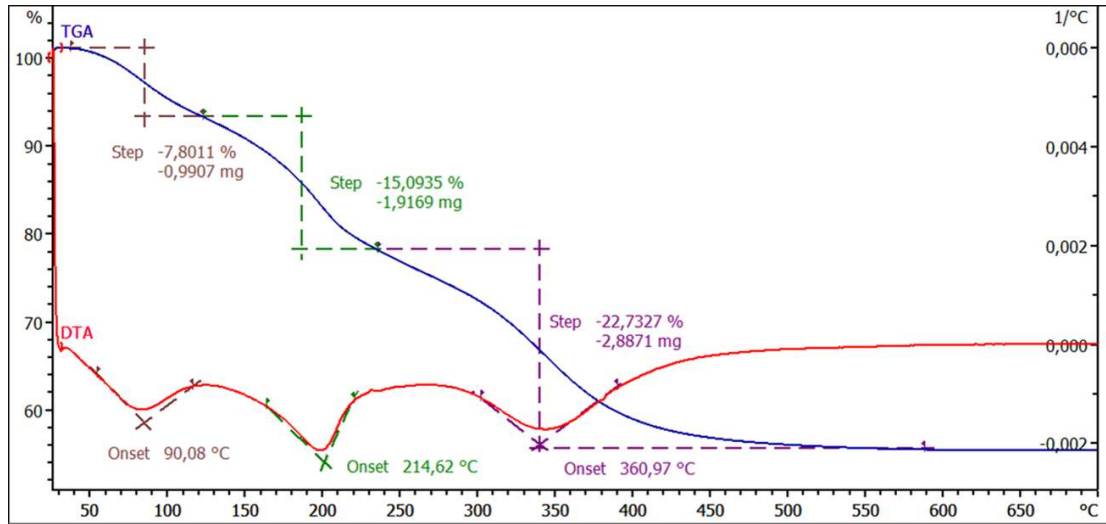
3.3. Kurutma Yönteminin Isısal Davranışa Etkisi (Effect of Drying Method on Thermal Behavior)

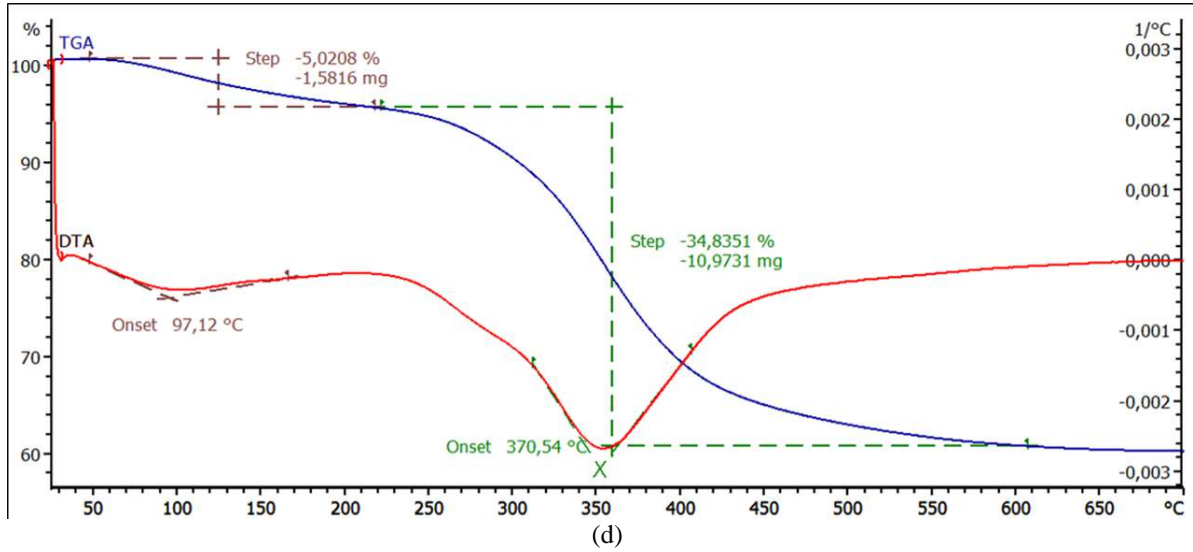
Farklı kurutma yöntemleriyle hazırlanan jel numunelerinde yapılan termal analiz sonucu elde edilen TGA-DTA eğrileri Şekil 5' de, DSC eğrileri ise Şekil 6' da verilmiş olup, deneysel sonuçlar Çizelge 2' de sunulmuştur.

TGA-DTA eğrileri incelendiğinde, kurutma yöntemlerine bağlı olarak jel numunelerde toplamda yaklaşık %39-57 arasında değişen kütle kaybı olduğu tespit edilmiştir. Kütle kaybının AMB numunesinde iki aşamalı, AE ve KR1 numunelerinde üç aşamalı, KR2 numunesinde ise dört aşamalı olarak gerçekleştiği görülmektedir. Tüm numunelerde birinci aşamada 90-108 °C arasında fiziksel olarak adsorbe edilen suyun ve fazla çözücünün desorpsiyonuna bağlı olarak yaklaşık % 5-13 arasında değişen kütle kaybı tespit edilmiştir. AMB numunesi hariç diğer numunelerde ikinci aşamada 212-224 °C arasında kimyasal olarak bağlanmış olan suyun yapıdan ayrılmasından ileri gelen yaklaşık %15-22 arasında değişen kütle kaybı tespit edilmiştir. 354-371 °C arasında görülen ve % 21-30 arasında kütle kaybının olduğu tespit edilen aşama ise AMB numunesi için ikinci aşamayı oluştururken, diğer numunelerde üçüncü aşama olarak karşımıza çıkmaktadır. KR2 numunesinde ise 651 °C' de % 8,7 kütle kaybı olan dördüncü aşamanın mevcut olduğu görülmektedir. 700 °C' den sonra numunelerde kütle kaybı gözlenmemiştir [24].

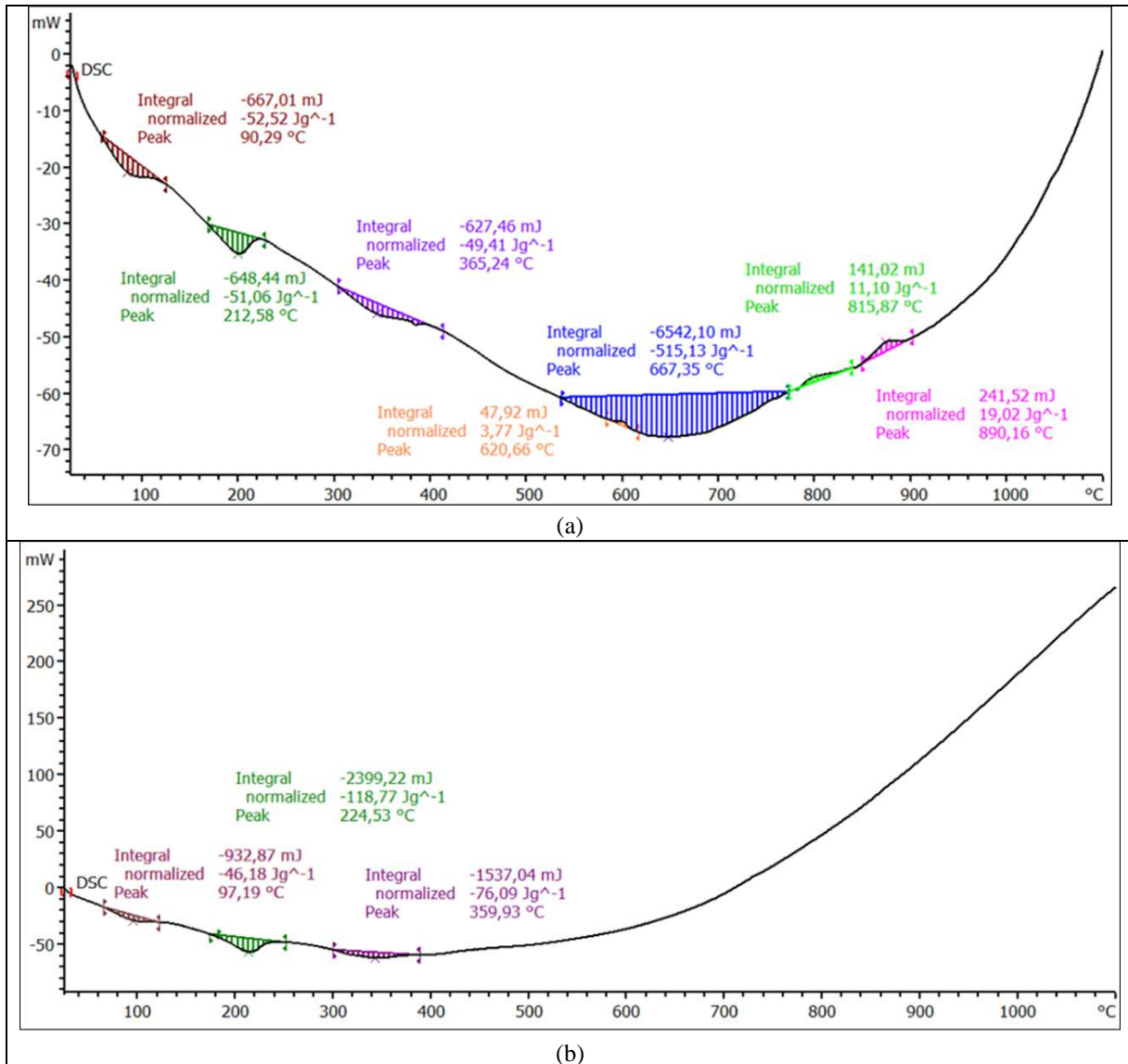
Farklı kurutma yöntemleriyle hazırlanan jel numunelerinin DSC eğrileri incelendiğinde ise, 25-1100

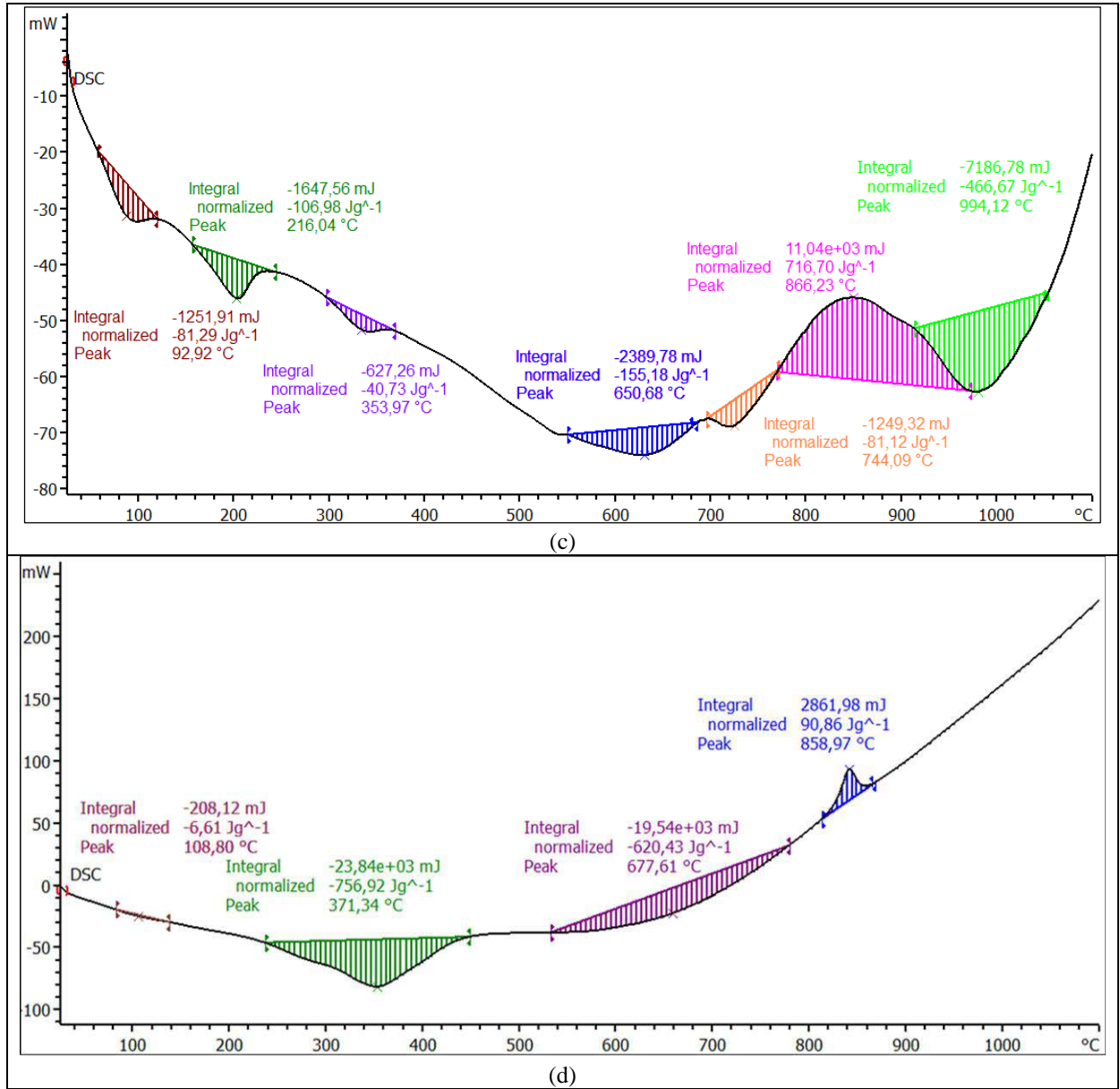
°C arasında hem endotermik hem de ekzotermik piklerin mevcut olduğu görülmektedir. Tüm numunelerde 50-110 °C arasında adsorbe edilen suyun ve fazla çözücünün uzaklaştırılması için 6-82 J/g arasında değişen endotermik pikler görülmektedir. AMB numunesi dışındaki numunelerde 150-250 °C arasında kimyasal bağlı suyun yapıdan ayrılmasından ve alüminanın faz geçişinden kaynaklanan 51-119 J/g arasında değişen endotermik pikler mevcuttur. Tüm numunelerde 250-420 °C arasında alüminanın faz geçişinden kaynaklanan 40-757 J/g arasında değişen endotermik piklerin olduğu tespit edilmiştir. KR1 numunesinde bunların dışında pik tespit edilmemiştir. 550-800 °C arasında, AMB ve AE numunelerinde sırasıyla 677 ve 515 J/g olan endotermik pik mevcuttur. KR2 numunesinde ise bir tanesi TGA eğrisinde kütle kaybı olarak tespit edilen olmak üzere 650 ve 744 °C' de 155,1 ve 81,1 J/g olan iki tane endotermik pik olduğu görülmektedir. Yalnızca KR2 numunesinde tespit edilen 651 °C' de 155,1 J/g endotermik pik olduğu görülmektedir. 800-1100 °C arasında AMB numunesinde bir adet 90,9 J/g ekzotermik pik mevcuttur. Bu sıcaklık aralığında AE numunesinde 11,1 ve 19 J/g olan iki adet ekzotermik pik olduğu tespit edilmiştir. KR2 numunesinde ise 866 °C' de 716,7 J/g ekzotermik ve 994 °C' de 466,7 J/g endotermik piklerin varlığı tespit edilmiştir. Tüm bu piklerin varlığı alümina alkojellerin kurutma yöntemlerinin değişmesinden ziyade özellikle ısı etkisi ile ortamda farklı formlarda alüminanın oluşması dolayısıyla numunelerin ısısal davranışında ve faz geçiş sıcaklıklarında farklılıkları beraberinde getirmiştir [33].





Şekil 5. Farklı yöntemlerle kurutulan jellere ait TGA-DTA eğrileri a) AE, b) KR1, c) KR2, d) AMB (TGA-DTA curves of gels dried by different methods a) AE, b) KR1, c) KR2, d) AMB)





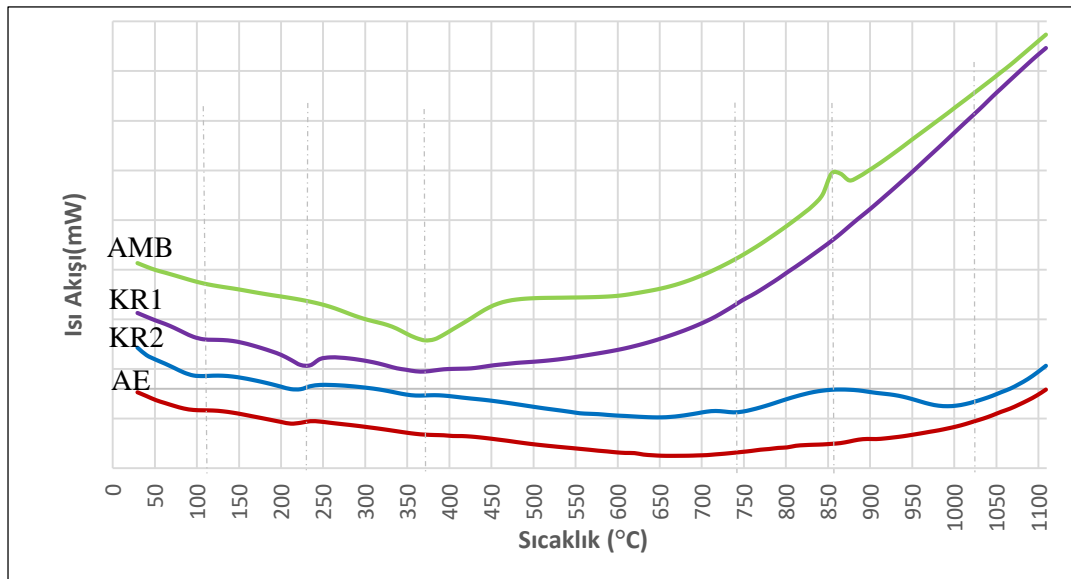
Şekil 6. Farklı yöntemlerle kurutulmuş jellere ait DSC eğrileri a) AE, b) KR1, c) KR2, d) AMB (DSC curves of gels dried by different methods a) AE, b) KR1, c) KR2, d) AMB)

Şekil 7' de ise farklı kurutma yöntemleriyle hazırlanan alkojel numunelerinin DSC eğrileri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Bu spektrumda piklerin yerinin kaydığı noktalar açıkça görülmektedir. Bununla birlikte yapısal olarak ve faz geçişleri bakımından AE ve KR2 numunelerinin benzerlik gösterdiği tespit edilmiştir. Ayrıca AMB ve KR1 numunelerinin yaklaşık 700 $^{\circ}C$ 'den sonra kuvvetli şekilde oksidasyona uğradığı

görülmektedir. 850 $^{\circ}C$ 'de AMB numunesinde bir tane keskin ve KR2 numunesinde ise 710 $^{\circ}C$ ve 850 $^{\circ}C$ 'de daha geniş iki ekzotermik pik olduğu görülmektedir. Elde edilen tüm sonuçlar bir arada değerlendirildiğinde; alkojelin kurutma yönteminin numunelerin yapısal özelliklerinde, ısıl davranışında ve hatta oluşan alümina formu ve faz geçiş sıcaklıklarında etkili olduğu söylenebilir.

Çizelge 2. Farklı kurutma yöntemleriyle hazırlanan jel numunelerinin TGA-DSC sonuçları (TGA-DSC results of gel samples prepared by different drying methods)

Numune	TGA			DSC		
	T (°C)	Δm_p (%)	Δm_t (%)	T_p (°C)	Reak.	E(J/g)
AMB	25-230	5	39,8	108	Endotermik	6,6
	230-700	34,8		371	Endotermik	756,9
				677	Endotermik	620
				858	Ekzotermik	90,8
AE	25-130	7,8	45,5	90	Endotermik	52,3
	130-250	15		212	Endotermik	51
	250-700	22,7		365	Endotermik	49,4
				620	Ekzotermik	3,8
				667	Endotermik	515,1
				815	Ekzotermik	11,1
			890	Ekzotermik	19,16	
KR1	25-130	10,8	56	97	Endotermik	46,18
	130-250	21,9		224	Endotermik	118,8
	250-700	23,3		359	Endotermik	76,1
KR2	25-130	12,9	56,8	93	Endotermik	81,3
	130-250	17,6		216	Endotermik	107
	250-360	17,6		354	Endotermik	40,7
	360-700	8,7		651	Endotermik	155,1
				744	Ekzotermik	81,1
				866	Endotermik	716,7
			994	Endotermik	994,1	

**Şekil 7.** Farklı yöntemlerle kurutulmuş alkojel numunelerinin DSC eğrilerinin karşılaştırılması (Comparison of DSC curves of alkojel samples dried with different methods)

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Sol-jel tekniği kullanılarak üretilen, yüksek gözenekliliğe sahip ıslak jellerin kurutulmaları sırasında gözenek içerisinde hapsolmuş sıvıların buharlaşırken gözeneklerde kapiler kuvvetlerin oluşmasına sebep olması nedeniyle kurutma işlemi sırasında jellerin hacimsel olarak küçülmesi ya da çatlakların oluşması kaçınılmazdır. Dolayısıyla ıslak jelin yapı iskeletinde çok fazla çökme meydana getirmeyecek uygun bir kurutma tekniğinin seçilmesi ve kullanılması oldukça önemlidir. Çalışma kapsamında farklı kurutma koşullarında hazırlanan jel numunelerin fizikokimyasal ve yapısal özellikleri incelendiğinde, ıslak jelin ön işlem yapılmadan dondurarak kurutulmasıyla gerek süperkritik ekstraksiyonla gerekse atmosfer basıncında kurutulmasına göre daha yüksek spesifik yüzey alanı değerine ulaşılmıştır. Bu sonuç ıslak haldeki jelin yapısındaki mikro ve makro gözeneklerin kurutma işlemi sonrasında da bozulmadan kaldığına ve gözenekli dokunun korunduğuna işaret etmektedir. Bu nedenle en yüksek yüzey alanı değerini veren dondurarak kurutma yönteminin, jellerin büzülmesini önlemek için oldukça elverişli bir yöntem olduğu söylenebilir. Her ne kadar günümüzde jel üretiminde süperkritik koşullarda kurutma tekniği yaygın olarak kullanılsa da dondurarak kurutulan kriyojellerin yapısal özelliklerinin süperkritik koşullarda kurutulan aerogellere çok yakın olduğu da FT-IR ve XRD spektrumlarından görülmektedir. Bu nedenle uygulama sırasında pek çok mekanik zorluklar doğurabilecek süperkritik koşullarda kurutma işlemi yerine dondurarak kurutma yönteminin tercih edilmesi, jellerin üretim sürecini önemli ölçüde kolaylaştıracaktır. Bununla birlikte maliyet ve uygulanabilirlik açısından diğer iki yöntemle kıyaslandığında daha avantajlı gibi görünen atmosfer basıncında kurutma tekniğinde ise kurutma süresinin 5 gün gibi oldukça uzun bir süre olması, 2 saat içerisinde gerçekleştirilen dondurarak kurutma yönteminin etkinliğini ve önemini bir kez daha ortaya koymaktadır.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma, Hitit Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir (Proje No: MUH19004.16.002).

SİMGELER (SYMBOLS)

E	Enerji, J/g
T	Sıcaklık, °C
T _p	Pik noktası sıcaklığı, °C
Δm _p	Kütle kaybı, %
Δm _t	Toplam kütle kaybı, %

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Fricke J., Tillotson T.M., "Aerogels: Production, characterization, and applications", *Thin Solid Films*, 297: 212-223, (1997).
- [2] García-González C.A., Camino-Rey M.C., Alnaief M., Zetzl C., Smirnova I., "Supercritical drying of aerogels using CO₂: Effect of extraction time on the end material textural properties", *Journal of Supercritical Fluids*, 66: 297-306, (2012).
- [3] Nadargi D.Y., Latthe S.S., Rao A.V., "Effect of post-treatment (gel aging) on the properties of methyltrimethoxysilane based silica aerogels prepared by two-step sol-gel process", *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 49: 53-59, (2009).
- [4] Sarawade P.B., Kim J.K., Hilonga A., Kim H.T., "Influence of aging conditions on textural properties of water-glass-based silica aerogels prepared at ambient pressure", *Korean Journal of Chemical Engineering*, 27(4): 1301-1309, (2010).
- [5] Omranpour H., Dourbash A., Motahari S., "Mechanical properties improvement of silica aerogel through aging: Role of solvent type, time and temperature", *AIP Conference Proceedings*, 1593(1): 298-303, (2014).
- [6] Iswar S., Malfait W.J., Balog S., Winnefeld F., Lattuada M., Koebel M.M., "Effect of aging on silica aerogel properties", *Microporous and Mesoporous Materials*, 241: 293-302, (2017).
- [7] Graciano Bay de S., De Souza L.V., Hotza D., Rambo C.R., "Amorphous SiO₂ ambigels as hosts for simulated PWR multicomponent nuclear waste", *Journal of Non-Crystalline Solids*, 461: 67-71, (2017).
- [8] Kim S.W., Iwamoto S., Inoue M., "Surface and pore structure of alumina derived from xerogel/aerogel", *Journal of Porous Materials*, 17: 377-385, (2010).
- [9] Rogoan R., Andronescu E., Ghițuică C., Ștefan Vasile B., "Synthesis and characterization of alumina nanopowder obtained by sol-gel method", *UPB Scientific Bulletin, Series B: Chemistry and Materials Science*, 73(2): 67-76, (2011).
- [10] Rajaeiyan A., Bagheri-Mohagheghi M.M., "Comparison of sol-gel and co-precipitation methods on the structural properties and phase transformation of γ and α-Al₂O₃ nanoparticles", *Advances in Manufacturing*, 1: 176-182, (2013).
- [11] Tzompantzi F., Piña Y., Mantilla A., Aguilar-Martínez O., Galindo-Hernández F., Bokhimi X., Barrera A., "Hydroxylated sol-gel Al₂O₃ as photocatalyst for the degradation of phenolic compounds in presence of UV light", *Catalysis Today*, 220-222: 49-55, (2014).
- [12] Farahmandjou M., Golabiyan N., "Synthesis and characterization of alumina (Al₂O₃) nanoparticles prepared by simple sol-gel method", *Int. J. Bio-Inorg. Hybr. Nanomater*, 5(1): 73-77, (2016).
- [13] Erdemoğlu M., Birinci M., Uysal T. "Kil minerallerinden alümina üretimi: Güncel değerlendirmeler", *Politeknik Dergisi*, 21(2): 387-396, (2018).
- [14] Du A., Zhou B., Zhang Z., Shen J., "A special material or a new state of matter: A review and reconsideration of the aerogel", *Materials*, 6: 941-968, (2013).
- [15] Goksu E.I., Hoopes M.I., Nellis B.A., Xing C., Faller R., Frank C.W., Risbud S.H., Satcher J.H., Longo M.L., "Silica xerogel/aerogel-supported lipid bilayers:

- Consequences of surface corrugation”, *Biochimica et Biophysica Acta - Biomembranes*, 1798: 719-729, (2010).
- [16] Sachithanadam M., Joshi S.C., “Aerogel Today, Silica Aerogel Composites Novel Factorian Methods”, *Springer Science+Business Media*, Singapore, (2016).
- [17] Schneider M., Baiker A., “Aerogels in catalysis”, *Catalysis Reviews*, 37(4): 515-556, (1995).
- [18] Wu D., Fu R., “Requirements of organic gels for a successful ambient pressure drying preparation of carbon aerogels”, *Journal of Porous Materials*, 15: 29–34, (2008).
- [19] Hwang S.W., Kim T.Y., Hyun S.H., “Effect of surface modification conditions on the synthesis of mesoporous crack-free silica aerogel monoliths from waterglass via ambient-drying”, *Microporous and Mesoporous Materials*, 130(1–3): 295–302, (2010).
- [20] Zhu J., Xie J., Lu X., Jiang D., “Synthesis and characterization of superhydrophobic silica and silica/titania aerogels by sol-gel method at ambient pressure”, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 342(1–3): 97–101, (2009).
- [21] Cao F., Ren L., Li X., “Synthesis of high strength monolithic alumina aerogels at ambient pressure”, *Royal Society of Chemistry*, 5: 18025–18028, (2015).
- [22] Bono Jr. M.S., Anderson A.M., Carroll M.K., “Alumina aerogels prepared via rapid supercritical extraction”, *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 53: 216-226, (2010).
- [23] Ganesan K., Dennstedt A., Barowski A., Ratke L., “Design of aerogels, cryogels and xerogels of cellulose with hierarchical porous structures”, *Materials and Design*, 92: 345–355, (2016).
- [24] He F., Sui C., He X., Li M., “Facile synthesis of strong alumina-cellulose aerogels by a freeze-drying method”, *Materials Letters*, 152: 9-12, (2015).
- [25] Poco J.F., Satcher J.H., Hrubesh L.W., “Synthesis of high porosity, monolithic alumina aerogels”, *Journal of Non-Crystalline Solids*, 285(1-3): 57-63, (2001).
- [26] Yoldas B.E., “Alumina gels that form porous transparent Al₂O₃”, *Journal of Materials Science*, 10: 1856-1860, (1975).
- [27] Tamon H., Ishizaka H., Yamamoto T., Suzuki T., “Freeze drying for preparation of aerogel-like carbon”, *Drying Technology*, 19(2): 313-324, (2001).
- [28] Gondal M.A., Fasasi T.A., Mekki A., Saleh T.A., Ilyas A.M., Qahtan T.F., Chang X., “Phase transformation and structural characterization studies of aluminum oxide (Al₂O₃) nanoparticles synthesized using an elegant pulsed laser ablation in liquids technique”, *Nanoscience and Nanotechnology Letters*, 8: 1-8, (2016).
- [29] Oréface R.L., Vasconcelos W.L., “Sol-gel transition and structural evolution on multicomponent gels derived from the alumina-silica system”, *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 9: 239-249, (1997).
- [30] Belskaya O.B., Danilova I.G., Kazakov M.O., Mironenko R.M., Lavrenov A.V., Likholobov V.A., “Infrared Spectroscopy-Materials Science, Engineering and Technology: FTIR Spectroscopy of Adsorbed Probe Molecules for Analyzing The Surface Properties of Supported Pt(Pd) Catalysts”, *InTech Published*, Croatian, (2012).
- [31] Yang W., Dou X., Li Y., Mohan D., Pittman C.U., Ok Y.S., “Performance and mass transfer of aqueous fluoride removal by a magnetic alumina aerogel”, *RSC Advances*, 6(114): 112988-112999, (2016).
- [32] Bassan P., “Light Scattering During Infrared Spectroscopic Measurements of Biomedical Samples”, *Doktora Tezi*, University of Manchester Faculty of Engineering and Physical Sciences, (2011).
- [33] Tok A.I.Y., Boey F.Y.C., Zhao X.L., “Novel synthesis of Al₂O₃ nano-particles by flame spray pyrolysis”, *Journal of Materials Processing Technology*, 178: 270-273, (2006).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

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



Kereste kurutmada enerji verimliliği - güneş enerjisi ile kızılçam (*pinus brutia*) kerestesi kurutma örneği

*Energy efficiency in lumber drying -sample of drying red pine (*pinus brutia*) using solar energy*

Yazar(lar) (Author(s)): Hasan KORKMAZ¹, Öner ÜNSAL², Hızır Volkan GÖRGÜN², Erkan AVCI⁴

ORCID¹: 0000-0001-8982-306X

ORCID²: 0000-0001-7562-6727

ORCID³: 0000-0002-2537-2105

ORCID⁴: 0000-0002-1475-4028

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Korkmaz H., Ünsal Ö., Görgün H. V. ve Avcı E., “Kereste kurutmada enerji verimliliği - güneş enerjisi ile kızılçam (*pinus brutia*) kerestesi kurutma örneği”, *Politeknik Dergisi*, 23(3): 671-676, (2020).

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

DOI: 10.2339/politeknik.528103

Kereste Kurutmada Enerji Verimliliği - Güneş Enerjisi ile Kızılçam (*Pinus brutia*) Kerestesi Kurutma Örneği (TR)

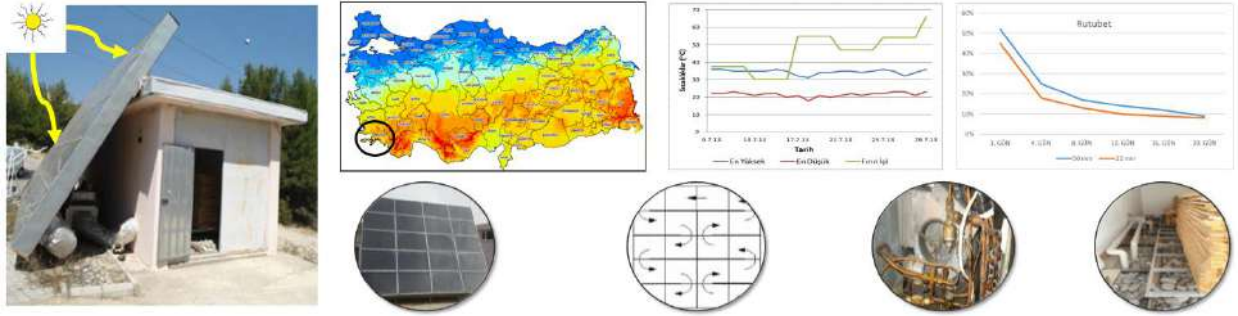
Energy Efficiency in Lumber Drying -Sample of Drying Red Pine (*Pinus brutia*) Using Solar Energy (EN)

Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Güneş ışınım enerjisinin yeterli olduğu bölge ve mevsimlerde, kurutma maliyetlerinden büyük oranda tasarruf edileceği söylenebilir. (TR) / It can be said that in regions and seasons where solar radiation energy is sufficient, drying costs will be greatly saved. (EN)
- ❖ Bu yöntemle endüstriyel tip fırınlardaki kalitede kereste kurutulabileceği söylenebilir. (TR) / It can be said that the similar quality as in industrial kilns can be reached with this method. (EN)
- ❖ Bu çalışmadaki kurutma nispeten daha uzun sürmesine karşın, çeşitli iyileştirmelerle daha da kısaltılabilir. (TR) / Although the drying in this study took relatively longer, it can be shortened further with various improvements. (EN)
- ❖ Sonuçlar, güneş enerjisi şartlar uygun olduğu takdirde, diğer ısı kaynaklarına iyi bir alternatif olabileceğini göstermiştir. (TR) / The results showed that solar energy can be a good alternative to other heat sources if the conditions are suitable. (EN)

Grafik Özet (Graphical Abstract)

Muğla-Türkiye'de yapılan bu çalışmada, 25 ve 50 mm kalınlığındaki Kızılçam (*Pinus brutia*) keresteleri, 20 günde güneş ışınım enerjisi kullanan hava kolektörlü bir fırında %10 rutubete kadar kurutulabilmiştir.



Şekil. Güneş enerjisiyle kereste kurutma / Figure. Lumber drying with solar energy

Amaç (Aim)

Kereste kurutulmasında için güneş enerjisinin denenmesi amaçlanmıştır (TR). / It is aimed to try solar energy for drying lumber (EN).

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Güneş enerjisi kullanan hava kolektörlü bir fırında 25 ve 50 mm kalınlığındaki Kızılçam keresteleri kurutulmuştur (TR). / A kiln using solar energy and air collector were used for 25 and 50 mm thick red pine lumber (EN).

Özgünlük (Originality)

Muğla-Türkiye'de kısa sürelerde güneş enerjisiyle kereste kurutulabilmiştir (TR). / Lumbars could be dried in a short time with solar energy in Muğla-Turkey (EN).

Bulgular (Findings)

Keresteler 20 günde %50'den %10 rutubete, sadece fanın enerji tüketimiyle kurutulabilmiştir (TR). / Lumbars could be dried in 20 days from 50% humidity to 10%, with only the energy consumption of the fan. (EN).

Sonuç (Conclusion)

Diğer ısı kaynaklarına göre güneş enerjisi, hem maliyet hem de temiz olmasından dolayı iyi bir alternatiftir (TR). / Compared to other heat sources, solar energy is a good alternative because it is both cost and clean. (EN).

Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

Kereste Kurutmada Enerji Verimliliği - Güneş Enerjisi İle Kızılçam (*Pinus brutia*) Kerestesi Kurutma Örneği

Araştırma Makalesi / Research Article

Hasan KORKMAZ¹, Öner ÜNSAL², Hızır Volkan GÖRGÜN², Erkan AVCI³

¹Orman Endüstri Yüksek Mühendisi

²Orman Fakültesi, Orman Endüstri Müh. Bölümü, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Türkiye

³Teknoloji Fakültesi, Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği Bölümü, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 16.02.2019 ; Kabul/Accepted : 18.07.2019)

ÖZ

Enerji temini ve maliyeti her geçen gün daha çok ön plana çıkmaktadır. Bununla birlikte üretiminde ve tüketiminde çevreye olan etkileri de, maliyet ve temini kadar önemli hale gelmiştir. Bu yüzden mevcut enerji türlerine alternatif olarak rüzgâr, güneş, dalga gibi doğal ve sürdürülebilir enerji kaynakları yerini almaya başlamıştır. Enerji kullanımındaki bu değişim, ahşap endüstrisine de yansımaktadır.

Bu çalışmada, masif ahşabın kurutulması için ısı kaynağı olarak güneş enerjisini kullanan bir kurutma fırının kurutma performansı incelenmiştir. Bu kapsamda güneş enerjisi bakımından nispeten önemli bölgelerden olan Muğla şehrinde yer alan güneş kolektörlü bir fırında, iki farklı kalınlıktaki Kızılçam keresteleri kurutulmuştur. Yapılan denemeler sonucunda; istenen sonuç rutubetine, büyük oranda kereste kalitesi korunarak ulaşılmıştır. Diğer yöntemlere oranla biraz daha uzun sürede kurutulmalarına karşın, en az %30 enerji tasarrufu sağlandığı söylenebilir. Sonuç olarak bu alanda kullanılan diğer enerji türleriyle karşılaştırıldığında, temiz bir enerji türü olan güneş enerjisi ile düşük maliyetli ve kaliteli bir kurutma yapılabildiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi, kızılçam, kereste kurutma, enerji verimliliği.

Energy Efficiency in Lumber Drying - Sample of Drying Red Pine (*Pinus brutia*) Using Solar Energy

ABSTRACT

Energy supply and cost come to the forefront more with each passing day. However, the impacts on the environment in the production and consumption have become important as cost and supply. Therefore, wind, solar, wave etc. began to take their place as natural and sustainable with being alternative energy sources. This change in energy use is also reflected in the wood industry.

In this study, the performance of drying kiln using solar energy as a heat source was investigated. In this context, Red Pine lumbers with two different thickness groups were dried in a solar kiln located Muğla where is relatively important region about solar energy. The results showed that the desired final moisture contents were achieved by substantially maintaining the lumber quality. Although the drying duration a bit longer than other methods, it can be said that at least 30% energy saving was provided. As a result, compared to other energy types used in drying kilns, it has been seen that drying operations with low cost and good quality can be performed with solar energy which can be described as a clean energy type.

Keywords: Solar energy, red pine, lumber drying, energy efficiency

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Ahşabın kaynağı olan ağaç, dikili halde kuru ağırlığının yaklaşık 2 katı kadar rutubete sahiptir. Biçme işlemleri sonunda bu rutubet, beklemeden de kaynaklanan kayıplarla birlikte daha düşük seviyelere inmektedir. Ancak bu rutubet seviyeleri, ahşabın son kullanım yerindeki ortam şartlarında boyutsal stabilitesini etkileyecek niteliktedir. Çünkü higroskopik bir malzeme olan ahşap, bulunduğu ortamın sıcaklık ve bağıl nemine bağlı olarak boyutlarını değiştirebilmektedir. Bu yüzden ahşabın son ürün olarak değerlendirilebilmesi için, kurutma aşaması vazgeçilmez bir unsurdur.

Ahşabın doğrudan doğruya açıkta bırakılarak yapılan doğal kurutma yönteminde, ortam şartlarının kontrol edilememesi sonucu oluşan kurutuma kalitesinin düşüklüğü, istenen rutubet seviyelerine inilememesi, kurutma süresinin uzun olması gibi dezavantajlar bulunmaktadır. Geliştirilen teknik kurutma yöntemlerinde ortam şartları kontrol edilmesiyle bu dezavantajların en aza indirgenmesi amaçlanmaktadır ancak kontrol mekanizması için gerekli olan enerji ihtiyacı, kurutma maliyetini arttırmaktadır. Kurutmada enerji tüketimi ağaç türü, kalınlığı, sonuç rutubet derecesine ve istenilen kaliteye bağlı olarak genellikle 600-1200 kWh/m³ arasında değişmektedir [1, 2, 3, 4, 5]. Bu enerjinin kullanım dağılımına bakıldığında ise; Kantay'a göre [6], klasik kurutmada fırının ısıtılması için

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

%10–25 elektrik ve % 75–90 ısı enerjisi kullanılmaktadır. Özellikle ısıtmada kullanılan fosil kökenli veya ahşap artıkları gibi yakıtların çevreye olumsuz etkileri de bulunmaktadır. Ayrıca Özalp ve Ordu [7] tarafından yapılan çalışmada, elektrik enerjisi ve diğer fosil bazlı kömür ve fuel-oil'in maliyetlerinin, diğer enerji türlerine göre yüksek olduğu belirtilmektedir. Bu tür nedenlerden dolayı, teknik kurutma yöntemlerinde alternatif enerji kaynaklarının kullanılması araştırılmaya başlanmıştır ve yapılan çalışmaların, avantajlarından dolayı güneş enerjisinde yoğunlaştığı söylenebilir [8, 9, 10, 11, 12, 13, 14].

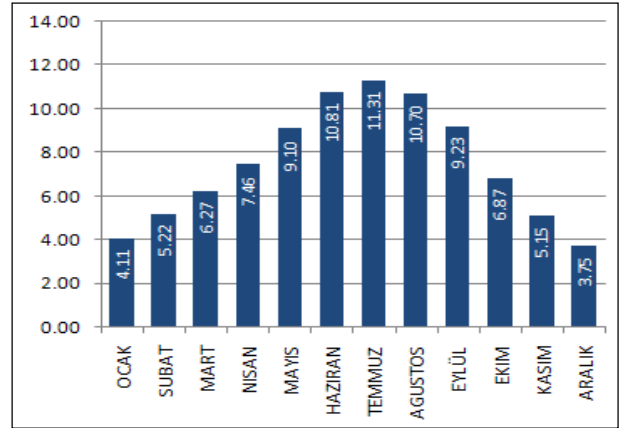
Doğalgaz, kömür gibi fosil kökenli yakıtların maliyetindeki artışla birlikte çevreye olumsuz etkileri sebebiyle, alternatif enerji kaynaklarına yönelim olmuştur. Bu amaçla jeotermal, rüzgâr, dalga, güneş gibi doğal, temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirilmesi ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır. Bu kaynaklardan güneş enerjisi, mevsime ve coğrafi şartlara göre değişen etki oranına karşın, diğer kaynaklara göre teminin kolay olması, sürekliliğinin bulunması, yüksek yatırım maliyetleri gerektirmeyen temiz bir enerji kaynağıdır. Ayrıca fotovoltaik devreler, akışkanlı kolektörler gibi çeşitli araçlarla ısı, elektrik enerjisi gibi farklı enerji türlerine de verimli bir şekilde dönüştürülebilmektedir. Bu yüzden birçok alanda alternatif enerji kaynağı olarak tercih edilmektedir.

Bu çalışmada ahşabın teknik yöntemle kurutulması için alternatif enerji kaynaklarından güneş enerjisinin kullanılmasıyla, enerji maliyetlerinin ve kurutma sırasında çevreye verilen zararların azaltılması amaçlanmıştır.

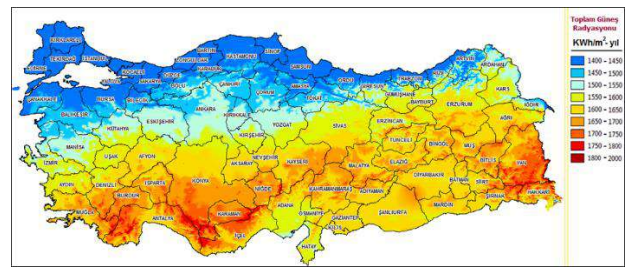
2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

Bu çalışma kapsamında güneş enerjisi, kereste kurutma için ısı kaynağı olarak tercih edilmiştir. Etkin olarak kullanılabilmesi için, güneşlenme süresi ve güneş radyasyonu kriterleri dikkate alınmıştır. Şekil 1'de görüldüğü üzere, Türkiye'de güneşlenme süreleri en fazla yaz aylarında olduğu için, çalışmanın bu aylarda yapılmasına karar verilmiştir.

Şekil 2'de görüleceği üzere, Türkiye'nin güney kısmında kalan bölgeleri güneş ışınım şiddeti bakımından ön plana çıkmaktadır. Bu doğrultuda Tarımer ve ark. [16] tarafından DPT 2002-124702 No.lu proje kapsamında yapılan güneş enerjili ve yağışmalı bir kurutma fırını da yer aldığı için çalışmaların Muğla ilinde yapılması planlanmıştır.



Şekil 1. Aylara göre Türkiye'de güneşlenme süreleri (Saat) [15] (Sunshine duration (Hour) in Turkey by months)



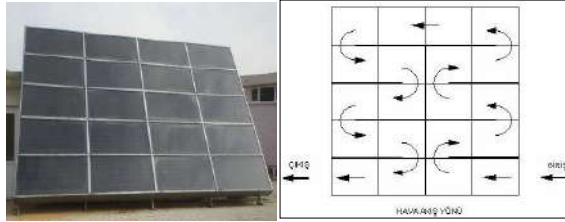
Şekil 2. Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli atlası (GEPA) [15] (Solar energy potential atlas of Turkey (SEPA))

Kereste tercihinde ise, Batı Anadolu ve Akdeniz bölgesindeki geniş yayılışından ve odununun tel direği, maden direği yapı malzemesi, yat ve tekne yapımı, ambalaj sandığı gibi çok değişik alanlarda kullanılabilmesinden dolayı [17, 18] Kızılcım (Pinus brutia) türü seçilmiştir. Bu çalışma kapsamında kullanılan kereste boyutları, miktarları ve ortalama rutubetleri Çizelge 1'de gösterilmiştir. Kerestelerin rutubet miktarları direnç tipi rutubet ölçüm cihazı ile TS EN 13183-2 [19] standardına göre yapılmıştır.

Kurutmanın gerçekleştirildiği kurutma fırınının 40 m³ hacmi bulunmaktadır ve 40 m² yüzey alanı bulunan güneş kolektörüne sahiptir. Şekil 3'te de yer alan kolektörden sağlanan sıcak hava fan yardımıyla fırın içerisinde dolaştırılmaktadır. Sabit durumda olan güneş panelinin gün ışığından en iyi verimi alabilmesi için, güneye bakar durumda ve yer ile 45°'lik bir açı yapacak şekilde yerleştirilmiştir. Bu panel 20 ayrı odacıktan meydana gelmektedir ve giriş kısmından alınan hava uygun yönlendirmeler sayesinde bütün odacıklardan dolaşarak ısınması sağlanmakta ve kurutma fırınının içerisine gönderilmektedir.

Çizelge 1. Kullanılan kereste boyutları, miktarları ve ortalama rutubetleri (Lumber dimensions, quantities and average moisture contents)

Kereste Boyutları (cm)			Kereste Adedi	Rutubet (Ort. %)
Uzunluk	Genişlik	Kalınlık		
200	10	2.5	130	52
		5	70	45



Şekil 3. Kurutma fırını, Güneş panelleri, panellerdeki hava akış yönü (Drying kiln, Solar panels, Air flow direction in solar panels)

Hava hareketi için, 1.1 kWh'lık elektrik enerjisine ihtiyaç duyan radyal fan kullanılmıştır. Güneş kolektörü aracılığıyla elde edilen enerjinin depolanarak, gün ışığının olmadığı zamanlarda kullanılabilmesi için, borular vasıtasıyla çeşitli taşlardan oluşan zemine yönlendirilmiştir (Şekil 4).

Yapılan kurutmanın kalitesinin değerlendirilebilmesi için, 50 mm kalınlıktaki kerestelerde rutubet meylı (iç ve dış rutubet farkı) ve tüm kerestelerde EDG (European Drying Group - Avrupa Kurutma Grubu) [20] değerlendirme kriterleri referans alınmıştır.

Kurutma süresi ve kalitesi, yoğunlukla sıkı bir ilişki içerisinde olduğundan, Kızılçam kerestesinin kullanılmadığı çalışmalarda, benzer yoğunluktaki ağaç türleri referans alınmıştır. Bununla birlikte Vanicek firmasının belirtmiş olduğu referans değerler sadece esas kurutma periyodu için geçerlidir. Tüm kurutma süresi için; ağaç türü, kereste kalınlığı gibi faktörlere göre değişse de her bir kurutma için ortalama ısıtma, derinlere kadar ısıtma ve denkleştirme periyotları adına 60 saat ilave edilebilir (Eşitlik 1).

$$\dot{K}S = [(BR - SR) \times 100] \times (SKY) \times (KKK) + 60 \quad (1)$$

Çizelge 2. Vanicek firmasına göre ideal kurutma süresi hesabı [23] (Ideal drying time formula according to Vanicek company)

Saatlik Kuruma Yüzdesi	Referans Değer	
	Tam Kuru Yoğunluk 400-600 kg/m ³	1.00 - 0.50
Kızılçam Yoğunluk 488 kg/m ³ [24]	0.78	
Kereste Kalınlığına Göre Çarpım Katsayısı	25 mm	1.00
	50 mm	2.83

Çizelge 3. Kurutma sırasında oluşan güneş ışınım enerjisi değerleri [25] (Solar energy values during drying)

Güneşlenme Tipi	Dünya'ya gelen (Global)	Açık Gökyüzü (Clearsky)	Direkt (Direct)	Yansıyan (Diffuse)
Enerji (W/m ²)	997	983	836	143



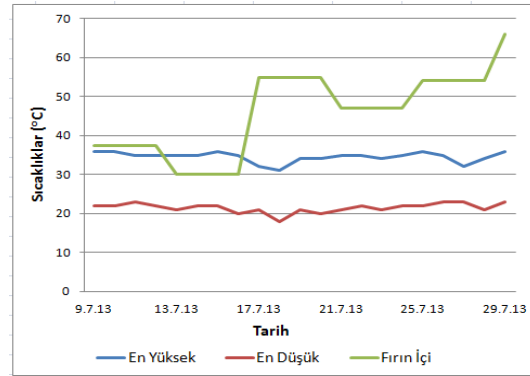
Şekil 4. Nem alma ünitesinin içerisinde sirkülasyon pompası ve evaporatör, Kurutma fırınının iç görünüşü, (Circulating pump inside dehumidification unit and evaporator, Inside view of drying kiln)

Burada; İdeal Kurutma Süresi (İKS, saat), Başlangıç Rutubeti (BR, %), Sonuç Rutubeti (SR, %), Saatlik Kuruma Yüzdesi (SKY), Kereste Kalınlığına Göre Katsayı (KKK).

3. BULGULAR (RESULTS)

Kurutma sırasında oluşan fırının bulunduğu bölgede elde edilen güneş ışınım enerjisi değerleri aşağıdaki çizelgede yer almaktadır (Çizelge 3) [25].

Kurutma sırasında dış ortamda ve fırın içerisindeki havanın sıcaklık değerleri Şekil 5'te görülmektedir. Sıcaklık değerleri, yapılan ölçümlerle birlikte, internette yer alan hava durumu bilgileriyle karşılaştırılarak teyit edilmiştir [26].



Şekil 5. Kurutma süresinde hava ve fırın içindeki sıcaklıklar (Environmental and drying kiln temperatures during drying)

Şekil 5'e göre, ilk 7 günde fırın içinde beklenen sıcaklık artışı sağlanamamıştır. Bu sebeple güneş kolektöründen gelen hava, direkt fırın içerisine yönlendirilmiştir. Bu nedenle 8. günden itibaren dış ortam sıcaklığından ortalama 20°C daha yüksek sıcaklıklar elde edildiği söylenebilir.

Çizelge 4'e göre, benzer rutubetler dikkate alındığında, 25 mm kalınlığındaki kerestelerin %13 rutubete 8 günde, 50 mm kalınlığındaki kerestelerin ise %12 rutubete 16 günde ulaştığı görülmektedir.

Kurutma sırasında harcanan enerji incelemek için, sadece sıcak hava dolaşımını sağlayan fanın elektrik tüketimi incelenmiştir. Fanın günlük elektrik tüketimi, günde 24 saat aralıksız çalıştığı için, 26.4 kWh olarak hesaplanmıştır. Bu değer ışığında, kurutma sonucu oluşan elektrik tüketimi Çizelge 5'te gösterilmiştir.

Çizelge 5'te de görüleceği üzere, bu fırında bulunan kerestelerin %12 sonuç rutubetine gelebilmesi için, en fazla 422.4 kWh elektrik enerjisi tüketilmiştir. Ayrıca yapılan kurutmaları süre bakımından değerlendirmek için, Vanicek firmasının ideal tüm kurutma süresi değerleri de hesaplanmıştır. Buna göre, bu çalışmada kullanılan Kızılcım kerestesinin 25 mm kalınlığı için 101 saat, 50 mm kalınlığı için de 205 saat olarak referans alınabileceği söylenebilir. Ancak bu çalışmada 25 mm kalınlığındaki keresteler 192 saatte, 50 mm kalınlığındaki keresteler ise 384 saatte kurutulduğu Çizelge 4'te görülmektedir.

Kurutma kalitesini incelemek için yapılan ölçümlerde; ortalama %0.66 (max. %0.8) rutubet meydana geldiği tespit edilmiştir. Bu değerler de kurutmaya bağlı bir kusur oluşması için belirlenen sınır değerlerinin [28, 29] oldukça altındadır. Bu sonuca paralel olarak, kurutma sonucunda bazı kerestelerde çatlaklar ve şekil değişimleri tespit edilmesine karşın, yapılan ölçümler sonucu EDG kriterlerine [20] göre en iyi sınıfta (Exclusive – Özel Amaçlı) kurutma yapıldığı tespit edilmiştir (Şekil 6).

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Bu çalışma kapsamında Lif doygunluğu noktası (LDN) üzeri başlangıç rutubetlerindeki kerestelerin, %8 gibi düşük rutubet kademelerine ulaşabilmesi ve ulaşırken kereste kalitesinin korunması nedeniyle, kurutmaların nispeten başarıyla gerçekleştiği söylenebilir.

Çizelge 4. Kurutma sırasında oluşan güneş ışınım enerjisi değerleri [25] (Solar energy values during drying)

Kalınlık (mm)	1. GÜN	4. GÜN	8. GÜN	12. GÜN	16. GÜN	20. GÜN
50	%52	%25	%17	%14	%12	%9
25	%45	%18	%13	%10	%9	%8

Çizelge 5. Güneş enerjisiyle kurutma yönteminde elektrik tüketimi (Electricity consumption in solar drying experiment)

Kalınlık (mm)	Başlangıç Rutubeti (%)	Sonuç Rutubeti (%)	Süre (gün)	Elektrik Tüketimi (kWh)	Enerjiye Bağlı Gider* (TL)
50	52	12	16	422.4	74.85
25	45	13	8	211.2	37.43



Şekil 6. Bazı Kerestelerde Oluşan Çatlaklar, Burulma ve genel istif görünümü (Crack and twist deflections in some lumbers and general stack overview)

Doğal kurutma denemelerinde ise literatür ile uyumlu bir şekilde, benzer rutubet kademelerine daha uzun sürede inebileceği tespit edilmiştir. Ayrıca doğal kurutmanın barındırdığı riskler nedeniyle, her kurutmada da kereste kalitesinin korunabileceği söylenemez.

Bununla birlikte yapılan kurutmaları süre açısından değerlendirmek için diğer çalışmalar ve referans değerlere bakıldığında, nispeten daha uzun sürelerde gerçekleştiği söylenebilir. Kurutma fırını üretici firmalarından Brunner-Hildebrand [22] tarafından, Kızılcım ile benzer yoğunluğa sahip Ladin türünün 52 mm kalınlığındaki keresteleri için, benzer başlangıç rutubetlerinden %8 sonuç rutubetine yaklaşık 9 günde kurutulabileceği belirtilmesine karşın, bu çalışmada 16 günde kurutulmuştur. Diğer bir üretici firma olan Vanicek'in hesap tablosuna göre, bu çalışmada kullanılan keresteler için ideal tüm kurutma süresi 205 saat olarak belirtilmesine karşın, yapılan denemelerde kurutmalar 384 saatte gerçekleşmiştir. Her iki üreticinin referans aldığı süreler, tam otomatik yönetime sahip geleneksel kurutma fırınlarına göre olduğu için, süre uzunluğunun fırın ve kurutma yönetim türünden kaynaklandığı söylenebilir.

Bu çalışmanın, güneş enerjisinden etkin bir şekilde yararlanma durumunun incelenebilmesi için, yapılan diğer çalışmalarla karşılaştırılması gerekmektedir. Erdiller vd. [9] tarafından Ankara, Türkiye’de gerçekleştirilen çalışmada, 25x100x1100 mm boyutlarındaki Ak kavak keresteleri ortalama %43 başlangıç rutubetinden 18 günde %9.5 sonuç rutubetine indiği belirtilmektedir. Bu çalışmada ise farklı bir ağaç türü kullanılmasına karşın, benzer şartlarda 15 günde kurutma yapılabilmektedir. Üçüncü [10] tarafından, 41° Kuzey enleminde Trabzon, Türkiye’de gerçekleştirilen çalışmada, 50 mm kalınlıktaki Doğu Ladini kerestelerinin güneş enerjisiyle benzer rutubet seviyelerine 30 günde indiği belirtilmektedir. Her iki çalışmada [9, 10], bu çalışmaya oranla Muğla’ya göre güneş ışınım şiddetinin daha düşük olduğu bölgelerde gerçekleştirilmesinden dolayı daha uzun sürelerde kurutmaların yapıldığı söylenebilir.

Çinar [30] tarafından yapılan çalışmada aynı fırın günde 8 saat çalıştırılarak, 40x110x500 mm ebatlarında ve %30 başlangıç nemine sahip 12 adet Kızılçam kerestesi kurutulmuştur. Bu metnin konusu olan çalışmada ise daha kalın (5cm > 4cm) ve daha yüksek başlangıç rutubetine sahip (%52 > %30) keresteler kullanılmasına karşın, nispeten aynı sürede (14 gün ≈ 16 gün) benzer (%12 ≈ %11) rutubetlere kadar kurumalar gerçekleşmiştir. Diğer çalışmanın nispeten daha düşük güneş ışınım şiddetine sahip Mayıs ayında gerçekleştirilmesi, hava yönlendirmesi yapılmaması, kondenzasyon cihazının çalıştırılmaması gibi etkenlerin, sonuçlardaki farklılığa neden olduğu söylenebilir.

Ayrıca bu çalışmadaki kurutma değerlendirilirken, hava yönlendirmenin etkisinin göz ardı edilmemesi gerekmektedir. Çalışmanın 8. gününden itibaren dış ortam sıcaklığı ile fırın içerisindeki sıcaklık arasında ortalama 20oC fark olduğu görülmektedir. Bu durum çalışmanın yapıldığı Muğla bölgesinde ve yaz mevsiminde güneş kolektörünün etkin bir şekilde çalıştığı bir göstergesidir. Ancak ilk 7 günde sıcaklığın beklenenden düşük olması, ısı depolaması için kullanılan zemin taşlarının uygun olmaması nedeniyle sıcaklık artışının engellediği ve bunun özellikle kurutma süresi için dezavantaj oluşturduğu söylenebilir. Bununla birlikte, kurutma programlarında, kurutmaya bağlı bir kusur oluşmaması için LDN üzeri daha koruyucu şartlar uygulanmaktadır. Bu çalışmada hava yönlendirilmesindeki değişimle bu ayrımın gerçekleştiği ve sonuç olarak da kereste kalitesinin korunduğu söylenebilir. Buna karşın optimum şartların sağlanabilmesi için tam otomatik yönetim sistemiyle kerestelerin LDN’ye ulaşma durumu takip edilmeli ve buna bağlı sıcaklıkla birlikte ortam bağıl neminin de kontrol edilmesi gerekmektedir. Bu durum bir dezavantaj gibi gözükse de, bu çalışmada elde edilen sonuçlardan daha iyi sonuçlar elde edilebileceğinin bir göstergesi olduğu söylenebilir. Ancak kontrol ve nemlendirme sistemi, kurutmada harcanan enerjiyi ve maliyeti arttırabileceği unutulmamalıdır.

Yapılan çalışma enerji tüketimi açısından değerlendirildiğinde; güneş enerjili kurutma fırınlarıyla, klasik kurutmada harcanan enerji miktarlarına göre [2, 6], %30 ila %50 oranında enerji tasarrufu sağlanabileceği söylenebilir. Örneğin Cech [2] tarafından yapılan ve 50, 65 ve 90 mm kalınlığındaki Ladin kerestelerinin sırasıyla 9, 12 ve 20 günde kurutulana çalışmada, teknik kurutma yönteminde yaklaşık 920 kWh harcadığı tespit edilmiştir. Ancak bu çalışmada ise sadece 422.4 kWh enerji harcanmıştır. Erdiller vd. [9] tarafından yapılan çalışmada, ortalama 25 mm kalınlığındaki Akkavak keresteleri için güneş enerjisi kullanılarak 279 kWh (min. 194 kWh, maks. 362 kWh) enerji harcanmıştır. Bu çalışmada ise aynı kalınlıktaki Kızılçam keresteleri için 211 kWh enerji harcanmıştır ve sadece 37,43 TL’lik (2013 yılı verilerine göre) bir enerji maliyeti oluştuğu tespit edilmiştir.

Özellikle güneş ışınım enerjisinin yoğun olduğu bölgelerde ve mevsimlerde bu tür fırınlar ile enerji tüketiminden ve buna bağlı olarak kurutma maliyetlerinden tasarruf edileceği söylenebilir. Bu tip fırınların düşük yatırım ve işletme maliyetlerine sahip olması da, işletmeler açısından bir avantaj olarak görülmektedir.

Bunula birlikte bu tip fırınlarda kurutma için gerekli olan ısı enerjisi, doğayla uyumlu ve nispeten basit bir şekilde elde edilmekte ve tüketilmektedir. Diğer yöntemlerin çoğunda, çeşitli yakıtların kurutma süresince yakılması söz konusudur. Bunlar için üretilen ısı merkezlerinin yatırım maliyeti fırın maliyetine yaklaşmakta ve devamlı yakıt beslemesi de işletme maliyetlerini yükseltmektedir. Ayrıca kendi içerisinde de patlama, yangın gibi birçok riskleri barındırmaktadır.

Sonuç olarak, kereste kurutmada enerji verimliliğinin sağlanabilmesi için alternatif enerji kaynaklarından güneş enerjisinin kullanılabilmesi söylenebilir. Böylece kurutma endüstrisinde enerji verimliliği sağlanabileceği gibi, kurutma maliyetlerinin azaltılması ve çevreye daha az zarar veren kurutmaların gerçekleştirilmesi sağlanabilir.

etkisi incelenebilir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışmada güneş enerjili kurutma fırının kullanılmasıyla ilgili yardımcı olan, başta Prof. Dr. Osman GÖKTAŞ olmak üzere Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Teknoloji Fakültesi çalışanlarına teşekkür ederiz. Bu çalışma, İstanbul Üniversitesi Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü’nde yapılmış “Güneş Enerjili Kereste Kurutma Sistemleri Üzerine İncelemeler” isimli yüksek lisans tezi çalışmaları kapsamında elde edilen verilerle oluşturulmuştur. Öncesinde ISITES 2014 - 2. Uluslararası Mühendislik ve Bilim Alanında Yenilikçi Teknolojiler Sempozyumu’nda sözlü bildiri olarak sunulmuş olup, yapılan ilavelerle geliştirilmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Comstock G.L., "Energy Requirements for Drying of Wood Products", *Forest Products Research Society Proceedings*, Madison, ABD, (1975).
- [2] Cech M.Y., Pfaff F., "Dehumidification drying of spruce studs", *Forest Products Journal*, 28(3): 22-26, (1978).
- [3] Chen P.Y.S., "Design and Tests of a 500 BF Solar Kiln", *Forest Products Journal*, 31(3): 33-38, (1981).
- [4] Helmer W.A., Chen P.Y.S., "Computer Simulation of a New Method to Dry Lumber Using Solar Energy and Absorption Refrigeration", *Wood and Fiber Science*, 17(4): 464-476, (1985).
- [5] Üçüncü K., Ayhan T., "Güneş Enerjili Kereste Kurutma ve Çevre Kirliliğinin Önlenmesine Katkıları", *III. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu*, 15 - 17 Kasım, Cilt I: 113 - 120, İstanbul (2000).
- [6] Kantay R., "Türkiye'nin önemli bazı orman ağaç türleri kerestelerinin teknik kurutma özellikleri üzerine araştırmalar", *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 28(1): 97-165, (1978).
- [7] Özalp M., Ordu M., "Kereste kurutmada kullanılan enerji kaynağının maliyete etkileri", *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22: 99-108, ISSN: 1302-3055, (2010).
- [8] Simpson W.T. ve Tschernitz, J.L., "Performance of a solar/wood energy kiln in tropical latitudes." *Forest Products Journal*, 39(1): 23-30, (1989).
- [9] Erdiller B., Uyarel A.Y., Öz E.S., "Güneş Enerjisi İle Kereste Kurutma", Proje No:698/A, *TÜBİTAK*, Ankara, (1989).
- [10] Üçüncü K., "Kuzey enleminde (Trabzon'da) güneş enerjisi ile kereste (doğu ladini) kurutma olanaklarının araştırılması", *Doktora Tezi*, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, (1991).
- [11] Sattar M.A., "Solar drying of timber - a review." *Holz als Roh-und Werkstoff*, 51(6): 409-416, (1993).
- [12] Yılmaz S., Doğan H. "Güneş Enerjili Nem Kontrollü Kereste Kurutma Sistem Tasarımı", *Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi*, 12-13 Ekim, Kayseri, TMMOB Makina Mühendisleri Odası, (2001).
- [13] Ceylan İ., "Güneş Enerjili Kurutma Fırınında Kurutma Havası Neminin Kontrolü" *Yüksek Lisans Tezi*, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Karabük, (2002).
- [14] Aker Ö., "Bilgisayar kontrollü güneş enerjili ahşap kurutma fırınının otomasyonu sistemi tasarımı ve bir simülasyonu", *Yüksek Lisans Tezi*, Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla Üniversitesi, Muğla, (2006).
- [15] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, "Güneş enerjisi potansiyeli atlası (GEPA)", <http://www.vegm.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx> [Ulaşım Tarihi: 13.04.2014].
- [16] Tarimer İ., Eltez A., Erdil Y.Z., Eltez M., "Güney Ege Muğla iklim koşullarında güneş enerjisi yoğunlaşmalı kereste kurutma tesisi tasarımı ve kurulumu", *Dumlupınar Üniversitesi, II. Ulusal Ege Enerji Sempozyumu*, Kütahya, 165-172, (2004).
- [17] Orman Genel Müdürlüğü, Kızılcım, <http://web.ogm.gov.tr/BilgiServisleri/agacturleri/agac4.htm> [Ulaşım Tarihi: 13.04.2014].
- [18] Göker Y., As N., Akbulut T., Dündar T., "Lif kıvrıklığının kızılçam (*Pinus brutia Ten.*) odununun bazı mekanik özellikleri üzerine etkisi", *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 24(1): 45-50, (2000).
- [19] TS EN 13183-2, 2012, "Kereste parçasının rutubet muhtevası - Bölüm 2: Elektrikli direnç metoduyla tahmin", *Türk Standardları Enstitüsü*, Ankara, (2012).
- [20] European Drying Group, 1994, "Recommendation, assesment of drying quality of timber", <http://www.timberdry.net/?Download:EDG-documents> [Ulaşım Tarihi: 13.04.2014].
- [21] Ünsal Ö., "Endüstriyel kereste kurutma uygulamalarında süre kayıpları ve ekonomik analizi", *Uluslararası Orman Kaynaklarının İşlevleri Kapsamında Darboğazlar, Çözüm Önerileri ve Öncelikler Sempozyumu*, Harbiye Askeri Müze ve Kültür Sitesi, İstanbul, (2007).
- [22] Brunner-Hildebrand, "Drying times", (2007), <https://www.brunner-hildebrand.de/en/products/vacuum-kiln/drying-times/> [Ulaşım Tarihi: 16.02.2019].
- [23] Ünsal Ö., As N., Dündar T., 2015, "Güç Kuruyan Bazı Ağaç Türlerinin Kurutulmasında Akustik Emisyon Yöntemi Kullanarak Kurutma Kalitesi Süresi ve Ekonomisini İyileştirme Olanakları", *112-O-818 no'lu TÜBİTAK Projesi Sonuç Raporu*, TÜBİTAK, Ankara (2015).
- [24] Güller B. "Determining Wood Density of Turkish Red Pine (*Pinus Brutia Ten.*) by Using X-Ray Densitometer". *Türkiye Ormanlık Dergisi*, 11(2): 97-109, (2010).
- [25] PVGIS, 2018, "Photovoltaic Geographical Information System", *European Comission* http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html [Ziyaret Tarihi: 02 Mart 2018].
- [26] Accuweather, "2013 yılı Temmuz ayı iklim verileri" <http://www.accuweather.com/tr/tr/mugla/319470/july-weather/319470?monyr=7/1/2013&view=table> [Ulaşım Tarihi: 13.04.2014].
- [27] EPDK, Elektrik Faturalarına Esas Tarife Tabloları, 01/07/2017 tarihinden geçerli tarife tabloları, T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, (2017) <http://www.epdk.org.tr/TR/Dokuman/8039> [Ulaşım Tarihi: 20 Ağustos 2017].
- [28] Kantay R., "Kereste kurutma ve buharlama". *Ormanlık Eğitim Ve Kültür Vakfı*, Yayın No: 6, İstanbul, (1993).
- [29] Kollmann F., "Technologie des Holzes und Werkstoffe", 2. Bd. *Springer*, Verlag-Berlin, (1955).
- [30] Çınar H., "Muğla iklim koşullarında havalı güneş toplacı ısı pompalı kereste kurutma tesisinde kurutma ekonomisinin araştırılması", *Yüksek Lisans Tezi*, Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla Üniversitesi, (2009).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

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



Legal regulation of reactive power compensation in energy efficiency

Enerji verimliliğinde reaktif güç kompanzasyonunun yasal düzenlemesi

Yazar(lar) (Author(s)): Sibel AKKAYA OY¹, Ercan Nurcan YILMAZ², Olcay AYDIN³

ORCID¹: 0000-0002-1209-920X

ORCID²: 0000-0001-9859-1600

ORCID³: 0000-0002-4179-9766

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Akkaya Oy S., Yılmaz E. N. ve Aydın O., "Legal regulation of reactive power compensation in energy efficiency", *Politeknik Dergisi*, 23(3): 677-685, (2020).

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

DOI: 10.2339/politeknik.533957

Legal Regulation of Reactive Power Compensation in Energy Efficiency

Highlights

- ❖ *In this study, a flexible system with a fast response was designed and the power coefficient was over 97%.*
- ❖ *A hybrid system has been preferred and designed to achieve a continuous and effective power factor corrector system.*

Graphical Abstract

In this study, a real energy system is considered. This system has been studied in three stages and its results are emphasized. Firstly, the design and application of a computer and microcontroller based compensation system in the laboratory environment have been realized. In the second step, a software was developed with the C # programming language to be able to control the system centrally and store the data in the desired format. The results of the performed applications are found in different load conditions experimentally and in a simulation program then they are analyzed and compared.

Aim

In this study, in order to reduce the reactive energy consumption, it was aimed to design a flexible power factor corrector system with fast response. In the system, 97% of the power factor is continuously studied. According to the results of the study, a legal regulation request was made.

Design & Methodology

The system was simulated primarily without going into system implementation. Necessary capacities have been determined thanks to the simulation. After the results were obtained from the simulation, the application was made.

Originality

In this study, a hybrid system with rapid response and high power factor that can provide continuous operation has been developed. The need to use such systems and legal support is emphasized.

Findings

In our world where energy is gradually decreasing, measures to increase efficiency must be taken. This should sometimes be achieved by law. Reactive power consumption can be prevented by laws. We now have technologies to prevent reactive power consumption.

Conclusion

As a result of the work done, the power coefficient can be approached to 1 even in large capacity systems. Serious energy savings can be made here. In order to achieve this, it is necessary to use hybrid systems, not just static compensations. It is seen that the biggest problem, insufficient static compensation, can be overcome by suitable synchronous motor control. The success of the application shows that more radical changes can be made about the power coefficient. With the legislative amendment to be made, energy savings will be very large in the whole country.

Declaration of Ethical Standards

The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

Legal Regulation of Reactive Power Compensation in Energy Efficiency

Araştırma Makalesi / Research Article

Sibel AKKAYA OY¹, Ercan Nurcan YILMAZ^{2*}, Olcay AYDIN³

¹Ship Machinery Business Engineering, Fatsa Faculty of Marine Sciences, Ordu University, TURKEY

²Electrical and Electronics Engineering, Faculty of Technology, Gazi University, TURKEY

³Electric and Energy Technologies Department, Turgutlu Vocational School, Manisa Celal Bayar University, TURKEY

(Geliş/Received : 28.02.2019 ; Kabul/Accepted : 17.07.2019)

ABSTRACT

Electrical energy is one of the most important issues in the world. Electricity generation is a problem for many countries. In many countries in the energy field is also dependent on the outside. In some countries, such as Turkey's foreign dependency with loss and leakage it is also high. This is a problem that needs to be overcome. This makes it mandatory not only to investigate new energy sources but also to use electrical energy more efficiently. One of the most effective methods reducing the losses and increasing the efficiency of the electric energy systems is Reactive Power Compensation. Countries are working to improve efficiency, by publishing law or communique on reactive power compensation. In many countries, power is being tried to be kept between 85% and 95% using law enforcement. From a technological point of view, the power factor can be approached to 1. By increasing the power factor from 90% to 97% all over the world, a very large energy source will be obtained. In this study, a flexible system with a fast response was designed and the power coefficient was over 97%. According to the results of this study, legal regulation was requested.

Keywords: Hybrid power systems, reactive power control, power quality, power system economics.

Enerji Verimliliğinde Reaktif Güç Kompanzasyonunun Yasal Düzenlemesi

ÖZ

Elektrik üretimi, birçok ülke için bir sorundur. Elektrik üretimi birçok ülke için bir problemdir. Hatta birçok ülke enerji alanında dışa bağımlıdır. Birçok ülkede, Türkiye de dahil olmak üzere, az kaynak olmasına rağmen, yüksek kayıp ve kaçaklar vardır. Bu, üstesinden gelinmesi gereken bir problemdir. Bu, yalnızca yeni enerji kaynaklarını araştırmakla kalmayıp aynı zamanda elektrik enerjisini daha verimli kullanmak için de zorunlu hale getirmektedir. Elektrik enerjisi sistemlerinin kayıplarını azaltmak ve verimliliğini artırmak için kullanılan en etkili yöntemlerden biri Reaktif Güç Kompanzasyonu'dur. Ülkeler kanunlarına reaktif güç kompanzasyonu ile ilgili maddeler ekleyerek verimliliği artırmaya çalışmaktadır. Bir çok ülkede kanun gücü kullanılarak güç katsayısı %85 ile %95 arasında tutulmaya çalışılmaktadır. Gelişen teknoloji ile bu rakam %100'ye yaklaştırılabilir. Tüm dünyada ortalama %95 ten %97'ye yükseltme yapıldığı varsayılsa çok büyük bir enerji kaynağı elde edilmiş olacaktır. Bu çalışmada hızlı tepkili esnek bir sistem tasarlanarak, güç katsayısında %97 üzeri çalışılabilirlik durumu incelenmiştir. Bu çalışma sonucuna göre de kanuni düzenleme talebinde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Hibrit güç sistemleri, reaktif güç kontrolü, güç kalitesi, güç sistem ekonomisi.

1. INTRODUCTION

Depending on today's population growth, industrialization and technological developments, the need for the electrical energy is constantly increasing. The sources for generating electric energy are limited. This makes it mandatory not only to investigate new energy sources but also to use electrical energy more efficiently.

One of the most effective methods to reduce the losses and increase the efficiency in electrical energy systems is "Reactive Power Compensation" [1-4]. When the literature surveys, different implementations of reactive power compensation works are performed. Miller

performed the reactive power compensation with a capacitor by switching various capacitors or capacitor groups gradually [5]. Microcontroller-based reactive power relay design has made in different application [6 - 10]. Tiwari et al designed an automatic power factor corrector for a system and simulated this design by using a simulation program [11]. Rustemli measured the power factor by using a microcontroller and performed the implementation of compensation by using a capacitor and the simulation [12]. Afridi and Ali designed an automatic power factor corrector for a single-phase system and performed the implementation and the simulation of the compensation system [13, 14]. Kok et al simulated the power factor corrector circuit they designed for a single-phase system with a computer-aided design program [15]. Mienski et al in their paper

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

a PSCAD model are discussed for the system including supply network, arc furnace as a heavily disturbing load, STATCOM controller, and a special measurement system for power quality assessment. Two STATCOM systems, 12-pulse and 24-pulse, have been compared. [16]. Wang in his paper, the Phillips-Heffron model is established for both single-machine infinite-bus and multi machine power systems installed with a STATCOM. Applications of the model established are demonstrated by an example single-machine infinite-bus power system and an example three-machine power system to investigate the effect of the STATCOM on power system oscillation stability. A simple analysis indicates that the STATCOM DC-voltage regulator contributes negative damping to power-system oscillations, which is confirmed by both eigenvalue computation and nonlinear simulation. [17]. Chun An Cheng and friends papers present and implement a single-stage high-power-factor light-emitting diode (LED) driver with coupled inductors, suitable for streetlight applications. The presented LED driver integrates an interleaved buck-boost power factor correction (PFC) converter with coupled inductors and a half-bridge-type series-resonant converter cascaded with a full-bridge rectifier into a single-stage power conversion circuit [18, 19].

In general, Var generators are classified depending on the technology used in their implementation and the way they are connected to the power system (shunt or series). Rotating and static generators were commonly used to compensate for reactive power. In the last decade, a large number of different static Var generators using power electronic technologies have been proposed and developed. There are two approaches to the realization of power electronics based Var compensators: the one that employs thyristor-switched capacitors and reactors with tap-changing transformers, and the other that uses self-commutated static converters [20].

In this study, a real energy system is considered. This system has been studied in three stages and its results are emphasized. Firstly, the design and application of a computer and microcontroller based compensation system in the laboratory environment have been realized. The developed system is basically a hybrid compensation system. The system is based on the hybrid operation of synchronous motor and static capacitors. As a result of the measurements, the required capacitor groups are automatically activated and compensated with the capacitors. In addition, with the adjustment of the

excitation current of the synchronous motor, the more sensitive compensation is made. In other words, for precision and flexibility, if the system does not have the proper power factor with the capacitors in the system, the operation of the system is achieved by controlling the excitation current of the synchronous motor with ANN. By means of the synchronous motor, step values can be obtained which cannot be obtained with static capacitors and the power coefficient is made close to 1. In the second step, a software was developed with the C # programming language to be able to control the system centrally and store the data in the desired format. The values measured from the sample network where the compensation is applied are continuously monitored with a computer interface created via C# software language and recorded in certain periods in a computer environment. The results of the performed applications are found in different load conditions experimentally and in a simulation program then they are analyzed and compared. In the last stage, the system was tried to be put into practice by making the application.

2. DESIGN OF REACTIVE POWER COMPENSATION

The use of renewable energy sources, conventional reactive power control systems have been a troublesome situation. $\cos \varphi$ terms in a system not only backward, it must be examined in the forward direction [21]. The block diagram of the designed tree phase compensation system is given in Figure 1. Communication of the system with the computer is made through a USB port. For this communication, the microcontroller PIC18F4550 is used.

Current and voltage signals of the system are applied to the microcontroller inputs via current, voltage reading module and zero crossing detectors. Necessary measurements are made by processing these signals by the microcontroller software. The measured values are monitored through the computer interface and by recording these values, the database of the system is formed. Since 3-phase sample system is loaded with balanced loads in the implementation of the compensation in this study, the measurements in all phases are equal. Therefore, performing the measurements in the designed system through tree phase will increase the cost unnecessarily. As a result, obtaining the measurements from a single phase is found to be appropriate.

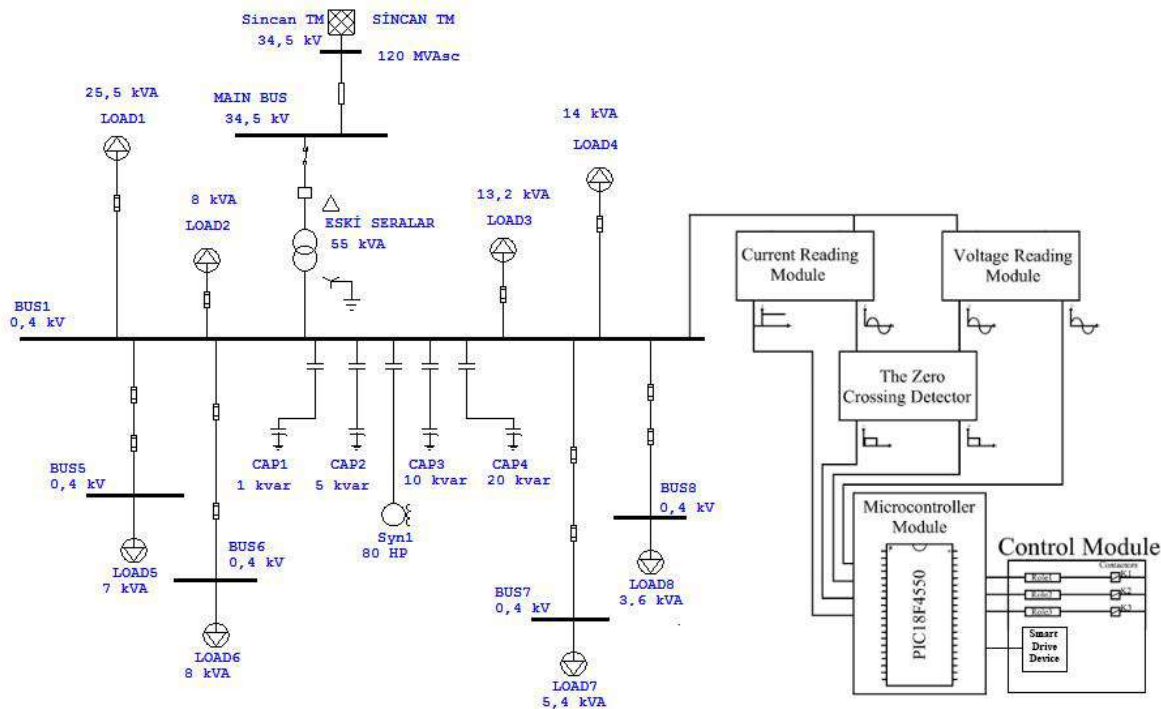


Figure 1. The block diagram of the system

The control module consists of a PWM controlled smart drive and a capacitor control module. The PWM controlled smart drive device provides the excitation current of the synchronous motor. According to the results of measurement against the loads in the circuit, the need for compensation in the system is determined by the control module. If the system needs compensation, the control module determines the method by which the compensation should be performed. The system decides one of three methods: compensation with capacitor or compensation with synchronous motor or compensation with both capacitor and synchronous motor. By selecting the appropriate method, the targeted correct power factor is obtained. The control module is controlled by a microcontroller module regulated by the computer. In addition, phase difference between the voltage and current signals of the system is measured by an oscilloscope.

3. MICROCONTROLLER MODULE AND COMPUTER INTERFACE

In order to control the power factor in a system voltage, current, power, frequency, power factor ($\cos\phi$) must be known. These values can be measured with much different equipment like voltmeter, ammeter, wattmeter, frequency meter and $\cos\phi$ meter. To perform the measurements with a single device and for the control of the all hardware rolled in the control process of the power

factor, a microcontroller module is designed. The average value of this product is the real power P. Taking V_i and I_i as the instantaneous value of input voltage and current varying in time, as well as V_{RMS} and I_{RMS} their rms values, the power factor is obtained with the formula (1).

$$\cos\phi = \frac{P}{S} = \frac{\frac{1}{T} \int_0^T V_i(t) \times i_i(t) \times dt}{V_{RMS} \times i_{RMS}} \quad (1)$$

In order to monitor the values of the system measured by the microcontroller, to record into the computer environment and to control the implementation of the compensation with the computer, an interface is made. The microcontroller controls the whole system. The computer interface checks the operations of the microcontroller, makes it viewable and record in the computer environment. Microsoft Office Access 2007 data base management system is used as the database and the $\cos\phi$ besides current values of the system are recorded in ten-minute intervals. These recorded values are seen in Figure 2.

To communicate the microcontroller with the computer, PIC18F4550 microcontroller, having a USB module is used. In this study, the microcontroller is the brain of the designed system. The flow chart of the program loaded into the microcontroller is shown in Figure 3.

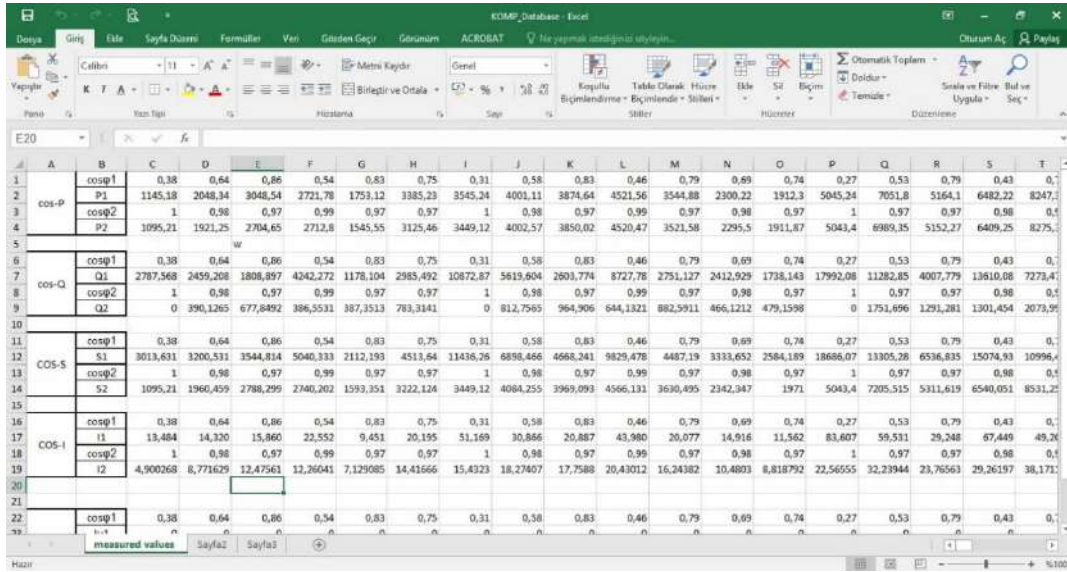


Figure 2. Recording of the measured values into the database

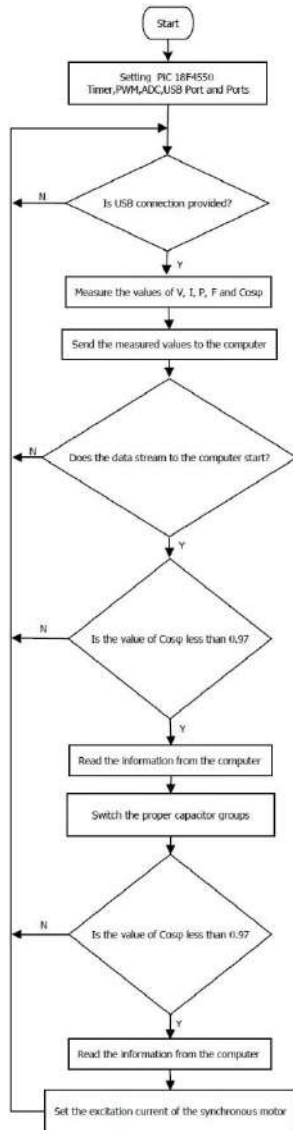


Figure 3. The flowchart of the software.

The interface made in the computer environment is developed by using C# programming language. This interface is given in Figure 4.

The computer interface is accessed manually by the user or automatically. In this study as a priority the system is automatically compensated. The manual control is only used to control the accuracy of the compensation.

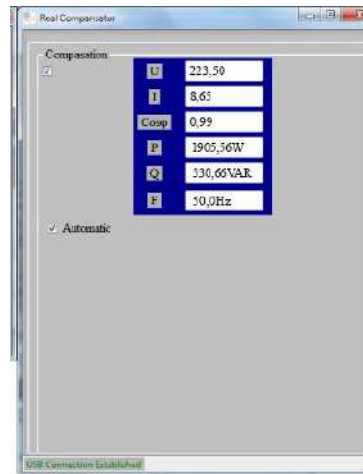


Figure 4. Computer Interface

4. SIMULATION SYSTEM

The simulation of the designed compensation system is made in Proteus software. The simulation is performed under different load conditions. The circuit diagram used for the simulation is given in Figure 5.

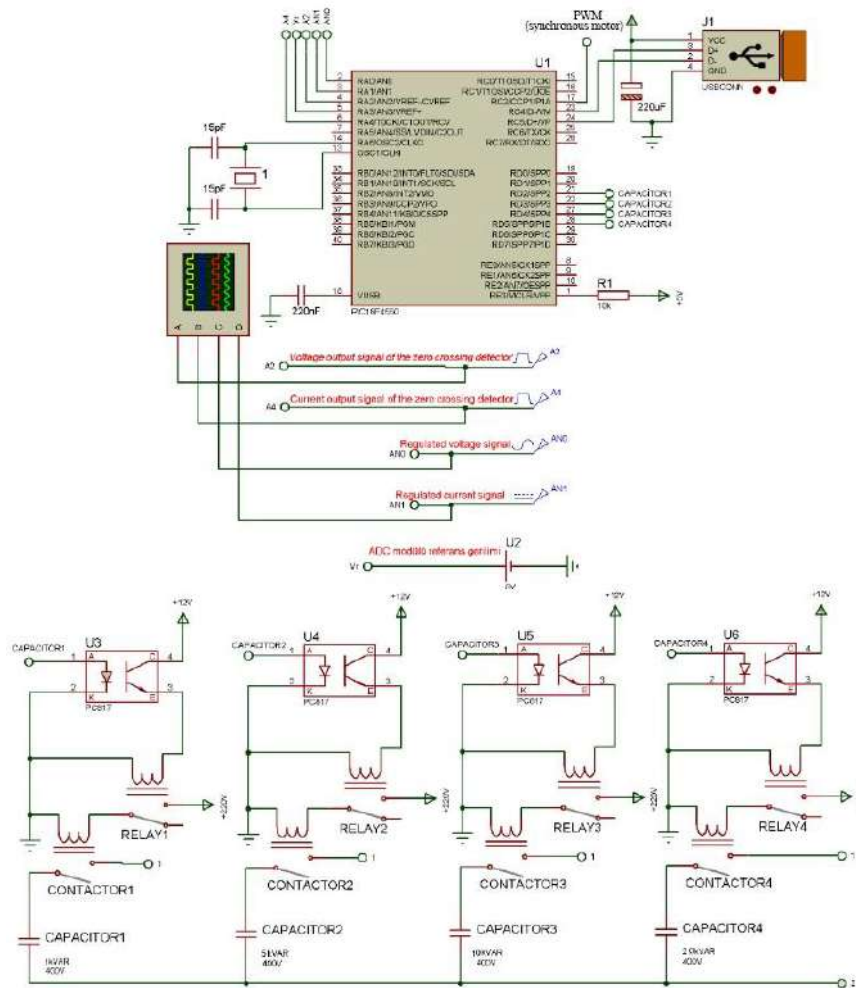


Figure 5. Simulation circuit diagram of the system.

4.1. Compensation on Load at 7th and 8th Busbars

The power factor value ($\cos\phi$) before the compensation is 0.58 and the system shows inductive character. In this case, the oscilloscope display and the measurement results showing the phase difference between the voltage-current signals before the compensation of the system are given in Figure 6.

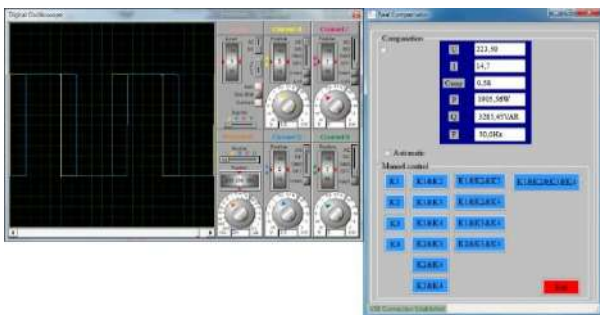


Figure 6. Oscilloscope display and measurement results before the compensation

The oscilloscope display showing the phase difference between the voltage-current signals after the compensation of the system and the measurement results in this case are given in Figure 7. Simulation circuit diagram of the control module where the capacitor group needed for the system for this load condition is switched automatically with traditional switches.

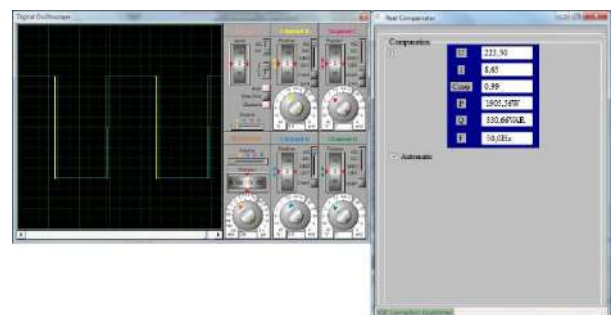


Figure 7. Oscilloscope display and measurement results after the compensation

Under these conditions, the appropriate capacitor value is determined by the computer and the microcontroller as 1 kVAR and 5 kVAR. The simulation of the compensation system is performed by switching 1 kVAR capacitor with the control circuit and 5 kVAR capacitor group automatically. With the current capacitor in the system, it was not possible for the appropriate power factor. This deficiency was eliminated by adding reactive power taken by the appropriate excitation current synchronous motor. With the rapid recovery of the system, a power factor of 0.99 was obtained. As a result, $\cos\phi$ value is approximated to 1.

5. APPLICATION RESULTS

The designed compensation system consists of two main parts. In the first part, the measurement is made. The first

part consists of microcontroller module, current reading module, voltage reading module, power source module and computer interface. In the second section, the control process is carried out. The second part consists of microcontroller module, control module, 1-5-10-20 kVAR capacitors and computer interface. In the both main sections of the system, microcontroller module and computer interface are located. Even though the microcontroller module is under the computer interface control, all the work is carried out in the microcontroller module.

Therefore, the microcontroller module is the brain of the system. The circuit designed for the measurement and the control procedures are given in Figure 8. In addition, an overview of the system for the experimental compensation implementation designed in the laboratory environment is given in Figure 9.

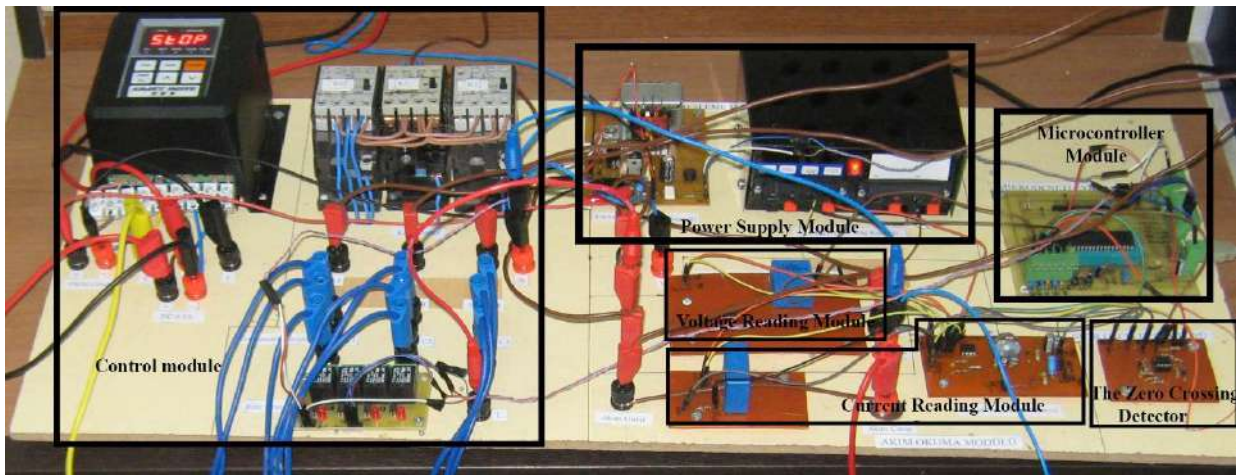


Figure 8. Circuit designed for the measurement and control procedures



Figure 9. Overview of the designed system

For a correct comparison, the load, voltage, current, $\cos\phi$, active power, reactive power and frequency values of the loads in the busbars were measured in the absence of compensation and then measured during the compensation application with the designed hybrid compensation. In addition, measured values and voltage, current waveforms were monitored by the interface.

5.1. Compensation on Load at 7th and 8th Busbars

Power factor $\cos\phi$ value before the compensation is 0.58 and the system shows inductive character. In this case, the oscilloscope display and measurement results showing the phase difference between the voltage and current signals before the compensation of the system are given in Figure 10.

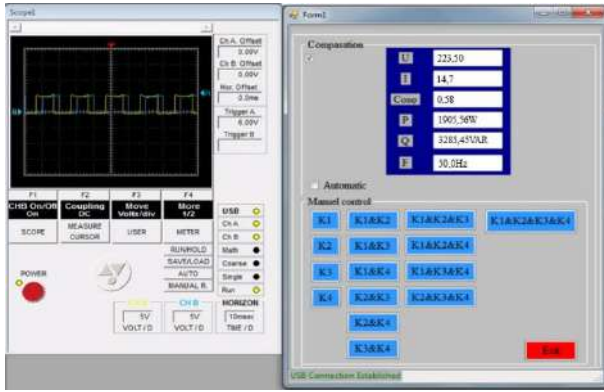


Figure 10. Oscilloscope display and the measurement results before the compensation

The results of measurement after compensation with capacitor groups are given in Figure 11. When the given measurement results are considered, compensation with 1kVAR and 5kVAR capacitors is insufficient. This situation is solved with synchronous motor applied excitation current estimated to 3.5 Ampere.

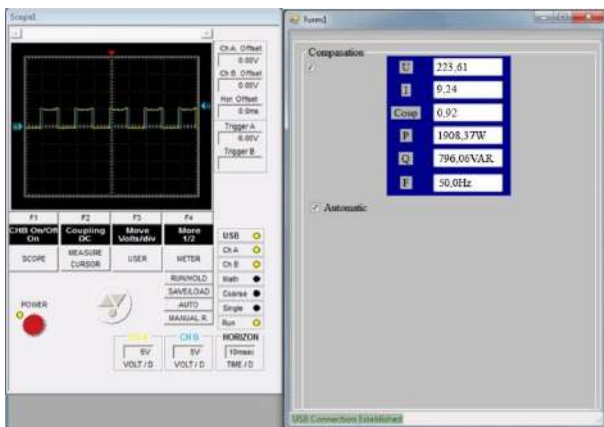


Figure 11. Oscilloscope display and the measurement results after the static compensation

After compensation, the oscilloscope display and the measurement results of the system showing the phase difference between the voltage-current signals are given in Figure 12.

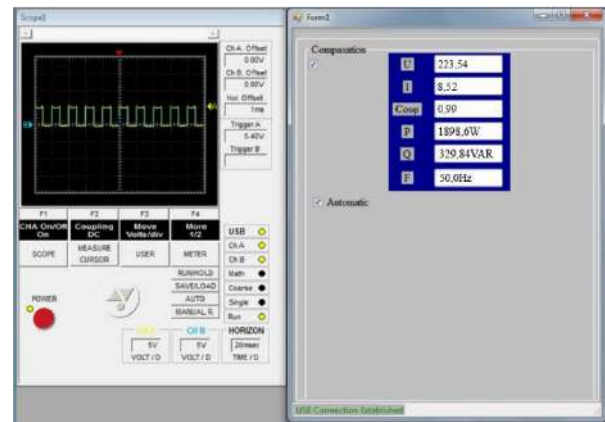


Figure 12. Oscilloscope display and the measurement results after the hybrid compensation

6. COMPARISON OF THE RESULTS

Similarities are observed among $\cos\phi$ values under different load conditions after the simulation and experimental implementation of the designed system. This case is seen in Figure 13.

When $\cos\phi$ values obtained as a result of the experimental implementation and simulation are compared with χ^2 test, no significant difference is observed ($\chi^2=0.150$; $P=1$). In addition, the relationships between $\cos\phi_1$ value of the system before the compensation under different load conditions and $\cos\phi_2$ value of the experimental implementation and simulation after the compensation are given in Figure 14.

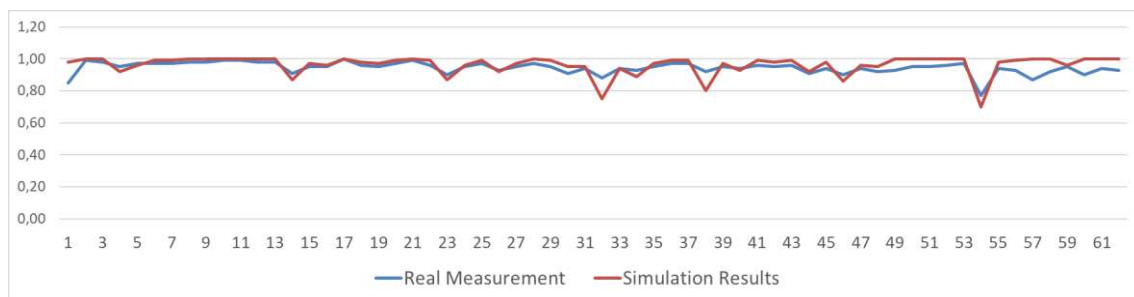


Figure 13. Measured $\cos\phi$ values after the simulation and experimental implementation

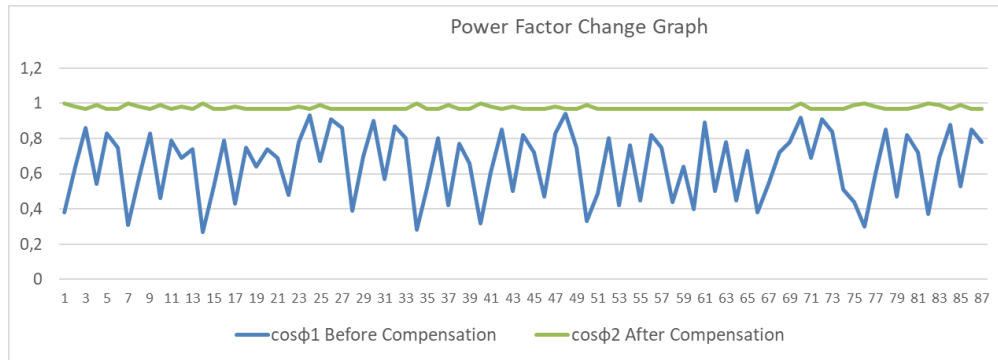


Figure 14. $\cos\phi_1$ and $\cos\phi_2$ values after the experimental implementation

The recovery of the power coefficient leads to a reduction in the consumed reactive power. The active power, defined as the power to do work, is not dependent on the power coefficient. Figure 15 shows the active power drawn from the system before and after

compensation. Almost the same power was pulled as shown. Figure 16 shows that the reactive power taken before compensation is much reduced after compensation. It is an expression of what the designed system works correctly.

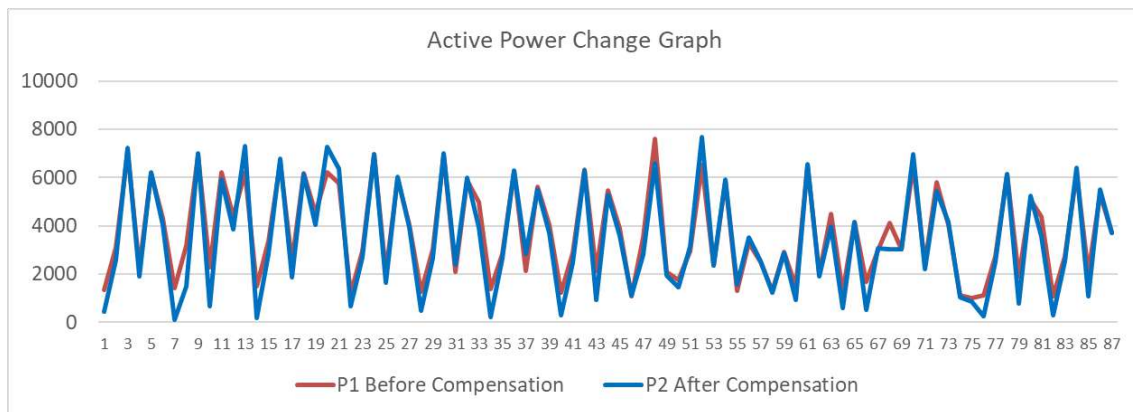


Figure 15. Active power change

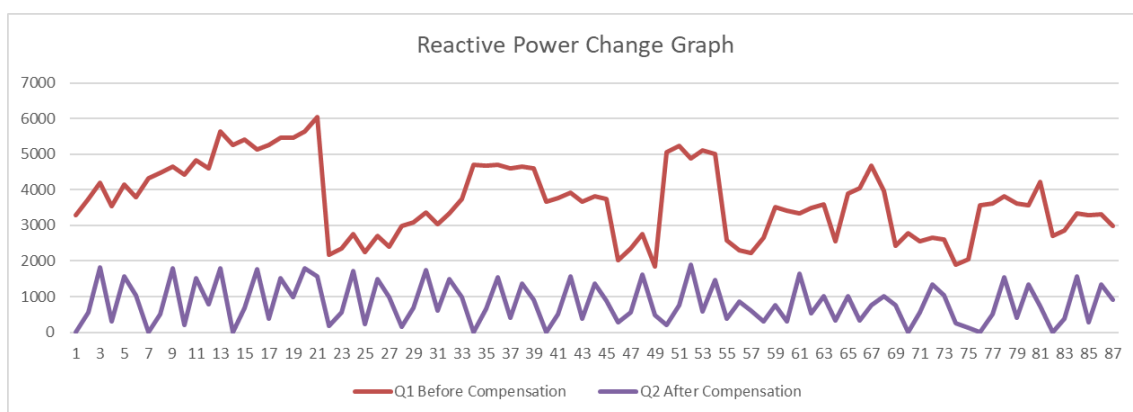


Figure 16. Reactive power change

When the results of the system before and after compensation, P value remained constant and Q value decreased. With this study, the Cos value was

approached to 1. As a result, more reactive power is not taken from the grid and energy is saved.

7. CONCLUSION

This study focused on power factor correction with a significant impact on productivity. It has been investigated whether it can be held above 97% of the power coefficient in a real and unstable three-phase system. In order to achieve this, a simulation model of an existing system has been developed. The developed model is then transformed into an application. The results of the experiment and the simulation are compared and there is not much difference between them. This shows that the simulation program prepared before the application will help to design a compensation system and may even be used for educational purposes. As a result of the work done, the power coefficient can be approached to 1 even in large capacity systems. Serious energy savings can be made here. In order to achieve this, it is necessary to use hybrid systems, not just static compensations. It is seen that the biggest problem, insufficient static compensation, can be overcome by suitable synchronous motor control. The success of the application shows that more radical changes can be made about the power coefficient. With the legislative amendment to be made, energy savings will be very large in the whole country.

REFERENCES

- [1]. Babu, P.C.; Dash, S.S.; Bayindir, R.; Subramani, C.; Mohanty, M.N. "A new control strategy with fuzzy logic technique in distribution system for power quality issues", *In: IEEE-International Power Electronics and Motion Control Conference and Exposition*, Antalya, Turkey, 1110-1115, (2014).
- [2]. Peng, F. Z.; Ott, G. W., & Adams, D. J. "Harmonic and reactive power compensation based on the generalized instantaneous reactive power theory for three-phase four-wire systems", *IEEE Transactions on Power Electronics*, 13(6): 1174-1181, (1998).
- [3]. Takeda, M.; Ikeda, K.; Teramoto, A. & Aritsuka, T. "Harmonic current and reactive power compensation with an active filter", *In Power Electronics Specialists Conference, PESC'88 Record., 19th Annual IEEE*, 1174-1179, (1988).
- [4]. Singh, B.; Al-Haddad, K. & Chandra, A. "A new control approach to three-phase active filter for harmonics and reactive power compensation", *IEEE Transactions on Power Systems*, 13(1): 133-138, (1998).
- [5]. Miller, T.JE. Reactive power control in electric systems; *A Wiley-Interscience Publication*, New York, NY., (1982).
- [6]. Mandal, R.; Basu S. K.; Kar, A. & Chowdhury, S. P. A "Microcomputer-Based Power Factor Controller." *IEEE Transactions On Industrial Electronics*, 41(3): 361-371, (1994).
- [7]. Kumar, P. "Development of Power Factor Controller using PIC Microcontroller." *Master Thesis*, Department of Electrical and Instrumentation Engineering, Thapar University, Patiala, (2008).
- [8]. Barsoum, N. "Programming of Pic Micro-Controller for Power Factor Correction", *Asia International Conference on Modelling & Simulation, IEEE Computer Society*, Phuket, Thailand, 19-25, (2007).
- [9]. Libo, W.; Zhengming, Z. & Jianzheng, L. "A single-stage three-phase grid-connected photovoltaic system with modified MPPT method and reactive power compensation", *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 22(4): 881-886, (2007)
- [10]. Jain, S. K.; Agrawal, P. & Gupta, H. O. "Fuzzy logic controlled shunt active power filter for power quality improvement", *IEE Proceedings-Electric Power Applications*, 149(5): 317-328, (2002).
- [11]. Tiwari, A.K.; Sharma, D. and Sharma, V.K. "Automatic Power Factor Correction Using Capacitive Bank", *Journal of Engineering Research and Applications*, 4(2): 393-395, (2014).
- [12]. Rustemli, S.; Ates, M. "Measurement and Simulation of Power Factor Using PIC16f877", *Przegląd Elektrotechniczny (Electrical Review)*, 88(6): 290-294, (2012).
- [13]. Afridi, M.N. "Design and Implementation of Automatic Microcontroller- Based Controlling of Single Phase Power Factor Using Capacitor Banks with Load Monitoring", *Global Journal of Researches in Engineering Electrical and Electronics Engineering*, 12 (10), (2012).
- [14]. Ali, M. "Design and Implementation of Microcontroller-Based Controlling of Power Factor Using Capacitor Banks with Load Monitoring", *Global Journal of Researches in Engineering Electrical and Electronics Engineering*, 13(2), (2013).
- [15]. Kok, B.C.; Utraphan, C. and Goh, H.H. "A Conceptual Design of Microcontroller-Based Power Factor Corrector Circuit", *Malaysian Technical Universities Conference on Engineering and Technology*, MS Garden, Kuantan, Pahang, Malaysia, 1-6, (2009).
- [16]. Mienski, R.; Pawelek, R. and Wasiak, I. "Shunt compensation for power quality improvement using a STATCOM controller: modelling and simulation". *Generation, Transmission and Distribution, IEE Proceedings*, 151(2): 274 – 280, (2004).
- [17]. Wang, H.F. "Phillips-Heffron model of power systems installed with STATCOM and applications", *Generation, Transmission and Distribution, IEE Proceedings*, 146(5): 521 – 527, (1999).
- [18]. Cheng, C.-A.; Chang, E.-C.; Tseng, C.-H.; Chung, T.-Y. A "Single-Stage LED Tube Lamp Driver with Power-Factor Corrections and Soft Switching for Energy-Saving Indoor Lighting Applications", *Appl. Sci.* , 7: 115, (2017).
- [19]. Cheng, C.-A.; Chang, C.-H.; Cheng, H.-L.; Tseng, C.-H.; Chung, T.-Y. "A Single-Stage High-Power-Factor Light-Emitting Diode (LED) Driver with Coupled Inductors for Streetlight Applications", *Appl. Sci.* , 7: 167, (2017).
- [20]. Dixon, J.; Moran, L.; Rodriguez, J.; Domke, R. "Reactive Power Compensation Technologies: State-of-the-Art Review", *Proceedings of the IEEE*, 93(12): 2144 – 2164, (2007).
- [21]. Yilmaz, E.N.; Aydin, O. "Micro controller and computer based reactive power compensation", *Tehnički vjesnik*, 24(2): 363-370, (2017).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

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



Investigation of structural, optical and electrical properties of Al_{0.3}Ga_{0.7}N/GaN HEMT grown by MOCVD

MOCVD ile büyütülen Al_{0.3}Ga_{0.7}N/ GaN HEMT'nin yapısal, optik ve elektriksel özelliklerinin araştırılması

Yazar(lar) (Author(s)): Ömer AKPINAR¹, Ahmet Kürşat BİLGİLİ², Mustafa Kemal ÖZTÜRK³, Süleyman ÖZÇELİK⁴, Ekmel ÖZBAY⁵

ORCID¹: 0000-0002-5172-8283

ORCID²: 0000-0003-3420-4936

ORCID³: 0000-0002-8508-5714

ORCID⁴: 0000-0002-3761-3711

ORCID⁵: 0000-0003-2953-1828

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Akpınar O., Bilgili A.K., Ozturk M.K. Ozcelik S., and Ozbay E., "Investigation of structural, optical and electrical properties of Al_{0.3}Ga_{0.7}N/GaN HEMT grown by MOCVD", *Politeknik Dergisi*, 23(3): 687-696, (2020).

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

DOI: 10.2339/politeknik.583898

Investigation of Structural, Optical and Electrical Properties of $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}/\text{GaN}$ HEMT Grown by MOCVD

Highlights

- ❖ Comparison of the structural features of the structure grown with MOCVD with the literature
- ❖ Suitability of mobility and carrier density values of HEMT structure
- ❖ Optical results give similar results compared to previous studies

Graphical Abstract

In this study, the magnification phase of $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}/\text{GaN}$ HEMT structure and structural, optical and electrical properties after magnification were investigated.

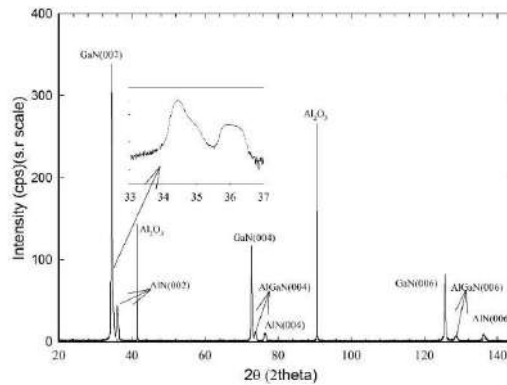


Figure A. 2θ -Intensity plot for $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}/\text{GaN}$ HEMT structure on symmetric planes

Aim

Comparison of the conformity of this structure with the literature, which was enlarged by the MOCVD method.

Design & Methodology

While building the structure, HEMT structure was created by MOCVD method.

Originality

It is a completely original work. These studies have not been done with the same material before.

Findings

The results I obtained after structural, optical and electrical measurements were observed to be compatible with the literature.

Conclusion

In this study AlGaIn/GaN HEMT structure is grown by MOCVD method. Optic, morphological and electric characterization of the samples are made with XRD, PL, UV-Vis, AFM and Hall-resistant measurements. 2θ , FWHM, lattice parameters, particle size, strain, stress and dislocation calculations are made on 19 different planes. Surface roughness of the sample is determined by morphological characterization. Hall-resistant measurements of the sample are made after taking the contacts by Van der Pauw method at 0.4 T constant magnetic field. In optical characterization according to PL measurement results 383 nm wavelength corresponds to 3.24 eV. This value is in fact the direct band gap of GaN. In UV-Vis the conduction of AlGaIn layer started at 360 nm that corresponds to 3.48 eV. In morphological characterization low RMS showed that the sample has good surface quality. It is noticed that carrier density is not effected by the temperature and mobility is high. It is assumed that the slight increase on carrier density at high temperature is caused by the annealing effect. On the other hand, as the temperature decrease mobility increase.

Declaration of Ethical Standards

The authors of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

MOCVD ile Büyütülen $Al_{0.3}Ga_{0.7}N/GaN$ HEMT'nin Yapısal, Optik ve Elektriksel Özelliklerinin Araştırılması

Araştırma Makalesi / Research Article

Ömer AKPINAR^{1,2*}, A. Kürşat BİLGİLİ¹, M. Kemal ÖZTÜRK^{1,2}, Süleyman ÖZÇELİK^{1,2}, Ekmel ÖZBAY³

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

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

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

(Geliş/Received : 28.06.2019 ; Kabul/Accepted : 18.07.2019)

ÖZ

Bu çalışmada c-eksenli safir alttaş üzerine MOCVD yöntemiyle büyütülen $Al_{0.3}Ga_{0.7}N/GaN$ yüksek elektron hareketli transistör (HEMT) yapısı incelenmiştir. Bu yapının optik, morfolojik ve elektriksel özellikleri X-Işını Kırınımı (XRD), Fotoluminesans (PL), Ultraviyole ve görünür ışık (UV-Vis), Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM) ve Hall-Direnç ölçümleri ile belirlendi. Simetrik ve asimetrik düzlemlerde XRD metodu ile 2θ , Yarım Maximum'daki Tam Genişlik (FWHM), örgü parametreleri, kristal boyutu, zorlama, gerilme ve dislokasyon değerleri hesaplanmıştır. GaN'nin doğrudan bant aralığı PL ölçümleriyle 3.24 eV olarak belirlenir. AlGa_N katmanının iletiminin UV-Vis'de 360 nm'de başladığı görülmektedir. Hall-Direnç ölçümlerinde, HEMT yapısının taşıyıcı yoğunluğunun sıcaklıktan etkilenmediği ve hareketlilik değerinin yüksek olduğu ölçüldü. Taşıyıcı yoğunluğu ve hareketlilik değerleri oda sıcaklığında sırasıyla $5.82 \times 10^{15} \text{ 1/cm}^3$ ve $1198 \text{ cm}^2/\text{V}$ olarak belirlendi. En düşük sıcaklık değerinde (25 K) sırasıyla $5.19 \times 10^{15} \text{ 1/cm}^3$ ve $6579 \text{ cm}^2/\text{V}$ olarak hesaplandı.

Anahtar Kelimeler: HEMT, XRD, zorlama, gerilme, hall.

Investigation of Structural, Optical and Electrical Properties of $Al_{0.3}Ga_{0.7}N/GaN$ HEMT Grown by MOCVD

ABSTRACT

In this study, $Al_{0.3}Ga_{0.7}N/GaN$ high electron mobility transistor (HEMT) structure is investigated grown over c- oriented sapphire substrate by using Metal Organic Chemical Vapor Deposition (MOCVD) method. Structural, optical, morphological and electrical characteristics of this structure are determined by X-ray diffraction (XRD), Photoluminescence (PL), Ultraviolet (UV-Vis.), Atomic Force Microscopy (AFM) and Hall- Resistivity measurements. By using XRD method, 2θ , Full Width at Half Maximum (FWHM), lattice parameters, crystallite size, strain, stress and dislocation values are calculated on symmetric and asymmetric planes. Direct band gap of GaN is determined by PL measurements as 3.24 eV. It is seen that conduction of AlGa_N layer starts at 360 nm in UV-Vis. In Hall-Resistivity measurements, it is noticed that carrier density of HEMT structure is not effected by temperature and mobility value is high. Carrier density and mobility values are determined as $5.82 \times 10^{15} \text{ 1/cm}^3$ and $1198 \text{ cm}^2/\text{V.s}$ at room temperature, respectively. At the lowest temperature point (25 K) they are calculated as $5.19 \times 10^{15} \text{ 1/cm}^3$ and $6579 \text{ cm}^2/\text{Vs}$, respectively.

Keywords: HEMT, XRD, strain, stress, hall.

1. INTRODUCTION

HEMT is a field effect transistor in which different band ranges and polarization fields are enlarged as two layers. HEMTs are used in many areas due to their ability to work at high frequencies and high temperatures. It is used in radar systems, automotive applications, sensors, computer systems etc. [1-3]

There are many fields that conventional III-V group semiconductors are not used. Short wave length light emitters are needed for colour screens, laser writers, and high density data storage and under water

communication. Transistors resistant to high power and high temperature are needed for some fields such as automobile motors, developed power distribution systems and many other electric devices. Si and conventional III-V group semiconductors are not suitable for desinging and producing optoelectric devices on blue and ultraviolet region of the spectrum. Gallium Arsenide (GaAs) based electric devices are not used at high temperatures. Group III nitrides are suitable for applications in this field. Group III nitrides has wide and direct band gap. Band gap values are 0.7, 3.4 and 6.2 eV for Indium nitride (InN), Gallium nitride (GaN), and Aluminium nitride (AlN) respectively [4, 5]. Properties such as wide band gap and strong chemical bonds makes

* Sorumlu yazar (Corresponding Author)
e-posta : omerakpinar9@gmail.com

them convenient for blue, green and ultraviolet light emitting devices and transistors resistant to high temperature [6].

Towards the end of 20th century, Shuji Nakamura made it easier to grow high quality GaN epitaxial layer over sapphire (Al₂O₃) substrate by using MOCVD method [7]. GaN based structures gave way to new developments in optoelectronics. At the same time GaN with its high electron mobility has excellent electron carrying properties and forming large electric field capability [8]. If the properties above are combined, GaN based HEMT has better properties than GaAs. Its power density can be increased to a determined level.

AlGaIn/GaN structure presents many advantages for high power and high frequency communication according to Si and other III-V group compound semiconductors [9]. Discontinuation of high conduction band, causes large layer charge density at AlGaIn/GaN interface for %35 Al compound bigger than $1 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ [10]. Large band gap of GaN and AlGaIn maintains big defect fields and thermal stability of the material permishes to operate at high temperature. These perfect properties caused forming devices which has 1.5 A/mm high current density [11], 1 kV deterioration potential difference [12], 11.2 W/mm power density at 10 GHz [13]. Other than optoelectronic applications, this HEMT structure has an important role in nitride hetero structures, emitter stations for satellite communications etc. [14].

2. EXPERIMENTAL

In this study, electrical, optical, structural and surface morphological properties of AlGaIn/GaN heterostructure semiconductor sample, grown over c-oriented sapphire substrate by MOCVD method, are investigated.

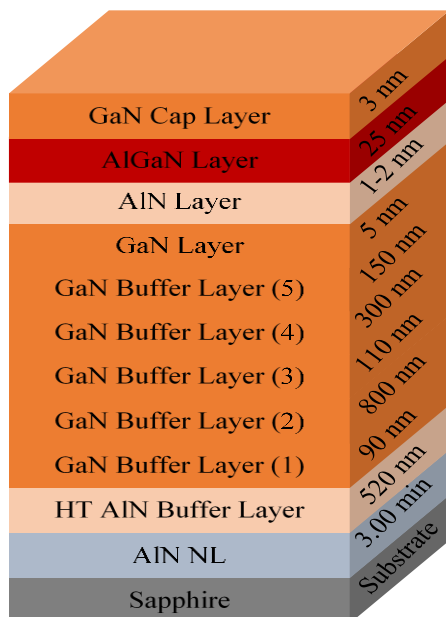


Figure.1 Schematic Diagram of AlGaIn/GaN HEMT structure grown over Sapphire substrate

Before growth of the mentioned structure, sapphire substrate is annealed at 1100 °C for 10 minutes under hydrogen flow [15]. After 60 seconds nitridation step, temperature is decreased to 550 °C. AlN and HT-AlN layers are grown between substrate and GaN buffer layer. To perform this step first temperature and reactor pressure are increased to 750 °C and 50 mbar respectively. Later, under 300sccm NH₃ flow, nitridation operation is performed. By adding 15 sccm TMAI flow LT-AlN nucleation layer is grown for 3 minutes. This layer is a preparation layer for the next HT-AlN layer and this layer is responsible for the low dislocation density at HT-AlN layer. After growth of LT-AlN nucleation layer, temperature is increased to 1130 °C in 4 minutes. This quick increase in temperature maintained annealing of LT-AlN structure having a amorphous structure. At the end of this operation it is aimed LT-AlN layer to shift to a mono-crystal structure. After annealing operation, for growth of 520 nm thick HT-AlN layer under 25 mbar pressure, 25 sccm TMAI and 150 sccm NH₃ flow is decreased to 40sccm in 60 seconds. This flow rate is kept constant for growth of remaining HT-AlN layer. Because mobility of Al atoms on the surface of the substrate is low, high growth temperature is needed for high crystal quality. On the other hand, during growth of HT-AlN 50 sccm Trimetilindium (TMIn) flow is maintained. Presence of In atoms increases the mobility of Al atoms but In atoms can not diffuse in AlN at this temperature [16]. HT-AlN layer has a duty as a barrier against O atoms in Al₂O₃ substrate. O atoms changes the electric properties of GaN by passing through it so that GaN has lower resistivity. HT-AlN layer prevents difusing of O atoms into GaN layer so it helps forming a high resistivity (HR) GaN buffer layer. After growth of HT-AlN layer 90 nm thick first GaN layer is grown under 200 mbar pressure and 1300 sccnm NH₃, 10 sccm TMGa flow at 1000 °C. Later in five minutes temperature and NH₃ flow are increased to 1050 °C and 1500 sccm, respectively. Under these circuntances second GaN layer is grown with a thickness of 800 nm. By increasing the temperature to 1060 °C, NH₃ and TMGa flow rates to 1800 and 17 sccm respectively, third GaN layer with a thickness of 110 nm is grown. After this step only temperature is increased to 1075 °C and 300 nm thick GaN layer is grown. Later, at 1050 °C and 750 °C temperatures GaN layers with thicknesses of 150 nm and 5 nm are grown respectively. Reactor parameters are changed for growth of 1-2 nm thick AlN layer. Reactor pressure and NH₃ flow is decreased to 50 mbar and 210 sccm respectively. Tempereare is kept constant and 10 sccm TMAI flow is given. For growth of 25 nm AlGaIn barrier layer, 5 sccm TMGa and 500 sccm NH₃ flow is given. Finally, TMAI flow is stopped and all other parameters are kept constant for growth of 3 nm thick GaN cap layer.

3. RESULT AND DISCUSSION

Electrical, optical, structural and surface morphological properties of $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}/\text{GaN}$ HEMT sample grown by MOCVD method is investigated.

3.1. XRD

2θ versus intensity plot is shown in Figure 2. On (002) plane GaN, AlGa N and AlN are not fully distorted from each other but it can be seen that on (004) and (006) planes they are distorted from each other. The small figure in figure 2 is the detailed image belonging to (002) plane. Diffraction peaks of GaN layer for (002), (004) and (006) planes are 34.789, 73.018 and 126.016 respectively. Diffraction peaks of AlGa N layer are 35.202, 74.195 and 129.088 and for AlN layer they are 36.221, 76.494 and 136.448 respectively. As understood from peak positions GaN is in accordance with AlGa N and AlN and all structures are compatible with hexagonal crystal system.

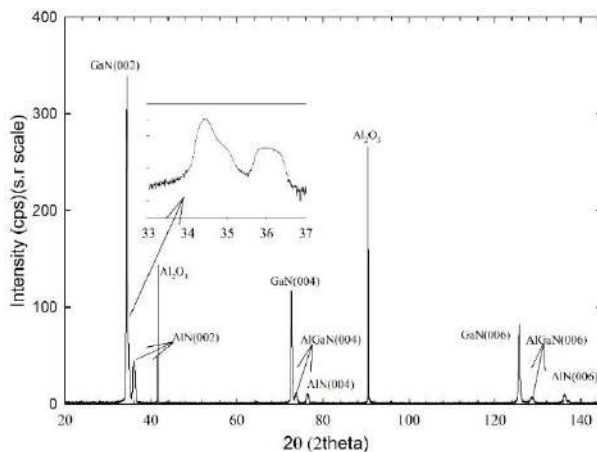


Figure 2. 2θ -Intensity plot for $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}/\text{GaN}$ HEMT structure on symmetric planes

In Figure 3. 2θ -Intensity plot is given on asymmetric (011), (012), (013) and (014) planes. Here in (hkl) orientation hk is kept constant and planes on “ T ” direction are chosen. In some layers peak broadening is caused from AlGa N layer so AlGa N structure can be seen clearly as FWHM on GaN decrease and “ T ” increase. AlGa N structure is in hexagonal shape crystallographilly and it is compatible with Vegard law and Al alloy ratio shows triclinic structure behaviour. On (011) and (012) planes AlN is in the position that it can not be distorted from GaN and AlGa N . As “ T ” increases before AlGa N is distorted, peak width of AlN increases to a higher value. But on (014) plane as AlGa N is fully distorted from GaN, AlN peak width decrease. Crystal quality can be understood in more detail by the analysis of FWHM values for these layers. In figure 3, XRD plot for (021), (022), (023) and (024) planes is given. As “ T ” values are changed by keeping hk values constant it is seen that on (021) plane structure is not fully distorted but when the plane values increase structure is fully distorted. It is noticed that peak widths of GaN and AlN layers decrease by distortion of the structure. These results are valid for

peak positions in Figure 4 also. By changing the plane values structure can be examined in detail.

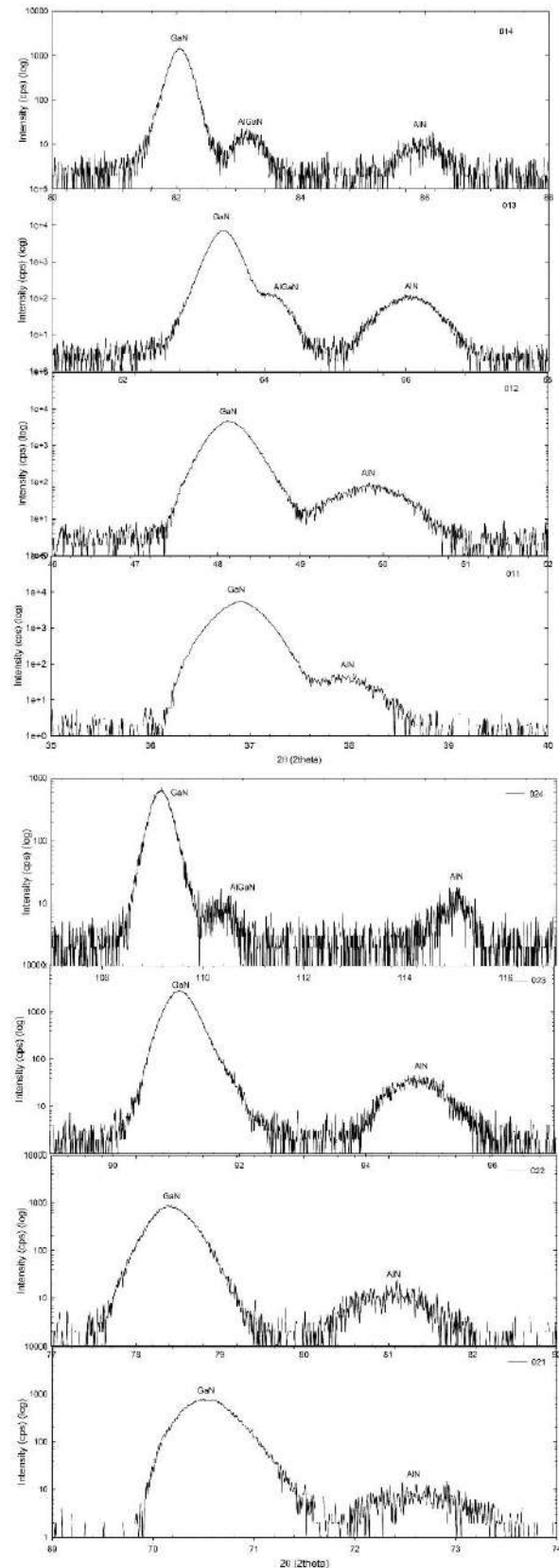


Figure 3. XRD plots for $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}/\text{GaN}$ HEMT structure on asymmetric (011), (012), (013), (014), (021), (022), (023) and (024) planes

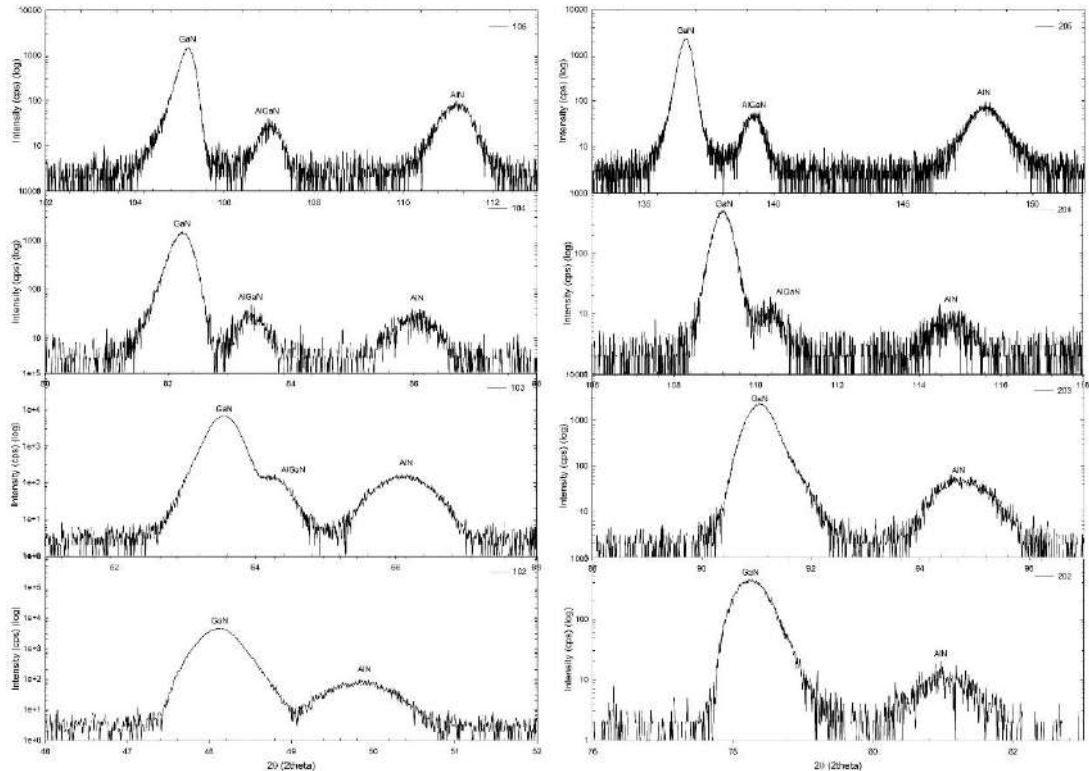


Figure 4. XRD plots for Al_{0.3}Ga_{0.7}N/GaN HEMT structure on (102), (103), (104), (105), (202), (203), (204) and (205) asymmetric planes

Table.1 2θ and FWHM values on (hkl) planes for GaN, AlGaIn and AlN layers

Plane (hkl)	GaN		AlGaIn		AlN	
	2θ	FWHM(deg)	2θ	FWHM(deg)	2θ	FWHM(deg)
002	34.739	0.250	35.202	0.338	36.221	0.744
004	73.018	0.248	74.195	0.414	76.494	0.462
006	126.016	0.258	129.088	0.166	136.448	0.320
011	36.905	0.422	-	-	38.058	0.248
012	48.127	0.390	-	-	49.831	0.303
013	63.418	0.321	64.056	0.453	65.995	0.507
014	82.051	0.288	83.112	0.386	86.076	0.159
021	70.526	0.524	-	-	72.608	0.063
022	78.400	0.445	-	-	81.094	0.064
023	91.054	0.429	-	-	94.755	0.037
024	109.178	0.420	110.356	0.035	115.045	0.043
202	78.250	0.507	-	-	80.983	0.078
203	91.068	0.471	-	-	94.793	0.067
204	109.200	0.436	110.395	0.214	114.758	0.092
205	136.619	0.450	139.453	0.229	148.228	0.088
102	48.123	0.434	-	-	49.864	0.304
103	63.550	0.377	64.183	0.078	66.076	0.088
104	82.236	0.361	83.256	0.125	86.040	0.112
105	105.187	0.326	107.017	0.051	111.195	0.502

FWHM is related with crystal quality of epitaxial layers. 2θ and FWHM values on symmetric and asymmetric (hkl) planes for GaN, AlGa_N and AlN layers are given in Table 1. When the angle increase on (002), (004) and (006) planes, variation on FWHM values determines crystal quality. On asymmetric planes when the angle values increase FWHM values decrease. The reason for this is the peak width. Low FWHM value means high crystal quality, low dislocation density and more smooth structure.

diffraction angles on symmetric and asymmetric planes for GaN, AlGa_N and AlN layers. As the angle value increase, particle size also increases

Tilt, lateral and vertical length values for GaN, AlGa_N and AlN values are given in Table 3. Tilt values for GaN, AlGa_N and AlN layers are 4.2x10⁻³, 1.4x10⁻³ and 1.9x10⁻³ nm, respectively. For the same layers lateral length values are 539.26, 33.27 and 19.29 nm and vertical lengths are 3.08x10⁻⁴, 5.59x10⁻⁴ and 11.2x10⁻⁴ nm, respectively. As can be seen, as lateral length increase,

Table 2. Lattice parameters a-, c-, and particle size (D) values for GaN, AlGa_N and AlN layers

Plane (hkl)	GaN			AlGa _N			AlN		
	a(nm)	c(nm)	D(nm)	a(nm)	c(nm)	D(nm)	a(nm)	c(nm)	D(nm)
002	-	5.158	34.68	-	5.092	25.76	-	4.954	11.73
004	-	5.176	41.52	-	5.106	25.11	-	4.975	22.85
006	-	5.184	70.75	-	5.116	116.24	-	4.975	69.95
011	3.182	5.174	20.72	-	-	-	3.089	5.023	35.30
012	3.185	5.180	23.29	-	-	-	3.083	5.013	30.16
013	3.188	5.184	30.41	3.160	5.138	21.62	3.077	5.003	19.50
014	3.187	5.183	38.11	3.154	5.129	28.72	3.066	4.985	71.10
021	3.187	5.182	19.40	-	-	-	3.108	5.053	161.25
022	3.187	5.183	24.04	-	-	-	3.099	5.039	169.16
023	3.189	5.186	27.62	-	-	-	3.093	5.029	323.55
024	3.187	5.183	34.06	3.164	5.146	409.63	3.079	5.007	353.87
102	3.186	5.180	20.95	-	-	-	3.081	5.010	30.03
103	3.182	5.174	25.91	3.154	5.129	124.24	3.074	4.998	111.92
104	3.182	5.173	30.47	3.150	5.121	88.80	3.067	4.987	101.41
105	3.184	5.177	41.92	3.146	5.115	273.78	3.065	4.984	29.24
202	3.192	5.191	21.10	-	-	-	3.102	5.044	139.45
203	3.189	5.185	25.13	-	-	-	3.092	5.027	181.73
204	3.187	5.182	32.86	3.164	5.144	67.95	3.084	5.015	167.25
205	3.186	5.181	49.87	3.156	5.132	104.24	3.078	5.006	341.63

Lattice parameter values in Table 2 are very similar with theoretical values [17]. Particle size changes with

vertical length decrease for GaN, AlGa_N and AlN structures.

Table 3. Tilt, lateral and vertical length values for GaN, AlGa_N and AlN layers

	Tilt(°)(x10 ⁻³)	Lateral L.(nm)	Vertical L.(nm)(x10 ⁻⁴)
GaN	4.2	539.26	3.08
AlGa _N	1.4	33.27	5.59
AlN	1.9	19.29	11.2

Table 4. Dislocation values for GaN, AlGaN and AlN layers

	Edge Dis. (cm ⁻²)(x10 ⁹)	Screw Dis.(cm ⁻²)(x10 ⁹)
GaN	5.26	1.98
AlGaN	1.40	0.52
AlN	3.02	1.14

Edge and screw type dislocation values are given in Table 4. Edge dislocation values for GaN, AlGaN and AlN layers are 5.26x10⁹, 1.40x10⁹ and 3.02x10⁹ cm⁻², respectively and screw type dislocation values are 1.98x10⁹, 0.52x10⁹ and 1.14x10⁹ cm⁻², respectively.

Edge dislocation value is the highest in GaN layer but the least in AlGaN layer. The same situation is present for screw type dislocation values. The values given in Table 4 are the average values.

value for GaN shows just the opposite behaviour according to AlGaN and AlN. That is the stress is on negative direction. Stress values for AlN are higher than GaN and AlGaN. The reason for this is the difference between covalent radiusus of Ga, N and Ga, Al and N for GaN and AlGaN layers respectively. Inverse stresses that are seen in all structures shows differences in different structures. In addition to these if symmetric and asymmetric planes are examined carefully, as 2θ value

Table 5. Strain and stress values for GaN, AlGaN and AlN layers on (hkl) planes

Plane (hkl)	GaN		AlGaN		AlN	
	Strain (x10 ⁻⁴)	Stress (GPa)(x10 ⁻³)	Strain (x10 ⁻⁴)	Stress (GPa) (x10 ⁻³)	Strain (x10 ⁻⁴)	Stress (GPa) (x10 ⁻³)
002	1.86	-33.01	-5	27.93	-7.7	-197.72
004	1.32	-66.02	-3.6	-6.99	-4	158.11
006	0.04	69.32	-7.6	31.45	-10.9	356.09
011	-30.6	-281.1	-	-	-1761.8	-870.48
012	-2.3	-533.26	-	-	-3.9	-1397.3
013	-285.3	-525.7	-1	-246.28	-0.95	-1113.32
014	-2.1	-364.55	-5.3	-384.95	-5.2	-609.42
021	-1.8	-577.1	-	-	5.3	-1434.54
022	-6.6	-702.51	-	-	2.7	-663.25
023	-5.7	-714.2	-	-	1.2	-2537.85
024	-4.4	-543.45	-12.3	-1049.75	-12.7	-860.65
102	-3.2	-588.29	-	-	-16	-1559.25
103	-2.1	-525.51	-3.3	-36.93	-0.1	-1322.42
104	-2.5	-364.63	-2.4	-154.05	5	-1392.39
105	-3.5	-176.27	-3.2	-27.95	-12.8	-2004.02
202	-8.8	-842.85	-	-	-23	-2405.42
203	-8.4	-873.32	-	-	-12.6	-1975.86
204	-6.6	-543.74	-28	-954.6	1.3	-1506.5
205	-2	-309.57	79.9	7302.65	-6.8	-359.02

In Table 5, strain and stress values for three symmetric and sixteen asymmetric planes of GaN, AlGaN and AlN. Stress values determines interplanar pressing. Stress

increase stress values also increase. If strain values are examined, it can be seen that all three layers show different behaviour. As stress values increase strain

values also increase in GPa degree. This may be as a result of interplanar inhomogeneity.

In Figure 5, lateral and vertical WH plots are given. The plot drawn by using $\sin\theta$ gives lateral WH and the plot drawn by using $\cos\theta$ gives vertical WH. In Figure 5, WH plots for GaN, AlGaN and AlN layers are shown. The disorders in the structures are described by $y=ax+y_0$ linear equation. Here Y axis intercept of this plot gives lateral and vertical block length y_0 . The equations gained from lateral and vertical WH plots for GaN are $y=45.8x-5.6$ and $y=-35.9x-349.2$ respectively. R^2 values are 0.99

and 0.96 respectively. R^2 values nearer to 1 means that the structure is more crystallised. The equations gained from lateral and vertical WH plots for AlGaN are $y=13.9x+135.2$ and $y=72.8x+559$ respectively. R^2 values for this layer are 0.10 and 0.72 respectively. This result means that crystal quality is not good. Equations gained from lateral and vertical WH plots for AlN are $y=18.5x+233.3$ and $y=-166.4x+1118.9$ respectively. R^2 values for this layer are 0.86 and 0.99 respectively. High crystal quality of these layers are supported by the FWHM values in the previous section of this article.

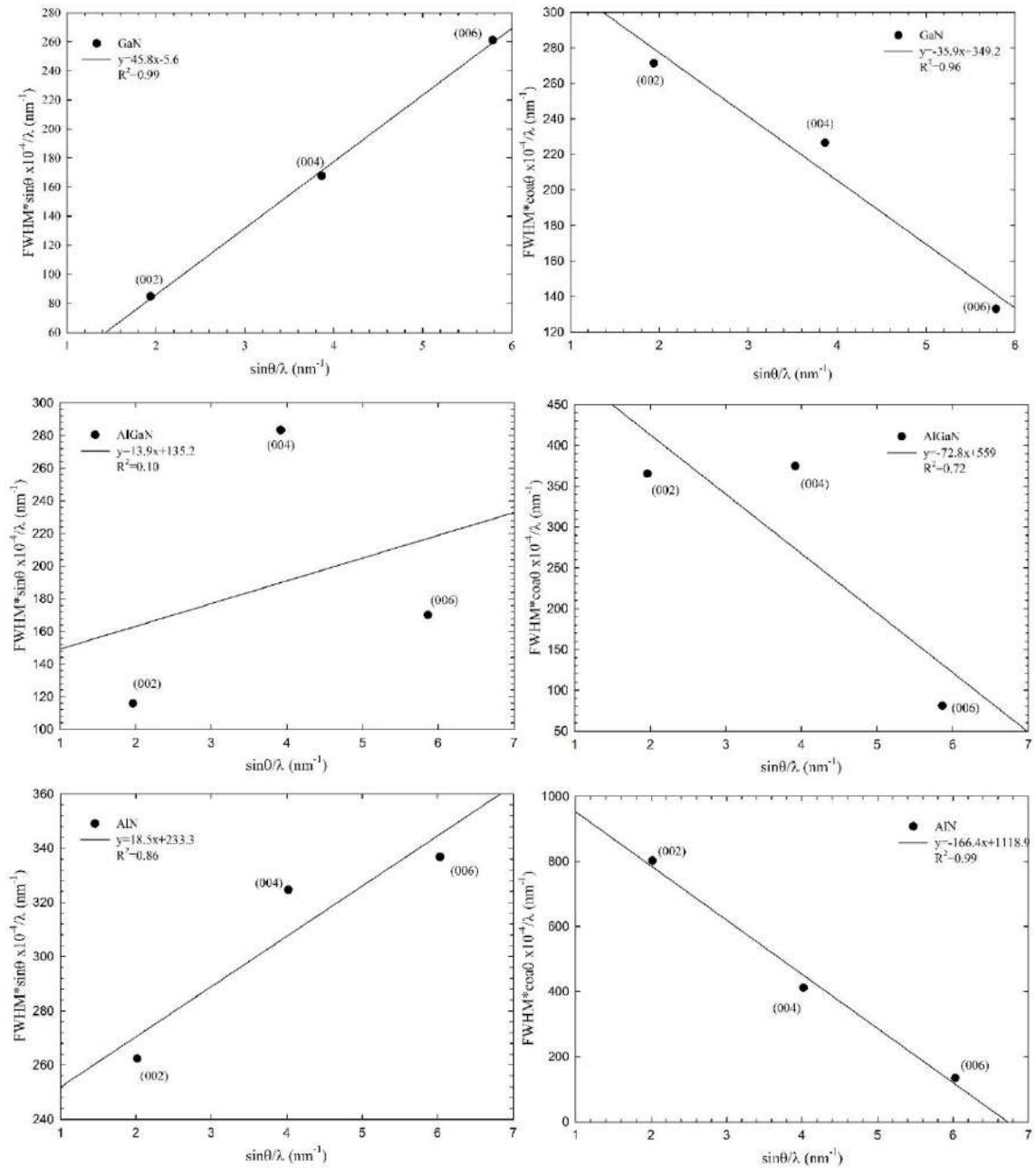


Figure 5. Lateral (on the left) and vertical (on the right) WH plots of GaN, AlGaN and AlN layers on symmetric and asymmetric planes

3.2. Resistance and Hall Effect measurements

In this study, 8 resistance and 8 Hall measurements are performed. Resistance measurement can be performed by using Van der Pauw geometry. Van der Pauw samples can be prepared without lithography. Van der Pauw resistance equation is given in equation (1) [18].

$$e^{-\frac{\pi d}{\rho} R_{12,34}} + e^{-\frac{\pi d}{\rho} R_{23,41}} = 1 \quad (1)$$

$R_{12,34}$ is the current applied through contacts. Potential difference between the contacts is $V_4 - V_3$ and it is given in equation (2) [19].

$$R_{12,34} = \frac{V_4 - V_3}{I_{12}} = \frac{V_{34}}{I_{12}} \quad (2)$$

In order to simplify the solution of resistance Van der Pauw writes the equation (1) again as a function of thickness (d). The equation gained by this operation is given in equation (3) [19].

$$\rho = \frac{\pi d}{\ln 2} \left(\frac{R_{12,34} + R_{23,41}}{2} \right) f \left(\frac{R_{12,34}}{R_{23,41}} \right) \quad (3)$$

Here f is described as the correction factor of Van der Pauw and is given by equation (4) [19].

$$\frac{R_{12,34} - R_{23,41}}{R_{12,34} + R_{23,41}} = \frac{f}{\ln 2} \operatorname{arccosh} \left(e^{\frac{\ln 2 / f}{2}} \right) \quad (4)$$

In order to minimize the effect of extra potentials 8 different measurements are made.

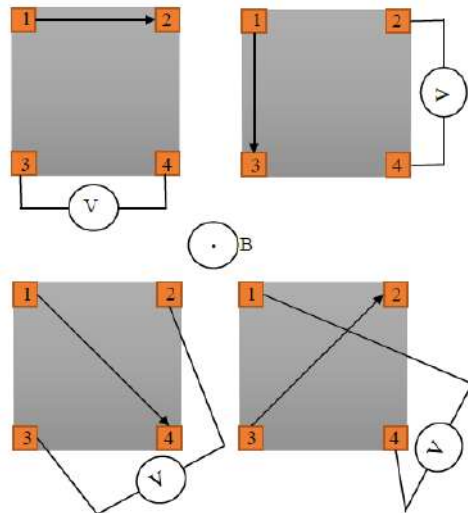


Figure 6. Schematic diagram of 4 different resistance measurement on Van der Pauw sample

In Figure 6 arrows shows the direction of current. Hall Effect voltage (V_H) is given by equation (5).

$$V_H = Ew = \frac{BI}{ent} \quad (5)$$

In this equation B is the magnetic field, w is the width of the sample and e is the charge of the charge carrier. Hall coefficient R_H is given by equation (6).

$$R_H = \frac{V_H t}{BI} \quad (6)$$

Hall mobility of the carriers μ_H and carrier density n_H are given by equations (7) and (8) respectively.

$$\mu_H = \frac{R_H}{\rho} \quad (7)$$

$$n_H = \frac{1}{eR_H} \quad (8)$$

Resistance measurements of $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}/\text{GaN}$ structure is made at 25-330 K range by using Van der Pauw method. During these measurements magnetic field is kept constant at 0.4 T resistance versus temperature plot without magnetic field is given in Figure 7. $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}/\text{GaN}$ HEMT structure shows metallic behaviour in temperature dependent measurements and at lower temperatures it shows resistance.

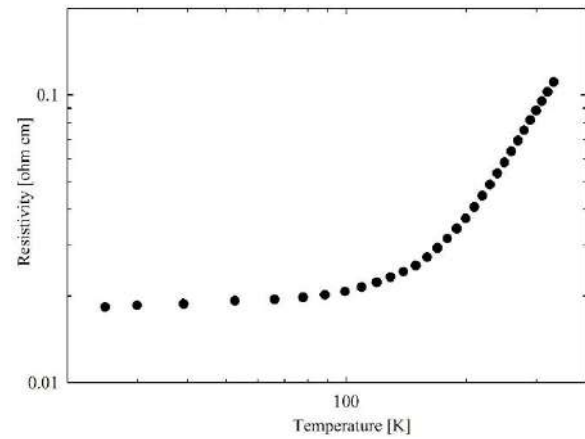


Figure 7. Variation of resistance dependent on temperature for $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}/\text{GaN}$ HEMT structure

The sample presented negative behaviour that shows R_H free carriers are electrons. Temperature dependent both carrier density and mobility of the considered sample are shown in Figure 8.

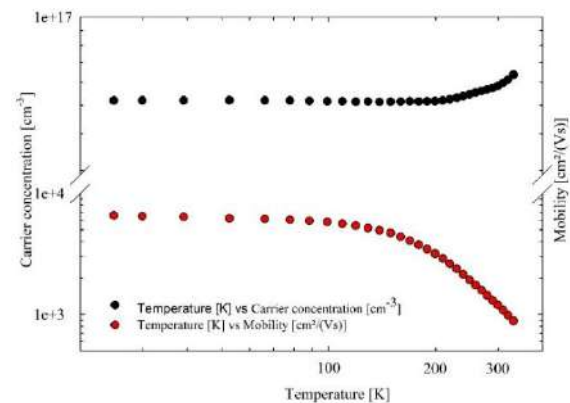


Figure 8. Temperature dependent both carrier density and mobility of the considered sample

As can be seen in Figure 8 if temperature is lower than 100 K mobility is independent on temperature. If temperature is higher than 100 K it shows a decreasing behaviour. This result is caused by the optic phonon diffraction. At higher temperatures optic phonon diffraction is dominant. Carrier density is almost independent of temperature at 25-330 K range. At higher temperatures carriers may cause a little increase because of annealing. The slight increase in the carrier density dependent on temperature may be caused by the oxygen defects in GaN layers. Mobility and carrier density are measured as 1198 cm²/Vs and 5.82x10¹⁵ 1/cm³ at room temperature respectively. At 25 K mobility and carrier density are measured as 6579 cm²/Vs and 5.19x10¹⁵ 1/cm³ respectively.

3.3. Photoluminescence (PL)

Photoluminescence (PL) is one of the most common optical characterisation technique for III-V group semiconductors because of its simple and strong measuring property. PL is used for determining quality of and performance of the devices and their defect states [20].

The energy values gained from PL peaks can be used in determining energy gaps and analysing defect density of the materials. At the same time material quality can be calculated by the FWHM and peak density. As can be seen in Figure 9 peak position is at 383 nm (3.24 eV) and FWHM is 4.27 nm.

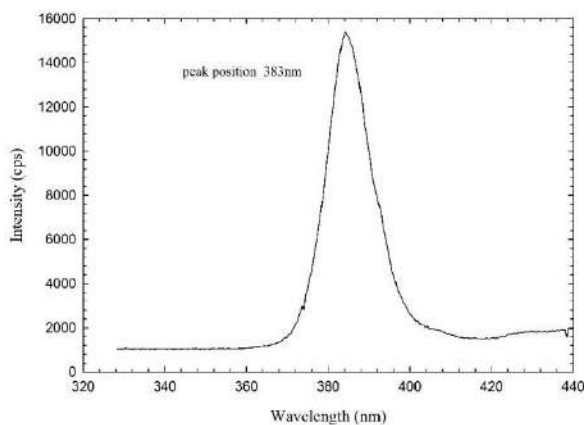


Figure 9. PL spectra of GaN layer

3.4. UV-Vis Spectrometer

Band gap and refraction index of the semiconductors can be determined from absorption and transmission spectras. Transmission can be transformed to optical absorption coefficient of the material by using equation (9). Taking into account of the sample absorption coefficient as a function of the energy can be gained. Equation (10) shows the relation between absorption coefficient and band gap.

$$a = \log\left(\frac{1}{T}\right) \quad (9)$$

$$ahv = A\sqrt{hv - E_g} \quad (10)$$

Here A is a constant and hv is the energy of the incident photon. Optical conduction measurement results are given in Figure 10. Conduction starts at 360 nm which corresponds to approximate value of 3.48 eV.

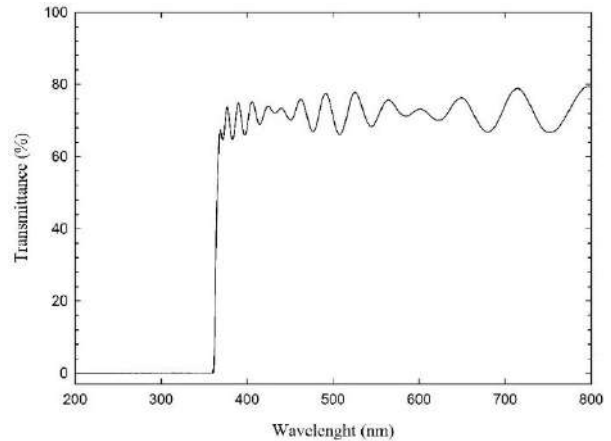


Figure 10. Optical conduction measurement for AlGaIn layer

3.5. Force Microscopy (AFM)

AFM scanning results in 5x5μm² scanning area are given in Figure 11. As can be seen the structure is in step-terrace structure. The terraces in the image are caused by the mixed and screw type dislocations. The structure has 1.61 nm Root Mean Square (RMS) value. This RMS value shows that surface quality is good.

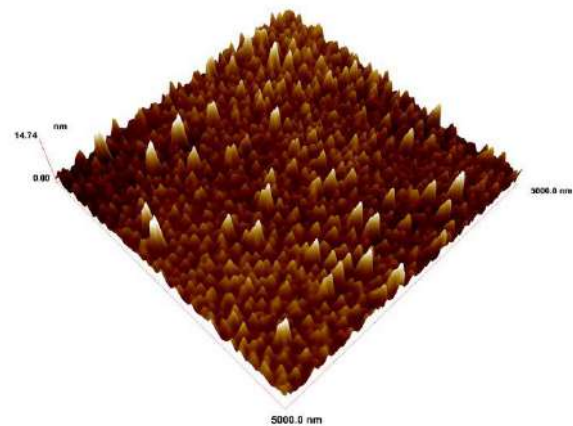


Figure 11. AFM Scanning image

4. CONCLUSION

In this study AlGaIn/GaN HEMT structure is grown by MOCVD method. The sample is prepared in 5mm x 5mm size. Optic, morphological and electric characterisation of the samples are made with XRD, PL, UV-Vis, AFM and Hall-resistant measurements. 2θ, FWHM, lattice parameters, particle size, strain, stress and dislocation calculations are made on 19 different planes. Material quality and conduction properties of the sample are determined by optical characterisation. Surface roughness of the sample is determined by morphological

characterisation. Hall- resistant measurements of the sample are made after taking the contacts by Van der Pauw method at 0.4 T constant magnetic field. In optical characterisation according to PL measurement results 383 nm wavelength corresponds to 3.24 eV. This value is in fact the direct band gap of GaN. This measurement showed the high crystal quality of GaN by high peak density and narrow FWHM. In UV-Vis the conduction of AlGaIn layer started at 360 nm that corresponds to 3.48 eV. In morphological characterisation low RMS showed that the sample has good surface quality. It is noticed that carrier density is not effected by the temperature and mobility is high. It is assumed that the slight increase on carrier density at high temperature is caused by the annealing effect. On the other hand, as the temperature decrease mobility increase.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work was supported by the Presidency Strategy and Budget Directorate (Grants Numbers: 2016K121220).

REFERENCES

1. Yildirim R., Yavuzcan H.G., Celebi F.V. and Gokrem L., "Temperature dependent Rolletti stability analysis of GaN HEMT", *Optoelectronics and Advanced Materials-Rapid Communications*, 3(8): 781-786, (2009).
2. Gokrem L., Celebi F.V. and R. Yildirim, "Asymmetric amplitude variation for four tone small signal input gan hemt at different temperatures", *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 25(4): 779-786, (2010).
3. Yu H.B., Lisesivdin S.B., Bolukbas B., Kelekci O., Ozturk M.K., Ozcelik S., Caliskan D., Ozturk M., Cakmak H., Demirel P. and Ozbay E., "Improvement of breakdown characteristics in AlGaIn/GaN/AlxGa1-xN HEMT based on a grading AlxGa1-xN buffer layer", *Physica Status Solidi a-Applications and Materials Science*, 207(11): 2593-2596, (2010).
4. Akpinar O., Bilgili A.K., Ozturk M.K., Ozcelik S. and Ozbay E., "On the elastic properties of INGAN/GAN LED structures", *Applied Physics a-Materials Science & Processing*, 125(2): (2019).
5. Vurgaftman I. and Meyer J.R., "Band parameters for nitrogen-containing semiconductors", *Journal of Applied Physics*, 94(6): 3675-3696, (2003).
6. Ponce F.A. and Bour D.P., "Nitride-based semiconductors for blue and green light-emitting devices", *Nature*, 386(6623): 351-359, (1997).
7. Nakamura S., Gan Growth Using Gan Buffer Layer, *Japanese Journal of Applied Physics Part 2-Letters*, 30(10a): L1705-L1707, (1997).
8. Xing H., Keller S., Wu Y.F., McCathy L., Smorckova I.P., Buttari D., Coffie R., Green D.S., Parish G., Heikman S., Shen L., Zhang N., Xu J.J., Keller B.P., DeBaaars S.P and Mishra U.K., Gallium nitride based transistors, *Journal of Physics-Condensed Matter*, 13(32): 7139-7157, (2001).
9. Ghione G., Chen K.J., Egawa T., Meneghesso G., PalaciosT. and Quay R., Special Issue on GaN Electronic Devices, *Ieee Transactions on Electron Devices*, 60(10): 2975-2981, (2013).
10. Ambacher O., Foutz B., Smart J., Shealy J.R., Weimann N.G., Chu K., Murphy M., Sierakowski A.J., Schaff W.J., Eastman L.F., Dimitrov R., Mitchell A. and Stutzmann M., Two dimensional electron gases induced by spontaneous and piezoelectric polarization in undoped and doped AlGaIn/GaN heterostructures. *Journal of Applied Physics*, 87(1): 334-344, (2000).
11. Moon J.S., Micovic M., Janke P., Hashimoto P., Wong W.S., Widman R.D., McCray L., Kurdoghlian and Nguyen C., GaN/AlGaIn HEMTs operating at 20GHz with continuous-wave power density > 6W/mm, *Electronics Letters*, 37(8): 528-530, (2001).
12. Zhang N.Q., Moran B., DenBaars S.P., Mishra U.K., Wang X.W. and Ma T.P., Kilovolt AlGaIn/GaN HEMTs as switching devices, *Physica Status Solidi a-Applied Research*, 188(1): 213-217, (2001).
13. Shealy J.R., Kaper V., Tilak V., Prunty T., Smart J.A., Green B. and Eastman L.F., An AlGaIn/GaN high-electron-mobility transistor with an AlN sub-buffer layer, *Journal of Physics-Condensed Matter*, 14(13): 3499-3509, (2002).
14. Eastman L.F., Tilak V., Kaper V., Smart J., Thompson R., Green B., Shealy J.R. and Prunty T., Progress in high-power, high frequency AlGaIn/GaN HEMTs, *Physica Status Solidi a-Applied Research*, 194(2): 433-438, (2002).
15. Porowski S., Grzegory I., Kolesnikov D., Lojkowski W., Jager V., Jager W., Bogdano V., Suski T. and Krukowski S., Annealing of GaN under high pressure of nitrogen, *Journal of Physics-Condensed Matter*, 14(44): 11097-11110, (2002).
16. Zhang L.B., Yan H., Zhu G., Liu S. and Gan Z.Y., Molecular dynamics simulation of aluminum nitride deposition: temperature and N : Al ratio effects, *Royal Society Open Science*, 5(8), (2018).
17. Dridi Z., Bouhafs B. and Ruterana P., First-principles investigation of lattice constants and bowing parameters in wurtzite AlxGa1-xN, InxGa1-xN and InxA11-xN alloys, *Semiconductor Science and Technology*, 18(9): 850-856, (2003).
18. Tokarska M., Evaluation of Measurement Uncertainty of Fabric Surface Resistance Implied by the Van der Pauw Equation, *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 63(6): 1593-1599, (2014).
19. Van der Pauw L.J., A method of measuring specific resistivity and Hall effect of discs of arbitrary shape, *Philips Technical Review*, 13(1): 1-9, (1958).
20. Swaminathan V. and MacRander A.T., Materials Aspects of Gaas and Inp Based Structures (Prentice Hall Advanced Reference Series): Prentice Hall, (1991).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

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



Flow and heat transfer characteristics of inclined jet impingement on a flat plate

Düz yüzey üzerine çarpan eğik jetin akış ve ısı transfer karakteristikleri

Yazar(lar) (Author(s)): Amir LAK¹, Tamer ÇALIŞIR², Şenol BAŞKAYA³

ORCID¹: 0000-0002-1840-2433

ORCID²: 0000-0002-0721-0444

ORCID³: 0000-0001-9676-4387

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Lak A., Çalışır T. and Başkaya Ş., “Flow and heat transfer characteristics of inclined jet impingement on a flat plate”, *Politeknik Dergisi*, 23(3): 697-706, (2020).

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

DOI: 10.2339/politeknik.543267

Flow and Heat Transfer Characteristics of Inclined Jet Impingement on a Flat Plate

Highlights

- ❖ Investigation of flow field and heat transfer using a turbulent inclined impinging jet.
- ❖ Numerical investigation using PHOENICS CFD software.
- ❖ By decreasing the jet inclination angle decrease in the maximum heat transfer occurs.

Graphical Abstract

The effects of turbulent inclined jet impingement were investigated numerically with respect to flow field and heat transfer characteristics. The effects of jet-to-plate distances, inclination angles of the jet and Reynolds number were investigated.

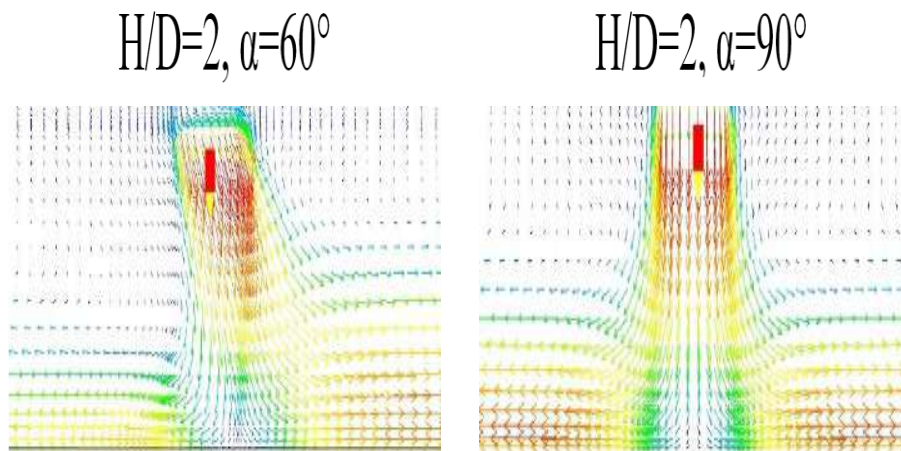


Figure. Velocity vectors for different inclination angles at $H/D=2$ and $Re=30000$.

Aim

Aim of the study was to show the effects of inclined impingement on flow characteristics.

Design & Methodology

The investigation was done numerically for a two-dimensional computational domain. Different jet inclination angles, nozzle-to-plate distances and Reynolds numbers were investigated.

Originality

Investigation of the effect of jet inclination on the flow field and heat transfer using a single inclined jet by applying numerical techniques.

Findings

Results have shown that heat transfer magnitudes for low jet angles are lower than for higher angles.

Conclusion

The flow field and heat transfer is directly influenced by the inclination angle as well as Re number and jet-to-plate distance.

Declaration of Ethical Standards

The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

Flow and Heat Transfer Characteristics of Inclined Jet Impingement on a Flat Plate

Araştırma Makalesi / Research Article

Amir LAK, Tamer ÇALIŞIR*, Şenol BAŞKAYA

Gazi University, Faculty of Engineering, Mechanical Engineering Department, Ankara, Turkey

(Geliş/Received : 22.03.2019 ; Kabul/Accepted : 25.07.2019)

ABSTRACT

The effects of a turbulent inclined jet impinging on a horizontal flat surface were investigated numerically with respect to the flow field and heat transfer characteristics. Main purpose of the study was to show the effects of inclined jet impingement on flow characteristics, which affects the heat transfer on a surface with a constant heat flux. Simulations were performed for different dimensionless jet-to-plate distances ($2 < H/D < 8$), inclination angle of the jet ($45^\circ < \alpha < 90^\circ$), and Reynolds number ($1500 < Re < 30000$). The heat transfer and fluid flow characteristics have been discussed using temperature contours and velocity vectors. Initial simulation results have been validated with experimental data from the literature, and a fairly good agreement has been achieved. Results showed that by decreasing the inclination angle, a decrease in the maximum heat transfer occurs. The ratio of the maximum Nusselt number to the stagnation Nusselt number increases as the jet angle is increased.

Keywords: Heat transfer, inclined impinging jet, turbulence, Computational Fluid Dynamics (CFD).

Düz Yüzey Üzerine Çarpan Eğik Jetin Akış ve Isı Transferi Karakteristikleri

ÖZ

Yatay düz bir yüzeye çarpan türbülanslı eğik jetlerin etkileri, akış alanı ve ısı transferi özellikleri bakımından sayısal olarak incelenmiştir. Çalışmada, sabit ısı akısına sahip bir yüzeyde ısı transferini etkileyen eğik jet çarpmasının akış karakteristiklerine etkisinin gösterilmesi amaçlanmıştır. Farklı boyutsuz jet-plaka mesafeleri ($2 < H/D < 8$), jet eğim açıları ($45^\circ < \alpha < 90^\circ$) ve Reynolds sayıları ($1500 < Re < 30000$) için simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Isı transferi ve akış karakteristikleri, sıcaklık konturları ve hız vektörleri kullanılarak irdelenmiştir. Simülasyon sonuçları literatürde yer alan deneysel veriler ile doğrulanmış ve oldukça iyi bir uyum sağlanmıştır. Jet eğim açısının azaltılması ile birlikte maksimum ısı transferinde azalmanın olduğu sonuçlardan görülmüştür. Maksimum Nusselt sayısının durma noktası Nusselt sayısına oranı jet eğim açısının artması ile birlikte artmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Isı transferi, eğik çarpan jet, türbülans, Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD).

1. INTRODUCTION

Inclined impinging jets are used to elevate cooling, heating and drying performances, and hence, is one of the most favorite techniques used to increase the heat transfer. Impinging jets are used in a wide range of applications. Examples are gas turbine cooling, metal annealing, electronic equipment cooling, textile drying and cooling of grinding processes [1]. There have been many studies performed for the heat transfer and flow characteristics on flat surfaces using impinging jets in the past decades [2-6]. The heat transfer performance and flow field of impinging jets are affected by many parameters like jet Re number, jet-to-plate distance, angle of impingement surface and/or the jet, characteristics of impingement surface, turbulence intensity, etc. [7-9].

One of the main application areas of impinging jets are the thermal management of electronics. In recent years the power load of these electronic devices is increasing, whereas the area/volume is becoming smaller. Hence, the

use of inclined jets could be an alternative. However, the effect of inclination angle of the jet on heat transfer is not studied enough and blind spots still exists.

The difficult nature of a turbulent impinging jet flow, a jet issuing out of a pipe or nozzle and then impinging on a target surface with change of flow direction upon impingement, makes it hard to rely on analytical solutions to analyze the heat transfer process between the jet and the target plate [10-11]. A number of studies narrate about the examination of inclined impinging jet and a flat surface in the literature [12-17]. Beitelmal et al. [12] have made an investigation to study the influence of the inclination angle of an impinging two-dimensional air jet on the heat transfer from a uniformly heated flat surface. Yan and Saniei [13] considered the heat transfer for an obliquely impinging circular air jet to a flat plate using a preheated wall transient liquid crystal technique. Muthukannan et al. [18] investigated numerically the flow characteristics of two-dimensional laminar incompressible slot jet flow for a vertical slot jet on a block at the bottom wall. They investigated the reattachment length, detachment length, vortex center and the coefficient of friction for different types of flow

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

patterns. Goldstein and Franchett [19] conducted a study about the heat transfer for an inclined impinging jet, and they measured the local heat transfer coefficients. The results showed that the stagnation point and average Nusselt numbers decrease as the inclination angle increases. Lamont et al. [20] investigated flows due to under-expanded axisymmetric jet impinging on flat plates at different inclination angles. Rubel [21] formulated an inviscid, rotational flow model for the impingement of fully developed round jets upon a plane wall at different inclination angles. Sparrow and Lovell [22] investigated the heat transfer characteristics of an obliquely impinging circular air jet on a flat plate. Ward et al. [23] measured the heat transfer rate between an air jet impinging onto a uniform cross flow of air over a flat plate coated with naphthalene along with the Chilton–Colburn analogy, and they achieved local heat transfer profiles.

There exist some studies dealing with impingement heat transfer at different inclination angles of the jet. However, there are still many blind spots. There are almost no studies, dealing with the flow field, which directly effects the heat transfer of inclined impinging jets. Hence, the main purpose of this study was the examination of the effect of jet inclination on the flow field and heat transfer on impingement jet heat transfer using a single inclined air jet by applying numerical techniques. In this sense, the effect of different jet angles (α), the Reynolds number (Re), the dimensionless jet-to-plate distance (H/D) was examined. The flow field was investigated, and correspondingly the heat transfer was examined and interpreted using these findings.

2. MATHEMATICAL FORMULATION AND NUMERICAL METHOD

In this part of the study, the mathematical formulation, solution technique, computational domain, boundary conditions, data reduction and validation of the numerical model is explained in detail.

2.1. Problem Description

The fluid flow and heat transfer characteristics on a flat surface under an inclined impinging air jet were investigated using the PHOENICS CFD code. The study was performed for jet inclination angles of $\alpha=45^\circ$ - 90° , $Re=1500$ - 30000 and dimensionless jet-to-plate distance of $H/D=2$ - 8 . A constant surface heat flux ($q'' = 1000$ W/m^2) was used as boundary condition for the impingement plate, and the nozzle was fixed on the center of the geometry above the plate. The nozzle width was modelled as $D=9.53$ mm. Fig. 1 shows a schematic of the 2-D computational domain of the inclined impinging jet configuration. Boundary conditions are also displayed on the figure. The impinging plate has a length of $A=425$ mm, and the computational domain has a height of $W=85.77$ mm.

2.2. Turbulence Model Selection and Mathematical Formulation

Isman et al. [24] performed a numerical analysis to realize heat transfer characteristics of single slot jet impingement cooling with a constant heat flux plate, by using five different two-equation turbulence models. Also, Wang et al. [25] analyzed the effects of jets on the heat transfer characteristics of an impinging jet cooling system, and they recommended the k - ϵ turbulence model for predicting the fluid flow and heat transfer characteristics of impinging jets. They reported that the k - ϵ turbulence model is more effective than other eddy viscosity models, and thus precisely predicts the near-wall turbulence that plays an essential role in the accurate prediction of turbulent heat transfer. Zuckerman and Lior [26] and Chang-geng and Jie-min [27] indicated in their studies, that the flow becomes turbulent for $Re>1000$ in impinging jets. Hence, in this study the flow has to be considered as turbulent, and investigations are conducted with a turbulence model.

In this numerical investigation various turbulence models were tested, and it was observed that the k - ϵ model fits best with the experimental results. In addition, the k - ϵ turbulence model is the most common turbulence model used in Computational Fluid Dynamics (CFD), to simulate flow characteristics for turbulent flow conditions. The continuity, Reynolds averaged momentum and time averaged energy equations governing 2-dimensional steady flow of air with constant properties can be written in the cartesian coordinate system as follows:

Continuity equation:

$$\frac{\partial U_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

Momentum equation:

$$\rho U_i \frac{\partial U_j}{\partial x_i} = - \frac{\partial P}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\mu \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) - \rho \overline{u_i' u_j'} \right] \quad (2)$$

Energy equation:

$$\rho c_p U_i \frac{\partial T}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[k \frac{\partial T}{\partial x_i} - \rho c_p \overline{u_i' T'} \right] \quad (3)$$

The transport equations of the standard k - ϵ model are adapted in the code in the present study. The transport equations of the model are as follows:

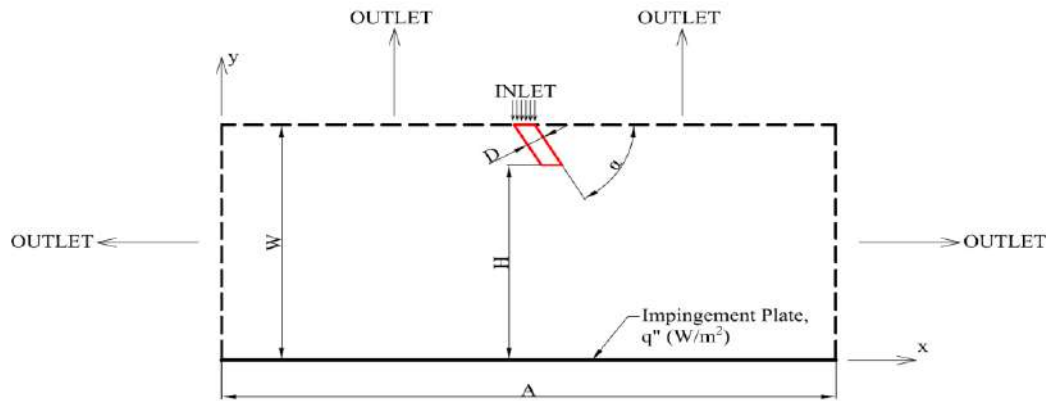


Figure 1. Computational Domain

$$\rho U_i \frac{\partial k}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right] + \mu_t \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial U_i}{\partial x_j} - \rho \epsilon \quad (4)$$

$$\rho U_i \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i} \right] + C_1 \mu_t \frac{\epsilon}{k} \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial U_i}{\partial x_j} - C_2 \rho \frac{\epsilon^2}{k} \quad (5)$$

The turbulent kinetic viscosity is expressed as:

$$\mu_t = C_\mu \rho \frac{k^2}{\epsilon} \quad (6)$$

C_μ , $C_{1\epsilon}$, $C_{2\epsilon}$ are empirical constants of the model and σ_k and σ_ϵ are turbulent Prandtl number for k and ϵ , respectively. The values of these constants are given below.

$$\begin{aligned} \sigma_k &= 1.00; \quad \sigma_\epsilon = 1.314; \\ C_1 &= 1.44; \quad C_2 = 1.92; \quad C_\mu = 0.09 \end{aligned} \quad (7)$$

2.3. Solution Technique

A two-dimensional steady state problem was investigated in this study, and the Navier-Stokes equations were solved in Cartesian coordinates. The CFD code solves the equations in grid points, using appropriate boundary conditions. A grid independency test has been performed to verify that the solution is grid-independent.

The continuity, momentum and energy equations for an incompressible turbulent flow has been solved using appropriate boundary conditions. For the pressure correction process along with the solution procedure for the hydrodynamic equations the code employs the SIMPLEST algorithm. A staggered grid arrangement was used, and for the discretization of convective-diffusive transport, the hybrid scheme is the default scheme within the code.

2.4. Boundary Conditions

The boundary conditions of this study are shown on Table 1. Inlet section at the top of the geometry is a single slot impinging air jet. At the inlet section, velocity in the y-direction and temperature were implemented. All side walls as well as the immediate vicinity of the nozzle were used as outlet boundary conditions. Constant wall heat flux was applied on the impingement surface. No-slip wall condition was applied to solid walls, hence on wall surfaces velocities were taken as zero. The standard k - ϵ turbulence model uses wall functions, hence the boundary conditions on the wall surfaces for k and ϵ are as shown on Table 1. Radiation and natural convection heat transfer effects were not considered.

Table 1. Boundary Conditions

	U	V	T	k	ϵ
Inlet	U=0	V = v _j	T = T _j	(I _j v _j) ²	C _μ ^{3/4} $\frac{k^{3/2}}{L}$
Wall	U=0	V=0	q'' = specified	$u_\tau^2 / \sqrt{C_\mu}$	u_τ^3 / ky
Outlet (x)	$\partial U / \partial x = 0$	$\partial V / \partial x = 0$	$\partial T / \partial x = 0$	$\partial k / \partial x = 0$	$\partial \epsilon / \partial x = 0$
Outlet (y)	$\partial U / \partial y = 0$	$\partial V / \partial y = 0$	$\partial T / \partial y = 0$	$\partial k / \partial y = 0$	$\partial \epsilon / \partial y = 0$

Constant surface heat flux was practical under the impingement plate. Impinging jet inlet fluid was selected as air, and the jet inlet temperature was modeled as 23°C. All outlet boundary conditions were considered to the atmosphere.

2.5. Validation of Numerical Results

In order to obtain reliable results from the numerical study, an iteration and mesh independency study has been performed. Afterwards, the results have been validated with results from the literature.

Linear algebraic equations resulting from the finite volume discretization procedure are solved iteratively. Due to the iterative process, convergence was considered as being achieved when these residuals become less than 10^{-7} , which was the case for most of the dependent variables. In addition, checks for final results were made based on the conservation of momentum, mass and energy. Results were obtained for iteration and mesh independency checks. As shown on Fig. 2, after 4000 iterations, there is little change in the average Nusselt number (Nu_{avg}). Hence, the suitable iteration number was selected as 10000. On the other hand, from a systematic grid independency study the suitable mesh number was obtained. In Fig. 2.(b) the change in the average Nusselt number becomes almost independent of the mesh for mesh numbers of 111 and 49 in the x and y directions, respectively. According to these observations the suitable mesh number in the x-y plane was selected as 158-78.

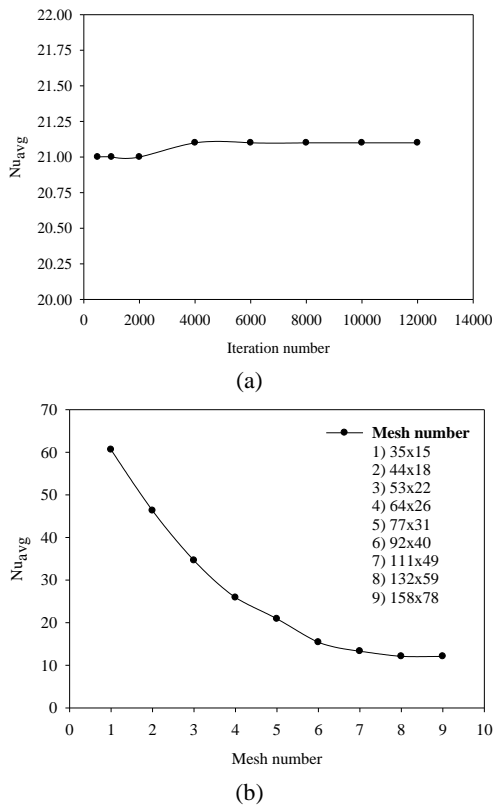


Figure 2. (a) Independency check of iteration, (b) Independency check of mesh

The suitable mesh distribution in the x-y plane is displayed on Fig. 3. It can be seen that the mesh structure is denser at the impingement wall and the nozzle outlet. So, it was possible to solve the impingement flow and heat transfer and all occurring circulations in the correct way. In addition, the y^+ distribution occurring on the the impingement plate has been shown on Fig. 3. As can be seen the the y^+ value has been obtained in the range of $3.5 \leq y^+ \leq 4.0$. This value is below the laminar sublayer ($y^+ < 5.0$), which shows that the used mesh is appropriate for the investigation.

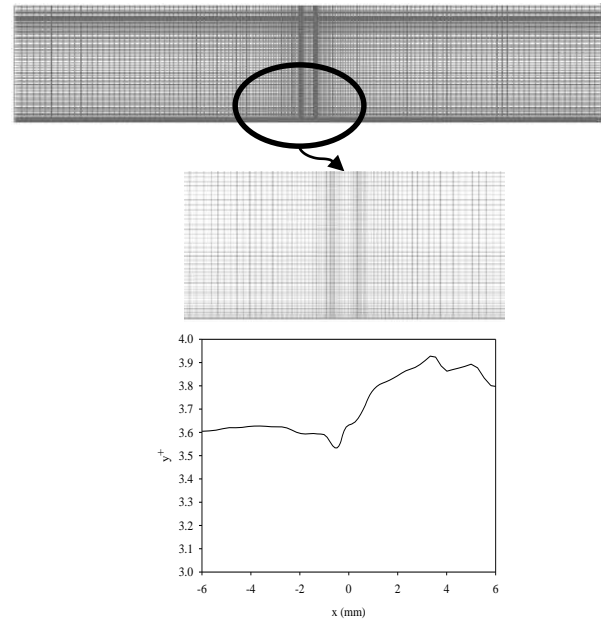


Figure 3. Mesh structure used in the study

Afterwards the grid and iteration independency study, the results were validated with experimental results of Attala and Salem [28], for the Reynolds number of 23000 and $T_j=23^\circ\text{C}$ and $H/D=4$. The local Nusselt number distributions were compared in Fig. 4, and it was observed that the results are in agreement with the experimental results. The position zero is the position where the jet inlet is located. To the left a negative sign and to the right a positive sign has been chosen. It could be said that the results are in agreement with the experimental values and are reliable.

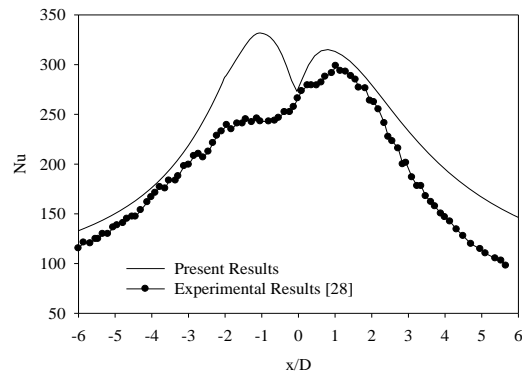


Figure 4. Comparison of numerical results with experimental measurements of Attalla and Salem [28]

2.6. Data Reduction

In the present study, the average as well as local heat transfer characteristics, and flow field results of inclined impinging jets have been obtained. The impingement plate surface temperature was obtained during the study. Using these temperature values the local and average Nusselt number values on the impingement plate have been calculated as follows;

$$Nu = \frac{h.D}{k_{air}} \quad (8)$$

$$Nu_{avg} = \frac{\int Nu.dx}{A} \quad (9)$$

Where, h is the heat transfer coefficient ($W/m^2.K$), D is the width of the inclined jet hole, k is the thermal conductivity of air and A is the length of the impingement plate (Fig. 1.).

The heat transfer coefficient used in the above equation was calculated as given below;

$$h = \frac{q''}{T_s - T_j} \quad (10)$$

Where, q'' is the constant heat flux of the impingement surface, T_s and T_j are local surface temperature and jet inlet temperature, respectively.

A wide range of Reynolds numbers have been investigated. The Reynolds number values have been obtained as follows;

$$Re = \frac{v_j.D}{\nu} \quad (11)$$

Where, v_j shows the air jet inlet velocity and ν displays the kinematic viscosity of air.

3. RESULTS AND DISCUSSION

In this section, the effects of Reynolds number and jet-to-plate distances have been investigated, regarding changes in inclination of the inlet jet on heat transfer and flow characteristics. Investigations have been performed for $1500 \leq Re \leq 30000$, $2 \leq H/D \leq 8$, and a jet inclination angle of $45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$. As one can see from Fig. 1 the inclination angle of 90° shows perpendicular impingement of the jet on the plate.

The effect of inclination angle of the jet for different jet-to-plate spacing on the vertical velocity component has been shown on Fig. 5. The normalized vertical velocity component distributions along the height of the channel for different H/D values and inclination angles at $Re=10000$ are shown on the figure.

The velocity values have been obtained at the mid of the geometry, where the jet inlet is located ($x/D=0$). At low jet-to-plate distance the velocity values are very close for inclination angles of $\alpha=90^\circ - 60^\circ$. For all H/D values, except $H/D=2$, the highest vertical velocities were obtained for $\alpha=90^\circ$. The velocity profile for $\alpha=90^\circ$ (perpendicular jet impingement) is almost the same for all jet-to-plate distances. In addition, for $\alpha=90^\circ$ and in the range of $4 \leq y/D \leq 8$ it was observed that the velocity is almost constant at the jet outlet velocity until the jet reaches $y/D=2$ (except $H/D=2$). This shows that for a vertical impinging jet the vertical velocity is nearly unaffected until $y/D=2$, and after that height the radial velocity decreases immediately, which is due to the deflection of the jet near the impingement plate. With the increase in H/D , and decrease in inclination angle the vertical velocity component of the jet becomes almost zero at higher y/D locations.

Flow fields for different inclination angles and jet-to-plate distances have been shown in Fig. 6 for a Re number of 30000. The results are in agreement with Fig. 5. It can be seen that, with the decrease of the inclination angle the velocity before impingement decreases. For $\alpha=90^\circ$, the velocity decreases immediately before the impingement, and there is almost a symmetrical flow distribution around the centerline of the jet. This is not the case for $\alpha \neq 90^\circ$, where the flow is directed at an inclined angle to the impingement plate. In addition, for inclined jets the horizontal velocity component (wall jet) becomes dominant.

The findings of the flow field will guide in the interpretation of the findings for heat transfer. Fig. 7 displays the local Nusselt number distributions for inclination angles of $\alpha=90^\circ - 45^\circ$ for $Re=23000$ at different jet-to-plate distances. In the case of inclination angle of $\alpha=90^\circ$, the jet impinges perpendicularly on the surface, and the local heat transfer was symmetrical around $x/D=0$. However, with the decrease of the jet inclination, the shift in the stagnation point moves in the positive x/D direction. The decrease in the jet inclination decreases the heat transfer on the impinging plate. This is due to the velocity and momentum which decreases, as it was observed in Fig. 6. It was observed that the velocity before impingement decreases with the decrease in inclination angle and jet-to-plate distance. In addition, this has also a negative effect on the velocity of the wall jet, hence heat transfer on the plate due to the wall jet. Hence, the heat transfer is affected in a negative way with the decrease of momentum. As can be seen from Fig. 7 the maximum heat transfer occurs around the stagnation point, where two maximum heat transfer peaks occur. At the stagnation point a local minimum occurs (except $H/D=2$), and the stagnation points shift towards the positive x/D direction, where the jets are directed to. The results are in agreement with the results of Donovan and Murray [7]. They measured the flow field and heat transfer from an inclined jet impinging on a flat plate. They showed that the velocity stagnation point shifted to the upflow side of the impinging jet with decreasing jet

inclination angle. The Nusselt number at the stagnation point shows considerable changes, especially between $\alpha=50^\circ$ and 60° . The value of the Nusselt number sharply decreases with a reduction in the inclination angle. It was observed that with the decrease in inclination angle the secondary peaks in the Nu number distributions are less distinct for $H/D=2$. At higher H/D values no secondary peaks were formed, this was interpreted due to the long distances to the impingement plate at larger jet-to-plate distances.

It was well probed by Goldstein et al. [29], Baughn and Shimizu [30], Beitelmal et al. [12] and Rubel [31] that for small jet-to-plate distances, secondary peaks in the Nusselt number distributions occur at a radial location of approximately 1–3 diameter from the geometric center for a normally impinging jet. Hence, it could be said that the results are in agreement with the literature.

The effect of Reynolds number on the average Nusselt number for different inclination angles is presented in Fig. 8. The results are shown for $H/D=2$ and $H/D=6$. As can be seen from the figures the average heat transfer increase almost linearly with increase in the Reynolds number for all inclination angles. For $1500 \leq Re \leq 10000$ and $H/D=2$ the inclination angle has almost no effect on the average Nu number. Potential core lengths are generally between 4 and 6 nozzle diameters. The length of the potential core is dependent on the turbulence intensity at the nozzle exit and the initial velocity profile [32]. Hence, for $H/D=2$ (Figure 5 (a)) it can be seen that the flow is in the potential core region in the range of $1500 \leq Re \leq 10000$, and is not affected by the inclination angle of the jet. It was also observed that the average Nu number values are lower for $H/D=6$ compared to $H/D=2$. This is due to the fact that the entrainment into the jet decreases the momentum of the jet, which has a detrimental effect on heat transfer.

The effects of the jet-to-plate distance on the average heat transfer have been presented for different values of $2 < H/D < 8$, and for $Re=23000$ and $Re=30000$ at different inclination angles of the jet. The results are shown in Fig. 9. The findings are in agreement with Fig. 7, where it was observed that with an increase in H/D the local Nu number decreases. For all H/D values the highest and lowest heat transfer rates were obtained for $\alpha=90^\circ$ and $\alpha=45^\circ$, respectively. In the range of $70^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ there is a slight decrease in heat transfer. However, for $\alpha < 70^\circ$ the decrease is occurring faster. This shows that the decrease in the y-component of velocity is more effective for the range of $45^\circ \leq \alpha \leq 70^\circ$.

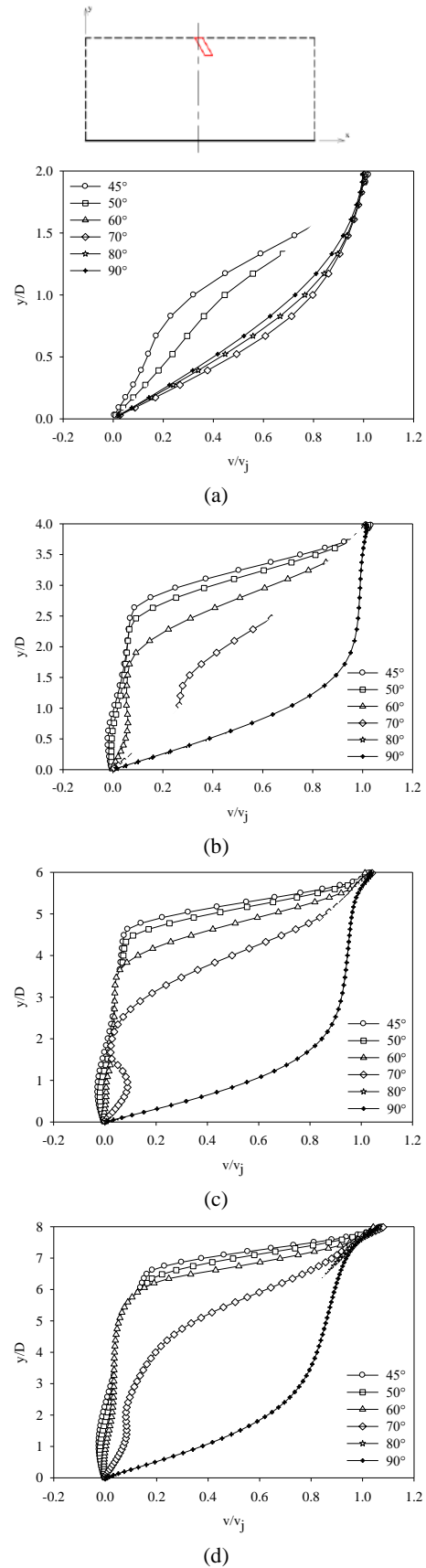


Figure 5. Vertical velocity distributions for $Re=10000$ at different inclination angles, (a) $H/D=2$, (b) $H/D=4$, (c), $H/D=6$, (d) $H/D=8$

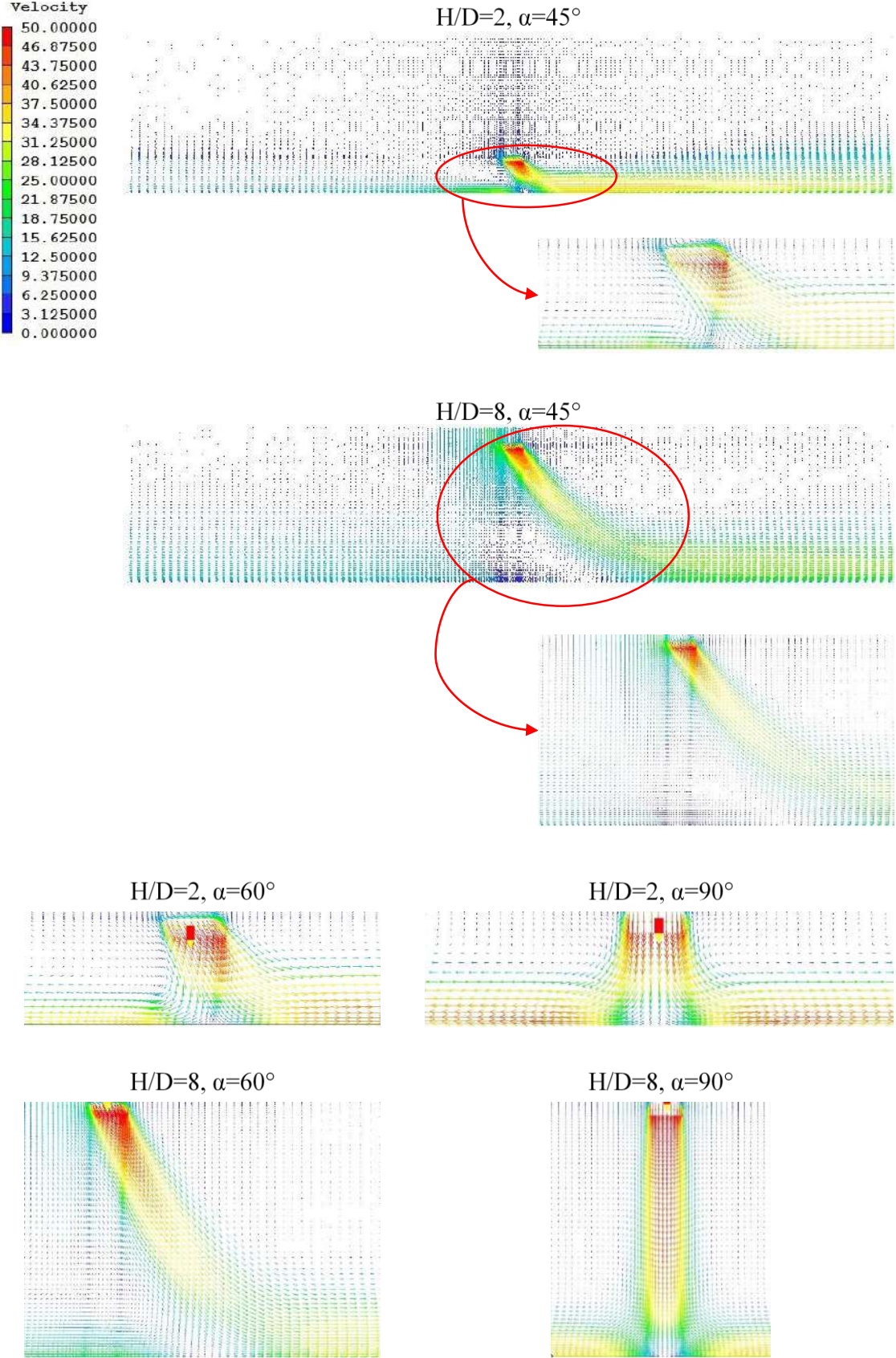


Figure 6. Velocity vectors for $Re=30000$

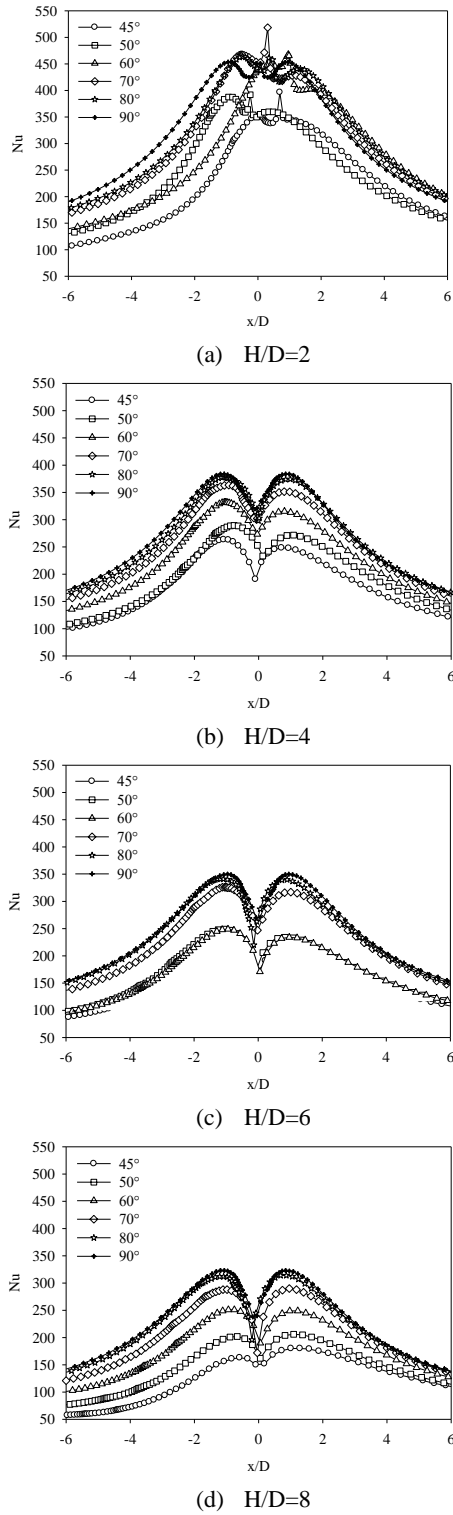


Figure 7. Variation of local Nusselt number for $Re=23000$ with different values of the inclination angle

A correlation was obtained using the findings of the parametric study. The area-averaged Nusselt numbers were obtained as a function of Reynolds number ($1500 \leq Re \leq 30000$), impinging jet angle ($45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$) and jet-to-plate distance ($2 \leq H/D \leq 8$). A nonlinear estimation was taken into consideration. The correlation derived for the inclined jet impingement on a flat surface is given in

Eq. 12. The numerically observed and predicted values of the line-averaged Nusselt numbers for the flat surface, and different situation are shown in Fig. 10. It can be seen that the regression fits well with the observed values.

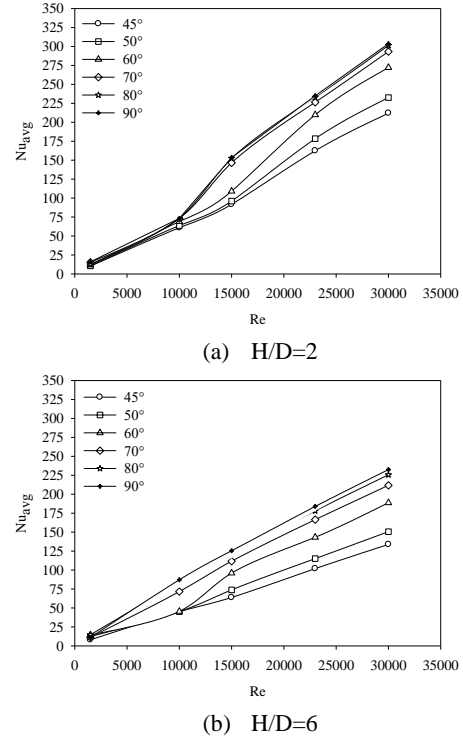


Figure 8. Effect of Re number and inclination angle on the average Nusselt number

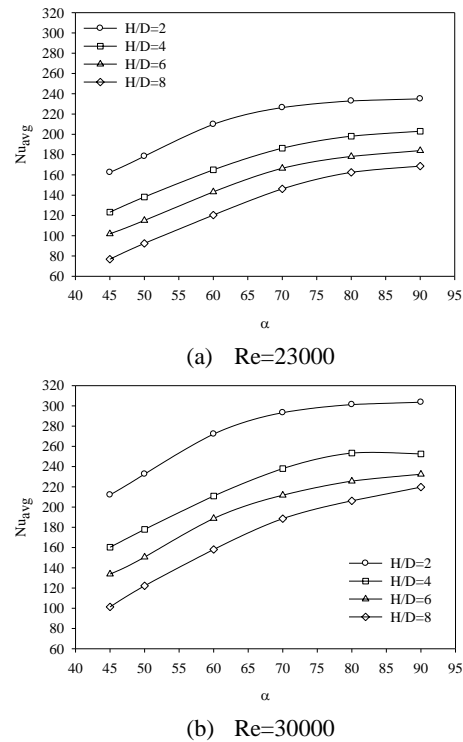


Figure 9. Variation of average Nusselt number with jet inclination angle

$$Nu_o = 0.000318.(Re)^{1.05}.(H/D)^{-0.298}(\alpha)^{-0.722} \quad (12)$$

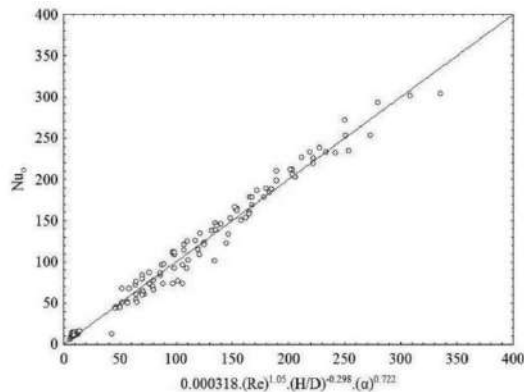


Figure 10. Correlation of the area-averaged Nusselt number for $1500 \leq Re \leq 30000$, $2 \leq H/D \leq 8$ and impinging jet angle $45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$

4. CONCLUSIONS

A parametric study of an impinging inclined jet on a flat surface was performed numerically. The results of the numerical analysis with the standard k- ϵ turbulence model displayed good agreement with experimental data from the literature. The effects of the inclination angle of the jet (α), the dimensionless jet-to-plate distance (H/D) and Re number on the flow field as well as local and average heat transfer were investigated. Some conclusions may be drawn from the findings of this study.

The results showed that the position of the stagnation point shifts away from the center of the impingement point, when the inclination angle is reduced. In addition, a more non-symmetrical local Nu number distribution has been observed with the decrease in the inclination angle. In general the highest heat transfer values were obtained around the stagnation point (except for low H/D and vertical impingement cases).

It was found that the heat transfer characteristics for low nozzle-to-plate spacing were considerably different from higher nozzle-to-plate spacing. On the other hand, results have shown that heat transfer magnitudes for low jet angles are lower than for higher angles. The average Nusselt numbers at a small nozzle-to-plate spacing ($H/D=2$) increased as the inclination angle was increased. Maximum heat transfer coefficient was obtained far from the stagnation point when the tilt angle increases (angle of jet is decreased), or the distance between the nozzle and impinging surface reduces. The average Nusselt number increases with an increase in jet Reynolds number, and a decrease in inclination angle.

From the findings of this study, it was observed that the flow field is directly influenced by the inclination angle as well as Re number and jet-to-plate distance. Hence, the heat transfer is directly affected from the flow field of the impinging as well as wall jet of the inclined impinging jets.

REFERENCES

- [1] O'Donovan T.S., Murray D.B., Torrance, A.A., "Jet heat transfer in the vicinity of a rotating grinding wheel", *Proc. ImechE Part C: J. Mechanical Engineering Science*, 220: 1-11, (2006).
- [2] Martin H., "Heat and Mass Transfer between Impinging Gas Jets and Solid Surfaces", *Advances in Heat Transfer*, 13: 1-60, (1977).
- [3] Viskanta R., "Heat transfer to impinging isothermal gas and flame jets", *Experimental Thermal and Fluid Science*, 6(2): 111-134, (1993).
- [4] Polat S., Huang B., Mujumdar A.S., Douglas W.J.M., "Numerical Flow and Heat Transfer under Impinging Jets: A Review", *Annual Review of Heat Transfer*, 2: 157-197, (1989).
- [5] Lytle D., Webb B.W., "Air jet impingement heat transfer at low nozzle-plate spacings", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 37(12): 1687-1697, (1994).
- [6] Choo K.S., Kim S.J., "Heat transfer characteristics of impinging air jets under a fixed pumping power condition", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 53(1-3): 320-326, (2010).
- [7] O'Donovan T.S., Murray D.B., "Fluctuating fluid flow and heat transfer of an obliquely impinging air jet", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 51(25-26): 6169-6179, (2008).
- [8] Kilic M., Calisir T., Baskaya S., "Experimental and numerical study of heat transfer from a heated flat plate in a rectangular channel with an impinging air jet", *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 39(1): 329-344, (2017).
- [9] Kilic M., Calisir T., Baskaya S., "Experimental and numerical investigation of vortex promoter effects on heat transfer from heated electronic components in a rectangular channel with an impinging jet", *Heat Transfer Research*, 48(5): 435-463, (2017).
- [10] Schueren S., Hoefler F., von Wolfersdorf J., Naik S., "Heat Transfer in an Oblique Jet Impingement Configuration with Varying Jet Geometries", *Journal of Turbomachinery*, 135(2): 021010, (2012).
- [11] Dogruoz M.B., "Experimental and Numerical Investigation of Turbulent Heat Transfer due to Rectangular Impinging Jets", *Phd. Thesis*, University of Arizona, (2005).
- [12] Beitelmal A.H., Saad M.A., Patel C.D., "The effect of inclination on the heat transfer between a flat surface and an impinging two-dimensional air jet", *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 21(2): 156-163, (2000).
- [13] Yan X., Saniei N., "Heat transfer from an obliquely impinging circular, air jet to a flat plate", *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 18(6): 591-599, (1977).
- [14] Akansu, Y. E., Sarioglu, M., Kuvvet, K., Yavuz, T., "Flow field and heat transfer characteristics in an oblique slot jet impinging on a flat plate", *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 35(7): 873-880, (2008).
- [15] Abdel-Fattah A., "Numerical and experimental study of turbulent impinging twin-jet flow", *Experimental Thermal and Fluid Science*, 31(8): 1061-1072, (2007).
- [16] Al-Hadhrami L.M., "Study of Heat Transfer Distribution in a Channel with Inclined Target Surface Cooled by a

- Single Array of Staggered Impinging Jets”, *Heat Transfer Engineering*, 31(3): 234-242, (2010).
- [17] Al-Mubarak A.A., Shaahid S.M., Al-Hadhrani L.M., “Impact of Jet Reynolds Number and Feed Channel Geometry on Heat Transfer in a Channel with Inclined Target Surface Cooled by Single Array of Centered Impinging Jets with Outflow in Both Directions”, *Proceedings of the World Congress on Engineering 3*, London, U.K., (2011).
- [18] Muthukannan M., Kannan P.R., Bajpai A., Jeyakumar S., “Numerical Investigation on the Fluid Flow Characteristics of a Laminar Slot Jet on Solid Block Mounted on a Horizontal Surface”, *Arabian Journal for Science and Engineering*, 39(11): 8077-8098, (2014).
- [19] Goldstein R.J., Behbahani A.I., Heppelmann K.K., “Streamwise distribution of the recovery factor and the local heat transfer coefficient to an impinging circular air jet”, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 29(8): 1227-1235, (1986).
- [20] Lamont P.J., Hunt B.L., “The impingement of underexpanded, axisymmetric jets on perpendicular and inclined flat plates”, *Journal of Fluid Mechanics*, 100(3): 471-511, (1980).
- [21] Rubel A., “Computations of the Oblique Impingement of Round Jets upon a Plane Wall”, *AIAA Journal*, 19(7): 863-871, (1981).
- [22] Sparrow E.M., Lovell B.J., “Heat Transfer Characteristics of an Obliquely Impinging Circular Jet”, *Journal of Heat Transfer*, 102(2): 202-209, (1980).
- [23] Ward J., Oladiran M.T., Hammond G.P., “Effect of nozzle inclination on jet impingement heat transfer in a confined cross flow”, *ASME 91-HTD*, 181: 25-31, (1991).
- [24] Isman M.K., Pulat E., Etemoglu A.B., Can M., “Numerical Investigation of Turbulent Impinging Jet Cooling of a Constant Heat Flux Surface”, *Numerical Heat Transfer, Part A: Applications*, 53(10): 1109-1132, (2008).
- [25] Wang T., Lin M., Bunker R.S., “Flow and heat transfer of confined impingement jets cooling using a 3-D transient liquid crystal scheme”, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 48(23-24): 4887-4903, (2005).
- [26] Zuckerman N., Lior N., “Jet Impingement Heat Transfer: Physics, Correlations, and Numerical Modeling”, *Advances in Heat Transfer*, 39: 565-631, (2006).
- [27] Chang-geng L., Jie-min Z., “Experimental and Numerical Simulation Study of Heat Transfer Due to Confined Impinging Circular Jet”, *Chemical Engineering Technology*, 30(10): 1355-1361, (2007).
- [28] Attalla M., Salem M., “Heat transfer from a flat surface to an inclined impinging jet”, *Heat and Mass Transfer*, 50(7): 915-922, (2014).
- [29] Goldstein R.J., Franchett M.E., “Heat Transfer from a Flat Surface to an Oblique Impinging Jet”, *Journal of Heat Transfer*, 110(1): 84-90, (1988).
- [30] Baughn J.W., Shimizu S., “Heat Transfer Measurements from a Surface with Uniform Heat Flux and an Impinging Jet”, *Journal of Heat Transfer*, 111: 1096-1098, (1989).
- [31] Rubel A., “Oblique impingement of a round jet on a plane surface”, *AIAA Journal*, 20: 1756-1758, (1982).
- [32] Geers L.F.G., “Multiple impinging jet arrays: an experimental study on flow and heat transfer”, *PhD Thesis*, Technical University Delft, (2004).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

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



Sosyal ağlarda yorum içerik tahmini için bulanık mantık tabanlı metinsel anlam çıkarım yaklaşımının analizi

Analysis of fuzzy logic based textual meaning inference approach for comment content estimation in social networks

Yazar(lar) (Author(s)): Sümeyye BAYRAKDAR¹, İbrahim YÜCEDAĞ²

ORCID¹: 0000-0002-8148-1090

ORCID²: 0000-0003-2975-7392

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Bayrakdar S. ve Yücedağ İ., “Sosyal ağlarda yorum içerik tahmini için bulanık mantık tabanlı metinsel anlam çıkarım yaklaşımının analizi”, *Politeknik Dergisi*, 23(3): 707-711, (2020).

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

DOI: 10.2339/politeknik.543685

Sosyal Ağlarda Yorum İçerik Tahmini için Bulanık Mantık Tabanlı Metinsel Anlam Çıkarım Yaklaşımının Analizi

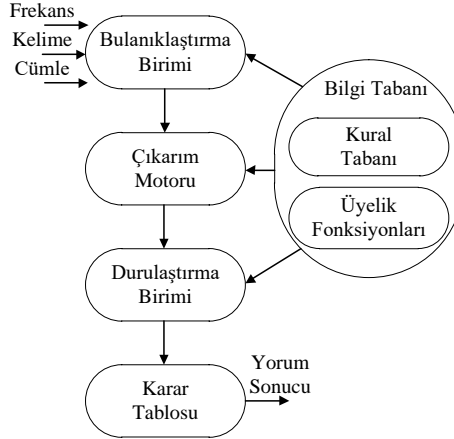
Analysis of Fuzzy Logic based Textual Meaning Inference Approach for Comment Content Estimation in Social Networks

Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Sosyal ağlarda yorum içerik tahmini için yeni bir yaklaşım önerilmektedir. / A new approach for the estimation of comment content in social networks is proposed.
- ❖ Metinsel anlam çıkarımı ele alınmaktadır. / Textual meaning inference is considered.
- ❖ Yorum tahmini için bulanık mantık kullanılmaktadır. / Fuzzy logic is used for the estimation of comment.
- ❖ Yorumun olumlu veya olumsuz olduğu bulunmaktadır. / It is found that comment is positive or negative.
- ❖ Sistem sonuçları yüksek oranda doğru çıkmaktadır. / The system results are highly accurate.

Grafik Özet (Graphical Abstract)

Yorum içerik tahmini için bulanık mantık tabanlı metinsel anlam çıkarım yaklaşımının analizi gerçekleştirilmiştir. / An analysis of fuzzy logic based textual meaning inference analysis was performed for the estimation of content.



Şekil. Önerilen yaklaşımın blok diyagramı /Figure. Block diagram of the proposed approach

Amaç (Aim)

Bir yorumun olumlu veya olumsuz olduğunu tahmin etmek. / Estimating a comment is positive or negative.

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Bulanık mantık tasarımı ile metinsel anlam çıkarım yöntemi. / Fuzzy logic design and textual inference method.

Özgünlük (Originality)

Sosyal ağlarda bulanık mantık tabanlı anlamsal çıkarım. / Fuzzy logic based semantic inference in social networks.

Bulgular (Findings)

Farklı bulanık mantık girişlerine göre alınan çıkışlar. / Outputs according to different fuzzy logic inputs.

Sonuç (Conclusion)

Yorum sonuçları yüksek oranda doğru tahmin edilmektedir. / Comment results are estimated with high accuracy.

Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazarları çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The authors of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

Sosyal Ağlarda Yorum İçerik Tahmini için Bulanık Mantık tabanlı Metinsel Anlam Çıkarım Yaklaşımının Analizi

Araştırma Makalesi / Research Article

Sümeyye BAYRAKDAR*, İbrahim YÜCEDAĞ

Teknoloji Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Düzce Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 24.03.2019 ; Kabul/Accepted : 21.07.2019)

ÖZ

Sosyal ağ, son yıllarda bir veya daha fazla ilişkiyle birbirine bağlanan internet kullanıcıları arasında oldukça popüler bir iletişim aracı haline gelmiştir. Binlerce hatta milyonlarca kullanıcı, sosyal ağ toplulukları aracılığıyla her gün yaşamın farklı yönleriyle ilgili görüş ve deneyimlerini birbirleriyle paylaşmaktadırlar. Sosyal ağ üzerindeki üyelerden gelen yorumların içeriğinin olumlu veya olumsuz olması, sosyal ağ grubundaki üyeler arasında büyük bir merak uyandırabilmektedir. Sosyal ağları anlamak, kullanıcılar arasındaki yapısal ilişki ve etkileşim kalıplarının analizini gerektirmektedir. Bu makale çalışmasında, sosyal ağlarda yorum içerik tahmini için bulanık mantık tabanlı metinsel anlam çıkarım yaklaşımının analizi gerçekleştirilmiştir. Sosyal ağlarda üyelerin açtığı bir konuya yapılan yorumların olumlu olması kullanıcıların bu yorumu okuma oranını artırmaktadır. Bu kapsamda, anlamsal çıkarım yaklaşımımızda bir yorum içeriğinin olumlu veya olumsuz olabileceği bulanık mantık yardımıyla analiz edilmektedir. Bulanık mantık sistemindeki giriş değerlerine göre, ilgili yorumun olumlu veya olumsuz olabileceği ile ilgili bir sonuca varılmaktadır. Elde edilen sistem sonuçlarının büyük oranda doğru sonuçlar verdiği göz önüne alınarak, bulanık mantık tabanlı anlamsal çıkarım yaklaşımımızın birçok sosyal ağda kullanılabileceğini düşünmekteyiz.

Anahtar Kelimeler: Anlamsal çıkarım, bulanık mantık, sosyal ağ.

Analysis of Fuzzy Logic based Textual Meaning Inference Approach for Comment Content Estimation in Social Networks

ABSTRACT

In recent years, social networking has become a very popular communication tool among internet users connected by one or more relationships. Thousands or even millions of users share their experiences and opinions on different aspects of life everyday through social networking communities. The positive or negative content of the comments posted by the members of the social network can arouse great interest among the members of the social network group. Understanding social networks requires the analysis of structural relationships and interaction patterns between users. In this paper, an analysis of fuzzy logic based textual meaning inference analysis was performed for the estimation of content in social networks. The positive comments made by the members on the social networks have the positive effect for the users to read comments. In this context, our semantic inference approach is analyzed with the help of fuzzy logic where the content of comment can be positive or negative. According to the input values in the fuzzy logic system, the relevant interpretation can be positive or negative. Considering that the results of the obtained system yields highly accurate results, we think that our fuzzy logic based semantic inference approach can be used in many social networks.

Keywords: Semantic inference, fuzzy logic, social network.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Sosyal ağ, bireylerin profillerini oluşturabilecekleri, ilişkiler kurabilecekleri veya bağlantı listelerini görselleştirebilecekleri internet tabanlı bir hizmettir [1]. Sosyal ağlardaki bağlantıların türü, bir sosyal ağ sitesiyle farklı bir sosyal ağ sitesi arasında değişiklik gösterebilmektedir [2].

Sosyal ağlar, kullanıcıların deneyimlerini paylaşması açısından bakıldığında oldukça önemlidir [3]. Örneğin; sağlık alanındaki yeni tedavileri yaymak için potansiyel

olarak etkileşim içinde bulunabilen sağlık hizmeti toplulukları hakkında bilgi sahibi olunabilmektedir [4].

Sosyal ağlar; kullanıcıların duygu, düşünce, içerik paylaşımı, reklamlar, bilgi yayma ve çevrimiçi sosyalleşme için birbirleriyle bağlantı kurmalarını sağlamaktadır [5]. Kullanıcılar, gönderiler veya durum güncellemeleri oluşturduğunda, bu güncellemeler kullanıcının tüm sosyal ağına dağıtılmaktadır [6]. Geleneksel internet sayfalarından en önemli farkı, kullanıcıların sadece pasif bilgi tüketicileri değil, aynı zamanda çok çeşitli içerik oluşturucuları olmasıdır [7]. Sosyal ağ içerikleri, kullanıcıların duygusal ve toplumsal dalgalanmalarını yansıtan dinamik bir olgudur [8].

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

Sosyal ağ sitelerinde kullanıcı etkinlikleri genellikle popüler veya belirli olaylar ve konular tarafından tetiklenmektedir [9]. Örnek olarak; spor, kutlamalar, seçim, krizler, salgın hastalıklar, iklim değişikliği, çevre kirliliği, terörizm ve göç gibi olaylar verilmektedir [10]. Servisler ve ürünler hakkındaki incelemelere ve geri bildirimlere adanmış çeşitli internet siteleri bulunmaktadır [11]. Bu internet sitelerinin varlığı ve popüleritesi, insanların hislerini ve düşüncelerini çevrimiçi paylaşma dürtüsünü artırmaktadır [12]. Bu duygu ve düşüncelerin potansiyel değeri muhteşemdir [13]. Sosyal medyada test edilen düşünce ve fikir madenciliği yöntemlerinin çoğu, genellikle anlam bilimini kullanmaktadır [14].

Bu makale çalışması kapsamında, sosyal ağ kullanıcılarının yaptığı yorumların içeriklerini tahmin etmek amacıyla bulanık mantık tabanlı metinsel anlam çıkarım yaklaşımı tasarlanarak analizi yapılmıştır. Sosyal ağ kullanıcılarının bir konu üzerine yaptıkları yorumların olumlu olması, ilgili yorumların okunma oranlarını yükseltmektedir. Bu bağlamda, yapılan bir yorum içeriğinin olumlu veya olumsuz olabileceği bulanık mantık yaklaşımımızla analiz edilmiştir. Bulanık mantık tabanlı yaklaşımımızdaki giriş değerlerine göre, yapılan yorumların olumlu veya olumsuz olabileceği ile ilgili bir sonuca ulaşılmaktadır. Elde ettiğimiz yaklaşım sonuçlarımızın yüksek oranda doğru sonuçlar verdiğini dikkate alırsak, bulanık mantık tabanlı anlamsal çıkarım yaklaşımımızdan farklı sosyal ağ uygulamalarında faydalanılabileceğini düşünmekteyiz.

2. İLGİLİ ÇALIŞMALAR (RELATED WORKS)

Literatürde, sosyal ağlarda anlamsal çıkarım ile ilgili yapılan birçok çalışma bulunmaktadır. Son yıllarda yapılan çalışmalar, yapay zeka tekniklerinden biri olan bulanık mantık üzerine yoğunlaşmaktadır.

Kao ve Huang, zamana bağlı sosyal ağ üzerinde etkili kullanıcıları bulmak ve onların duyarlılık derecelerini ölçmek için bulanık mantık tabanlı bir çerçeve önermişlerdir [1]. Bairagi ve Tapaswi, son zamanlarda farklı araştırmacılar tarafından geliştirilen farklı teknik ve yaklaşımları araştırmışlardır [2]. Bu yaklaşımlara dayanarak bulanık mantık tabanlı yeni bir sistem önermişlerdir ve uygulamışlardır. Medina ve ark.; kavram analizinin konum bazlı sosyal ağlardan elde edilen veri tabanlarına, bulanık mantık kullanılarak uygulanması üzerine bir çalışma sunmuşlardır [3]. Raj ve Babu, çevrimiçi sosyal ağların analizinde kullanılan ağ ölçütlerini analiz eden ve ölçen bir bulanık çıkarım model sistemi önermişlerdir [4]. Fan ve ark.; düzenli eşdeğerlik kavramını, düzenli eşdeğerlik tanımının iki alternatif tanımına dayalı olarak bulanık mantık tabanlı sosyal ağlar için genelleştirmişlerdir [5].

Sassi ve ark., çok katmanlı algılama sinir ağı modeline dayanan ve semantik benzerlik ölçümü uygulayan çevrimiçi sosyal ağlardan duygusal içerik tanıma yapan FEMoRec adlı yeni bir otomatik yaklaşım tanıtmışlardır [6]. Bulanık mantık tabanlı yaklaşımlarında; iletilerin

farklı duygusal kategorilere farklı üyelik dereceleri ile dahil olabileceğini hesaba katmışlardır. Brunelli ve Fedrizzi, iki boyutlu olayı kısıtlayıcı olarak gören ve analiz boyutunun ikili ilişkiler ile sınırlı olmadığı bulanık mantık tabanlı bir yaklaşım önermişlerdir [7]. Sheugh ve Alizadeh, sosyal ağlarda bulanık mantığa dayalı tavsiye için yeni bir yöntem önermişlerdir [8]. Haghi ve Bastani, acil durum yönetiminin hazırlanmasında en önemli aşama olan koordinasyon seviyesinin değerlendirilmesi için bulanık yaklaşım ve sosyal ağ analizinin kullanılmasını amaçlamışlardır [9].

Dhouioui ve ark., bazı mevcut bağlantı tahmin yöntemlerine genel bir bakış sunmuşlardır [10]. Ek olarak, sosyal ağ kullanıcıları arasındaki muhtemel arkadaşlık ilişkilerini tahmin etmek için bulanık mantık tabanlı yeni bir yaklaşım önermişlerdir. Ju, bir kullanıcının internet sayfasında görüntülenen içerikle ne kadar ilgilendiğini tespit etmek için bulanık mantık tabanlı veri madenciliği yaklaşımı önermiştir [11]. Nair ve Sarasamma, sosyal ağ analizine bulanık teori uygulamışlardır [12]. Bunun yanında, varlıklar arasında graflar şeklinde var olan anlamlı ilişkileri sosyal ağ analizi için modellemişlerdir. Romsaiyud ve Premchaiswadi, 2 konu üzerine odaklanmışlardır; (i) sosyal ağdaki liderlik için birçok faktör tanımlayarak sosyal ağların merkezinde bulunan bireylerin fikir liderleri olarak hizmet ettiğini göstermek, (ii) kayıt mesajlarını nicel değerlerle analiz etmek ve birleştirme kuralları bulmak için bulanık veri madenciliği algoritması önererek aralarında ilginç sıralı kalıplar keşfetmek [13].

Luneva ve ark., bulanık kümelerle dayalı olarak önerdikleri teknik ile sosyal ağ kullanıcıları duyarlılık değerlendirmesi için doğal dil metin ayrıştırma algoritması tanıtmışlardır [14]. Yeh ve ark., android sistemini kullanarak yeni bir çalar saat uygulaması önermişlerdir [15]. Çalar saat tasarımında, bulanık mantık tabanlı yaklaşımı ve Facebook'un sosyal ağ özelliklerini birleştirmişlerdir. Tasarladıkları çalar saatin asıl amacı, insanları alışık olmadıkları farklı melodilerle uyardırmaktır. Lesani ve Bagheri, diğer kullanıcılarla güven vermek için bulanık dilbilimsel terimlerin kullanılmasını önererek; bir sosyal ağın güven grafiğine doğrudan bağlanamayan bir kişiye, herhangi bir kişi hakkında güven verilmesine yönelik bir algoritma önermişlerdir [16].

3. SOSYAL AĞLARDA ANLAMSAL ÇIKARIM (SEMANTIC INFERENCE IN SOCIAL NETWORKS)

Sosyal ağlarda bilgi güvenliği sağlamak için, verilerin anlamsal çıkarım yöntemleriyle incelenmesi ön plana çıkmaktadır [17]. Semantik kelimesi dilsel bir terimdir ve bir dil veya mantıktaki anlamla ilgili bir şey anlamına gelmektedir [5]. Doğal bir dilde anlamsal analiz; kelimelerin, cümlelerin, paragrafların yapılarını ve oluşumlarını tespit ederek belirli bir metinde yazılanların ana fikrini anlamakla ilgilidir [12]. Diğer bir deyişle,

cümlelerin oluşumu veya kelimelerin oluşumunun ne anlam ifade ettiğini anlamaya çalışmaktır [7].

Teknolojik olarak gelişmiş dünyada karşılaştığımız zorluklardan biri, bilgisayarın bizim konuştuğumuz dili veya mantığı bizim gibi anlamasını sağlamaktır [13]. Anlamsal analiz, sistem için tanımlanmış kurallar gerektirmektedir [6]. Bu kurallar, bir dil hakkında düşünme şeklimizi yansıtmak için kullanılmaktadır [3]. Bu kurallar yardımıyla, bilgisayar tabanlı sistemlerin düşüncelerimizin aynısını taklit etmesi beklenmektedir [11]. Örneğin; “Elma kırmızıdır.” şeklinde öznesi ve yüklemi olan basit bir cümleyi ele alalım. Bir insanın elma olarak adlandırılan bir nesne olduğunu ve kırmızı renkte olduğunu anladığı basit bir cümledir. İnsan, basit olarak elmanın bir özne olduğunu ve kırmızının bir renk olduğunu bilmektedir. Bizim kolaylıkla anladığımız basit cümleler dahi bir bilgisayar için çok zor kavramlar olabilir [7]. Buradaki dilbilim kavramı, bu cümle oluşumunun kendi içinde bir yapıya sahip olmasıdır [4]. Özne-Yüklem-Nesne sırasıyla takip edilen cümle için verdiğimiz örneği bilgisayar sistemi açısından tekrar ele alalım. Bu cümlede bilgisayar; elmanın özne, kırmızının nesne ve dır çekiminin yüklem olduğunu anlamaktadır. Benzer şekilde, anlamsal analizde kullanılan başka dilsel nüanslar da bulunmaktadır.

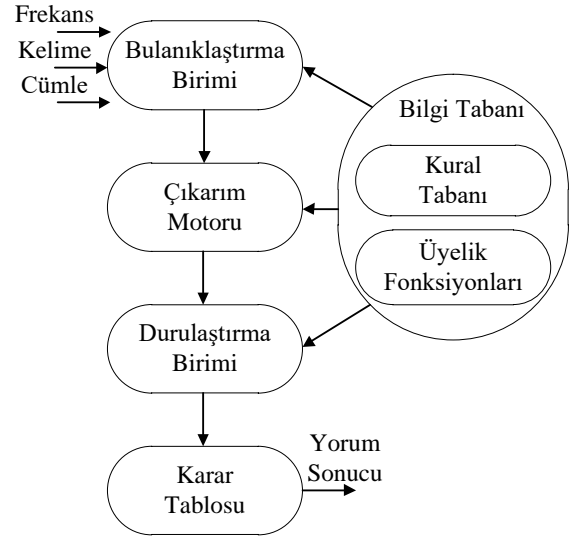
Biz insanlar; bir kelime, cümle, nesne, senaryoyu çevreleyen tüm bağlamları kolay bir şekilde filtreleyerek ilgili parçaları çıkarırız. Bu filtrelemeyi geçmiş deneyimlerimizle karşılaştırarak, elimizdeki içeriğe anlam derinliği katmak için kullanırız. Bilgisayarlar veya makineler tarihsel olarak bunu yapabilecek kapasiteye sahip değillerdi. Çünkü kelime veya cümlelerin ne ile alakalı olduğunu belirleme yeteneği olan bu filtreden yoksunlardı. Makine öğrenmesi ve doğal dil işlemedeki gelişmeler; gelişmiş algoritmalar, güçlü bilgisayarlar ve birçok uygulamanın ortaya çıkmasını sağlamıştır.

Bilgisayar odaklı semantik analiz, gerçek dünyada karşılaşılabileceğimiz farklı durumlar için geniş bir uygulama alanına sahiptir [4]. Kullanabileceğimiz alanlar şu şekilde sıralanabilir; (i) büyük yapılandırılmamış metinlerden ilgili ve faydalı bilgileri çıkarmak, (ii) bir kişiye soru sormak zorunda kalmadan cevaplar bulmak, (iii) çevrimiçi medya yayınlarda konuşulanların anlamlarını öğrenmek, (iv) yabancı dilde kullanılan kelimelerin kendine özgü anlamlarını bulmak [12].

4. ÖNERİLEN BULANIK MANTIK MODELİ (PROPOSED FUZZY LOGIC MODEL)

Bulanık mantık yaklaşımı; araştırmacıların belirsiz ve kesin olmayan birçok kavram, değişken ve sistemi kurallar yardımıyla ifade etmesini sağlamaktadır. Bu şekilde, belirsiz koşullarda kontrol ve karar verme için bir alan sağlamaktadır. Bulanık mantık teorisi, gerçek dünyadaki problemlerin ölçülmesinde veya değerlendirilmesinde kullanılmaktadır. Önerilen bulanık mantık tabanlı anlamsal çıkarım yaklaşımının analizi için SocNetV yazılımı kullanılmıştır. SocNetV yazılımının

tercih edilmesinin sebebi kullanıcı dostu ara yüze sahip olması ve GNU GPL3 lisansına sahip ücretsiz bir yazılım olmasıdır.



Şekil 1. Önerilen yaklaşımın blok diyagramı (Block diagram of proposed approach)

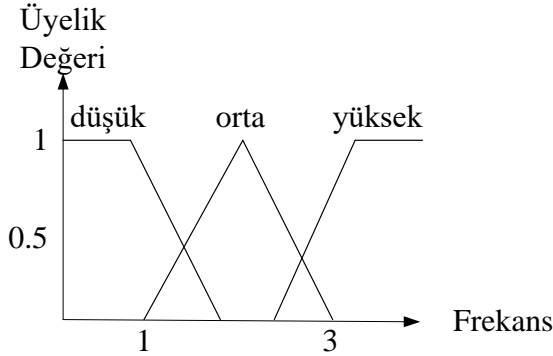
Şekil 1’de, önerilen bulanık mantık sisteminin blok diyagramı verilmiştir. Bulanık mantık sistemi; bulanıklaştırma birimi, çıkarım motoru, durulaştırma birimi ve karar tablosundan oluşmaktadır. Bulanıklaştırma birimi, net bir girişi bulanık bir değere dönüştürürken; durulaştırma birimi çıkış değerleri setini tek bir değere dönüştürmektedir. Bu üç birim sürekli olarak kural tabanının bilgi tabanı ve üyelik fonksiyonları ile iletişim halindedir. İlk olarak, bulanıklaştırma biriminde belirli değerler bulanık veri kümelerine dönüştürülmektedir. Bulanık kümeler çıkarım motorunda işlendikten sonra, durulaştırma birimi onları sayısal değerlere dönüştürmektedir. Durulaştırma biriminden sonra, karar tablosu aşaması bulunmaktadır. Yorum sonucunun olumlu veya olumsuz olduğu; frekans, kelime ve cümle giriş değerlerine göre bulunmaktadır. Üyelik fonksiyonları için üç girdi parametresi ve bu üyelik fonksiyonları için üç seviye mevcuttur.

Şekil 2’de, frekans parametresinin üyelik fonksiyonları görülmektedir. Düşük orta ve yüksek olmak üzere 3 farklı seviye bulunmaktadır. Orta seviyesinin sınırları 1 ile 3 arasındadır. Frekans, yorum içerisindeki olumsuz kelimelerin tekrarlanma sayısı olarak ele alınmıştır. Çok fazla olumsuz kelimenin olması yorumun yüksek ihtimalle olumsuz olacağı anlamına gelmektedir.

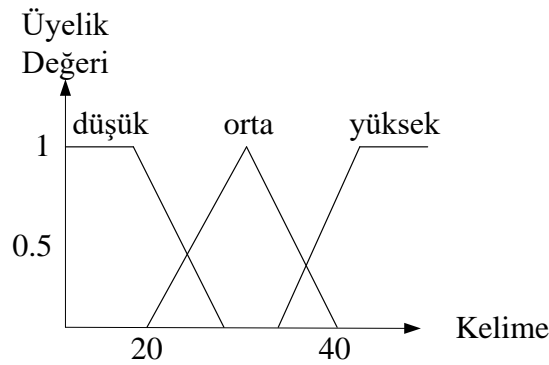
Şekil 3’te, kelime parametresinin üyelik fonksiyonları görülmektedir. Düşük orta ve yüksek olmak üzere 3 farklı seviye bulunmaktadır. Orta seviyesinin sınırları 20 ile 40 arasında değişmektedir. Kelime, yorum içerisindeki toplam kelime sayısını ifade etmektedir.

Şekil 4’te, cümle parametresinin üyelik fonksiyonları görülmektedir. Düşük orta ve yüksek olmak üzere 3

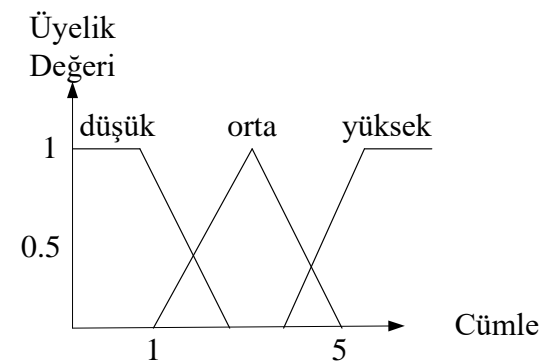
farklı seviye bulunmaktadır. Orta seviyesinin sınırları 1 ile 5 arasında değişmektedir. Cümle, bir yorum içerisindeki toplam cümle sayısını ifade etmektedir. Genel anlamda, kelime ve cümle sayısının fazla olması ilgili yorumun olumsuz olduğu anlamına gelmektedir.



Şekil 2. Frekans parametresinin üyelik fonksiyonları (Membership functions of frequency parameter)



Şekil 3. Kelime parametresinin üyelik fonksiyonları (Membership functions of word parameter)



Şekil 4. Cümle parametresinin üyelik fonksiyonları (Membership functions of sentence parameter)

Çizelge 1'de, toplamda 27 kuraldan oluşan bulanık mantık sisteminden örnek kurallar verilmiştir. Bu kurallar ile, yapılan yorumun olumlu veya olumsuz olduğu tespit edilmektedir. Örneğin; frekans orta ise, kelime yüksek ise ve cümle yüksek ise, yorum olumsuzdur.

Çizelge 1. Kural tablosundan örnekler (Samples from rule table)

Örnek Kurallar
Eğer (frekans yüksek ise) ve (kelime düşük ise) ve (cümle orta ise) (yorum olumsuzdur)
Eğer (frekans düşük ise) ve (kelime orta ise) ve (cümle düşük ise) (yorum olumludur)
Eğer (frekans orta ise) ve (kelime yüksek ise) ve (cümle yüksek ise) (yorum olumsuzdur)
Eğer (frekans düşük ise) ve (kelime düşük ise) ve (cümle orta ise) (yorum olumludur)
Eğer (frekans yüksek ise) ve (kelime düşük ise) ve (cümle yüksek ise) (yorum olumsuzdur)

5. ANLAMSAL ÇIKARIM SONUÇ ANALİZİ (RESULT ANALYSIS OF SEMANTIC INFERENCE)

Önerilen bulanık mantık sistemi sonucunda, çevrimiçi sosyal ağlarda kullanıcıların yaptığı yorumların olumlu veya olumsuz olduğunu anlaşılmaktadır. Çizelge 2'de, bulanık mantık sistem sonucundan elde edilen değerler verilmiştir. Örneğin; olumsuz tekrar eden kelime sayısı 4 olduğunda, toplam kelime sayısı 15 olduğunda ve toplam cümle sayısı 3 olduğunda, yorum olumsuz olmaktadır.

Çizelge 2. Bulanık mantık sistem sonucundan örnekler (Samples from fuzzy logic system results)

Örnek Sonuçlar			
Frekans	Kelime	Cümle	Yorum Sonucu
4	15	3	Olumsuz
1	30	1	Olumlu
5	10	6	Olumsuz

6. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada, sosyal ağlarda yapılan yorumların içeriklerini tahmin etmek amacıyla bulanık mantık tabanlı metinsel anlam çıkarım yaklaşımı tasarlanarak analizi yapılmıştır. Sosyal ağlarda, bir konu ile ilgili olarak yapılan yorumların olumlu olması bu yorumların okunma oranlarını önemli ölçüde yükseltmektedir. Bu bağlamda; yorum içeriklerinin olumlu veya olumsuz olabileceği, bulanık mantık tabanlı anlamsal çıkarım yaklaşımımız sayesinde analiz edilmiştir. Bulanık mantık sistemimizdeki giriş değerlerine ele alınarak, ilgili yorumların olumlu veya olumsuz olabileceği ile ilgili olarak bir sonuç değeri elde edilmektedir. Elde ettiğimiz sonuç değerlerinin büyük oranda doğru olduğu göz önüne alınırsa, bulanık mantık tabanlı anlamsal çıkarım yaklaşımımızın çeşitli sosyal ağ uygulamalarında kullanılabileceğini düşünmekteyiz.

Gelecek çalışmalarda, bulanık mantık tabanlı metinsel anlam çıkarım yaklaşımının analizinin yanında, görüntü

veya video tabanlı anlamsal çıkarım yöntemleri üzerine odaklanılması planlanmaktadır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Kao L., Huang Y., "Social network influential users' sentiment degree measurement based on fuzzy logic," *2016 International Conference on Fuzzy Theory and Its Applications (iFuzzy)*, Taichung, 1-6, (2016).
- [2] Bairagi V., Tapaswi N., "Social network comment classification using fuzzy based classifier technique," *2016 Symposium on Colossal Data Analysis and Networking (CDAN)*, Indore, 1-7, (2016).
- [3] Medina J., Pakhomova K., Ramirez-Poussa E., "Interpreting and analyzing a location-based social network by fuzzy formal contexts," *2017 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI)*, Honolulu, HI, 1-6, (2017).
- [4] Raj E. D., Babu L. D. D., "A model fuzzy inference system for online social network analysis," *2015 International Conference on Computing and Network Communications (CoCoNet)*, Trivandrum, 582-588, (2015).
- [5] Fan T., Liao C., Lin T., "Positional Analysis in Fuzzy Social Networks," *2007 IEEE International Conference on Granular Computing (GRC 2007)*, Fremont, CA, 423-423, (2007).
- [6] Ben Sassi I., Ben Yahia S., Mellouli S., "Fuzzy classification-based emotional context recognition from online social networks messages," *2017 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE)*, Naples, 1-6, (2017).
- [7] Brunelli M., Fedrizzi M., "A Fuzzy Approach to Social Network Analysis," *2009 International Conference on Advances in Social Network Analysis and Mining*, Athens, 225-230, (2009).
- [8] Sheugh L., Alizadeh S. H., "A fuzzy approach for determination trust threshold in recommender systems based on social network," *2015 9th International Conference on e-Commerce in Developing Countries: With focus on e-Business (ECDC)*, Isfahan, 1-5, (2015).
- [9] Es-Haghi M., Bastani S., "Evaluating coordination in emergency response team by using fuzzy logic through social network analysis," *2016 Annual Conference of the North American Fuzzy Information Processing Society (NAFIPS)*, El Paso, TX, 1-6, (2016).
- [10] Dhouioui Z., Tlich H., Toujeni R., Akaichi J., "A fuzzy model for friendship prediction in healthcare social networks," *2016 IEEE/ACM International Conference on Advances in Social Networks Analysis and Mining (ASONAM)*, San Francisco, CA, 1050-1054, (2016).
- [11] Ju B., "An Initial Exploration on Intelligent Contents to Social Network Research Via Fuzzy Based Data Mining," *2012 Third World Congress on Software Engineering*, Wuhan, 151-154, (2012).
- [12] Nair P. S., Sarasamma S. T., "Data Mining Through Fuzzy Social Network Analysis," *NAFIPS 2007 - 2007 Annual Meeting of the North American Fuzzy Information Processing Society*, San Diego, CA, 251-255, (2007).
- [13] Romsaiyud W., Premchaiswadi W., "Applying mining fuzzy sequential patterns technique to predict the leadership in social networks," *2011 Ninth International Conference on ICT and Knowledge Engineering*, Bangkok, 134-137, (2012).
- [14] Luneva E. E., Banokin P. I., Zamyatina V. S., Ivantsov S. V., "Natural language text parsing for social network user sentiment analysis based on fuzzy sets," *2015 International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems (MEACS)*, Tomsk, 1-5, (2015).
- [15] Yeh Y., Lu D., Hung J., "Combining Fuzzy Systems and Social Networking Sites Design to Alarm Clocks Using the Android System," *2012 International Symposium on Computer, Consumer and Control*, Taichung, 28-31, (2012).
- [16] Lesani M., Bagheri S., "Fuzzy Trust Inference in Trust Graphs and its Application in Semantic Web Social Networks," *2006 World Automation Congress*, Budapest, 1-6, (2006).
- [17] Yavanoğlu U., Sağıroğlu Ş., Çolak İ., "Sosyal Ağlarda Bilgi Güvenliği Tehditleri ve Alınması Gereken Önlemler", *Politeknik Dergisi*, 15: 15-27, (2012)



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

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



Balın kurutulması için enerji verimli ve hijyenik yeni bir sistem tasarımı

Design of a new energy efficient and hygienic system for drying honey

Yazar(lar) (Author(s)): Gülşah KARACA¹, Ekin Can DOLGUN², Mustafa AKTAŞ³

ORCID¹: 0000-0002-6219-6016

ORCID²: 0000-0002-9990-3300

ORCID³: 0000-0003-1187-5120

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Karaca G., Dolgun E.C. ve Aktaş M., "Balın kurutulması için enerji verimli ve hijyenik yeni bir sistem tasarımı", *Politeknik Dergisi*, 23(3): 713-719, (2020).

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

DOI: 10.2339/politeknik.526639

Balın Kurutulması İçin Enerji Verimli Ve Hijyenik Yeni Bir Sistem Tasarımı

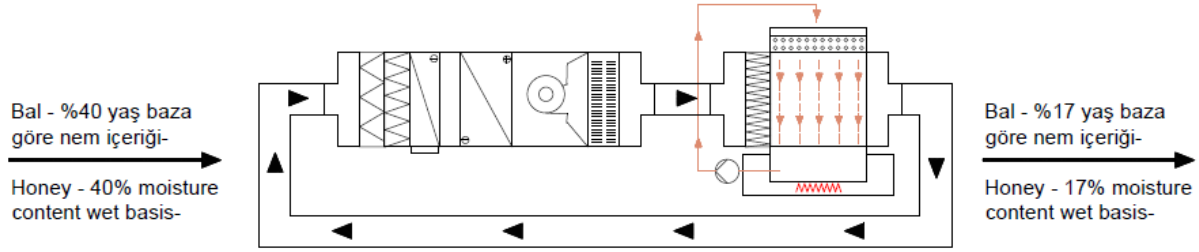
Design of a New Energy Efficient and Hygienic System for Drying Honey

Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Hijyenik sistem koşullarında yeni bir bal kurutma işleminin tasarımı ve geliştirilmesi./Design and development of a novel honey drying process at hygienic system conditions.
- ❖ Kurutma işlemi için ısı ve kütle transferinin analizi./Analysis of heat and mass transfer for drying process.
- ❖ Özgün ve enerji verimli bal kurutucusunun analizi./Analysis of the novel and energy efficient honey dryer.

Grafik Özet (Graphical Abstract)

Balın yüksek enerji ve kurutma verimi ile işlenmesine yönelik yeni bir model geliştirilmiştir./ A novel drying model was developed to produce honey with high energy and drying efficiency.



Şekil. Bal kurutma akış diyagramı / Figure. Flow chart of honey drying

Amaç (Aim)

Yüksek nem içeriğine sahip ham balın ısı pompası destekli hijyenik bir kurutucuda kurutulması teorik olarak incelenmiş, balın yüksek enerji ve kurutma verimi ile kurutulması amaçlanmıştır. / The drying of raw honey which has high moisture content in a heat pump assisted hygienic dryer is theoretically examined, and it was aimed to dry honey with high energy and drying efficiency.

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Hijyenik koşullarda balın düşük enerji maliyetiyle kurutulması için bir tasarım yapılmıştır./A design has been done to dry honey with low energy cost at hygienic conditions.

Özgünlük (Originality)

Yüksek enerji tasarruflu model kullanılarak yeni bir hijyenik kurutma sistemi tasarımı yapılmıştır./A novel hygienic drying system design was made using with high energy saving model.

Bulgular (Findings)

Tasarlanan ısı pompası destekli kurutucu ile ham balın nem içeriğinin %40 'dan %17'ye kadar düşürülmesi teorik olarak incelenmiştir. 1 kilogram balın içerisindeki fazla nemin uzaklaştırılması için gereken süre 1040 saniye (0,29 saat) olarak saptanmıştır./ It is theoretically examined to reduce the moisture content of the raw honey (wet basis) from 40% up to 17% with the designed heat pump assisted dryer. The time required to remove excess moisture in 1 kilogram of honey was determined to be 1040 seconds (0.29 hours).

Sonuç (Conclusion)

Özgün kurutma sistemi ile yüksek enerji ve kurutma verimi, ve ısı pompası performans katsayısı elde edilmiştir. Tasarlanan sistemin ısı ve kütle transferi analizleri yapılmıştır. Bu sistem ile bal kısa sürede ve hijyenik şartlarda kurutulabilir./ High energy and drying efficiency, and performance coefficient of heat pump were obtained with a novel drying system. Heat and mass transfer analysis of the designed system were made. Honey can be dried in a short time and under hygienic conditions with this system.

Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazarları çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The authors of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

Balın Kurutulması için Enerji Verimli ve Hijyenik Yeni Bir Sistem Tasarımı

Araştırma Makalesi / Research Article

Gülşah KARACA^{1*}, Ekin Can DOLGUN², Mustafa AKTAŞ¹

¹Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği, Gazi Üniversitesi, Türkiye

²Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 13.02.2019 ; Kabul/Accepted : 26.07.2019)

ÖZ

Bu çalışmada, yüksek nem içeriğine sahip ham balın ısı pompası destekli hijyenik bir kurutucuda kurutulması teorik olarak incelenmiş, Türk Gıda Kodeksi Bal Tebliği'ne göre ideal üretim ve depolanma koşullarına sahip balın yüksek enerji-kurutma verimi ve düşük enerji tüketimi ile üretilmesi amaçlanmıştır. Ham balın %40 nem içeriğinden %17 (yaş bazda) nem içeriğine kadar kurutulması, enerji tüketimi ve kurutma süresi açısından incelenmiş; 40 °C ve 1 m/s kurutma havası şartlarında 1 kilogram balın içerisindeki fazla nemin uzaklaştırılması için gereken süre 0.29 saat olarak hesaplanmıştır. Enerji-kurutma verimliliği, özgül enerji tüketimi, nem alma hızı ve tüm sistem için ısı pompasının etkinlik katsayısı sırasıyla %27.11, %30.01, 2.64 kWh/kg, 0.96 kg/s ve 2.65 olarak hesaplanmıştır. Analizler sonucunda elde edilen veriler ile sunulan tasarımın enerji tüketimi ve kuruma süresi açısından uygunluğu saptanmış olup, sistem kaliteli bal eldesi için endüstride kullanılabilir bir sistem olarak önerilebilir.

Anahtar Kelimeler: Bal kurutma, kurutucu, ısı pompası, enerji verimliliği.

Design of a New Energy Efficient and Hygienic System for Drying Honey

ABSTRACT

In this study, the drying of raw honey which has high moisture content in a heat pump assisted hygienic dryer is theoretically examined and, it was aimed to produce honey with optimum production and storage conditions according to the Turkish Food Codex Communiqué on Honey, with high energy and drying efficiency and low energy consumption. Drying of raw honey to 17% from 40% moisture content (wet basis) was examined in terms of energy consumption and drying time; the time required for evaporation of excess moisture from 1 kilogram of honey at 40 °C and 1 m/s drying air conditions was calculated as 0.29 hours. Energy-drying efficiency, specific energy consumption, moisture extraction rate and the coefficient of the performance of the whole drying system were calculated as 27.11%, 30.01%, 2.64 kWh/kg, 0.96 kg/h and 2.65, respectively. The presented design is supported by the results of the analyzes in terms of the energy consumption and drying time and therefore, this system has proposed as a system that can be used in the industry for the production of high quality honey.

Keywords: Honey drying, dryer, heat pump, energy efficiency.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Bal, şekerleri, glukoz ve fruktoz (%70-80), su (%10-20) ve vitamin, protein, organik asitler, serbest amino asitler ve mineral tuzlar gibi bileşenleri içeren doğal biyolojik bir üründür [1]. Bal, antibakteriyel, antiviral ve anti-mantar özellikleriyle yaraların iyileşmesi için sağlık alanında [2], kozmetik tedavilerde [3] ve enerji verici, besleyici özellikleriyle gıda sektöründe kullanılmaktadır.

Bal, genelinde bir şeker çözeltisi olduğundan, bu ürünün karakteristik özelliği sebebi ile kristalleşmeye yatkındır. Kristalleşme sırasında, mikrobiyal büyüme ve mayalanma için faydalı bir ortamın yaratılmasına katkıda bulunan bir miktar serbest su salınır. Bu eğilim, balın içerdiği su oranına, şekerlerine ve sıcaklığa bağlı olarak değişebilmektedir. Bu nedenle depolama ömrünün uzatılarak bozulmaların önlenmesi için nem içeriğinin

standartlarda belirtilen değerlerin altında olması gerekmektedir. Türk Gıda Kodeksi Bal Tebliği'ne göre nem içeriği çiçek ve salgı ballarında %20'yi geçmemelidir. Kasolia (1991)'e göre ise balda olması gereken nem içeriği değerleri **Çizelge 1**'de verilmiştir [4]. Nem, depolama sırasında, mayalanma ve granülasyona bağlı lezzeti etkileyen önemli bir faktördür [5]. Maya sayısından bağımsız olarak nem içeriği %20'nin üzerinde olduğunda mayalanma gerçekleşirken [4], %17'nin altında olduğunda mayalanma gerçekleşmediği belirtilmiştir [6,7,8].

Bu kapsamda balın kurutulması için çalışmalar yapılmış olup; mikrodalga enerji ile kurutma, kızılötesi enerji ile kurutma, vakum ve püskürterek kurutma ve ısı pompası sistemi ile kurutma gibi kurutma yöntemleri kullanılarak yapılmış çalışmalara literatürde rastlanmaktadır [9,10,11,12,13].

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta : gulsahkaraca1@gmail.com

Çizelge 1. Balın mayalanma eğiliminin nem içeriği ve maya miktarına bağlılığı (The dependence of the fermentation tendency of honey on the moisture content and the amount of yeast) [4]

Nem içeriği %	Eğilim
17.1'den düşük	Yok
17.1-18.0	Eğer maya sayısı < 1000/gm, Yok
18.1-19.0	Eğer maya sayısı < 10/gm, Yok
19.1-20.0	Eğer maya sayısı < 1/gm, Yok
20.0'den yüksek	Daima eğilimli

319 bal örneğine bağlı olarak çıkarılan bilgiler [4]

Semkiw ve ark. (2008) fazla suyun olgunlaşmamış baldan buharlaştığı koşulları belirlemiş ve işlem dinamiklerini incelemişlerdir. Üç yıllık deney süresinde, 79 olgunlaşmamış bal, 79 susuz bal ve 69 kovan içinde olgunlaşan bal numune örneklerini toplamışlardır. Dehidrasyon için ısı pompası kullanmışlardır. Üreticinin şartnamesine göre nem alma cihazının verimliliği, yaklaşık 200m³/saat hava akımında 0.8 l/saat değerindedir. Nem alma cihazını, ahşaptan yapılmış ve polietilen folyo ile kaplanmış 1.07m³ kapasiteli özel bir odaya yerleştirmişlerdir. Balların başlangıçtaki su içeriği %22.9 iken 36 saatlik bir dehidrasyon işlemi sonrasında, ortalama su içeriği %15.9'a düşmüştür [12].

Alam ve ark. (2014) balın nem içeriğini düşük hata paylarıyla ($\pm 0.24-0.30$) 50°C ve 60°C'de 20 ve 40 dakika bekletme sürelerinde %18.4'e düşürmüşler ve mikrobiyolojik kalitesini incelemişlerdir. Mikrobiyolojik sayılar bakımından en iyi ısı işlem koşullarını, 20 dakika süresince 60°C sıcaklık olarak bulmuşlardır [14].

Gill ve ark. (2015) balın nem içeriğini %17'nin altına düşürmek için bir bal dehidratörü tasarlamışlardır. Bal dehidrasyonu için 30°C ve 40°C ortam sıcaklığında kurutma havası ve 35°C, 40°C ve 45°C'de su kullanarak deneyler yapmışlardır. Balın, 40°C kurutma havası sıcaklığı ve 45°C su sıcaklığına karşılık gelen metrekare başına maksimum kuruma hızını 197.0 g/saat-m², 8-17°C kurutma havası sıcaklığı ve 35°C su sıcaklığında bu değeri minimum (74.8 g/saat-m²) olarak bulmuşlardır [6].

Singh ve ark. (2011) desikant kullanılan bir bal dehidratörü tasarlamış ve test etmiştir. Dehidrasyon, 35°C ve 45°C'de nemden arındırılmış hava veya çevre havası ile yapılmıştır. Ayrıca referans amacıyla bal açık olarak kurutulmuştur. Bir desikant bal kurutucunun, nemi alınmış hava, ortam havası ve 45°C'de açık kurutma durumlarında kullanıldığında maksimum nem çekme oranları sırasıyla 132, 78.7 ve 52 g/saat-m² olarak bulunmuştur [15].

Isı pompasıyla yapılan çalışmalar incelendiğinde, üzüm posasının ısı pompasıyla kurutulduğu küçük ölçekli bir sistemde 1 m/s hava hızında 45°C ve 50°C için ısıtma tesir katsayısını (COP) sırasıyla 3.28 ve 3.10 [16], üzümün kurutulduğu endüstriyel ölçekli bir tesiste COP'yi 2.81 olarak bulmuşlardır [17]. Güneş enerjisi destekli ısı pompalı kurutucuda kırmızı biber kurutulduğunda ise tüm sistemin COP'si 2.1 olarak bulunmuştur [18].

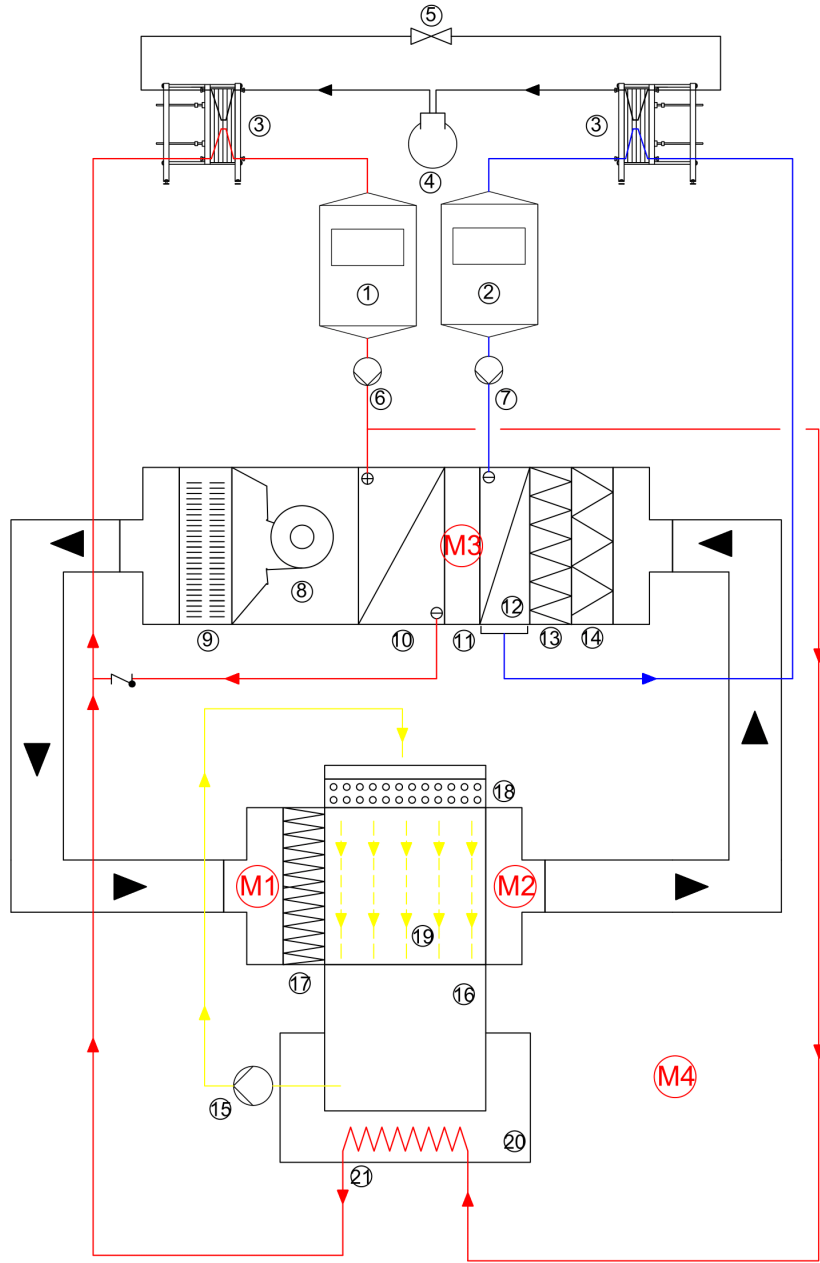
Bu çalışmada incelenen bal %40 nem (yaş bazda) içermektedir. Bu değer %17'nin (yaş bazda) altına

düşürülene kadar kurutma devam ettirilmelidir. Balın kurutulması için yapılan çalışmalar ve sonuçları göz önüne alınarak ısı pompalı kapalı çevrim bir kurutucu tasarlanmıştır. Kurutma şartlarını kolayca kontrol edebilen ısı pompalı kurutucular, ısıya duyarlı malzemelerin işlenmesi için elverişlidir [19,20]. Tasarımda kullanılan ısı pompası ve hava şartlandırma sistemi ile kapalı çevrim hijyenik kurutma, bal kurutucu tasarımı bir yenilik olarak sunulmaktadır. Bu kurutucu tasarımı ile kapalı çevrimde kurutma sağlanmış olup hala yüksek enerji içeriğine sahip atık hava sırasıyla ön filtre (M5 tipi hava filtresi) ve hassas filtre (F9 tipi hava filtresi), soğutma-nem alma, ısıtma serpantini ve en son yüksek verimlilikli hava filtresinden (HEPA filtre) geçirilerek tekrar bal üzerine üflenmektedir. Bu yönleriyle ısı pompalı kurutucu, enerji tasarrufunun yanı sıra hijyenik ve çevreye duyarlı yönüyle de öne çıkmaktadır. Geniş kullanım alanına sahip olan balın kuru madde miktarının artırılması ve kaliteli bal eldesi için balın karakteristik özelliklerine uygun olarak kurutucu tasarlanmıştır.

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

2.1. Kurutma Sistemi Tasarımı (Drying System Design)

Bal kurutma sisteminde ısı pompası yardımıyla üretilen sıcak su, kapalı çevrim kurutma sisteminde havayı ısıtmak için kullanılmaktadır. Kuru ve sıcak hava bal tankını nemli ve soğuk olarak terk eder. Bu nemli hava, çiy noktası sıcaklığı altındaki soğutucu serpantin yüzeyine çarptırılarak nemi alınır ve ardından yoğuşmadan dolayı oluşabilecek bakterileri inaktive etmek için UV lamba üzerinden geçirilir. Kurutma havası tekrar istenilen kurutma sıcaklığına kadar ısıtıldıktan sonra bal tankı girişinde bulunan HEPA filtrelerden geçirilerek bal tankına gönderilir. Balın nem içeriği %17'ye ulaşana kadar çevrim sürdürülür, ardından istenilen nem içeriğine ulaştırılmış bal, ürün depolamaya gönderilir. Havayı tekrar ısıtmak ve neminin uzaklaştırılması için kullanılan ısıtma/soğutma bölmesinde gerekli sıcak ve soğuk akışkan ısı pompası sistemindeki yoğuşturucu ve buharlaştırıcıdan elde edilir. Yoğuşturucuda atılan ısı ile sıcaklığı artırılmış sıcak akışkan ve buharlaştırıcıda çekilen ısı ile sıcaklığı düşürülmüş soğuk akışkan birer sıcak ve soğuk akışkan tankında muhafaza edilerek kurutma havasının şartlandırılması için hazır bekletilir. Bu sayede kurutma işleminin süresinden bağımsız olarak yalnızca kurutma havasının şartlandırılması için gerekli enerjiyi sağlayacak sürede ısı pompası devreye girer ve enerji tüketimi azaltılmış olur. Aynı zamanda bal, bir bal pompası ile bal tankının üzerinde bulunan elekten geçirilerek sirküle edilir, balın sirkülasyonunu kolaylaştırmak amacı ile harici bir ısıtıcı ile bal tankı ısıtılmaktadır. Bal kurutma sisteminin tasarımı **Şekil 1.**'de verilmiştir.



- | | | |
|--------------------|-------------------------|---|
| ① Sıcak su tankı | ⑪ UV Lamba | ▶ Hava hattı |
| ② Soğuk su tankı | ⑫ Nem alma ünitesi | → Sıcak su hattı |
| ③ Plakalı eşanjör | ⑬ F7-F9 Hassas filtre | → Soğuk su hattı |
| ④ Kompresör | ⑭ M5 filtre | → Soğutucu akışkan hattı |
| ⑤ Kısılma vanası | ⑮ Bal pompası | → Bal hattı |
| ⑥ Sıcak su pompası | ⑯ Bal tankı | Ⓜ M1 Kurutma kabini hava giriş şartları |
| ⑦ Soğuk su pompası | ⑰ HEPA filtre | Ⓜ M2 Kurutma kabini hava çıkış şartları |
| ⑧ Fan | ⑱ Süzgeç | Ⓜ M3 Nem alma serpantini çıkış şartları |
| ⑨ Susturucu | ⑲ Kurutma kabini | Ⓜ M4 Çevre havası şartları |
| ⑩ Isıtıcı | ⑳ Harici ısıtıcı bölümü | |
| | ㉑ Harici ısıtıcı | |

Şekil 1. Balın kurutulması için sistem tasarımı (System design for drying honey)

2.2. Kurutma Sisteminin Analizi (Analysis of Drying System)

Bu bölümde balın kurutulması, tasarlanan kurutma sisteminde termodinamik açıdan analiz edilmiş, kullanılan eşitlikler aşağıda verilmiştir.

2.2.1. Kurutma işlemi için gereken toplam enerji ihtiyacı (Total energy requirement for drying process)

Başlangıç anından sistem termal açıdan dengeye ulaşınca kadar kapalı çevrimdeki havanın ısıtılması için gerekli enerji (Q_1);

$$Q_1 = \rho_h V_h c_h \Delta T \quad (1)$$

Havanın özgül ısısı sıcaklığın bir fonksiyonu olarak aşağıdaki eşitlik ile hesaplanabilir;

$$c_h = 1009.26 - 0.0040403T + 0.00061759T^2 - 0.0000004097T^3 \quad (2)$$

Kurutma sisteminin katı elemanlarının istenilen kurutma sıcaklığına kadar ısıtılması için gerekli enerji (Q_2);

$$Q_2 = m_d c_{d@T_{ort}} \Delta T \quad (3)$$

Kurutulacak ürünün istenilen kurutma sıcaklığına kadar ısıtılması için gerekli enerji (Q_3);

$$Q_3 = m_b c_{p,b} \Delta T \quad (4)$$

Üründeki nemin uzaklaştırılması için gerekli enerji (Q_4);

$$Q_4 = m_v h_{fg} \quad (5)$$

Gizli ısı, sıcaklığın bir fonksiyonu olarak aşağıdaki gibi bulunabilir [21];

$$h_{fg} = 2.503 \times 10^6 - 2.386 \times 10^3 T \quad \text{için } 0 \leq T(^{\circ}\text{C}) \leq 65.57 \quad (6)$$

Kurutma sisteminden ortama olan ısı kayıplarını karşılamak için gerekli enerji (Q_5);

$$Q_5 = UA \Delta T \quad (7)$$

Kurutma işlemi için gereken toplam enerji (Q_{TOP});

$$Q_{TOP} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 \quad (8)$$

2.2.2. Kurutma işlemi için gereken süre (Required time for drying)

Türk Gıda Kodeksi 2012/58'ya göre balın depolama koşulları için ideal olarak kabul edilen %17 nem miktarına (yaş bazda) ulaşması için kilogram başına 0.277 kilogram suyun bünyesinden uzaklaştırılması gereklidir. Bu işlem için gerekli süre aşağıda verilen eşitlikler ile hesaplanmıştır.

$$t = \frac{m_v}{\dot{m}_v} \quad (9)$$

$$\dot{m}_v = h_m (C_{bw} - C_{b\infty}) = \frac{h_m}{R_b T} (P_{bw} - P_{b\infty}) \quad (10)$$

$$Sh = 0.037 \chi Re^{4/5} \chi Sc^{1/3} = \frac{h_m L}{D} \quad (11)$$

$$Sc = \frac{\nu}{D} \quad (12)$$

$$Re = \frac{u L}{\nu} \quad (13)$$

2.2.3 Kurutucunun verim tanımları (Efficiency definitions of dryer)

Kurutucunun performansını ve verimini tanımlamak için aşağıdaki parametreler kullanılır.

Tüm sistem için ısıtma tesir katsayısı (COP_{ts}) aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır:

$$COP_{ts} = \frac{\dot{Q}_c}{\dot{\Sigma} W} \quad (14)$$

Isı pompası için ısıtma tesir katsayısı (COP_{hp}) aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır:

$$COP_{hp} = \frac{\dot{Q}_c}{\dot{W}_c} \quad (15)$$

Özgül nem çekme oranı (SMER), buharlaştırılan su miktarının toplam enerji girdisine oranı olarak belirtilmektedir:

$$SMER = \frac{m_v}{\dot{\Sigma} W} \quad (16)$$

Özgül enerji tüketimi (SEC), 1 kg nemi uzaklaştırmak için gereken enerji miktarı olarak belirtilmektedir:

$$SEC = \frac{\dot{\Sigma} W}{m_v} \quad (17)$$

Nem alma hızı (oranı) (MER), birim zamanda buharlaşan su kütlesi olarak tanımlanır:

$$MER = \frac{\text{üründen uzaklaştırılan nem kütlesi } \frac{kg_w}{h}}{\text{kurutma süresi}} \quad (18)$$

Enerji verimi (EE) üründen nemi uzaklaştırmak için tüketilen enerjinin toplam enerji tüketime oranı olarak tanımlanır ve aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır:

$$EE = \frac{m_v h_{fg}}{\dot{\Sigma} W t} \quad (19)$$

Kurutma verimi (DE) ürünü ısıtmak ve üründen nemi uzaklaştırmak için tüketilen enerjinin toplam tüketime oranı olarak tanımlanır ve aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır:

$$DE = \frac{m_v h_{fg} + m_b c_{p,b} (T_{b,o} - T_{b,i})}{\dot{\Sigma} W t} \quad (20)$$

Yapılan analizlerde kullanılan parametreler **Çizelge 2.** 'de verilmiştir.

Çizelge 2. Sistemin termodinamik analizinde kullanılan parametreler (Parameters used in thermodynamic analysis of the system)

Parametre	Değer	Birim
Çevre sıcaklığı, T_{∞}	15	°C
Balın yüzey sıcaklığı, T_w	40	°C
Balın başlangıç nemi	40	%
Balın kurutulduktan sonra nemi	17	%
Kurutma kabine giren havanın bağıl nemi	20	%
Nemli ürün kütlesi	1	kg
Uzaklaştırılacak nem kütlesi	0.277	kg
Kurutma havası hızı, u	1	m/s
Havanın yoğunluğu, ρ_{hava}	1.128	kg/m ³
Alüminyumun yoğunluğu, ρ_{Al}	2700	kg/m ³
Balın özgül ısısı, $c_{p,b}$	3.0514	kJ/kgK
Alüminyumun özgül ısısı, $c_{p,Al}$	0.913	kJ/kgK
Havanın özgül ısısı, $c_{p,hava}$	1.010	kJ/kgK
Suyun buharlaşma gizli ısısı, h_{fg}	2573.6	kJ/kg
Havanın ısı iletim katsayısı, k_{hava}	0.02662	W/mK
Alüminyum ısı iletim katsayısı, k_{Al}	200	W/mK
Havanın 40 °C 'de kinematik viskozitesi, ν_{hava}	17.02e-6	m ² /s
Prandtl sayısı, Pr	0.7255	-
Havanın difüzyon katsayısı, D	27.53e-6	m ² /s
T sıcaklığındaki su buharı doyma basıncı	7.3851	kPa
Su buharı gaz sabiti, R_b	0.4615	kJ/kgK
Buharlaşma sıcaklığı, T_e	-5	°C
Yoğuşma sıcaklığı, T_c	50	°C
Kullanılan soğutucu akışkan	R-410a	-
Kompresör izantropik verimi	80	%

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Bu çalışma ısı pompalı kurutucuda %40 nem içeriğine sahip ham balın, Türk Gıda Kodeksi Bal Tebliği'ne göre ideal olarak kabul edilen %17 nem içeriğine kadar kurutulması teorik olarak incelenmiş, enerji tüketimini azaltmaya yönelik ve hijyenik çerçevede yeni bir

kurutucu tasarımı sunulmuştur. Yapılan hesaplamalar sonucu 1 kilogram balın içerisindeki fazla nemin uzaklaştırılması için gereken süre 1040 saniye (0,29 saat) olarak hesaplanmış, analiz sonuçları **Çizelge 3.**'de verilmiştir. Kurutma süresinin kısa olmasına etki eden en önemli unsurlardan birisi de düşük bağıl nemde (%20) kurutma odasına üflenen havadır.

Çizelge 3. Analitik sonuçlar (Analytical results)

Parametre	Değer	Birim
Reynolds Sayısı, Re	29377	-
Nusselt Sayısı, Nu	78.402	-
İç havanın ısı taşınım katsayısı, $h_{iç}$	4.695	W/m ² K
Schmidt Sayısı, Sc	0.6182	-
Sherwood Sayısı, Sh	118.302	-
Kütle transfer katsayısı, h_m	0.0065137	m ² /s
Balın içerisinden buharlaşan su debisi, m_b	0.0002664	kg/s
Kurutma zamanı, t	1040	s
Kurutma için toplam enerji ihtiyacı, Q_{TOP}	2629.2	kJ
Kurutma verimi, DE	30.01	%
Enerji verimi, EE	27.11	%
Özgül nem çekme oranı, $SMER$	379.278	g/kWh
Özgül enerji tüketimi, SEC	2.636	kWh/kg
Nem alma hızı, MER	0.959	kg/h
Isı pompası etkinlik katsayısı, COP_{hp}	3.48	-
Tüm sistemin ısı pompası etkinlik katsayısı, COP_{ts}	2.65	-
Buharlaştırıcıda çekilen ısı (Q_e)	130.394	kJ/kg
Yoğuşturucuda atılan ısı (Q_c)	183.041	kJ/kg
Kompresörde çekilen elektrik enerjisi	52.647	kJ/kg

Sonuç olarak bu çalışmada; yüksek enerji-kurutma verimi, ısı pompası etkinlik katsayısı değeri sunan ve

aynı zamanda kısa sürede balı kurutabilen bir sistem tasarlanmıştır.

İklimlendirme santralinin havanın şartlandırılması için hem sıcak hem de soğuk akışkan ihtiyacı bulunmaktadır. Isı pompası ile tek bir çevrimde bu sağlanmıştır. Sistemde sıcak ve soğuk akışkanın tanklarda depolanarak gerekli enerji ihtiyacının tüm işlemin süresi düşünüldüğünde daha kısa zamanda hazırlanarak muhafaza edilmesi sağlanmıştır. İleriye dönük yapılacak çalışmalarda havanın ısıtılması için enerji olarak güneş kaynağını kullanan kolektörler veya elektrik-ısı ihtiyacını da sağlayacak fotovoltaik-termal PV/T güneş enerjisi sistemi ile gerekli ihtiyaç karşılanabilir. Soğuk akışkan ihtiyacı da kuru soğutucular gibi çevre havasından daha çok faydalanan sistemler ile sağlanabilir. Yalnız sıcak ve soğuk akışkan için farklı sistemlerin tercih edilmesi ile yer ihtiyacı, hijyen unsuru ve enerji ihtiyacı tekrar analiz edilmelidir.

SİMGE VE KISALTMALAR (NOMENCLATURE)

$c_{p,b}$	Balın özgül ısısı (kJ/kg.K)
C_{bw}	Suyun kütleli yoğunluğu (kg/m ³)
$C_{b\infty}$	Ortam havasının kütleli yoğunluğu (kg/m ³)
D	Havanın difüzyon katsayısı (m ² /s)
h_m	Kütle transfer katsayısı (m ² /s)
L	Karakteristik uzunluk (m)
m_v	Üründen uzaklaştırılan su kütlesi (kg)
\dot{m}_v	Birim yüzeyden birim zamanda geçen kütle miktarı (kg/s.m ²)
m_b	Balın kütlesi (kg)
P_{bw}	Bal içerisindeki suyun doyma basıncı (kPa)
$P_{b\infty}$	Ortam havasındaki su buharının kısmi basıncı (kPa)
Q_c	Yoğuşturucudan atılan ısı (kJ)
R_b	Su buharı gaz sabiti (kJ/kg.K)
Re	Reynolds sayısı
Sc	Schmidt sayısı
Sh	Sherwood sayısı
T	Sıcaklık (°C)
$T_{b,o}$	Bal çıkış sıcaklığı (°C)
$T_{b,i}$	Bal giriş sıcaklığı (°C)
t	Zaman (s)
u	Kurutma havası hızı (m/s)
ν	Momentum katsayısı (m ² /s)
v	Kinematik viskozite (m ² /s)
V_h	Havanın hacmi (m ³)

W	Tüm sistemde tüketilen toplam enerji (W)
W_c	Isı pompasının kompresörünün tükettiği enerji (W)
ρ_h	Havanın yoğunluğu (kg/m ³)

Alt indisler

hp	Isı pompası
ts	Tüm sistem
w	Su

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Ouchemoukh, S., Louaileche, H. and Schweitzer, P., "Physicochemical characteristics and pollen spectrum of some Algerian honeys", *Food Control*, 18 : 52–58, (2007).
- [2] Kumar, K.P.S. Bhowmik, D., Biswajit, C., and Chandira, M.R., "Medicinal uses and health benefits of Honey: An Overview", *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 2(1): 385-395, (2010).
- [3] Ediriweera, E. R. and Premarathna N.Y., "Medicinal and cosmetic uses of Bee's Honey - A review", *An International Quarterly Journal of Research in Ayurveda*, 33(2): 178-182, (2012.)
- [4] Kasolia, D.J., "Effects of Processing Conditions and Storage on Honey Quality", *Master Thesis*, Nairobi University, (1991).
- [5] Singh, N. and Bath P.K., "Quality evaluation of different types of Indian honey", *Food Chemistry*, 58(1-2):129-133, (1997).
- [6] Gill, R.S., Hans, V.S., Singh, S., Singh, P.P. and Dhaliwal S.S., "A small scale honey dehydrator", *J Food Sci Technol.*, 52(10):6695–6702, (2015).
- [7] Wakhle, D.M., "Beekeeping Technology - Production, Characteristics and Uses of honey and other products", *In Perspectives in Indian Apiculture* (Ed. R.C. Mishra, Agro- Botanica, Bikaner) pp.134-139, (1997).
- [8] Sanz S., Gradillas G., Jimeno F., Perez C. and Juan, T., "Fermentation Problem in Spanish North-Coast Honey", *Journal of Food Protection*, 58(5):515-518, (1995).
- [9] Hebbar, H.U., Nandini, K.E., Lakshmi, M.C. and Subramanian, R., "Microwave and Infrared Heat Processing of Honey and Its Quality", *Food Science and Technology Research*, 9(1):49–53, (2003).
- [10] Subramanian, R., Umesh Hebbar H. and Rastogi, N.K., "Processing of Honey: A Review", *International Journal of Food Properties*, 10: 127–143, (2007).
- [11] Cui, Z-W., Sun L-J., Chen, W. and Sun D-W., "Preparation of dry honey by microwave–vacuum drying", *Journal of Food Engineering*, 84(4): 582–590, (2008). DOI: 10. 1016/j.jfoodeng.2007.06.027
- [12] Semkiw, P., Skowronek, W. and Skubida, P., "Changes in Water Content of Honey During Ripening Under Controlled Condition", *Journal of Apicultural Science*, 52 (1): 57-63, (2008).
- [13] Nurhadi, B., Andoyo, R., Indiarito, M. and Indiarito, R., "Study the properties of honey powder produced from spray drying and vacuum drying method", *International Food Research Journal*, 19 (3): 907-912, (2012).
- [14] Alam, Md.S., Sharma, D.K., Sehgal, V. K. Arora, M. and Bhatia S., "Development and evaluation of low cost

- honey heating-cum-filtration system”, *Journal of Food Science and Technology*, 51(11): 3476–3481, (2014).
- [15] Singh, S., Gill, R.S. and Singh P.P., “Desiccant honey dehydrator”, *International Journal of Ambient Energy*, 32(2): 62-69, (2011).
- [16] Aktaş, M., Taşeri, L., Şevik, S., Gülcü, M., Uysal Seçkin, G. and Dolgun E.C., “Heat pump drying of grape pomace: Performance and product quality analysis”, *Drying Technology*, (2019).
- [17] Abuşka, M. ve Doğan, H. “Endüstriyel Tip Isı Pompalı Kurutucuda Çekirdeksiz Üzümün Kurutulması”, *Politeknik Dergisi*, 13 (4): 271-279, (2010).
- [18] Aktaş, M. “Güneş Enerjisi ve Isı Pompası Destekli Bir Kurutucuda Kırmızıbiber Kurutulmasının Deneysel İncelenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 13(1):1-6, (2010).
- [19] Raghavan, G.S. and Valerie, O., “Drying of agroproducts and grains”, *Proceeding of IWSID 2004*, Mumbai, India, (2004).
- [20] Ünlü G., Boran K., Aktaş M., ve Khanları A., “İnfrared Enerjili - Isı Pompalı Plc Kontrollü Bir Kurutucuda Kabak Çekirdeği Kurutulması”, *Politeknik Dergisi*, 21(3): 519-525, (2018).
- [21] Aghbashlo, M., Mobli, H., Rafiee, S. and Madadlou, A. “Energy and exergy analyses of the spray drying process of fish oil microencapsulation”, *Biosystems Engineering*, 111(2): 229–241, (2012).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

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



Estimation of the COV_{IMEP} variation in a HCCI engine

Bir HCCI motorda COV_{IMEP} değişiminin tahmini

Yazar(lar) (Author(s)): Seyfi POLAT¹, Hamit SOLMAZ², Alper CALAM³, Emre YILMAZ⁴

ORCID¹: 0000-0002-7196-3053

ORCID²: 0000-0003-0689-6824

ORCID³: 0000-0003-4125-2127

ORCID⁴: 0000-0002-5653-2079

Bu makaleye řu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Polat S., Solmaz H., Calam A. ve Yılmaz E., "Estimation of the COV_{IMEP} variation in a HCCI engine", *Politeknik Dergisi*, 23(3): 721-727, (2020).

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

DOI: 10.2339/politeknik.567865

Estimation of the COV_{IMEP} Variation in a HCCI Engine

Highlights

- ❖ The variation of the COV_{IMEP} was tried to be predicted by using the ANN method
- ❖ Experimental data obtained for different boosted pressure and lambda values were used as input data
- ❖ The best performance was obtained at 37th iteration
- ❖ Total correlation factor was found as 0.97763

Graphical Abstract

In this study, variation of the COV_{IMEP} was tried to be predicted by using the artificial neural network method for 4-stroke, 4-cylinder, direct injection and supercharged HCCI engine experimental data obtained by using n-heptane fuel at 60 °C intake air temperature, 1000 rpm engine speed at different boosted pressure. As a result of the study, it was seen that the stored data and the estimated COV_{IMEP} data were compatible.

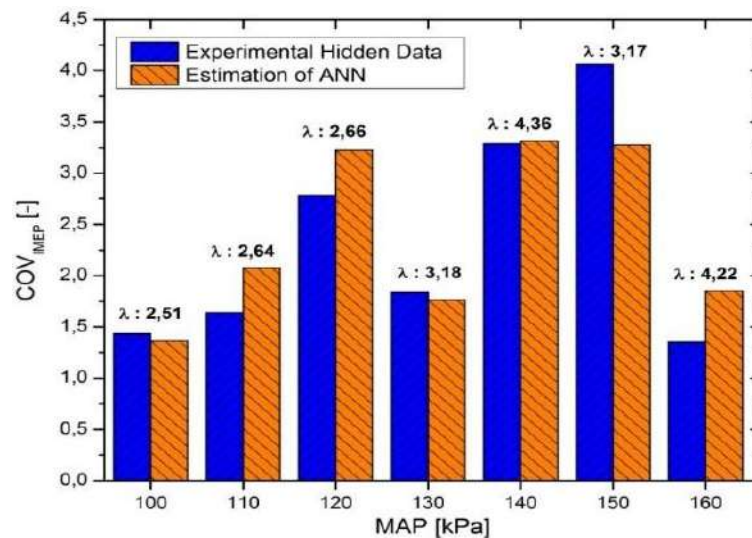


Figure. Comparison of ANN results with experimental data

Aim

COV_{IMEP}, which is an indicator of unstable operation in internal combustion engines, was estimated by ANN method.

Design & Methodology

The COV_{IMEP} estimation was performed with MATLAB ANN Toolbox using the experimental data obtained for seven different boosted pressure and different lambda values of HCCI engine.

Originality

COV_{IMEP} was used as target data 1000 iterations, 3 layers and 5 neurons were used in network structure and teaching, accuracy and testing procedures were conducted.

Findings

The best performance was obtained at 37th iteration with an average quadratic error of 0.0013026. Total correlation factor was found as 0.97763.

Conclusion

It is seen that the stored data and the estimated COV_{IMEP} data are in harmony.

Declaration of Ethical Standards

The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

Estimation of the COV_{IMEP} Variation in a HCCI Engine

Araştırma Makalesi / Research Article

Seyfi POLAT^{1*}, Hamit SOLMAZ², Alper CALAM³, Emre YILMAZ⁴

¹Hitit University, Faculty of Engineering of Mechatronics Engineering, Çorum, Turkey

²Gazi University, Faculty of Technology of Automotive Engineering, Ankara, Turkey

³Gazi University, Technical Science Vocational High School of Machine and Metal Technology, Ankara, Turkey

⁴Hakkari University, Faculty of Engineering of Mechanical Engineering, Hakkari, Turkey

(Geliş/Received : 20.05.2019 ; Kabul/Accepted : 27.07.2019)

ABSTRACT

In this study, variation of the COV_{IMEP} was tried to be predicted by using the artificial neural network method for 4-stroke, 4-cylinder, direct injection and supercharged HCCI engine experimental data obtained by using n-heptane fuel at 60 °C intake air temperature, 1000 rpm engine speed at different inlet air intake pressure. Intake air inlet pressure and lambda were used as input data in artificial neural network model. The COV_{IMEP} value was used as the target. Three layers and five neurons were used to construct the network using the Levenberg-Marquardt algorithm. Correlation between targets and outputs for teaching, accuracy and testing were obtained as 0.97989, 0.9504 and 0.91644, respectively. Total correlation factor was found as 0.96983. As a result of the study, it was seen that the stored data and the estimated COV_{IMEP} data were compatible.

Keywords: HCCI engine, low temperature combustion, artificial neural network.

Bir HCCI Motorda COV_{IMEP} Değişiminin Tahmini

ÖZ

Bu çalışmada, 4 zamanlı, 4 silindirli, direkt enjeksiyonlu ve süperşarjlı HCCI motorunda n-heptan yakıtı kullanılarak 60 °C giriş sıcaklığında, 1000 rpm motor hızında, farklı emme havası giriş basınçlarında elde edilen deneysel sonuçlar kullanılarak yapay sinir ağı metodu kullanılarak COV_{IMEP} değişimi tahmin edilmeye çalışılmıştır. Yapay sinir ağı modelinde giriş verisi olarak emme havası giriş basıncı ve lambda kullanılmıştır. COV_{IMEP} değeri hedef olarak belirlenmiştir. Üç katman ve beş nöron kullanılarak oluşturulan ağ yapısında Levenberg-Marquardt algoritması ile öğretim işlemi yapılmıştır. Öğretim, doğruluk ve test içi hedefler ile çıkışlar arasındaki korelasyon faktörü sırası ile 0.97989, 0.9504 ve 0.91644 olarak elde edilmiştir. Toplam korelasyon faktörü ise 0.96983 olarak bulunmuştur. Yapılan çalışma sonucunda, saklanan veriler ile tahmin edilen COV_{IMEP} verilerinin uyum içerisinde olduğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler: HCCI motoru, düşük sıcaklık yanması, yapay sinir ağı.

1. INTRODUCTION

Homogeneous charged compression ignition (HCCI) engines have advantages such as high thermal efficiency, very low NOx and PM emissions and low heat loss compared to conventional spark ignition (SI) and compression ignition (CI) engines. In HCCI engines, the air / fuel mixture prepared outside the cylinder is almost homogeneously taken into the cylinder and compressed. Combustion of the air / fuel mixture starts at the same time in all regions of the cylinder when the temperature reaches the ignition temperature. Since HCCI engines can operate in leaner homogeneous mixtures, NOx and PM emissions are simultaneously reduced as regional rich mixtures are not produced. However, the simultaneous combustion of the mixture in the whole cylinder causes a high pressure rise rate especially at high engine loads and this causes knocking. At low engine loads, misfiring problems occur due to the extremely lean mixture.

HCCI engines cannot be used commercially yet because of these problems.

Researchers have tried to resolve these problems via increasing the intake air inlet temperature, increasing intake air inlet pressure, changing the compression ratio, changing valve timing, using exhaust gas recycle etc. Furthermore, since the physical and chemical features of the fuels used in HCCI engines affect the combustion stages directly, researchers also have conducted detailed studies by using fuels having different physical and chemical properties and tried to extend operation range of the HCCI engine [1-9].

One of the most important parameters used in HCCI engines for detecting misfire zones is COV_{IMEP} (coefficient of variation of indicated mean effective pressure) which expresses cycle to cycle variations in IMEP. Since the HCCI combustion starts with self-ignition in the cylinder, the combustion start angle cannot be controlled directly. The variations in instantaneous inlet air temperature, the remaining amount of exhaust gas in the cylinder and the temperature, cylinder wall and piston top temperature reveal a cycle to cycle variation in

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

cylinder pressure and IMEP. Variance differs rapidly, especially HCCI operation at misfiring regions of the engine. The variation in COV_{IMEP} can be examined to provide a more appropriate operating map for the misfire zone and to prevent the engine from running in these areas.

Experimental studies for HCCI engines are quite costly. Since the operation of the engine during the experiments is not completely stable, measurements cannot be taken at any desired range. Artificial neural networks are widely used for more precise evaluation of the data obtained from the tests. In addition, the software algorithm developed for engine control by determining engine operation range must determine the engine operation is progressing into the misfiring zone and intervene the engine before entering misfire zone. It is thought that artificial neural networks can be used for the software algorithm to predict the misfire zone in advance. Solution methods based on only algorithm and mathematical approach are insufficient to solve complex problems. Therefore, artificial neural networks have been developed for use in solving complex problems [10]. Artificial Neural Networks is a parallel and distributed processor based on the human brain operating principle that simulates of the simple nervous system. Learning in artificial neural networks is accomplished by calculating the weights of synaptic connections between cells to achieve the desired target [11].

Ismail et al. developed an artificial neural network (ANN) model for light diesel engine using blends of conventional diesel and biodiesel fuels. In the study nine different engine output parameters such as carbon monoxide (CO), carbon dioxide (CO₂), nitrogen monoxide (NO), unburned hydrocarbon (UHC), maximum pressure (P_{max}), location of the maximum pressure (CAP_{max}), maximum heat release rate (HRR_{max}) and cumulative heat release rate were predicted in ANN model, engine speed, engine output torque, fuel mass flow rate and concentration rate of biodiesel in fuel blend were used as input parameters. In the study, it was found that the results obtained with the ANN method were compatible with the experimental data [12].

Rezai et al. have developed a model for the estimation of performance parameters in an HCCI engine by using artificial neural networks. In the study, indicated mean effective pressure (IMEP), thermal efficiency, in-cylinder pressure, cumulative heat release, nitrogen oxide (NO_x), CO and total hydrocarbon (THC) were estimated. In order to estimate these seven different engine parameters, two separate ANN models, radial simple function (RBF) and feed forward (FF) were used. According to the results of the study, the performance parameters of the butanol and ethanol-fuelled HCCI engine were estimated with an error less than 4% in both models (RBF and FF). Since a lower number of neurons were used in the FF model, it was stated that a simpler

network structure was obtained, but twice the learning time was required compared to the RBF model [13].

In this study, COV_{IMEP} variation was estimated with artificial neural network method by using the experimental data obtained at different intake air inlet pressures at 1000 rpm engine speed using n-heptane fuel in a 4-stroke, four-cylinder, direct injection and supercharged HCCI engine.

2. MATERIAL and METHOD

2.1. Experimental Setup

In the present study, 2.0 liter, 4 cylinder, four stroke, direct injection GM Ecotec gasoline engine was modified to be operated in HCCI mode. GM Ecotec gasoline engine has a compression ratio of 9.2 and provides 270 kW output power at engine speed of 6000 rpm. An external Eaton M62 model supercharger was used to increase the pressure of the air entering the cylinder, and this supercharger was driven by a 20 HP electric motor. An external fuel pump driven by an electric motor was used for the direct injection system. An air heater was fitted between the throttle body and the intake manifold to increase the intake air temperature. Engine load and speed were controlled by an AC dynamometer of 460 HP. A schematic view of the experimental setup is given in Figure 1.

HCCI engine was controlled with an interface and algorithm that was developed using dSPACE MicroAutoBox and RapidPro control modules. Instantaneous in-cylinder pressure data and crankshaft angle are recorded to the computer via the combustion analyzer device with 1 degree crank angle precision. In order to increase the accuracy of calculation in-cylinder pressure data of 100 consecutive cycles were recorded for each test point. The IMEP and COV_{IMEP} values for each test point were calculated by using the in-cylinder pressure data obtained from experiments.

By examining the differences between a numbers of consecutive cycles, it is determined whether the engine is running regularly or not. The performance stability of the engine can also be determined by examining the change of IMEP according to cyclical variations. The indicated mean effective pressure variance coefficient (COV_{IMEP} Coefficient of Variation) is widely used in the expression of cyclical variations of the internal combustion engines. In the literature, it was desired that the value of the coefficient of variance should not exceed 10% for the engine to work in a stable manner. This value was considered to be a critical value for HCCI combustion [4]. Variance coefficient in indicated mean effective pressure can be calculated by following equations;

$$COV_{imep} = \frac{\sigma_{imep}}{\bar{X}} \times 100 \quad (1)$$

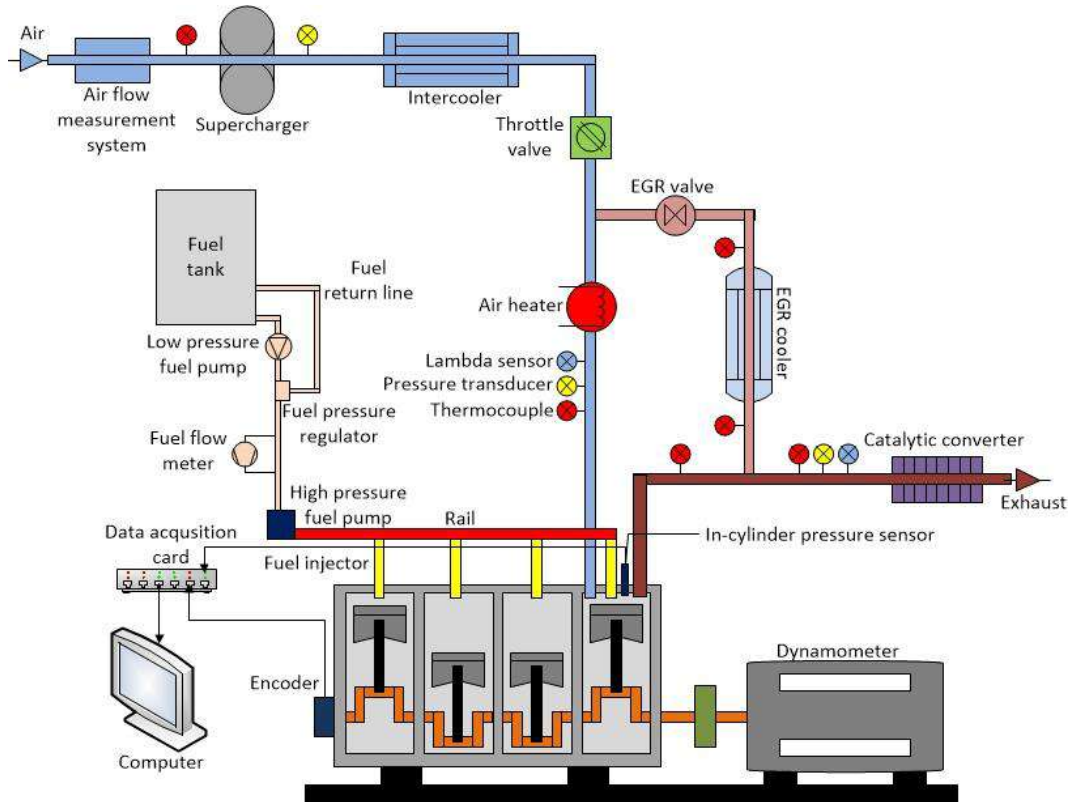


Figure 1. Schematic view of the experimental test setup

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n_{\text{cycle}}} \quad (2)$$

$$\sigma_{imep} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n_{\text{cycle}}}} \quad (3)$$

Where, σ_{imep} , \bar{X} , X_i and n refers to standard deviation of IMEP values of 100 cycles, average IMEP of the 100 cycle, IMEP values of each cycle and cycle number respectively. In the present study experiments were conducted at engine speed of 1000 rpm, injection pressure of 100 bar, intake air temperature of 60 °C, seven different intake air pressure of 100-110-120-130-140-150 ve 160 kPa with n-heptane which is a reference fuel.

2.2. Artificial Neural Network Method

There are many learning methods used in artificial neural networks. One of these methods is back propagation. Back propagation learning is one of the algorithms that used in multi-layer network. For the input data sent to the network, the output produced by the network is compared with the target. The difference between these two values gives the error value. The error found is distributed to the weight values of the network in the next iteration and it is aimed to decrease the error value at the end of the

process [14]. Figure 2 shows the network structure created. Intake air inlet pressure and lambda were used as input data in artificial neural network model. The COV_{IMEP} value was used as the target.

Levenberg-Marquardt algorithm, which is derived from Newton's algorithms, performs parameter update processes with error vector and Jacobian matrix created for all inputs. The Levenberg-Marquardt algorithm uses system resources (memory, etc.) more than other algorithms. However, the training of the network takes place in a shorter time. Training ends when generalization stops healing [15-16]. In this study, Levenberg-Marquardt algorithm was used to teach experimental data to the ANN.

The COV_{IMEP} estimation was performed with MATLAB ANN Toolbox using the experimental data obtained for seven different intake air inlet pressure and different lambda values of HCCI engine. Experimental parameters and data were shown in Table 1. In order to test the accuracy of the artificial neural network model, one of the test data for each intake air pressures were hidden.

Figure 3 shows the variation of COV_{IMEP}, which is calculated using the data obtained from the experiments, depending on the lambda and the intake air pressure.

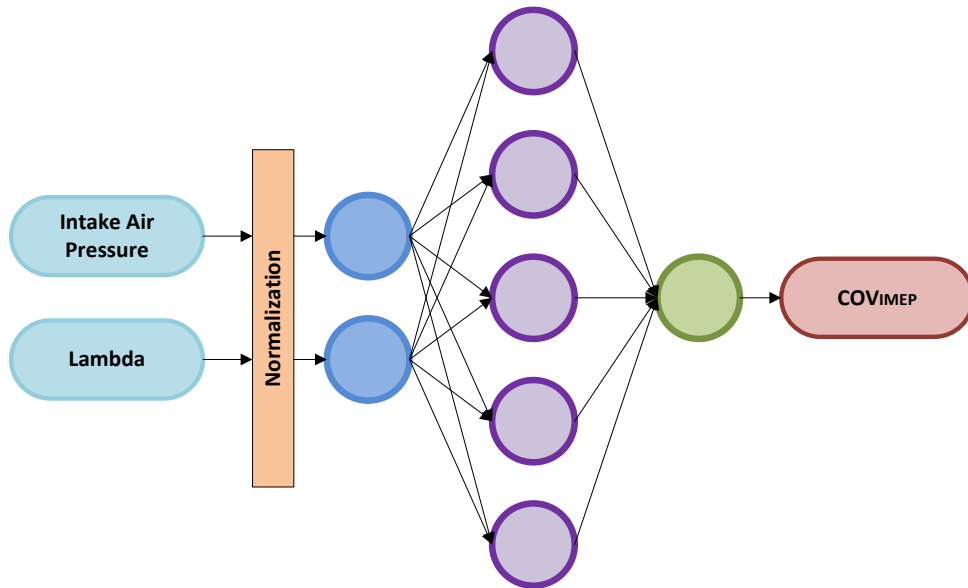


Figure 2. Structure of the artificial neural network

Table 1. Experimental data

Teaching data		Hidden data
Intake air pressure [kPa]	Lambda [-]	Lambda [-]
100	1.91 - 2.03 - 2.20 - 2.33 - 2.65 - 2.80	2.52
110	2.33 - 2.45 - 2.81 - 2.99 - 3.21 - 3.45	2.64
120	2.57 - 2.84 - 3.05 - 3.28 - 3.49 - 3.71 - 3.92	2.67
130	2.76 - 3.01 - 3.42 - 3.68 - 3.94 - 4.14 - 4.27	3.19
140	2.89 - 3.10 - 3.36 - 3.56 - 3.83 - 4.10 - 4.52	4.37
150	2.97 - 3.37 - 3.67 - 3.92 - 4.16 - 4.47 - 4.78 - 5.10 - 5.31	3.17
160	3.04 - 3.22 - 3.43 - 3.67 - 3.97 - 4.51 - 4.82 - 5.21 - 5.53 - 5.88	4.23

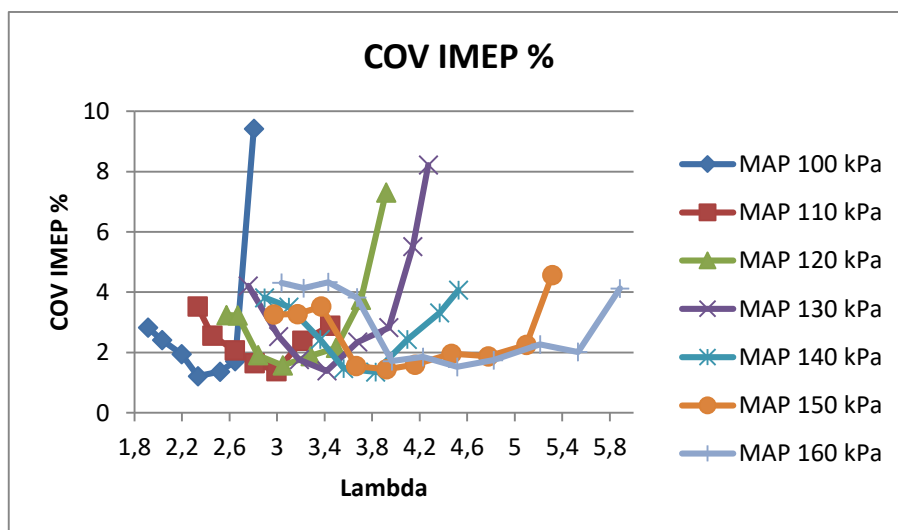


Figure 3. COV_{IMEP} variation depending on lambda and intake air pressure

3. RESULTS AND DISCUSSION

In the present study, prediction of COV_{IMEP} variation due to inlet air pressure and lambda in a HCCI engine was conducted via ANN model using Levenberg-Marquardt teaching algorithm. Intake air pressure and lambda were used as input data and COV_{IMEP} was used as target data. The weights in the ANN were calculated using MATLAB ANN Toolbox for teaching, accuracy and test processes.

In this study, 52 of 59 of the values were taught to the network and 7 of them were stored to test the accuracy. In Figure 4 (a) upper graph shows the performance of neural networks due to the mean square error for teaching, accuracy and testing. A total of 1000 iterations were performed and the best performance was achieved with an average of 0.0013026 quadratic error in the 37th iteration.

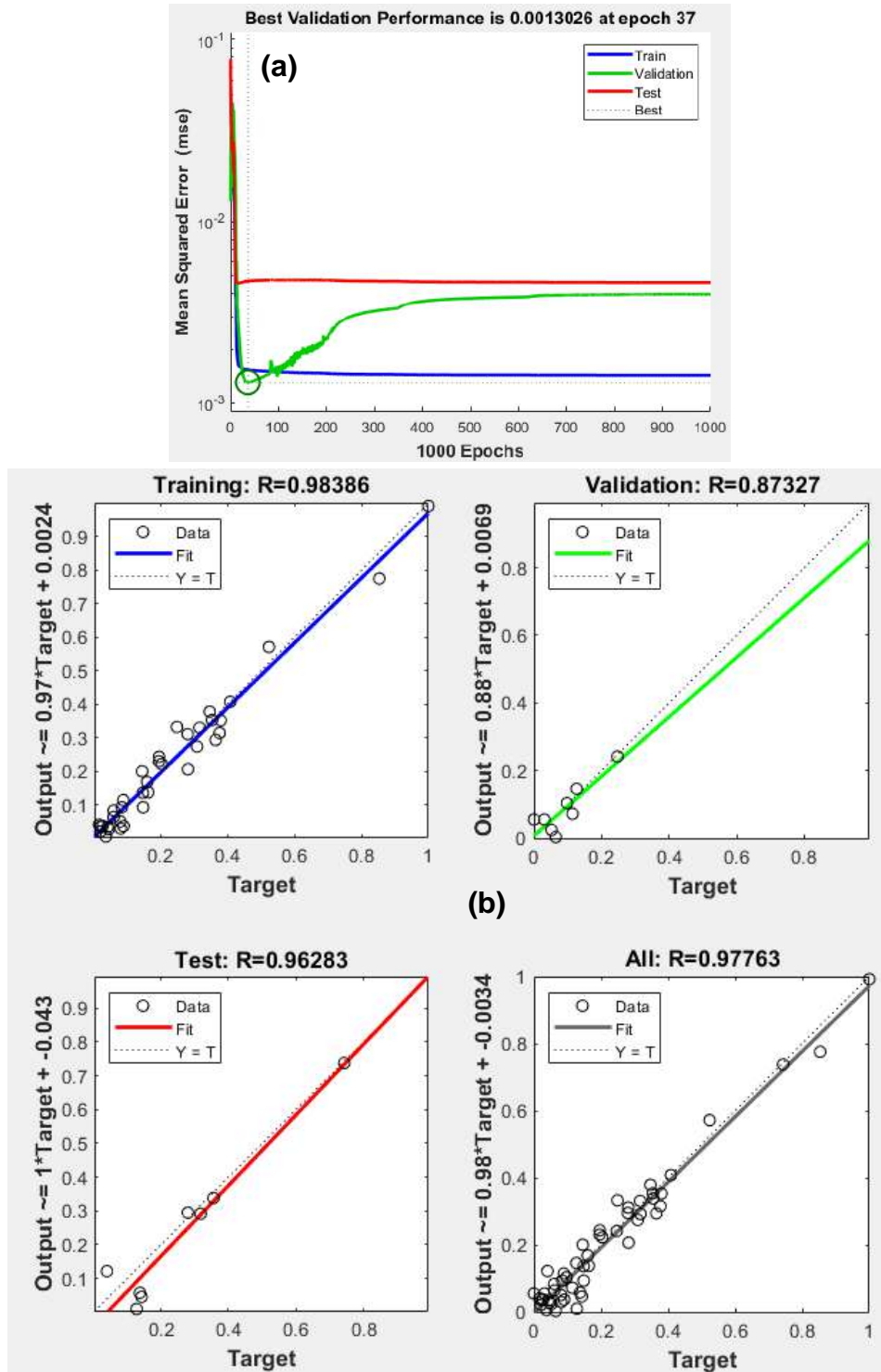


Figure 4. ANN performance due to mean quadratic error for teaching, accuracy and testing and correlation factors for teaching, accuracy and testing

Figure 4 (b) shows the regression analysis between the target values for the teaching, accuracy and testing and the artificial neural network output values. Correlation between targets and outputs for teaching, accuracy and testing was obtained as 0.98386, 0.87327 and 0.96283, respectively. Total correlation factor was found as 0.97763. It is also seen on Figure 4 that the accuracy of the ANN model applied in this study is high enough.

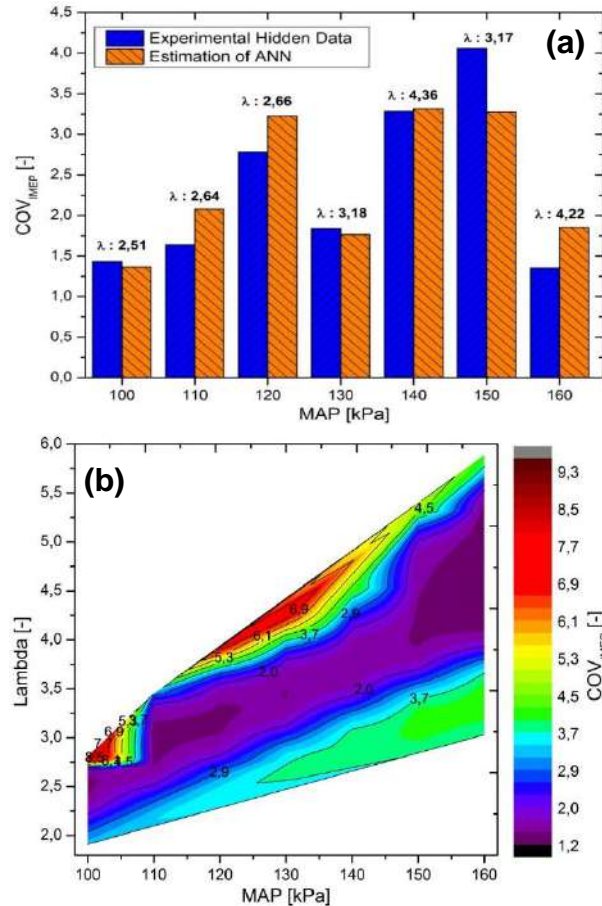


Figure 5. a) Comparison of ANN results with experimental data b) COVIMEP variations depending on lambda and intake air pressure with ANN

Figure 5 (a) shows the experimental COVIMEP data, which is not taught to the network of artificial neural networks, and the comparison with the results of predictions of ANN model at different intake air inlet pressures and different lambda values determined by the model. As a result of the comparison, it was seen that the hidden experimental data and the estimated COVIMEP data were compatible.

Figure 5 (b) shows the ANN results of COVIMEP variations depending on lambda and intake air pressure. The COVIMEP map was obtained the lambda values were changed to 0.01 at the different intake air pressures (100 kPa to 160 kPa) after the accuracy of the ANN model was tested. In the development of HCCI engines, it is very important to determine the limits of knock and misfire. The COVIMEP value exceeds 4 is one of the most important indicators of the operation of the HCCI engine in the knock or misfire zone. Thus, it is possible

to estimate the knock and misfiring zones of the HCCI engine without experimenting using the developed ANN model.

6. CONCLUSION

In this study, by using the experimental data obtained at different intake air inlet pressures and 1000 rpm engine speed using n-heptane fuel in a 4-stroke, four-cylinder, direct injection and supercharged HCCI engine, COVIMEP values were estimated by using artificial neural network method. Experimental data obtained for seven different intake air pressure (from 100 kPa to 160 kPa with three intervals of 10 kPa) and different lambda values were used as input data. COVIMEP was used as target data 1000 iterations, 3 layers and 5 neurons were used in network structure and teaching, accuracy and testing procedures were conducted. The best performance was obtained at 37th iteration with an average quadratic error of 0.0013026. Total correlation factor was found as 0.97763. As a result of the study, it is seen that the stored data and the estimated COVIMEP data are in harmony.

REFERENCES

- [1] Polat S., Özdilli Ö. and Çizmeçi H., "An estimation of in-cylinder pressure based on lambda and engine speed in hcci engine using artificial neural networks", *Fresenius Environmental Bulletin*, 28(4A): 3568-3576, (2019).
- [2] Koten H., Yilmaz M. and Gul M.Z., "Effects of the injection parameters and compression ratio on the emissions of a heavy-duty diesel engine", *International Journal of Vehicle Design*, 59(2/3): 147-163, (2012).
- [3] Zhao H., "HCCI and CAI engines for the automotive industry", *Woodhead Publishing Ltd.*, Cambridge England, (2007).
- [4] Heywood J.B., "Internal combustion engine Fundamentals", *McGraw-Hill*, New York, (1988).
- [5] Hasan M.M., Rahman M.M. and Kadirgama K., "A review on homogeneous charge compression ignition engine performance using biodiesel-diesel blend as a fuel", *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*, 11: 2199-2211, (2015).
- [6] Hairuddin A.A., Wandel A.P. and Yusaf, T., "An introduction to a homogeneous charge compression ignition engine", *Journal of Mechanical Engineering and Sciences*, 7: 1042-1052, (2014).
- [7] Baumgarter C., "Mixture formation in internal combustion engines" *Springer, Heat and Mass transfer series*, 253-286, (2006).
- [8] Uyumaz A., "Investigation of the effects of valve lift in a homogenous charged compression ignition gasoline engine on combustion and performance", *Ph. D. Thesis, Gazi University*, 3-12, (2014).
- [9] Polat S., "An investigation of the effects of operation parameters on combustion in a HCCI engine", *Ph. D. Thesis, Gazi University*, 4-15, (2015).
- [10] Khandelwal M. and Singh T.N., "Prediction of blast induced ground vibrations and frequency in opencast

- mine: A neural network approach”, *Journal of Sound and Vibration*, 289(4-5): 711-725, (2006).
- [11] Luger G.F., “Artificial intelligence: structures and strategies for complex problem solving”, *4th edition*, *Addison-Wesley*, (2002).
- [12] Ismail H.M., Ng H.K., Queck C.W. and Gan S., “Artificial neural networks modelling of engine-out responses for a light-duty diesel engine fuelled with biodiesel blends”, *Applied Energy*, 92: 769-777, (2012).
- [13] Rezaei J., Shahbakhti M., Bahri B. and Aziz A.A., “Performance prediction of HCCI engines with oxygenated fuels using artificial neural networks”, *Applied Energy*, 138: 460-473, (2015).
- [14] Nabiye V.V., “Yapay zeka”, *Seçkin Yayıncılık*, Ankara, 598, (2016).
- [15] Marquardt D., “An algorithm for least-squares estimation of nonlinear parameters”, *SIAM Journal on Applied Mathematics*, 11(2): 431-441, (1963).
- [16] Hagan M.T., and Menhaj M., “Training feed-forward networks with the Marquardt algorithm”, *IEEE Transactions on Neural Networks*, 5(6): 989-993, (1994).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

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



Lifli betonlarda optimum silis dumanı ikame oranının belirlenmesi

Determination of optimum substitute rate for silica fume in fiber concrete

Yazar(lar) (Author(s)): Osman ŞİMŞEK

ORCID: 0000-0003-3842-5541

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Şimşek O., “Lifli betonlarda optimum silis dumanı ikame oranının belirlenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 23(3): 729-735, (2020).

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

DOI: 10.2339/politeknik.574516

Lifli Betonlarda Optimum Silis Dumanı İkame Oranının Belirlenmesi

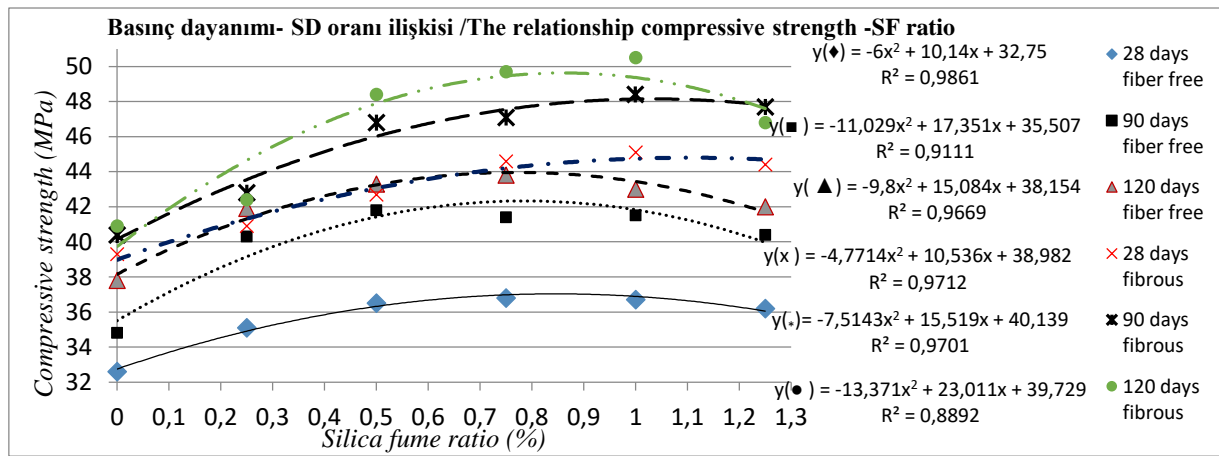
Determination of Optimum Substitute Rate for Silica Fume in Fiber Concrete

Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Silis dumanı ikame oranlarının lifli ve lifsiz beton taze ve sertleşmiş özelliklerine etkisi/ (Effect of silica fume substitution rates on fresh and hardened properties of fibrous and fiber free concrete)
- ❖ Karışımlarda kullanılan silis dumanın optimum oranın belirlenmesi/(Determination of the optimum ratio of silica fume used in mixtures)

Grafik Özet (Graphical Abstract)

Bu çalışmada, silis dumanı ikame oranlarının lifli ve lifsiz beton üretilmiştir. Betonların 28, 90 ve 120 gün basınç dayanım özellikleri incelenmiştir. En uygun özellikler,% 10 silis duman ikameli örnekler vermiştir./ (In this study, fiber and fiber-free concrete of silica fume substitution rates were produced.. 28, 90 and 120 days compressive strength properties of concretes were investigated. The most favorable properties gave examples of 10% silica fume replacement.)



Amaç (Aim)

Silis dumanı ikameli betonlarda en uygun taze ve sertleşmiş beton özelliklerini sağlayan optimum silis dumanı oranının belirlenmesi / (Determination of the optimum ratio of silica fume, which provides the most suitable fresh and hardened concrete properties in concrete with silica fume substitution)

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Araştırmada beton sınıfı C 25 hedeflenek SD oranları ile karışımlar tasarlanmıştır. Taze betonların işlenebilirlik testi yanında sertleşmiş betonların 28, 90 ve 120 günlük basınç testleri yapılmıştır. / (In the research, mixtures with SF ratios were designed with the aim of concrete class C 25. Besides the workability test of fresh concrete, 28, 90 and 120 day pressure tests of hardened concrete were performed).

Özgünlük (Originality)

Silis dumanının farklı ikame oranına bağlı olarak lifli ve lifsiz beton üretiminde, taze beton işlenebilirliklerinin ve basınç dayanımlarının belirlenmesi / (Determination of fresh concrete workability and compressive strengths in the production of fibrous and fiber free concrete depending on the different substitution rate of silica fume)

Bulgular (Findings)

Taze betonun slump ve Vebe değerleri ile SD oranı ters ilişki göstermiştir. Beton basınç dayanımı silika duman ikame oranı% 10'a kadar doğrusal bir ilişki gösterirken, % 10'dan sonra bir azalma meydana gelmiştir./ (Slump and Vebe values and SF ratio of fresh concrete showed inverse relationship. While the concrete compressive strength silica fume substitution rate showed a linear relationship up to 10%, a decrease occurred after 10%).

Sonuç (Conclusion)

Bu çalışmada, lifsiz betonda optimum silis dumanı % 7.5, lifli betonda optimum silis dumanı % 10 bulunmuştur. / (In this study, optimum silica fume was found 7.5% in fiber-free concrete and optimum silica fume in fibrous concrete was 10%.)

Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazarı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The author of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

Lifli Betonlarda Optimum Silis Dumanı İkame Oranının Belirlenmesi

Araştırma Makalesi / Research Article

Osman ŞİMŞEK*

Teknoloji Fakültesi, İnşaat Müh. Bölümü, Gazi Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 10.06.2019 ; Kabul/Accepted : 06.08.2019)

ÖZ

Bu araştırmada, lifli beton üretiminde maksimum kompasiteyi sağlamak için, lif ve süper akışkanlaştırıcı (SA) miktarı sabit tutularak farklı oranlarda silis dumanı(SD) ikame edilmiştir. Çimento miktarı sırasıyla ağırlıkça % 0(KB): %2.5, %5, %7.5, %10 ve %12.5 oranlarında SD ikame edilmiştir. Bu karışımlarla 100x100x100 mm boyutunda küp deney numuneleri üretilmiştir. Taze beton üzerinde işlenebilirlik testlerinden çökme ve Ve-Be deneyleri yapılmıştır. Sertleşmiş beton numuneleri üzerinde 28, 90 ve 120 günlük basınç dayanım deneyleri yapılmıştır.

Bütün karışımlarda, SD oranı ile işlenebilirlik arasında ters ilişki olduğu görülmüştür. Taze betonun işlenebilirlik özelliği üzerinde SD oranı etkili olmuştur. Karışımlardaki SD oranı arttıkça çökme azalmış ve Ve-Be süresi uzamıştır.

Bütün karışımlarda, beton yaşına bağlı olarak basınç dayanımında doğal olarak artış görülmüştür. Lifsiz numunelerde KB'ye göre SD oranı arttıkça basınç dayanımı artmıştır. Bütün yaşlarda en büyük basınç dayanımı %7.5 SD oranı ile üretilen numunelerde elde edilmiştir. Lifli numunelerde LB 'ye göre SD oranı arttıkça basınç dayanımı artmıştır. Bütün yaşlarda en büyük basınç dayanımı artışı %10 SD oranı ile üretilen numunelerde elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Silis dumanı, çelik lif, lifli beton.

Determination of Optimum Substitute Rate for Silica Fume in Fiber Concrete

ABSTRACT

In this study, in order to ensure maximum complexity in fiber concrete production, different amounts of silica fume (SF) were substituted by keeping the amount of fiber and super plasticizer (SP) constant. The amount of cement was replaced by SF at 0% (RC): 2.5%, 5%, 7.5%, 10% and 12.5% by weight, respectively. Six 100 x 100 x 100 mm cube test samples were produced with these mixtures. Slump and Ve-Be tests were carried out on processability tests on fresh concrete. 28, 90 and 120 days compressive strength tests were performed on hardened concrete samples.

In all mixtures, it was found that there was an inverse relationship between SF ratio and workability. SF ratio was effective on the processability of fresh concrete. As the SF content of the mixtures increased, the precipitation decreased and the Ve-Be duration was extended time.

In all mixtures, there was a certain increase in compressive strength naturally depending on the age of the concrete. In fiberless samples, the compressive strength increased as the ratio of SF to RC' increased. The highest compressive strength of all ages was obtained with 7.5% SF. In fiber samples (FC): compressive strength increased as SF ratio increased. The highest compressive strength increase at all ages was obtained in samples produced with 10% SF ratio.

Keywords: Silica fume, steel fiber, fiber concrete .

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Beton, dünyada en yaygın kullanılan yapı malzemelerinden biridir. Bu yaygın olarak kullanılan malzemenin üretiminde, son yıllarda beton kimyasallarındaki hızlı gelişmeye bağlı olarak, beton üretiminde yüksek performansının yanında düşük maliyetini de beraber getirmiştir.

Beton üretimindeki kalite artışına, beton bileşenlerin optimum oranlanması, beton tasarımı, malzeme seçimi, katkı maddeleri yanında betonun taşınması, yerleştirilmesi, sıkıştırılması ve korunması gibi etkenler önemli katkı sağlamıştır. Söz konusu etkenlerden dolayı

beton basınç dayanımı geçmiş yıllara göre yaklaşık 1.5-2 katı artmıştır [1-3]. Katkı maddesi ile sağlanan dayanım artışları yüksek dayanımlı betonların üretimine ve kullanılmasına neden olmuştur. Yüksek dayanımlı beton üretimindeki temel mantık ise agrega çimento hamuru ara yüzey bölgesindeki boşluğun azaltılmasıdır. Boşluğun azaltılması kompasiteyi artırmak anlamına gelir. Ayrıca agrega-çimento ara yüzeyinde homojenliği sağlamak ve kompasiteyi artırmakla, beton içyapısındaki mikro çatlakların oluşmasını en aza indirmek mümkündür. Yüksek performanslı ve dayanımlı beton üretiminde süperakışkanlaştırıcı kimyasal katkılarla birlikte puzolanik malzeme olan silis dumanı(SD): yüksek fırın cürufu(YFC) ve uçucu kül (UK) kullanılmaktadır. Betonda kullanılan puzolanik katkı

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

betonun birçok özelliklerini de olumlu yönde etkilemektedir. Bu olumlu özellikler şu şekilde özetlenebilir; i) Dayanıklılığın artması, ii) Basınç dayanımının artması, iii) İç boşluğu en aza indirmesi (doluluğu artması): iv) Terleme ve su emmesinin azaltılması, v) Ekonomiye ve çevreye olumlu katkı sağlamaktadır[1, 3-5]. Bu puzolanik katkı madde içinde SD en ince(küçük) taneli olanlardır. Bu özeliğinden dolayı SD taze betonda iç kohezyonu artırır. Böylece iri agregatanelerinin altında oluşan terleme kanalları ve boşlukları ortadan kalkar. Taze betonda terlemenin azalması, hamur-agrega ara yüzeyinin yoğunluğunun artmasına, ayrışmanın azalmasına, oturma çatlaklarının azalması ve sertleşmiş beton beklenen özelliklerinin artmasına yol açar. Ayrıca çelik lifli beton üretiminde SD kullanımının büyük avantaj sağladığı birçok araştırmacı tarafından vurgulanmaktadır [1, 6-7].

Yeğınobalı [8]'nin belirttiğine göre, *Ezeldin ve Balaguru*'nun yaptıkları çalışma sonucu silis dumanının %20 oranına kadar betona ikamesi ile betonun çelikle olan aderansını, betonun basınç dayanımının karekökü ile orantılı olarak *arttırdığını* saptamışlardır. Ayrıca, çimento hamurundaki gözeneklerin azalması, yapışma özelliğinin artması daha homojen ve geçirimsiz bir yapı meydana getirmektedir [8-10].

Beton teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak betonun bazı özelliklerini iyileştirmek için farklı şekillerdeki çelik, cam, karbon fiber, polietilen ve polipropilen liflerin, kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır [11, 12].

Çelik liflerin betona ilavesi ile elde edilen lifli beton, normal betona göre daha esnek/ sünek bir davranış sergilemekte ve çatlak büyümesi için gerekli enerji artmaktadır. Karışım sırasında liflerin topaklaşmasının engellenmesine yönelik tedbirlerin alınmalıdır. Liflerin topaklaşması engellendiğinde, bu çelik liflerin, çatlak genişliklerini, çatlak sayısını ve kırıntı deformasyonunu önemli ölçüde azalttığı saptanmıştır. Bununla birlikte, yükün tekrar kaldırılması ile erken yaştaki kırıntı bulunan çatlakların kapanma oranının artması, deprem yükleri gibi tekrarlı yüklere maruz kalan yapılar için önemli bir avantaj sağladığını vurgulamaktadır [13- 15]. Maksimum yükten sonra, lifli betonlarda, artan deformasyon sonucunda yükün azalma hızı normal betonlara göre çok daha yavaştır. Dolayısıyla, liflerin beton iç yapısından ayrılması ve uzamaları nedeniyle emilen enerji, lifli betonlarda oldukça fazladır. Lifli betonların sünekliği ve tokluğunda lifsiz betonlara göre önemli artışlar sağlanmaktadır [14, 16]. Beton üretiminde kullanılan çelik lifler; değişik kesit ve boyutlarda olmaktadır. Lifleri tanımlayan öğeler, lifin sahip olduğu mekanik ve biçimsel özelliklerdir. Bu özellikler; lif uzunluğu/lif çapı, geometrik yapı ve lifin çekme gerilmesi olarak söylenebilir. Şimdiye kadar yapılmış

tüm çalışmalarda betona lif ilave edilmesiyle işlenebilirlikte, önemli miktarlarda azalma, boşluk miktarında ise artış tespit edilmiştir. İşlenebilirlik, lifin geometrik yapısına (kıvrımlı, düz, çift kenarlı ve çengelli) göre değişkenlik gösterdiği birçok araştırmacı tarafından ifade edilmektedir [7, 13, 14, 16]. Çelik lifli betonların performansının hava meydanlarında, kavitasyon ve eğilme etkisine maruz yerlerde, lifsiz betona göre oldukça yüksek olduğu saptanmıştır [17, 18]. Günümüzde yüksek dayanımlı beton üretiminde tane inceliği ve kimyasal özelliğinden dolayı SD katkısı kullanımı tercih edilmektedir [9, 13, 19]. SD, çok yüksek özgül yüzeyi sayesinde serbest suyun bir kısmını absorbe etmekte ve dolayısı ile terleme azalmakta ve taze betonda viskoziteyi, kohezyonu artırmakta ve dolayısı ile ayrışmayı azaltmaktadır. SD'nın çimento yerine kullanılması durumunda, betonda, hidrasyon ısı azalmakta ve bundan dolayı da priz süresi gecikmektedir. SD kullanımıyla; geçirimsizlik artarken, terleme azaldığı artmaktadır. SD'nın bu olumlu etkisinden dolayı lifli betonlarda basınç ve eğilme dayanımlarını artırmasına neden olmaktadır [19- 21]. Çimentonun % 15'i yerine ikame edilen SD ile sülfata dayanıklı çimento özellikleri elde edilebilmektedir. Yapılan testlerde % 5 oranında SD içeren betonların % 20-30 oranında SD içeren betonlara göre daha yüksek don direnci gösterdiği gözlemlenmiştir. Hem filler hem de puzolan rolü üstlenen SD tanecikleri çimento hamuru ve agregayı yoğun bir yapıya kavuşturmuştur [22, 23].

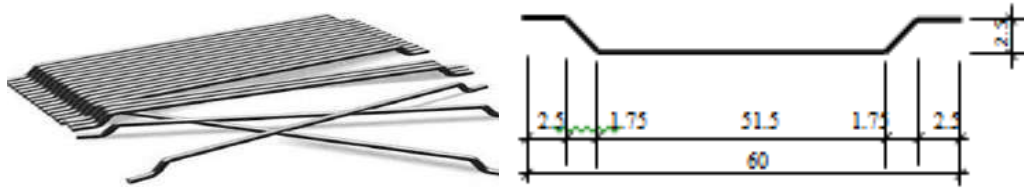
Bu çalışmada, SD'nın çelik liflerle güçlendirilmiş ve %2 süperakışkanlaştırıcı (SA) kimyasal katkı maddesinin taze ve sertleşmiş beton özelliklerine etkisi araştırılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT (MATERIALS and METHODS)

2.1. Materyaller(Materials)

Beton karışımlarında kullanılan malzemeler; kalker esaslı kırma agregası, 0-4, 4-11.2, 11.2-22.4 mm tane sınıflarında kullanılmıştır [24]. Bu agregaların yoğunlukları sırası ile 2.58, 2.60 ve 2.63 gr/cm³ olurken su emmeleri % 2.10, 1.78 ve 1.65 dir. Bağlayıcı olarak, CEM II/ B-M (Portland Kompoze Çimento 32.5 R) tipi kullanırken puzolan olarak da SD kullanılmıştır.

TS 10514 'de önerilen; uzunluğu 60 mm, çapı 1 mm ve uzunluk/çap oranı 60 olan iki ucu kıvrılmış kancalı çelik lif (Şekil 1) kullanılmıştır[25]. Karışımda SA olarak ASTM C 494-81 tip F'e uygun melamin sülfonat polimeri esaslı, kahverengi sıvı katkı maddesi ve karışım suyu olarak musluk suyu kullanılmıştır[26]. Portland Kompoze Çimento ile SD'nın fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir.



Şekil.1. Karışımda kullanılan çelik lif (Steel fiber used in the mixture)

Çizelge 1. Çimento ile SD'nın kimyasal ve fiziksel özellikleri (Chemical and physical properties of cement and SF)

Kimyasal Bileşim	Portland Kompoze Çimento	Silis Dumanı (FeSi)
SiO ₂	30.11	94.62
Al ₂ O ₃	8.96	0.20
Fe ₂ O ₃	4.22	0.20
CaO	47.36	1.40
MgO	2.54	---
Cr ₂ O ₃	0.50-1.75	---
SO ₃	2.69	0.21
Kızdırma Kaybı	2.36	---
Çözünemez Kalıntı	1.76	2.16
Fiziksel Özellikler		
Yoğunluk (g/cm ³)	2.96	2.36
Özgül Yüzey (cm ² /g)	3940	200000

2.2. Metot (Methods)

Araştırmada kullanılan beton karışımlarında TS 802 esas alınarak beton sınıfı C 25/30 seçilmiştir[24]. Bu karışımda su/çimento oranı 0.53 olarak alınmıştır ve katkısız betonlarda işlenebilirlik için çökmenin 7 ± 1 cm olmasına dikkat edilmiştir [24, 27]. Ağırlıkça %0, 2.5, 5, 7.5, 10 ve 12.5 oranlarında çimento ile SD yer değiştirilmiştir. Ayrıca taze betonun işlenebilirliği sağlamak için karışımlara çimento ağırlığının % 2'si oranında SA katılmıştır. Beton karışımında, TS 10514'e göre her karışımda, miksera önce kuru karışım, daha sonra çelik lif ilave edilerek, 1.5 dakika kuru karışım yapılarak, çelik lifin homojen bir şekilde dağılımı sağlandıktan sonra su ilave edilmiştir[25]. SD ve SA karışım suyu ile bulamaç haline getirilerek eklenmiştir. Taze betonun işlenebilirliğini belirlemek için TS EN 12350-2'ye göre çökme ve TS EN 12350-3'e göre de Ve-Be deneyleri yapılmıştır[27, 28]. Her bir karışımdan, her bir yaş için 6'şar adet olmak üzere 100x100x100 mm ebadında toplam 216 adet küp numune üretilmiştir. Bu örneklerin kodlamasında bazı kısaltmalar kullanılmıştır. Kontrol betonu (KB): silis dumanı ile üretilen beton (SDB): çelik lifli beton (LB) ve Silis dumanlı çelik lifli beton ise (SDLB) olarak isimlendirilmiştir. Hazırlanan küp numuneleri 28, 90 ve 120 günlük kür sonrasında TS EN 12390-3'e göre basınç deneyine tabii tutulmuştur[29].

3. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS and DISCUSSION)

3.1. Taze betonun işlenebilirlik özellikleri (Fresh concrete workability properties)

Hazırlanan beton serilerinin elde edilen Çökme ve Ve-Be değerleri ile 1 m³ betonu oluşturan malzeme miktarları da Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. incelendiğinde SD oranı arttıkça çökme miktarında 3-4 mm arasında bir azalma görülmektedir. Diğer bir deyişle, SD oranı ile işlenebilirlik arasında ters ilişki olduğu açık bir şekilde görülmektedir. SD, betonun karışım suyu ihtiyacını artırmaktadır. Bunun nedeni silis dumanının çimentoya göre yoğunluğunun küçük olması, daha ince taneli ve yüzey alanının daha fazla olmasından kaynaklanmaktadır. Bu sonuç [7-9] numaralı literatüre uyumluluk göstermektedir. Karışımda kullanılan çelik lifin taze betonun işlenebilirliğini azaltığı söylenebilir. Ve- Be testinde süre SD oranına bağlı olarak yaklaşık 2 sn. uzarken, çelik lifli karışımlarda her SD oranında 3-5 sn. arasında değişerek uzamaktadır. Bunun nedeninin ise çelik lifli yüzey alanının olabileceği söylenebilir.

Kısacası, SD ve çelik lifli betonun işlenebilirliği olumsuz olarak etkilemektedir.

Çizelge 2. Malzeme miktarları ve taze beton bazı özellikleri (Material quantities and some properties of fresh concrete)

Beton Tipi	SD Oranı	SD (%)	Çimento (kg)	SA (lt)	Su (lt)	Çelik Lif (kg)	AGREGA (kg)			Çökme (mm)	Ve-Be	
							Tane Sınıfları (mm)				Yükseklik (mm)	Süresi (sn)
							0-4	4-11	11-22			
KB	0	0	411	-	218	---	743	358	527	90	83	26
SDB-2.5	2.5	8	312	6.4	138	---	743	358	527	87	120	28
SDB-5	5	16	304	6.4	138	---	743	358	527	54	131	30
SDB-7,5	7.5	24	296	6.4	138	---	743	358	527	50	138	34
SDB-10	10	32	288	6.4	138	---	743	358	527	44	144	35
SDB-12.5	12.5	40	280	6.4	138	---	743	358	527	34	148	38
LB	0	0	320	-	160	50	735	354	521	85	159	30
SDLB-2.5	2.5	8	312	6.4	138	50	735	354	521	72	133	35
SDLB-5	5	16	304	6.4	138	50	735	354	521	48	136	38
SDLB-7.5	5	24	296	6.4	138	50	735	354	521	36	147	40
SDLB-10	10	32	288	6.4	138	50	735	354	521	30	156	44
SDB-12.5	12.5	40	280	6.4	138	50	735	354	521	26	168	47

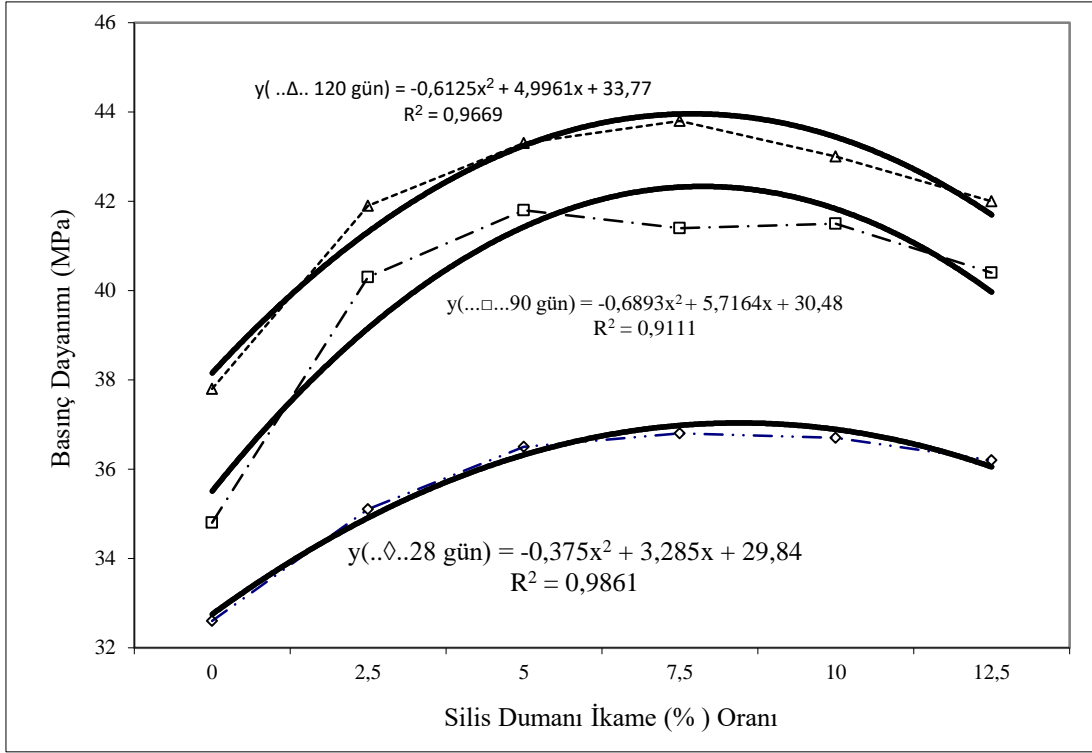
3.2. Basınç dayanım özellikleri (Compressive strength properties)

Silis dumanı karışımlarıyla üretilen betonların basınç dayanımı deneyi sonuçlarının max, min ve ortalaması yanında standart sapmaları Çizelge 3’de verilmiştir.

Basınç dayanımı arasındaki farklılığı daha net görebilmek için KB ortalaması 100 kabul edilerek SD oranı artışları % olarak parantez içinde gösterilmiştir.

Çizelge 3. Lifsiz beton basınç dayanım değerleri (Non-fiber concrete compressive strength values)

Beton yaşı (gün)	Beton Tipi	SD Oranı (%)	Örnek sayısı (n)	Basınç Dayanımı (MPa)			Standart Sapma
				Max	Min	Ortalama	
28	KB	0	6	33.8	30.7	32.6(100)	2.65
	SDB-2.5 SDB-5.0	2.5	6	39.1	33.8	35.1(108)	4.32
	SDB-7.5	5	6	32.32	29.15	36.5(112)	3.26
	SDB-10.0	7.5	6	39.2	35.2	36.8(112)	5.52
	SDB-12.5	10	6	39.8	34.0	36.7(112)	4.79
			12.5	6	40.3	32.9	36.2(111)
90	KB	0	6	39.1	32.7	34.8(107)	5.45
	SDB-2.5 SDB-5.0	2.5	6	42.5	37.3	40.3(124)	4.11
	SDB-7.5	5	6	44.2	36.4	41.8(127)	6.02
	SDB-10.0	7.5	6	43.7	37.0	41.4(127)	5.86
	SDB-12.5	10	6	42.8	38.3	41.5(127)	3.97
			12.5	6	43.1	36.7	40.4(124)
120	KB	0	6	42.7	35.2	37.8(116)	4.71
	SDB-2.5 SDB-5.0	2.5	6	43.6	38.3	41.9(128)	5.01
	SDB-7.5	5	6	45.6	40.3	43.3(133)	5.25
	SDB-10.0	7.5	6	45.9	41.6	43.8(134)	3.56
	SDB-12.5	10	6	46.8	38.6	43.0(132)	6.12
			12.5	6	43.5	38.3	42.0(128)



Şekil 2. Lifsiz beton basınç dayanımı -SD oranı ilişkisi (The relationship between compressive strength and SF ratio of fiberless concrete)

Şekil 2 ve Çizelge 3 incelendiğinde, KB 'ye göre 28 günlüklerde en yüksek basınç dayanımı SDB-5, 7.5 ve 10 numuneleri vermiştir ve ayrıca basınç dayanımında %12 artış meydana gelmiştir. KB numunelerin 90 ve 120 günlüklerde sırasıyla basınç dayanımı %7 ve %16 oranlarında artış göstermiştir. SDB numunelerinin 90 günlük beton basınç dayanımında SD oranları arasında ciddi bir artış farkı olmamakla beraber en yüksek basınç dayanımı %10 SD oranında %27 olmuştur. 120 günlük beton basınç dayanımında en yüksek basınç dayanımı %7.5 SD oranıyla üretilen numunelerde %34 olarak belirlenmiştir.

Bu karışımlarda en uygun SD oranı %7.5 olduğu söylenebilir. Literatür genel olarak en uygun %10 SD olduğu belirtse de kullanılan çimentonun inceliği ve agrega granülometrisi önemli bir etkindir.

Şekil 2 incelendiğinde basınç dayanımı SD oranı ilişkisinde doğal olarak yaşa bağlı bir artış görülmektedir. Ayrıca SD oranı arttıkça basınç dayanımı artmakta fakat artış oranı belirli bir orandan sonra basınç dayanımı azalmaktadır. Regresyon analizinde en yüksek R² değeri 0,9861' dir. Bu değere göre iyi bir ilişki vardır.

Bazı araştırmalara göre SD'nın, beton basınç dayanımına ilk yaşlarda daha etkili olduğu vurgulanırken, karışım suyu miktarına bağlı olarak optimum SD oranının beton basınç dayanımına etkisinin değiştiği belirtilmektedir [1,10, 22].

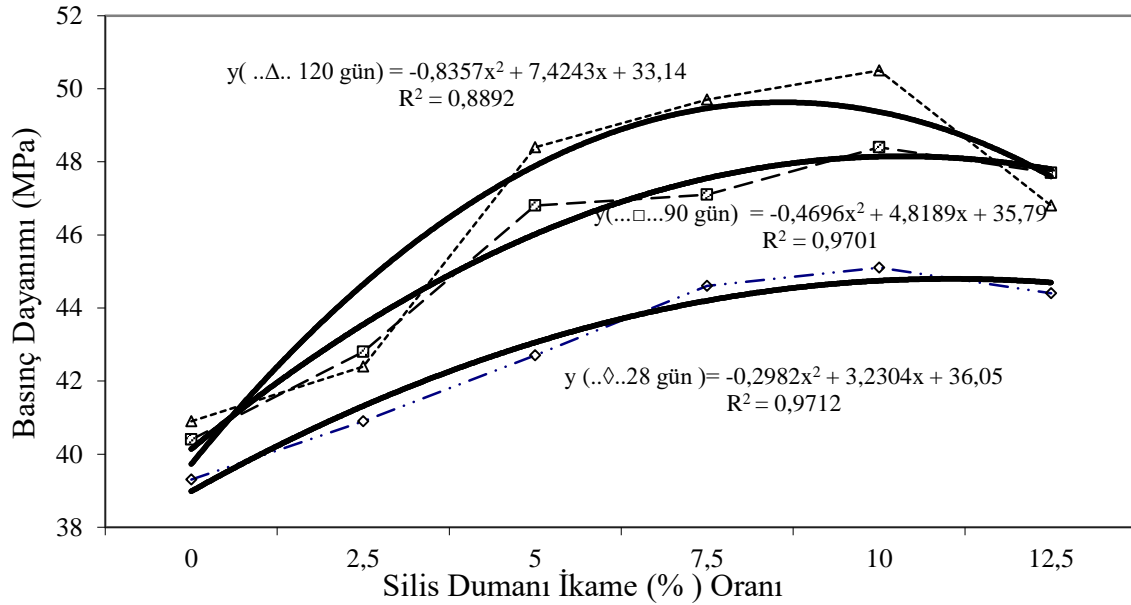
Çelik lifli betonlarda çelik lifin KB'ye göre beton basınç dayanımına 6.7 MPa bir artış sağlamıştır. Bu da yaklaşık % 20' ye tekabül etmektedir. Lifli betona (LB) SD oranlarının etki incelendiğinde Çizelge 4' de SDLB karışımlarıyla üretilen betonların basınç dayanımı sonuçlarının max, min, ve ortalama basınç dayanımı yanında standart sapmaları verilmiştir.

Basınç dayanımı arasındaki farklılığı daha net görebilmek için LB ortalaması 100 kabul edilerek SD oranı artışları (%) olarak parantez içinde gösterilmiştir Çizelge 4 ve Şekil 3 incelendiğinde bütün yaşlarda LB' ye göre, % 10 SD katkılı numunelerin basınç dayanımı en yüksek olduğu söylenebilir. Bu artışlar 28 günlük betonlarda % 14, iken 90 günlük betonlarda % 23 ve 120 günlük betonlarda %28 olduğu söylenebilir.

Çelik lif ve agrega ara yüzeyine SD harc fazının dolması çelik lifin aderansını artırmasına ve basınç dayanımına olumlu etkide bulunmaktadır. Khayat ve Aitcin yaptıkları araştırma sonucu silis dumanlı çimento harçların daha sıkı ve yapışkan olmasından dolayı, çelik liflere olan aderansının çok kuvvetli olduğu sonucuna varmışlardır [8, 9].

Çizelge 4. Lifli beton basınç dayanım değerleri (Fiber concrete compressive strength values)

Beton yaşı (gün)	Beton Tipi	SD Oranı (%)	Örnek sayısı (n)	Basınç Dayanımı(MPa)			Standart Sapma
				Max	Min	Ortalama	
28	LB	0	6	41.3	37.4	39.3(100)	3.81
	SDLB-2.5	2.5	6	40.4	38.3	40.9(104)	2.18
	SDLB-5.0	5	6	44.1	40.2	42.7(108)	4.55
	SDLB-7.5	7.5	6	45.0	41.9	44.6(113)	2.68
	SDLB-10.0	10	6	47.2	44.4	45.1(114)	2.24
	SDLB-12.5	12.5	6	45.1	42.1	44.4(113)	3.28
90	LB	0	6	41.5	38.6	40.4(103)	4.05
	SDLB-2.5	2.5	6	44.0	40.5	42.8 (109)	2.90
	SDLB-5.0	5	6	49.2	45.6	46.8(119)	3.39
	SDLB-7.5	7.5	6	48.1	41.8	47.1(120)	5.86
	SDLB-10.0	10	6	48.4	48.4	48.4 (123)	3.66
	SDLB-12.5	12.5	6	48.6	44.5	47.7(121)	5.14
120	LB	0	6	44.5	40.1	40.9(104)	3.14
	SDLB-2.5	2.5	6	43.5	39.3	42.4(108)	3.37
	SDLB-5.0	5	6	50.8	47.6	48.4(123)	1.24
	SDLB-7.5	7.5	6	52.3	48.7	49.7(126)	2.87
	SDLB-10.0	10	6	52.7	46.2	50.5(128)	5.77
	SDLB-12.5	12.5	6	48.0	45.4	46.8(119)	6.21



Şekil 3. Lifli beton basınç dayanım-SD oranı ilişkisi (The relationship between compressive strength and SF ratio of fibrous concrete)

Şekil 3 incelendiğinde SD oranı arttıkça lifli beton basınç dayanımı artmakta fakat artış oranı belirli bir orandan sonra azalmaktadır. 28 günlük beton basınç dayanımı İkinci derece polinom eğilim çizgisinden elde edilen Regresyon analizine göre en yüksek R² değeri 0,9712' dir. Bu değere göre basınç dayanımı ile SD oranı arasında

bir ilişkinin var olduğu görülmektedir. Çizelge 4 ve Şekil 3 incelendiğinde optimum SD oranının %10 olarak kullanılabileceği açıkça gözlemlenebilir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION and RECOMMENDATIONS)

1. Betona SD ve çelik lif katılması, yani beton bileşenlerinin yüzey alanının artmasından dolayı, taze betonun işlenebilirliğini azaltmaktadır.
2. SD ve SA birlikte kullanıldığında basınç dayanımına olumlu katkı sağlamaktadır.
3. Karışımda kullanılan SA'dan dolayı SD lifin çevresini iyice sararak aderansı arttırdığı söylenebilir.
4. SD katkılı karışımlar elde edilen betonların basınç dayanımı KB'ye göre önemli artış olduğu söylenebilir. SD'nın oranları kendi aralarında karşılaştırıldığında arasındaki artış oranı daha azdır.
5. Çelik lifin beton basınç dayanımına olumlu etkisi olduğu görülmüştür.
6. Bütün karışımlarında beton yaşına bağlı olarak artış yanında lifsiz betonda %7.5 lifli betonda ise %10 SD kullanımı en yüksek dayanımı vermiştir.
7. Optimum SD oranı %10 olarak belirlenmiştir.

ÖNERİLER (RECOMMENDATIONS)

Bundan sonraki çalışmalarda, SD ve çelik lifli beton karışımlarında beton mikro yapısı, rötire, su emme, aşınma ve donma-çözülme özellikleri incelenmelidir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Şimşek, O., "Beton ve Beton Teknolojisi", *Seçkin Basım ve Dağıtım*, Ankara, 40-128, (2016).
- [2] Su Y., Li J., Wu C., Wu P., Tao M., Li X., Mesoscale study of steel fibre-reinforced ultra-high performance concrete under static and dynamic loads, *Mater. Des.*, 116: 340-351, (2017).
- [3] Yazıcı Ş., İnan G., Tabak V., Effect of aspect ratio and volume fraction of steel fiber on the mechanical properties of SFRC, *Constr. Build. Mater.*, 21(6): 1250-1253, (2007).
- [4] Bentur A, Mindess S., Fibre reinforced cementitious composites, Second Edition, *Taylor&Francis*, USA and Canada, (2007).
- [5] Wille, K., Naaman, A. E., El-Tawil, S. Ve Parra-Montesinos, G. J., Ultra-high performance concrete and fiber reinforced concrete: achieving strength and ductility without heat curing, *Materials and Structures*, 45, 309-324, (2012)
- [6] JSCE, Recommendations for Design and Construction of High Performance Fiber Reinforced Cement Composites with Multiple *Fine Cracks*, *Concrete Engineering Series*, 82, Japan Society of Civil Engineers (2008).
- [7] Evcin ve ark. "Farklı mineral katkıların epoksi zemin kaplama malzemesinin ıslanmazlığına ve yüzey enerjisine etkisi" *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 33(2): 581-590, (2018)
- [8] Yeğinoğlu, A., "Silis dumanı ve çimento ile betonda katkı maddesi olarak kullanılması", *TÇMB/AR-GE/Y01.01* 3.Baskı , Ankara, (2003).
- [9] Khayat, K.H. and Aitcin P.C., "Silica fume in concrete: an overview", *ACI SP-132*, 835-865, ACI , Detroit, (1992).
- [10] Sümer, B , Sarıbyık, M . "Betonda Silis Dumanı ve Polipropilen Lif Kullanımının Beton Özellikleri Üzerine Etkilerinin İncelenmesi". *Sakarya University Journal of Science* 17: 217-224, (2013).
- [11] Ünal, B., "Çelik Tel ve Polipropilen Lif İçerikli Beton Yolların Mekaniksel özelliklerinin Araştırılması". *Yüksek Lisans Tezi*, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 71s. (2003).
- [12] ACI 234R-96 "Guide for the use of silica fume in concrete", *American Concrete Institute*, 51, (1996).
- [13] ACI 544.2R-89. "Measurement of properties of fiber reinforced concrete". *American Concrete Institute*. P.O. Box 19150 Detroit, MI 48219-0150, (1999).
- [14] Kozak, M. . "Çelik Lifli Betonlar ve Kullanım Alanlarının Araştırılması". *Teknik Bilimler Dergisi* 3(1) : 26-35, (2013).
- [15] Tokyay, M., Ramyar, K., Turanlı, L., "Polipropilen ve çelik lifli yüksek dayanımlı betonların basınç ve çekme yükleri altındaki davranışları", *2. Ulusal Beton Kongresi, Yüksek Dayanımlı Beton*, İstanbul, 303-320, (1991).
- [16] Arıoğlu, E., Arıoğlu, B., Girgin, C., "Tünellerde çelik lifli püskürtme beton kaplama tasarımı mekanik büyüklükler ve kalite kontrol ilkeleri", *Çelik Tel Donatılı Betonlar Sempozyumu*, Sabancı Center, İstanbul, (1999).
- [17] Yerlikaya, M., "Çelik tel donatılı yol betonları", *THBB Hazır Beton Dergisi*, 51, 93-95, (2002).
- [18] TS EN 14889-1 "Lifler – Betonda kullanım için – Bölüm 1: Çelik lifler – Tarifler, özellikler ve uygunluk". *TSE*, Ankara, (2016).
- [19] Yaprak, H , Şimşek, O , Öneş, A . "Cam ve çelik liflerin bazı beton özelliklerine etkisi", *Politeknik Dergisi*, 7 : 353-358, (2004).
- [20] Şimşek, O., Erdal, M., Sancak, E., "Silis dumanının çelik lifli betonun eğilme dayanımına etkisi", *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 20(2): 211-215, (2005).
- [21] Halilov, S. 2003. "Silis dumanı ve süperakışkanlaştırıcı katkılı lifli betonların özellikleri. *Doktra Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (2003).
- [22] Dancygier A.N. and Savir Z., "Flexural behavior of HSFRC with low reinforcement ratios". *Engineering Structures*, 28, 1503–1512. (2006).
- [23] Ünal, O , Uygunoğlu, T , Gençel, O . "Çelik liflerin beton basınç ve eğilme özelliklerine etkisi". *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 13(1): 23-30. (2007)
- [24] TS 802, Beton karışımı hesap esasları, *TSE*, Ankara, 2016.
- [25] TS 10514, Lif takviyeli betonun karışım oranları ve imalatı için kurallar *TSE*, Ankara, (2015).
- [26] ASTM C-81 "Standard specification for chemical admixtures for concrete". *ASTM International*, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States . (1981).
- [27] TS EN 12350-2, "Beton - Taze beton deneyleri - Bölüm 2: Çökme (slump) deneyi", *TSE*, Ankara, (2010).
- [28] TS EN 12350-3, "Beton - Taze beton deneyleri - Bölüm 3: Vebe deneyi" *TSE*, Ankara, (2010).
- [29] TS EN 12390-3, "Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 3: Deney numunelerinde basınç dayanımının tayini", *TSE*, Ankara, 112s. (2012)



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

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



GPU programlamada CUDA platformu kullanılan paralel görüntü işleme çalışmalarının incelenmesi

A survey on parallel image processing studies using CUDA platform in GPU programming

Yazar(lar) (Author(s)): Semra AYDIN¹, Refik SAMET², Ömer Faruk BAY³

ORCID¹: 0000-0002-1670-9677

ORCID²: 0000-0001-8720-6834

ORCID³: 0000 0002 6823 145X

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Aydın S., Samet R. ve Bay Ö.F., “GPU programlamada CUDA platformu kullanılan paralel görüntü işleme çalışmalarının incelenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 23(3): 737-754, (2020).

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

DOI: 10.2339/politeknik.563767

GPU Programlamada CUDA Platformu Kullanılan Paralel Görüntü İşleme Çalışmalarının İncelenmesi

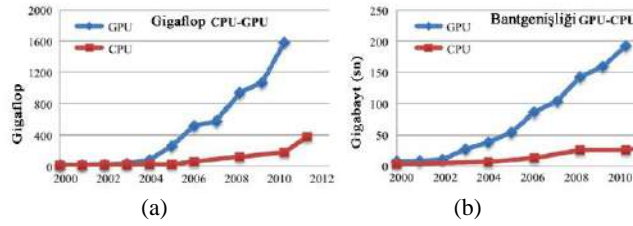
A Survey on Parallel Image Processing Studies Using CUDA Platform in GPU Programming

Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ GPU'da görüntü işlemenin paralelleştirilmesi /Parallelization of image processing in GPU
- ❖ CUDA ile GPU'nun programlanması / GPU programming with CUDA
- ❖ CUDA kullanılan görüntü işleme uygulamaları / Image processing applications using CUDA
- ❖ Paralel görüntü işleme çalışmaları / Studies on parallel image processing

Grafik Özet (Graphical Abstract)

GPU'nun performans ve bant genişliği CPU'ya göre üstel olarak artmaktadır. Bu çalışmada, GPU ve CUDA teknolojilerinin görüntü geriçatma, iyileştirme, bölütleme, çakıştırma ve sınıflandırma uygulamalarında kullanımı incelenmiş, değerlendirilmiş, avantajları ve dikkat edilmesi gereken hususlar belirlenmiştir. / The performance and bandwidth of GPU increases exponentially compared to the CPU. In this study, the use of GPU and CUDA technologies in image reconstruction, enhancement, segmentation, registration and classification applications are examined, evaluated, their advantages and issues to be considered are determined.



Şekil. CPU ve GPU'nun performans (a) ve bant genişliği (b) açısından karşılaştırması /
Figure. CPU and GPU comparison of (a) performance and (b) bandwidth

Amaç (Aim)

Bu çalışmanın temel amacı araştırmacılara ve konuya yeni başlayanlara görüntü işleme uygulamalarında GPU ve CUDA gibi donanım ve yazılım teknolojilerinin kullanımı konusunda bir başvuru kaynağı sağlamaktır. / The major purpose of this survey is to provide a comprehensive reference source for the starters or researchers involved in use of CUDA platform in GPU programming for image processing techniques.

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Çalışmada GPU ve CUDA kullanan görüntü işleme çalışmaları beş bölümde incelenmiş ve değerlendirilmiştir. / Studies using CUDA platform in GPU programming have been classified and evaluated under 5 areas.

Özgünlük (Originality)

Makale, CUDA platformu kullanılarak gerçekleştirilen görüntü işleme çalışmalarının incelendiği, özetlendiği, analizi yapıldığı, avantaj ve dezavantajlarının değerlendirildiği Türkçe yapılan ilk çalışmadır. / The article is the first study in Turkish to examine, summarize, analyze and evaluate the advantages and disadvantages of image processing studies using the CUDA platform.

Bulgular (Findings)

GPU ve CUDA teknolojileri ile paralel görüntü işleme gerçekleştirmek için bir sistemli yaklaşım önerilmiştir. / A systematic approach is proposed to perform parallel image processing with GPU and CUDA technologies.

Sonuç (Conclusion)

GPU ve CUDA teknolojilerinin kullanıldığı görüntü işleme uygulamalarında dikkat edilmesi gereken hususlar belirlenmiştir. Çalışma GPU ve CUDA teknolojilerinin verimli kullanılmasına katkı sağlamaktadır. / Issues to be considered in image processing applications using GPU and CUDA technologies have been determined. The study contributes to the efficient use of GPU and CUDA technologies.

Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Çalışmada kullanılan materyal ve yöntemler etik kurul izni gerektirmemektedir. / There is no need for ethical committee permission for the materials and methods used in this study.

GPU Programlamada CUDA Platformu Kullanılan Paralel Görüntü İşleme Çalışmalarının İncelenmesi

Derleme Makalesi / Review Article

Semra AYDIN^{1*}, Refik SAMET², Ömer Faruk BAY³

¹Bilişim Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Türkiye

²Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Ankara Üniversitesi, Türkiye

³Teknoloji Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 25.12.2018 ; Kabul/Accepted : 09.07.2019)

ÖZ

Görüntü işleme pek çok alanda kullanılmaktadır. Görüntü işleme teknikleri gün geçtikçe görüntülerin çözünürlüklerinin artmasıyla daha fazla işlemci gücüne ihtiyaç duymaktadır. Görüntü işleme sürecini hızlandırmak için paralel görüntü işleme teknikleri kullanılmaktadır. GPU programlama günümüzde çok kullanılan ve tercih edilen paralel görüntü işleme tekniklerinden biridir. CUDA ise GPU programlamada en çok kullanılan platformdur. Bu çalışmanın temel amacı araştırmacılara ve konuya yeni başlayanlara görüntü işleme uygulamalarında GPU ve CUDA gibi donanım ve yazılım teknolojilerinin kullanımı konusunda bir başvuru kaynağı sağlamaktır. Bu amaç kapsamında çalışmada GPU ve CUDA kullanılarak yapılan görüntü işleme çalışmaları incelenmiş ve değerlendirilmiştir. GPU ve CUDA kullanan görüntü işleme çalışmaları, görüntü geriçatma, görüntü iyileştirme, görüntü bölütleme, görüntü çakıştırma ve görüntü sınıflandırma olmak üzere beş bölümde incelenmiş ve değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, GPU ve CUDA kullanımının avantajları ve bu teknolojilerin kullanıldığı görüntü işleme uygulamalarında dikkat edilmesi gereken hususlar belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Görüntü işleme, paralel programlama, GPU, CUDA.

A Survey on Parallel Image Processing Studies Using CUDA Platform in GPU Programming

ABSTRACT

Image processing is used in a variety of fields. Image processing techniques need high processor performance due to increased image resolution day by day. Parallel processing techniques are used to satisfy the requirements related to high performance in real time image processing applications. Recently, GPU programming is one of the most commonly used and preferred methods in parallel processing. CUDA is the most popular platform in GPU programming. In this survey the studies where CUDA platform was used for image processing are presented and evaluated. The major purpose of this survey is to provide a comprehensive reference source for the starters or researchers involved in use of CUDA platform in GPU programming for image processing techniques. Studies using CUDA platform in GPU programming have been classified under 5 areas; image reconstruction, image enhancement, image segmentation, image registration and image classification. Advantages of using CUDA in GPU programming for image processing and issues to pay attention in applications have also been underlined.

Keywords: Image processing, parallel computing, GPU, CUDA.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Görüntü, piksel adı verilen ve her birinin özel bir konumu ve değeri olan sonlu sayıdaki elemanlardan oluşmaktadır. Görüntü işleme, girişteki bir görüntüyü (fotoğraf veya bir video karesi), başka bir görüntüye dönüştürmek veya görüntüye ait özellikleri çıkarmak amacıyla yapılan işlemler serisidir. Görüntü işleme güvenlik sistemleri, kontrol sistemleri, üretim, tıp, uzay bilimleri, savunma sanayi, vb. gibi pek çok alanda uygulanmaktadır. Gelişen teknolojiyle birlikte elde edilen görüntülerin çözünürlükleri artmaktadır. Dolayısıyla işlenecek veri miktarı da giderek artmakta ve büyük miktardaki verileri işlemek için daha fazla işlem gücüne ihtiyaç duyulmaktadır. Uygulamaların amacına uygun olarak

değişik görüntü işleme teknikleri kullanılmaktadır. Örneğin, nesne tanıma, hareket algılama, sınıflandırma, hata bulma, vb. gibi pek çok işlem için uygun görüntü işleme teknikleri kullanılmaktadır. Bu işlemlerden herhangi biri için görüntü işleme tekniklerinde kullanılan algoritmalarından bir ya da birkaçının çalıştırılması gerekmektedir. Görüntü işlemede kullanılan algoritmalar genellikle her bir piksel için aynı işlem basamaklarının uygulanması şeklinde çalışmaktadır. Her bir piksel için birbirinden bağımsız olarak işlem yapılmaktadır. Görüntü işleme algoritmalarından birçoğu bu nedenle doğası gereği bir paralellik içermektedir.

Paralel programlama, bir programın işlem zamanını kısaltmak amacıyla işlemin birden fazla birime dağıtılarak çalıştırılmasıdır. Bu birimler farklı bilgisayarlar olabildiği gibi aynı bilgisayar üzerindeki işlemciler de olabilirler. Özellikle son yıllarda işlemciler

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

ve grafik işlem birimleri (GPU-Graphics Processing Unit) üzerindeki çekirdek sayılarının artması tek bilgisayar üzerinde çalışan paralel programlama platformlarının gelişmesini sağlamıştır.

Grafik işlem birimleri, genel amaçlı GPU programlama (GPGPU-General Purpose Computing on GPU) ismiyle yaklaşık 10 yıldır kullanılmaktadır. Ancak son dönemlerde kullanımında bir artış gözlemlenmektedir. Merkezi işlem birimi (CPU-Central Processing Unit) güçlü ama az sayıda çekirdek içerirken GPU çok sayıda çekirdek içermektedir. GPU'ların donanımsal özelliklerinden dolayı her bir çekirdek diğerleri ile paralel olarak kendisine ait bir veriyi işleyebilmektedir. Son dönemlerde GPU'ların gücü giderek artmış ve GPU üreticileri genel amaçlı programlama için GPU teknolojilerini geliştirmişlerdir. Bu durum GPU'nun genel amaçlı programlamada kullanımının artmasını sağlamıştır. Farklı üreticiler tarafından değişik özelliklerde GPU kartları piyasaya sürülmüştür. Intel, AMD ve NVIDIA en büyük GPU kart üreticileridir. Intel en büyük CPU üreticisi olmasına rağmen sadece düşük performanslı GPU pazarına hakimdir. Yüksek performans pazarını ise AMD ve NVIDIA paylaşmaktadırlar. Akademik ve endüstriyel uygulamalarda ise NVIDIA, AMD'ye göre daha yaygın olarak kullanılmaktadır [1].

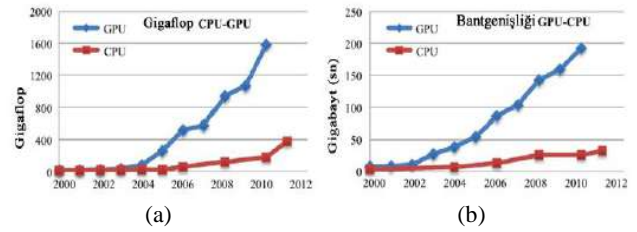
Genel amaçlı GPU programlama, özellikle farklı veriler üzerinde aynı işlemlerin yapıldığı uygulamalarda performans açısından çok iyi sonuçlar vermektedir. Görüntü işleme de bu alanlardan biridir. CUDA (Compute Unified Device Architecture) genel amaçlı GPU programlamada en çok kullanılan platformlardan biridir. Bu çalışmada CUDA platformu üzerinde gerçekleştirilen görüntü işleme çalışmaları incelenmekte ve değerlendirilmektedir.

Bu çalışma beş bölüme ayrılmıştır. İkinci bölümde GPU ve CUDA konusunda temel bilgiler verilmektedir. Üçüncü bölümde GPU programlama ve CUDA platformunun kullanıldığı ilk uygulamalar incelenmektedir. Dördüncü bölümde görüntü işleme alanında CUDA ile ilgili yapılan çalışmalar sunulmaktadır. Görüntü işleme konusu görüntü geriçatma, görüntü iyileştirme, görüntü bölütleme, görüntü çakıştırma ve görüntü sınıflandırma olmak üzere beş bölümde ele alınarak yapılan çalışmalardan çıkarılan bulgular ve yorumlar dördüncü bölümde ifade edilmektedir. Son bölümde yapılan çalışmanın genel değerlendirilmesi yapılmakta ve görüntü işleme alanında CUDA kullanımı ile ilgili önerilerde bulunulmaktadır.

2. GPU VE CUDA TEKNOLOJİLERİ (GPU PROGRAMMING AND CUDA)

Bu bölümde önce GPU teknolojisi ile ilgili genel bilgi verilecek ve daha sonra bu teknolojiyi programlamak için kullanılan CUDA platformundan detaylı bir şekilde bahsedilecektir.

CPU'lar seri hesaplamalarda, giriş çıkış işlemlerinde iyi bir performansa sahiptirler. GPU'lar ise büyük ölçekli paralel hesaplamalar için uygun bir mimariye sahiptirler. Son yıllarda GPU'nun bant genişliği ve performansı CPU'ya göre çok hızlı artış göstermiştir (Şekil 1). Bu performans farkı iki işlemci arasındaki fiziksel çekirdek sınırlamaları ve mimari farkından kaynaklanmaktadır. CPU seri olarak çalışır ve seri operasyonların işlem hızını optimize etmeye çalışır. CPU'da geleneksel olarak performans artışı frekansın yükseltilmesiyle elde edilir. Frekans arttıkça hız da artar ve uzun yıllar performans artışı bu şekilde sağlanmıştır. 2000'li yıllardan sonra fiziksel sınırlardan dolayı frekans artışı istenildiği kadar gerçekleştirilememiştir. Frekans artışı fiziksel sınırlamalar nedeniyle pratikte yaklaşık 4.0 GHz'in üzerine çıkamamaktadır. İşlemci teknolojisinde seri hesaplamada en yüksek performansa ulaşılmakta olup performans artışı sağlamak için çoklu çekirdek ve vektör komutları kullanılmaktadır [1].



Şekil 1. CPU ve GPU'nun performans (a) ve bant genişliği (b) açısından karşılaştırması [1] (CPU and GPU comparison of (a) performance and (b) bandwidth)

İlk kullanılmaya başladığı yıllardan itibaren GPU'ların sağladığı performans üstel olarak artmaya devam etmektedir. Bu artış paralel uygulamaların performansının da artmasını sağlamaktadır. Bu nedenle GPU'lar büyük ölçekli paralel uygulamalarda performansı arttırmak için çok kullanışlıdır.

2.1 GPU Programlama (GPU Programming)

GPU, yoğun matematiksel grafik hesaplamaları yapmak üzere tasarlanmış ekran kartlarının işlemcisi için kullanılan bir isimdir. GPU'lar, CPU'dan daha verimli ve performanslı bir biçimde ekrana görüntü verirler. GPU'lar görüntüleri işleme ve görüntüleme son derece verimli olup yüksek paralel yapıları sayesinde karmaşık algoritmaların işlenmesinde CPU'lardan daha etkindirler.

Genel amaçlı GPU programlamada üç platform kullanılmaktadır:

- CUDA
- OpenCL (Open Computing Language)
- DirectCompute

CUDA, NVIDIA firması tarafından 2006 yılında piyasaya sürülen ve GPU'nun programlaması için kullanılan bir platformdur. Linux, Windows ve Mac OSX üzerinde çalışabilen hem düşük hem de yüksek seviyeli bir yazılım geliştirme arayüzü sunmaktadır. NVIDIA, CUDA platformunu destekleyen sırasıyla Fermi, Kepler,

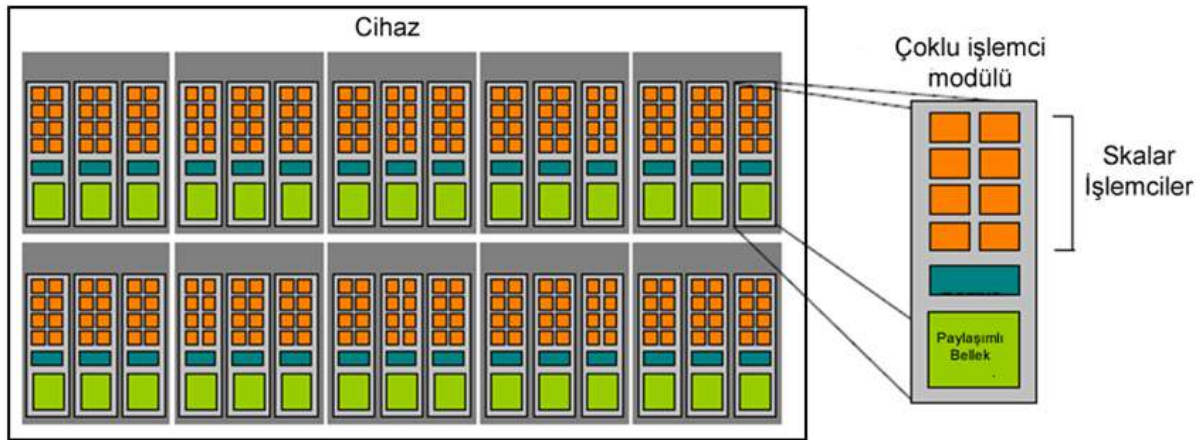
Maxwell ve Pascal mimarilerini geliştirmiştir. OpenCL, Apple tarafından 2008 yılında piyasaya sürülmüş olup Intel, AMD ve NVIDIA başta olmak üzere pek çok ekran kartı üreticisi tarafından desteklenmektedir. DirectCompute Windows'un desteklediği GPU kartlarının programlanmasında kullanılmakta olup son sürümü DirectX 12'dir [2]. CUDA, ekran kartlarını programlamak için kullanılan en yaygın platformdur. Performans açısından bakıldığında CUDA, diğer platformlara göre pek çok uygulamada daha hızlı çalışmaktadır [3]. Paralel işlemcilerin hedefinin de yüksek hız olduğu düşünüldüğünde CUDA platformu pek çok kullanıcı tarafından tercih edilmektedir.

2.2. CUDA

CUDA, GPU gücünü kullanarak bilgisayarın işlem performansına yüksek oranda katkı yapan bir paralel programlama platformudur. C, C++, C#, Fortran, Java, Python gibi programlama dilleri ile yazılmış algoritmaların GPU üzerinde çalışmasını sağlayan bir sistem olarak da tanımlanabilir. En yaygın olarak kullanılan diller C ve C++'dır. Windows, Linux ve Mac OSX işletim sistemleri tarafından desteklenmektedir.

2.2.1. CUDA mimarisi (CUDA architecture)

GPU programlamada yönetici (host) CPU'yu, cihaz (device) ise GPU'yu ifade etmektedir. Şekil 2'de cihaz mimarisi gösterilmektedir.



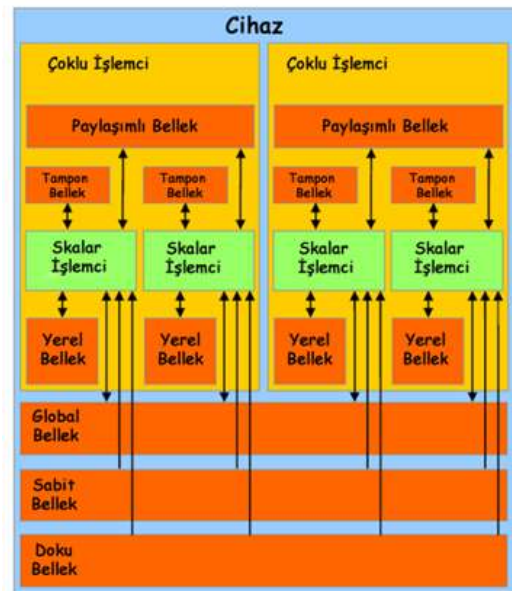
Şekil 2. Cihaz mimarisi [4] (Device architecture)

Cihaz içerisinde çok sayıda çoklu işlemci modülü (SM - Streaming Multiprocessor), her bir SM içerisinde skalar işlemciler (SP - Scalar Processor) ve bellekler bulunmaktadır.

CUDA platformu tarafından kullanılan ekran kartı içerisinde farklı bellek çeşitleri bulunmaktadır:

- Tampon Bellek (Register Memory)
- Yerel Bellek (Local Memory)
- Paylaşımlı Bellek (Shared Memory)
- Global Bellek (Global Memory)
- Sabit Bellek (Constant Memory)
- Doku Bellek (Texture Memory)

NVIDIA GPU içerisinde belleklerin şematik gösterimi Şekil 3'te verilmektedir. Her bir SM içerisinde SP, tampon bellek, yerel bellek, paylaşımlı bellek ve önbellekler bulunmaktadır.



Şekil 3. GPU Bellek Modeli [5] (GPU memory model)

Tampon ve yerel bellek en hızlı bellek çeşitleridir. Yerel bellek her bir iş parçacığı için kendine ait verileri depolar. Paylaşımlı bellek hızlı çalışan bellek çeşitlerindedir. Paylaşımlı bellek aynı SM içerisinde tüm iş parçacıkları tarafından kullanılır. Çoklu işlemci içerisindeki işlemcilerin tümü paylaşımlı belleğe aynı hızla ulaşabilmektedir. Global, sabit ve doku bellek ise ekran kartındaki çoklu işlemci modüllerinin dışında bulunmaktadır. Skalar işlemcilerin bu belleklere ulaşım süresi çoklu işlemci içerisindeki belleklerden daha fazladır. Veriler rasgele erişimli bellek (RAM -Random Access Memory)'ten GPU'ya aktarılırken global belleğe gelirler. Aslında sabit ve doku bellekler de global bellek içerisinde ayrılan bir bölümdedir.

2.2.2 CUDA programlama (CUDA programming)

Bir GPU, içerisinde ızgara (grid) adı verilen yapıları barındırır. Bir ızgara içerisinde bloklar bulunur. Bu bloklar içerisindeki işlemcilerde iş parçacıkları (threadler) çalıştırılır. GPU üzerinde çalışan fonksiyonlara "kernel" adı verilmektedir. Bir kernel bir ızgaranın içerisindeki tüm iş parçacıklarında aynı anda tekli işlem çoklu veri (SIMD-Single Instruction Multiple Data) mimarisine uygun olarak farklı veriler üzerinde aynı işlemi yapacak şekilde çalışır. Fiziksel olarak paralel işleyen iş parçacığı gruplarına warp adı verilmektedir. Warp'ların her biri 32 iş parçacığı grubundan oluşmaktadır.

Bir CUDA programı hem CPU'da hem de GPU'da işlenecek olan kodları içerir. Bu kodların CPU'da işlenecek olan bölümlerinde herhangi bir veri paralelliği olması zorunlu değildir. GPU'da işlenecek olan kod veri paralelliği içeren kodlardan oluşur. NVIDIA derleyicisi kodu derleme sırasında iki bölüme ayırır. Yönetici kodu CPU'da çalışır ve standart C derleyicisi tarafından derlenerek çalıştırılır. Cihaz kodları ise kernel'lerdir. Kernel'ler CUDA Yazılım Geliştirme Kiti (SDK-Software Development Kit) tarafından çalıştırılırlar. Kernel'ler çok sayıda iş parçacığından oluşur. Bu iş parçacıkları CPU'da seri olarak ve çok sayıda devirde işlenirken, GPU'da aynı anda her biri farklı bir işlemcide farklı veriler ile ve aynı kodla işlenirler.

GPU üzerinde çalışacak bir kernel'in işlem adımları şu şekildedir:

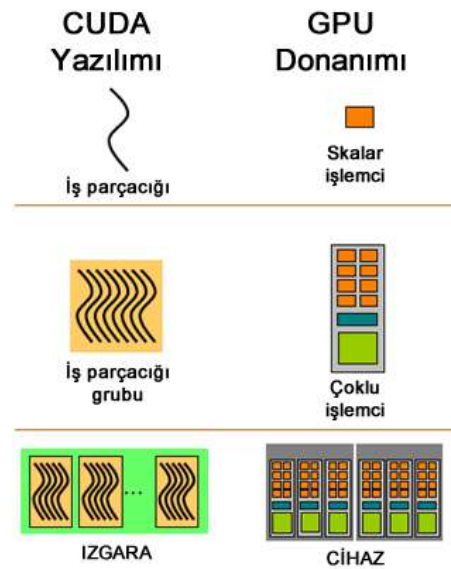
1. İşlenecek olan veriler CPU'dan GPU'ya aktarılır.
2. CPU, GPU'ya kernel'in işlenmesi için komut verir.
3. GPU kernel'i işler.

Çizelge 1. CUDA Kütüphaneleri (CUDA Libraries)

Kütüphane Adı	Uygulama Alanları
cuBLAS	Temel matematiksel işlemler
cuSPARSE	Seyrek matrisler ile ilgili işlemler
cuSOLVER	cuBLAS ve cuSPARSE kütüphanelerini temel alan üst seviye paketler
cuRAND	Rasgele sayı üretme
NPP	Görüntü ve video işlemede kullanılan temel işlemler
nvGRAPH	Graf işlemleri
Thrust	CUDA, TBB (Threading Building Blocks) ve OpenMP'yi kullanan paralel programlama kütüphanesi

4. Sonuçlar GPU'dan CPU'ya aktarılır.

CUDA platformunda yazılım ve donanım kavramları eşleştirildiğinde Şekil 4'de verilen durum ortaya çıkmaktadır. Buna göre her bir iş parçacığı bir skalar işlemcide işlenir. Bir blok içerisindeki iş parçacıkları bir çoklu işlemcide işlenirler. Bu işlemler eşzamanlı olarak gerçekleştirilir. Blokların bir araya gelmesiyle ızgara adı verilen yapılar oluşur. Bir kernel bir ızgara içerisindeki bloklarda çalıştırılır. Bir blokta aynı anda ancak bir kernel çalıştırılabilir.



Şekil 4. CUDA platformunda yazılım donanım kavramlarının eşleştirilmesi (Matching of software and hardware concepts in CUDA platform)

2.2.3 CUDA Kütüphaneleri (CUDA Libraries)

NVIDIA tarafından CUDA kullanımını yaygınlaştırmak amacıyla C ve C++ geliştiricileri için GPU hızlandırma uygulamaları içeren kütüphaneler geliştirilmiştir. Bu kütüphaneler program geliştiricilerin kodlarını daha kısa sürede GPU ile hızlandırmayı hedeflemektedir. En yaygın kullanılan GPU kütüphaneleri ve uygulama alanları Çizelge 1'de verilmektedir.

Her bir kütüphane için kullanıcı kılavuzlarında içerdikleri fonksiyonlar ve kullanımları anlatılmaktadır. NVIDIA gelişmiş dokümantasyonu [6] ile CUDA kullanımını arttırmayı hedeflemektedir.

3. CUDA PLATFORMU KULLANILAN İLK UYGULAMALAR (FIRST APPLCATIONS USING CUDA PLATFORM)

CUDA platformu ilk olarak Şubat 2007'de yayınlanmıştır. Bu nedenle CUDA ile ilgili yapılan çalışmalar bu tarihten itibaren literatürde yer almaktadır. CUDA platformu ilk olarak matrislerin çarpımı gibi genel amaçlı problemlerin çözümünde kullanılmıştır. Yapılan uygulamalarda çok yüksek performans elde edilmemesine rağmen CUDA'nın ilk uygulamaları GPU teknolojilerinin hızla gelişmesini ve yaygınlaşmasını sağlamıştır. Bu bölümde CUDA ile ilgili ilk çalışmalar özetlenmekte ve değerlendirilmektedir.

Es ve İşler'in [7] 2007 yılında yayınladıkları çalışma GPU kullanımının ilk örneklerindedir. Çalışmada ışın izleme uygulaması GPU kullanımı ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmada ileri eşyönsüz (anizotropik) satranç tahtası mesafe dönüşümleri kullanarak GPU tabanlı keşişim algoritması geliştirilmiştir. Önerilen keşişim algoritmasının diğer ızgara tabanlı algoritmalara göre paralel akış işlemeye daha uygun olduğu ve hızlı çalıştığı belirtilmiştir. Yine aynı yılda Göddeke ve diğerlerinin [8] yaptıkları çalışmada GPU hesaplama yapabilecek bir kümede (cluster) bir uygulamanın çalıştırılması sonucunda ölçülen işlem süreleri karşılaştırılmıştır. Çalışmada 160 makinadan oluşan bir küme üzerinde matris çarpımı yapılmaktadır. Uygulamada küme kullanıldığından iletişim MPI ile sağlanmakta ve veri iletişimi için de bir zaman harcanmaktadır. CPU ve GPU kullanıldığında elde edilen işlem zamanlarına göre tüm sonuçlarda GPU'nun avantaj sağladığı görülmektedir. Zwartva ve diğerleri [9] ise yerçekimli N-body simülasyonunu GPU kullanarak gerçekleştirmişlerdir. NVIDIA'nın Quadro ve Geforce ekran kartları kullanılmıştır. GRAPE serisi bilgisayarlarla sonuçlar karşılaştırılmıştır. [7] ve [8]'da herhangi bir hızlanma oranı verilmemesine rağmen [9]'da 20 kata kadar hızlanma elde edilmiştir. Algoritma Cg (C Graphics) programlama dili kullanılarak geliştirilmiştir. Cg programlama dili, OpenGL (Open Graphics Library) ve DirectX kütüphanelerini kullanmaktadır. Anderson ve diğerleri [10] ise çalışmalarında Kuantum Monte Karlo metodunun çözümünü gerçekleştirmişlerdir. Bu metod oldukça fazla işlem yükü gerektirmektedir. Ancak CPU kümelerde paralelleştirilmesi oldukça zordur. Oldukça fazla veri paralellığı barındırmaktadır. Çalışmada Kuantum Monte Karlo metodu GPU kullanılarak paralelleştirilmiştir. NVIDIA ekran kartı kullanılmaktadır. Kernellerde 30 kata kadar, uygulamada ise 6 kata kadar hızlanma sağlanmıştır. Kahan toplama formülü kullanılarak yapılan matris çarpımında en iyi performans elde edilmiştir. Monte Carlo metodunun uygulandığı başka bir çalışma Martinsen ve diğerlerinin [11] 2009 yılında yayınlanan çalışmasıdır. Foton taşıma modelleme için Monte Karlo algoritması CUDA araçları kullanılarak NVIDIA 8800GT grafik kartında uygulanmıştır. Algoritmanın seri hali C++ programlama dilinde yazılmıştır. Seri kısmı tek çekirdekli işlemcide çalıştırılmıştır. Paralel kısmı ise C ile CUDA 1.1 versiyonu kullanılarak yazılmıştır.

Uygulamada hafıza kullanımına önem verilmektedir. Saniyede 110 milyon işlemi grafik kartı ile 70 kat hızlandıran bir uygulama gerçekleştirilmiştir.

Che ve diğerleri [12] yaptıkları çalışmada OpenMP (Open Multi-Processing) ve CUDA konusunda kapsamlı bir araştırma yayınlamışlardır. Belirli bir uygulama olmamakla birlikte o dönemde çok yeni bir konu olmasından dolayı genel sonuçlar ortaya koymuşlardır. Çalışmada tek iş parçacığı ve çoklu iş parçacıklarında çalışmanın etkileriyle birlikte tek iş parçacığıyla çalışmanın hızı arttıracağı belirtilmektedir. Bellek kullanımı ve yığın çatışmasının (bank conflict) oluşumu anlatılmakta ve kazanç arttırmak için yığın çatışmasının önüne geçilmesi gerektiği belirtilmektedir. Elde edilen sonuçlara göre 70 kata kadar hızlanma sağlanmıştır.

Görüntü işlemede GPU kullanımı ile ilgili literatürde rastlanan ilk çalışma 2008 yılında Diez ve diğerlerinin [13] çalışmasıdır. Çalışmada farklı yöntemlerle görüntü geriçatma işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemler GPU üzerinde paralelleştirilmiş, işlem zamanları ve kazançları farklı çözünürlükteki resimler için gerçekleştirilmiştir. Sürekli iteratif geriçatım (SIRT-Simultaneous Iterative Reconstruction Technique) ve sürekli cebirsel geriçatım (SART- Simultaneous Algebraic Reconstruction Technique) teknikleri GPU üzerinde uygulanmıştır. CPU ile karşılaştırıldığında 60 ile 80 kat arasında kazanç elde edilmiştir. Elde edilen kazanç bu konuda yapılacak çalışmalar için çok ümit verici olmuştur. Aynı yıl yayınlanan Stone ve diğerlerinin [14] çalışması ise görüntü işlemede CUDA kullanılması ilk örneğidir. Çalışmada manyetik rezonans (MR-Magnetic Resonance) görüntüleri üzerinde geriçatma algoritmaları GPU üzerinde çalışacak hale getirilmektedir. CUDA 1.0 ve CUDA 1.1 karşılaştırması yapılmıştır. FHD algoritmasının seri ve CUDA'da yazılmış kodları makalede verilmektedir. Ayrıca CUDA çalışırken verilerin hafızadaki hareketi şematik olarak gösterilmiştir. Hafızada sabit ve tampon belleğe verilerin aktarım farkının hızı etkisi tablo halinde verilmiştir. 2 ile 9 kat arasında hızlanma sağlanmıştır. Global belleği çok kullanan uygulamalar daha yavaş çalışırken yazmaçları ve sabit belleği kullanan uygulamaların daha hızlı çalıştığı belirtilmektedir.

2008'de yapılan diğer çalışmalarda çeşitli uygulamalar paralelleştirilmiştir. Schenk ve diğerleri [15] çalışmada matris çarpımını paralelleştirmektedirler. Farklı matris boyutlarına göre performans ve bant genişliği incelenmiştir. 32 bit CPU, 64 bit CPU ve GPU'nun performans karşılaştırması yapılmış ve 64 bit CPU'ya göre GPU'da 6.5 kata kadar hızlanma görülmüştür. Matris çarpımının paralelleştirildiği diğer bir çalışma Diez ve diğerlerinin [16] çalışmasıdır. Matris çarpımının yanı sıra Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT -Fast Fourier Transform) de GPU ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmada 2 Boyutlu (2B) Hızlı Fourier Dönüşümü ve 3B FFT GPU uygulaması CPU ile karşılaştırılmıştır. Fourier dönüşümü farklı filtreler ile uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre en iyi hızlanma lineer filtre ile 256X256X256 büyüklüğündeki verilerde 24 kat ölçülmüştür. Belleman ve diğerleri [17] yaptıkları

çalışmada N-body benzetimini GPU kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Uygulamalar Geforce 8800 GTX ekran kartı üzerinde çalıştırılmıştır. Çalışmanın ilk sonuçları 2007 yılında yayınlanmıştır. 2007'de Cg dili ile uygulama yapılmışken bu makalede CUDA kullanılmıştır. Global belleğe ulaşım yavaşken (400-600 çevrim(cycle)) paylaşımlı belleğin hızlı olduğu (4 çevrim) belirtilmektedir. Bu nedenle çalışmada paylaşımlı bellek en verimli şekilde kullanılmıştır. Veriler küçük parçalara ayrılmıştır. Uygulama 128 iş parçacığı içermektedir. GRAPE 6 kütüphanesi kullanılarak uygulama gerçekleştirilmektedir. Elde edilen sonuçlara göre 230 kata kadar performans artışı görülmüştür. Çalışma, temel bilgiler içermekte olup GPU donanımının verimli kullanımı konusunda iyi bir kaynaktır.

Ram ve diğerleri [18] çalışmalarında en küçük kareler yöntemini kullanmışlardır. Metroloji sistemleri yüzey bilgilerini (x,y,z) noktası olarak koordinat bilgileri şeklinde alırlar. Bu bilgiler en küçük kareler yöntemi ile koni, silindir, düzlem gibi şekillere dönüştürülür. En küçük kareler yöntemi noktalardan şekillere dönüştüren tipik bir yöntemdir. Noktalar arasındaki uzaklıkların toplamını minimize eder. Büyük sistemlerde bu problemin çözümü yüksek işlem zamanı gerektirir. Çalışmada Gauss-Newton metodunun GPU ile CUDA platformu kullanılarak uygulaması yapılmıştır. Farklı nokta sayıları ile yapılan uygulama sonuçları karşılaştırıldığında GPU ile elde edilen hızlanma CPU'ya göre en fazla 18 kat olarak ölçülmüştür. Geometrik şekillere göre farklı hızlanmalar elde edilmiş ve en iyi hızlanma 18 kat ile halkada gerçekleşmiştir. Uygulaması C++'da gerçekleştirilmiştir. Ryoo ve diğerleri [19] çalışmalarında mevcut programların GPU kullanarak hızlı bir şekilde yapılması için kod optimizasyon yöntemi önermiş ve dört farklı uygulama üzerinde gerçekleştirmişlerdir. Uygulamalarda Geforce 8800 GTX ekran kartı ve CUDA platformu kullanılmışlardır. Çalışmada performansı arttırmak için veriler bölünerek GPU'da işlenmektedir. Paylaşımlı bellek kullanılması ile global belleğe erişimin azaltılması sayesinde verilere erişim kısaltılarak hızlanma sağlanmaktadır.

2009 yılındaki yayınlar arasında Walsh ve diğerlerinin [20] çalışması yer almaktadır. Lattice-Boltzman kodu, sonlu elemanlar analizi ve en küçük kareler yöntemini uygulamışlardır. Makalede 3 uygulamanın GPU implementasyonu gerçekleştirilmiştir: Akışkanlar dinamiği, sismik dalga yayılımı ve kaya manyetiği. Bu uygulamalar önemli sayısal modelleme tekniklerini içermektedirler ve fen ve mühendislik alanında kullanılan önemli uygulamalardır. Uygulamalarda 10 ile 30 kat arasında hızlanma sağlanmıştır. GPU programlamada grafik kartının hafıza büyüklüğü, GPU ve CPU arasındaki veri transferi hızı ve simülasyondaki elemanların karmaşıklık derecesinin karşılaşılan sınırlamalar olduğu belirtilmektedir. Sonlu elemanlar analizinin uygulandığı başka bir çalışma Komatitsch ve diğerlerinin [21] çalışmasıdır. Depremlerden alınan sonuçlar üzerinde uygulama yapılmıştır. Uygulama CUDA kullanılarak tek hassasiyetli kayan noktali

(single precision) sayılar ile gerçekleştirilmiştir. Uygulamalar Geforce 8800 GTX ve Geforce GTX 280 ekran kartları üzerinde çalıştırılmıştır. Veri iletim süresi hariç sırasıyla 15 ve 25 kata kadar, veri iletim süresi dahil 5 ve 7 kata kadar hızlanma elde edilmiştir.

GPU'nun kullanıldığı ilk çalışmalar incelendiğinde, genel amaçlı GPU programlamanın çok farklı alanlarda kullanıldığı görülmektedir. Standart ve bilinen bazı algoritmaların paralelleştirilmesi GPU kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmaların bazılarında hızlanma için sayısal değer verilmemekle birlikte sadece hızlanma sağlandığı beyan edilmiştir. İlk GPU uygulamaları; GPU programlamada donanım kullanımı, hafıza yönetimi, kernel'lerin çalıştırılması gibi konulara açıklık getirdiğinden elde edilen sonuç ve uygulanan alan ne olursa olsun çok önemli çalışmalardır. Gerçekleştirilen uygulamalar bilinen algoritmaların paralelleştirilmesi olmakla birlikte GPU programlamanın ilk ve referans alınacak çalışmalarıdır. Yüksek performans elde etmek için GPU programlama ve CUDA kullanılan ilk çalışmalarda elde edilen sonuçlar umut verici olmuş, bu teknolojinin hızlı gelişimini tetiklemiştir.

4. GÖRÜNTÜ İŞLEMEDE CUDA UYGULAMALARI (CUDA APPLICATIONS ON IMAGE PROCESSING)

GPU programlamada CUDA platformu kullanılan paralel görüntü işleme çalışmaları; görüntü geriçatma, iyileştirme, bölütleme, çakıştırma ve sınıflandırma konu başlıkları altında aşağıda detaylı bir şekilde incelenmiştir.

4.1 Görüntü Geriçatma (Image Reconstruction)

Nesnelerin 2B ve 3B yüzey görüntüleri kameralar kullanılarak elde edilebilir. Öte yandan nesnelerin kesitlerinin görüntüsünü elde etmek için özel cihazlar ve sensörler kullanılmaktadır. Bu cihazlarla toplanan verilerin matematiksel işlemlere tabii tutularak bilgisayar ortamında görüntüye dönüştürülmesi işlemine görüntü geriçatma denir. Görüntünün oluşturulması için gerçek bir nesnenin cihazlar ile farklı açılardan elde edilen sinyallerin her biri dönüştürülüp tek bir görüntü üzerinde birleştirilerek gerçek nesneye en yakın görüntü elde edilmeye çalışılır. Geriçatma işlemi ileri ve geri izdüşüm (forward and backward projection), ağırlıklandırılmış geri izdüşüm (WBP), iteratif geriçatma, eşzamanlı iteratif geriçatma (SIFT), FDK (Feldkamp Davis Kress), adaptif en küçük dikdörtgen kapama (AMER-Adaptive Minimum Enclosing Rectangle), vb. algoritmalarla gerçekleştirilmektedir. Bu algoritmalar uzun zaman alabilmektedir. Bu zamanın kısaltılması için GPU uygulamaları yapılmaktadır. Görüntü geriçatmada CUDA kullanımı ile ilgili literatürde karşılaşılan çalışmalar aşağıda değerlendirilmektedir.

İncelenen çalışmalarda görüntü geriçatmada ileri ve geri izdüşüm yönteminin CUDA ile paralelleştirmede en çok kullanılan yöntem olduğu görülmektedir [22, 23, 24, 25]. Vazquez ve diğerleri [22] 2010 yılında yaptıkları çalışmada ağırlıklandırılmış geriye izdüşüm (weighted back

projection) yöntemi ile tomografik görüntülerin geriçatımını CUDA ile gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada dört farklı metod kullanılmış ve GPU'da gerçekleştirilmiştir. Farklı veri seti büyüklükleri için yapılan uygulamalar CPU ve GPU'da çalıştırılmış ve karşılaştırılmıştır. Uygulamalar Geforce GTX 295 ekran kartında çalıştırılmıştır. Ekran kartı her biri 8 çekirdek içeren 30 çoklu işlemci ve 1.2 GHz, 896 MB hafıza içermektedir. GPU'da CPU'ya göre 40 kata kadar hızlanma sağlanmıştır. Geriye projeksiyon yöntemini kullanan diğer bir çalışma Noel ve diğerlerinin [23] 2010 yılında yaptıkları çalışmadır. Çalışmada ağırlıklandırılmış filtrelenmiş geriye izdüşüm ile görüntü geriçatma işlemi CUDA kullanarak çift hassasiyetli kayan noktalı mimari ve basit mimari ile uygulanmaktadır. Konik ışın (cone beam) bilgisayarlı (computed) tomografi ile 3B görüntüler elde edilmektedir. Konik ışın tomografi kullanılarak kısa tarama ile 60 saniyede tarama yapılmaktadır. Standart yöntemlerle 256x256x256 boyutlarındaki bir görüntünün geriçatımı 25 dakikanın üzerinde zaman almaktadır. GPU kullanılarak bu işlem çok daha kısa sürede gerçekleştirilmektedir. Makalede CUDA kullanılarak NVIDIA Geforce GTX 280 ekran kartlarında 3B görüntüler geriçatılmaktadır. İşlem zamanı 256x256x256 görüntülerde 3.2 saniyeye, 512x512x512 görüntülerde 8.5 saniyeye düşürülmüştür. Çift hassasiyetli kayan noktalı mimaride, basit mimari ile karşılaştırıldığında %60 oranında hızlanma görülmüştür. Zheng ve diğerleri [24] çalışmalarında iteratif geriçatma yöntemini GPU sayısını artırarak daha kısa sürede gerçekleştirmektedirler. Herraiiz ve diğerleri [25] ise çalışmalarında pozitron emisyon tomografisi ile elde edilen görüntüleri ileri ve geri projeksiyon yöntemini kullanarak geriçatmaktadırlar. Bu işlemi GPU ile CPU'ya göre 72 kata kadar hızlandırmışlardır.

Xu ve diğerleri [26] 2010 yılında 3B elektron tomografi iteratif geriçatma algoritmasını CUDA platformunu kullanarak hızlandırmışlardır. Başka bir çalışmada ise Xu ve diğerleri [27] yine görüntü geriçatmanın paralelleştirilmesini GPU ile gerçekleştirmiş ancak farklı bir algoritma kullanmışlardır. Olasılıkları en iyileme (expectation maximization) ve eş zamanlı iteratif geriçatma tekniği bilgisayarlı tomografide sık kullanılan geriçatma algoritmalarıdır. Bu teknikler yakınsamanın artmasıyla popüler ve daha performanslı teknikler haline gelmektedirler. Bu çalışmada eşzamanlı iteratif geriçatma tekniği GPU ile hızlandırılarak gerçek zamanlı uygulamalarda kullanılabilirliği artırılmış ve optimize edilmiştir. Palenstijn ve diğerleri [28] 2011 yılında yaptıkları çalışmada Xu ve diğerlerinin [26] çalışmasını iyileştirmişlerdir. Çalışmada thread bloklarının ve belleğin daha verimli kullanılması sayesinde 10 kata varan hızlanma elde edilmiştir. Başka bir çalışmada ise Blas ve diğerleri [29] 2014 yılında X-ray görüntüleri üzerinde geri izdüşüm yöntemi ile görüntü geriçatım işlemi gerçekleştirmişler ve GPU implementasyonu ile hızlandırmışlardır. Bu konuda yapılan çalışmalar ile karşılaştırılmış ve çalışmada 3 kat hızlanma sağlanarak diğer benzer çalışmalardan daha iyi sonuçlar alınmıştır.

İteratif izdüşüm kullanmasına rağmen Flores ve diğerlerinin [30] 2013 yılında yaptıkları çalışmanın yukarıdakilerden farkı CUBLAS ve CUSPARSE kütüphanelerini kullanmaları olmuştur. Bu çalışmanın amacı da yüksek kalitedeki resimleri düşük örnekleme ve gürültülü izdüşüm verileri ile geriçatmada hızlandırmalı GPU tabanlı algoritma kullanmaktır. Çözünürlüğün yükselmesiyle 19 kata kadar hızlanma elde edilmiştir. Aynı kütüphaneleri kullanan diğer bir çalışma ise Flores ve diğerleri [31] tarafından 2014 yılında yapılmıştır. Farklı çözünürlüklere göre işlem süreleri değişmekle birlikte en iyi sonuçlar yüksek çözünürlüklerde elde edilmiştir. GPU'da elde edilen işlem süresi CPU'ya göre 4 kata kadar azaltılmıştır. Feng ve diğerleri [32] 2013 yılında yaptıkları çalışmada görüntü geriçatmada GPU'yu farklı bir kütüphane üzerinde kullanmışlardır. PROPELLER klinik uygulamalarda veri ve hareket doğrulama metodlarını kullanarak görüntü geriçatma gerçekleştiren bir sistemdir. Bu çalışmada hareket ve yön doğrulama ile görüntü geriçatmada GPU kullanılmaktadır. Gerçekleştirilen çalışmada 6 kata kadar hızlanma elde edilmiştir. Kütüphane kullanan diğer bir çalışma ise Li ve diğerlerinin [33] 2010 yılında yaptıkları çalışmadır. 3B görüntü geriçatma için FREALIGN isimli bir kütüphane kullanmışlardır. Kütüphane ile dağıtık programlama için çok işlemcili küme üzerinde uygulama kolaylıkla yapılabilmektedir. Kütüphanenin işlemi tamamlama süresi, veri setindeki parça sayısı ve CPU sayısına göre değişmektedir. Son versiyonu MPI desteklidir. Bu çalışmada FREALIGN'a GPU programlama eklenmiştir. 10-240 kat arasında hızlanma sağlanmıştır. GPU üzerinde tek parçacıklı 3B geriçatma algoritması gerçekleştirilmiştir. Fourier dönüşümü kullanılarak geriçatma gerçekleştirilmiştir. Ayrıca tek GPU ile 4 ve 8 GPU karşılaştırılmıştır.

Okitsu ve diğerleri [34] 2010 yılında yaptıkları çalışmada geriçatmada çok kullanılan algoritmalarından biri olan FDK algoritmasını kullanarak CUDA platformunda hızlanma sağlamışlardır. Konik ışın görüntü geriçatma işleminde 3 teknik kullanmaktadırlar. Bu teknikler: (1) Bellek bant genişliğini korumak için GPU yongası dışındaki belleğe ulaşımın en aza indirilmesi, (2) Bellek gecikmesini önlemek için döngülerin açılması, (3) Birden fazla GPU için çoklu iş parçacıklarının kullanılmasıdır. Bu teknikler görüntü geriçatma için kullanılmaktadır. Elde edilen sonuçlarda teorik bant genişliğinin %83'ü kullanılmış ve 512x512x512 boyutlarında olan vokselde (bir noktayı 3B uzayda tanımlayan grafik bilgisi) saniyede 64.3 izdüşüm değerine ulaşılmıştır. Bu performans standart CUDA tabanlı metottan %41 daha hızlı, CPU'dan ise 24 kat daha hızlıdır. Aynı algoritmayı kullanan başka bir çalışma Scherl ve diğerleri [35] tarafından 2012 yılında gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmada hem CPU çekirdekleri üzerinde hem de GPU üzerinde algoritmayı paralelleştirmişlerdir. GPU ile paralelleştirmede CUFFT kütüphanesini kullanmışlardır. Optimize edilmiş geriye izdüşüm uygulaması ile GPU'da 22 kata kadar hızlanma elde edilmiştir.

2011 yılında Chang ve diğerleri [36] incelenen geriçatma yöntemlerinden farklı bir yöntem üzerinde çalışmışlardır.

Çalışmada yeni çok görüntülü stereo tabanlı yüzey eleman algoritması önerilmektedir. Farklı noktalardan alınan görüntüler ile stereo eşleme gerçekleştirilmekte, daha sonra yüzey elemanları yerleştirilmekte, ardından da çizgeler (graph) oluşturulmaktadır. 3B görüntülerin geriçatımı bu şekilde sağlanmaktadır. İşlem zamanını düşürmek amacıyla GPU kullanılmaktadır. Bu yaklaşım ile 3B görüntüler CPU'ya göre 100 kat daha hızlı geriçatılmaktadır.

2012 yılında Jiang ve diğerleri [37] CT görüntüleri üzerinde buğday fidanlarını sayan uygulamayı GPU ile paralelleştiren oldukça farklı bir çalışmaya imza atmışlardır. Buğday, yetiştirilen tarlalarda elle sayılmaktadır. Bu çalışmada fidanları Xray bilgisayarlı tomografi ile otomatik sayan bir sistem geliştirmişlerdir. CT görüntülerini geriçatmayı gerçek zamanlı bir uygulamada çalıştırabilmek için zaman kısıtlaması vardır. Bunun için geriçatma GPU ile hızlandırılmıştır. Çalışmada AMER yöntemi ile çalışma alanı üzerinde oluşturulan görüntü üzerindeki piksel sayısı çıkarılmaktadır. Kullanılan iki yöntem de GPU ile hızlandırılmıştır. CPU ile GPU karşılaştırılmasında 200 kata kadar hızlanma elde edilmiştir. AMER ve GPU'nun birlikte kullanıldığı durumda ise CPU'ya göre 1100 kata kadar hızlanma elde edilmiştir.

Agulleiro ve diğerleri [38] 2012 yılında yaptıkları çalışmada 3B tomografi görüntülerini geriçatmada hibrit bir sistem kullanmışlardır. En çok kullanılan görüntü geriçatma yöntemlerinden ağırlıklandırılmış geri izdüşüm ve eşzamanlı iteratif geriçatma algoritmalarını paralelleştirmişlerdir. Hibrit sistemde çok çekirdekli CPU ve GPU'yu birlikte kullanmışlardır. Sadece CPU ve sadece GPU paralellğine göre 1,5-2 kat hızlanma elde etmişlerdir.

2013 yılında yayınlanan ve manyetik rezonans (MR-Magnetic Resonance) görüntülerinin geriçatımında farklı algoritmalar kullanan diğer çalışmalar şu şekildedir: Yang ve diğerleri [39] MR görüntü geriçatımında ızgaralama (gridding) algoritmasını geleneksel olarak Fourier dönüşümü kullanarak gerçekleştirmektedirler. Çalışmada ters ızgaralama algoritmasında geleneksel ızgaralama algoritmasından farklı olarak her bir eğri için bir ızgara penceresinde işlem yapılmaktadır. CUDA tabanlı ters ızgaralama algoritmasında 7.5 kat hızlanma elde edilmiştir. Piccialli ve diğerleri [40] ikinci derecede türevli olan bir yaklaşım kullanmaktadırlar. 3B görüntüler üzerinde geriçatma işlemi çok çekirdekli CPU ve çoklu GPU'da çalıştırılmış ve 25 kata kadar hızlanma elde edilmiştir. Monte ve diğerleri [41] Monte Karlo yöntemini GPU paralel programlama teknikleri kullanarak uygulamakta ve seri algoritma ile paralel algoritmanın işlem sürelerini karşılaştırmaktadırlar. Gai ve diğerleri [42] yaptıkları çalışmada MR görüntüleri üzerinde geriçatım gerçekleştirmekte ve GPU ile hızlandırmada optimizasyon sağlamaktadırlar. GPU kullanımında cuFFT kütüphanesini, hızlanma için paylaşımlı belleği kullanmaktadırlar. Bununla birlikte görüntü ızgara şeklinde bölümlere ayrılarak gereksiz bölümlerin işlenmesi engellenmektedir. Böylece performans artışı elde edilmiştir.

Bilgisayar mimarilerini karşılaştıran ve özgün çalışmalardan biri olan Birk ve diğerlerinin [43] 2014 yılında yaptıkları çalışmada 3B bilgisayarlı tomografi görüntülerinin geriçatımı için iki algoritma kullanılmıştır. Bu algoritmalar GPU ve alanda programlanabilir kapı dizileri (FPGA-Field Programmable Gate Array) üzerinde çalıştırılmış ve performans analizi yapılmıştır. Çalışmada GPU ve FPGA'lar donanımsal olarak incelenmiştir. Fermi ve Kepler mimarisinin donanımsal farkları verilmiştir. 40 nm (nanometre) ve 28 nm mimarilerinin benzerlikleri ve farkları ortaya konmuştur. 40 nm mimarili GPU ve FPGA'larda çalıştırılan iki algoritmada birbirine yakın performans elde edilmiştir. 28 nm mimarili FPGA'lar ise GPU'ya göre farklı algoritmalarda %86 ve %39 oranında daha iyi sonuç vermiştir. Chang ve diğerleri [44] yaptıkları çalışmada MR görüntülerinin geriçatması için yayılım ağırlıklı görüntüleme yöntemini GPU kullanarak yüksek hızlanma ile gerçekleştirmişlerdir. Veri setlerine göre farklı oranlarda hızlanma sağlanmıştır. Verilen sonuçlara göre 490 kata kadar hızlanma sağlanmışlardır. 3B model oluşturmada eğitimsiz bir yapay sinir ağı algoritması olan nöral gaz algoritmasını Orts-Escolano ve diğerleri [45] 2015 yılında yaptıkları çalışmada kullanmışlardır. Bu algoritma ile nesnelere 3B modellerini oluşturmuşlar ve görüntü geriçatma işlemini gerçekleştirmişlerdir. Algoritmayı GPU kullanarak hızlandırmışlar ve farklı boyutlardaki görüntülerde farklı hızlanmalar elde etmişlerdir. CUDA kullanarak 180 kata kadar hızlanma sağlamışlardır.

Görüntü işlemede CUDA uygulanan çalışmalar içerisinde en geniş yerin görüntü geriçatmada olduğu görülmektedir. Görüntü geriçatmada en çok kullanılan ileriye ve geriye izdüşüm yöntemlerinin, paralelleştirilen CUDA platformu uygulamalarında da en yoğun kullanılan algoritmalar olduğu görülmektedir. Uygulamalar büyük oranda tıbbi veriler üzerinde, tıbbi uygulamalar da genellikle CT ve MR görüntüleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Görüntü geriçatmada iteratif yöntemlerin kullanılması bu nedenle yüksek işlem gücü gerektirmesi CUDA'nın bu uygulamalarda yoğun bir şekilde kullanılmasına neden olmuştur. Ayrıca alınan görüntülerin 3B olması nedeniyle sayısal olarak fazla veri içermesi daha fazla performans elde edilmesini sağlamaktadır. Her bir veri üzerinde aynı algoritmanın uygulanması ve komşu piksel ilişkisinin olmaması ise paralelleştirme seviyesini artırmakta ve paralelleştirmeyi kolaylaştırmaktadır. Çünkü paylaşımlı bellek kullanımına ve karmaşık bellek yönetimine ihtiyaç duyulmadan en iyi hızlanma sağlanabilmektedir.

4.2. Görüntü İyileştirme (Image Enhancement)

Görüntü iyileştirme alanında uygulanan tekniklerin nihai hedefi, görüntünün niteliğini istenilen ve beklenen şekilde yükseltmektir. Görüntü iyileştirme, gerçek görüntüden farklı olarak alınan görüntülerde var olan gürültü, bulanıklık, renk, ışık vb. gibi problemlerin ortadan kaldırılması ve görüntünün mümkün olduğunca gerçeğine yakın hale getirilmesi işlemlerinin tümüdür. Öte yandan görüntü işleme adımlarının başarısını artırmak için de görüntü iyileştirme algoritmaları kullanılabilir. Kontrast ve

parlaklık düzenlemeleri, kenar zenginleştirme, histogram eşitleme gibi uygulamalar, kişinin görsel algılamasını etkilemeyi hedefleyen ve bu konuda başarı sağlayabilen en temel görüntü iyileştirme teknikleridir. Görüntü iyileştirmede kullanılan algoritmalar genellikle temel teknikleri içermektedir. Bu algoritmaların işlem süreleri de (görüntünün çözünürlüğü ile değişmekle birlikte) genellikle diğer görüntü işleme adımlarına göre daha azdır. Görüntü iyileştirme teknikleri konusunda yapılan CUDA uygulamaları tarih sırasına göre aşağıda verilmektedir.

Görüntü iyileştirme konusunda ilk çalışmayı 2010 yılında Huhle ve diğerleri [46] yapmışlardır. Çalışmada renkli görüntüler üzerinde gürültü ayıklama işlemi gerçekleştirilmişlerdir. Çalışmada GPU uygulaması olmasına rağmen GPU'ya çok az yer verilmiş ve hızlanmayla ilgili herhangi bir veri, tablo veya grafik verilmemiştir. Sadece hızlandığı bir cümle ile söylenmiştir. GPU ve CUDA kullanımında öncelikli hedef hızlanma olduğundan elde edilen hızlanmaların net olarak verilmesi beklenmesine rağmen çalışmada sayısal bir değer verilmemektedir ancak çalışma gürültü temizleme konusunda ulaşılan ilk çalışma olması açısından önemlidir.

Gürültülerin temizlenmesinde CUDA kullanan başka bir çalışma Sanchez ve diğerleri [47] tarafından 2013 yılında yayınlanmıştır. Algoritmada fuzzy metriği kullanılmaktadır ve eş grup konsepti tabanlıdır. Algoritma aynı zamanda çok çekirdekli platformlardan OpenMP kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Performans işlem zamanına göre değerlendirilmiş ve büyük miktardaki veriler CPU ve GPU'ya paylaştırılmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçlar gürültü yok edici filtrenin paralel halinin gerçek zamanlı uygulamalara kapı açacak nitelikte olduğunu göstermektedir. Uygulama 3 farklı şekilde gerçekleştirilmiştir. Birinci uygulamada çok çekirdekli işlemcide OpenMP kullanılmış ve 16 çekirdekli makinada 10 kata kadar hızlanma elde edilmiştir. İkinci uygulamada GPU'da CUDA kullanılarak 4 GPU'da 30 kata kadar hızlanma elde edilmiştir. Bir de hem GPU hem de CPU kullanılarak uygulama çalıştırılmıştır. İşin 1/8 i CPU'ya 7/8 i GPU ya yaptırılarak en iyi hızlanma elde edilmiştir.

GPU'da çözünürlük arttıkça hızlanma oranının da arttığını [48] ve [49] çalışmalarında belirtmişlerdir. Urena ve diğerleri [48] yaptıkları çalışmada yeni bir kontrast iyileştirme tekniği önermektedirler. 320x240, 640x480 ve 600x800 olmak üzere üç farklı çözünürlükte elde edilen sonuçlara göre en iyi sonuç 600x800 çözünürlüğünde görüntülerde elde edilmektedir. CPU ile saniyede 2 görüntü işlenirken GPU kullanılarak saniyede 20 görüntü işlenir hale gelmektedir. Ma ve diğerleri [49] ise 2014 yılında yaptıkları çalışmada Laplace kullanarak görüntü keskinleştirmeyi CUDA ile hızlandırmaktadırlar. Klasik Laplace görüntü keskinleştirme algoritmasında tüm pikseller tek tek işlenmekte ve yüksek işlemci gücü gerektirmektedir. Özellikle yüksek çözünürlüklü resimler için Laplace keskinleştirme işleminde CPU işlem zamanı yüksek olmaktadır. Bu çalışmada Laplace keskinleştirme algoritmasının GPU üzerinde uygulamasında farklı hafıza tipleri kullanımı incelenmiş ve paylaşımlı hafıza

kullanımının genel hafızaya göre daha performanslı çalıştığı görülmüştür. İki algoritmanın sonuçları verilmiştir. Farklı görüntü boyutlarına göre keskinleştirme işlemi OpenCV (Open Source Computer Vision) kütüphanesi fonksiyonları ile global bellek kullanılarak GPU ile ve paylaşımlı bellek kullanılarak GPU ile gerçekleştirilmiştir. En iyi sonuç 6,8 kat hızlanma ile paylaşımlı hafıza kullanılarak gerçekleştirilen GPU uygulamasında olmuştur. OpenCV ile karşılaştırıldığında çözünürlük yükseldikçe gerçekleştirilen paralel GPU algoritmasının kazancı artmaktadır.

Saha ve diğerleri [50] 2016 yılında yayınlanan çalışmalarında alçak geçiren filtre, yüksek geçiren filtre, Sobel kenar yakalama algoritmasını GPU ile paralelleştirmişlerdir. 3000X3000 çözünürlükteki görüntüler üzerinde elde edilen hızlanma sonuçlarını vermişlerdir. Sobel kenar yakalama algoritmasında 11 kat, alçak ve yüksek geçiren filtrelerde 12 kat hızlanma elde etmişlerdir.

Görüntü iyileştirme amacıyla kullanılan algoritmalar genel olarak komşu pikselleri kullanılmaktadırlar. Bu algoritmalar GPU'da gerçekleştirilirken pencere boyutu dikkate alınarak algoritmanın paralelleştirilmesi gerekmektedir. Global bellekten verilere ulaşıldığında ulaşılacak istenen piksel sayısının artması ile işlem süresi artmaktadır. Paylaşımlı bellek kullanarak hızlanma artırılmaya çalışıldığında ise bellek miktarı sınırlayıcı bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır. Tüm bu nedenler hem algoritmanın paralelleştirilmesini zorlaştırmakta hem de hızlanma oranını sınırlamaktadır. GPU kullanılarak hızlanma oranının artırılması için optimizasyon yapılması gerekmektedir. Bu da her algoritma ve uygulama için farklı yaklaşımlar içermelidir. Bu nedenle üzerinde çalışma gerektirmektedir. Yapılan çalışmalarda standart algoritmaların GPU uygulamaları bulunmaktadır. Ancak bunların her biri geliştirilmeye açıktır.

Görüntü iyileştirme görüntü işleminin önemli alanlarından biridir. Bu konuda yapılan uygulamalarda farklı iyileştirme metotları kullanılmaktadır. Bu metotların pek çoğunda belli bir büyüklükteki pencere resim üzerinde gezdirilmektedir. Bu pencerenin sayısal değerlerinin değişmesi ile kullanılan metot ismi de değişmiş olur. Ancak temelde paralelleştirme açısından değerlendirildiğinde aynı çözüm yolunu uygulamaktadır. Bu nedenle çalışmalar GPU paralelleştirmesi açısından farklı bir yaklaşım getirmeyeceğinden çalışma sayısının sınırlı kaldığını söylemek yerinde olacaktır. Bunun yanında iyileştirme algoritmalarının toplam işlem sürelerinin çözünürlük arttıkça artmasına rağmen gerçek zamanlı uygulamalarda kullanılabilir işlem zamanlarında gerçekleştirilebileceği söylenebilir. Bu da CUDA ile hızlanma ihtiyacını azaltmaktadır. Yapılan çalışmalarda elde edilen hızlanmalar iyi olmasına rağmen yukarıda açıklanan nedenlerden dolayı görüntü iyileştirme konusunda literatürde karşılaşılan çalışma sayısının görüntü geriçatım ve bölütleme çalışmalarından daha az olduğu görülmektedir. Ancak görüntü iyileştirme algoritmalarının çok kullanılmasından dolayı GPU uygulamalarının önemli

olduğu ve diğer görüntü işleme yöntemleri ile birlikte paralelleştirilmesinin ve optimizasyonunun yapılmasının işlem zamanına önemli katkılar sağlayacağı söylenebilir.

4.3. Görüntü Bölütleme (Image Segmentation)

Bölütleme görüntüyü her biri içerisinde farklı özelliklerin tutulduğu anlamlı bölgelere ayırma işlemidir. Uygulamaya bağlı olarak kullanılan yöntemler ve yöntemlerin performansı değişiklik gösterebilir. Tüm görüntüye uygulanabilecek genel bir bölütleme yöntemi yoktur. Yani görüntü bölütleme için tasarlanan yöntemler ve bu yöntemlerin başarımları uygulamaya göre değişiklik göstermektedir. Bu nedenle de üzerinde çok çalışılan konulardan biridir. Görüntü bölütleme, görüntü işleme nin en zor işlemlerinden biri olmakla birlikte pek çok farklı yaklaşımı da içermektedir [51, 52]. Bu yaklaşımlar; histogram tabanlı, kümeleme tabanlı, bölge büyüme (region growing), ayırma ve birleştirme ve morfolojik olarak gruplandırılabilir. Bölütleme konusunda CUDA kullanılarak yapılan uygulamalar bu bölümde incelenmiştir.

Görüntü bölütleme konusunda karşılaşılan ilk çalışma 2008 yılında Pan ve diğerleri [53] tarafından yapılan çalışmadır. Çalışmada bölge büyüme ve havza (watershed) algoritmaları kullanılmaktadır. Tıbbi veriler üzerinde GPU ile bölge büyüme ve havza algoritmaları paralelleştirilmektedir. CUDA kullanılan uygulamalarda 2.5 kata kadar hızlanma sağlanmıştır. Hızlanma oranı düşük gibi görünse de bölütleme konusunda karşılaşılan ilk çalışma olduğundan önemlidir. Tıbbi veriler üzerinde uygulanan başka bir çalışma da Zhuge ve diğerlerinin [54] yaptıkları çalışmadır. Çalışmada diğerlerinden farklı olarak bulanık mantık kullanılmaktadır. Bulanık mantık ile görüntü bölütleme işleminin CUDA ile uygulanmasında 14.4 kata kadar hızlanma elde edilmiştir. Bulanık mantık kullanılan tek çalışma olması bu çalışmayı diğerlerinden ayırmaktadır. 2010 yılında Abramov ve diğerlerinin [55] yaptıkları çalışmada ise gerçek zamanlı olarak video görüntüleri üzerinde kullanılabilecek bir bölütleme işlemi gerçekleştirilmiştir. 1.2 Mega piksel boyutlarındaki renkli görüntüler 10 ms gibi kısa bir sürede bölütlenmiştir. Bölütleme işleminde sürenin kısaltılması için CUDA ile paralelleştirme kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlarla algoritma gerçek zamanlı olarak uygulamalarda kullanılabilecektir. SAR (Synthetic Aperture Radar) görüntüleri üzerinde Sui ve diğerlerinin [56] 2012 yılında yaptıkları çalışmada bölütleme işlemi GPU ile hızlandırılmaktadır. Markov rasgele alan (Markov Random Field-MRF) metodu kullanılmış ve CUDA uygulamasında 10 kata kadar hızlanma elde edilmiştir. Membrane işleme kullanılarak gradient tabanlı kenar yakalama ile görüntü bölütleme işlemi gerçekleştiren Pernil ve diğerleri [57] GPU ile 8 kata kadar hızlanma elde etmişlerdir.

Özdemir ve Altılar [58] 2014 yılında yaptıkları çalışmada bölütleme için CUDA kullanılmaktadır. Bitki büyüme işlemi için otomatik olarak analiz yapan bir sistem için 15 farklı yöntemle görüntü bölütleme gerçekleştirmektedirler. Bölütlemeyi GPU kullanarak hızlandırmışlar ve 6.5 kata kadar kazanç elde etmişlerdir. Çalışma farklı bir

alandan CUDA kullanılması açısından önemlidir. Aynı yılda bölütleme konusunda yapılan başka bir çalışmanın uygulama alanı ise medical görüntüler olmuştur. Alvarado ve diğerleri [59] yaptıkları çalışmada bölütleme için OpenMP ve CUDA kullanmışlar ve 8 kata kadar hızlanma elde etmişlerdir.

Bergen ve diğerleri [60] 2015 yılında yaptıkları çalışmada MR (Manyetik Rezonans) görüntüleri üzerinde faz kontrast bölütleme algoritmasını basit ortalama tabanlı hesaplama ve en küçük kareler yöntemiyle gerçekleştirmişlerdir. Bu bölütleme işlemi çok çekirdekli CPU'da 10 saniye kadar sürmektedir. GPU tabanlı algoritma ile ise 0.5 saniyede gerçekleştirilmiştir. D'ambra ve diğerleri [61] 2016 yılında yayınlanan çalışmalarında 2B görüntüler üzerinde PSBLAS tabanlı bir bölütleme işlemi gerçekleştirmişler ve GPU ile seriye göre 14 kata kadar hızlanma elde etmişlerdir. Singh ve diğerleri [62] yaptıkları çalışmada karakter tanıma için Otsu eşikleme yöntemini kullanmışlardır. Otsu eşiklemeyi GPU ile paralelleştirerek GeForce 9500 GT ekran kartında uygulamalarını çalıştırmışlardır. Hem eşikleme işlemi hem de Otsu eşik değerini hesaplamak için iki farklı kernel yazmışlar ve 32 çekirdekli ekran kartında 1.6 kat hızlanma elde etmişlerdir. Hızlanmanın az olmasının nedeni ekran kartındaki çekirdek sayısının azlığıdır. Güçlü bir ekran kartında çalıştırılması durumunda hızlanma oranı artacaktır. Jin ve diğerleri [63] çalışmalarında kenar ve bölge tabanlı bölütleme işlemi GPU ile gerçekleştirmişlerdir. GPU uygulamasında blokları bir, iki ve üç boyutlu olarak planlamışlardır. İş parçacıklarının nasıl dağıtıldığı verilmekte ancak hızlanma oranı veya işlem süresi verilmemektedir. Wang ve Chen [64] çalışmalarında bölütleme için en kısa yol algoritmasını GPU ile paralelleştirmişlerdir. Algoritma medikal veriler üzerinde uygulanmış ve seriye göre 8 kat hızlanma elde edilmiştir. Smistad ve diğerleri [65] yaptıkları çalışmada medical görüntülerde görüntü bölütleme işleminde GPU kullanılan çalışmaları incelemişlerdir. Bu inceleme sonucunda farklı bölütleme algoritmaları veri paralelliği, iş parçacığı sayısı, dallanma, bellek kullanımı ve senkronizasyon konusunda derecelendirilmiştir. Bu verilerden elde edilen sonuçlara göre algoritmaların GPU için uygunluğu belirlenmiştir. Buna göre bölütleme algoritmalarından eşikleme, morfoloji, aktif kontur çıkarma, Markov rasgele alan ve merkez çizgi çıkarma algoritmalarının üst seviyede paralellığe uygun olduğu belirtilmiştir. Buna göre bu algoritmalarındaki uygulamalarda seriye göre kazanç yüksek olacaktır.

2016 yılında D'Ambra ve Pilippone [66] yaptıkları çalışmada görüntü bölütleme için Jacobi ve Gauss-Seidel algoritmalarını kullanmışlardır. Paralelleştirme için ise PSBLAS kütüphanesini kullanmışlardır. GPU ile seriye göre 14 kata kadar hızlanma elde etmişlerdir. Diaz-Pernil ve diğerleri [67] ise retina içi görüntüleri üzerinde otomatik bölütlemeyi GPU kullanarak gerçekleştirmişlerdir. DRIVE ve DIARETDB1 veritabanından 129 retina içi görüntüsü kullanarak sonuçları değerlendirmişlerdir. Otomatik bölütleme algoritmasında Sobel operatörü, ikili bölütleme ve Hough algoritmasını kullanmışlardır.

%99,6 doğruluk oranına ulaşmışlardır. Hızlanmaları konusunda herhangi bir oran belirtilmemiş sadece CPU'dan daha iyi sonuç alındığı söylenmiştir. Başka bir çalışmada Jaros ve diğerleri [68] k-means bölütleme algoritmasını medikal görüntüler üzerinde CPU ve GPU ile paralelleştirmişlerdir. CPU ile paralelleştirmede OpenMP, GPU ile paralelleştirmede ise CUDA kullanmışlardır. Hızlanma oranları işlenen görüntü sayısına göre farklılık göstermekle birlikte CUDA ile elde edilen hızlanmalar görüntü sayısı arttıkça yükselmektedir.

Görüntü bölütleme görüntü işleme adımları içerisinde çok kullanılan işlemler arasındadır. Bu uygulamalar özellikle çözünürlük arttığında ve bölütleme işlemi çoklu eşikleme şeklinde olduğunda yüksek işlem zamanı gerektirmektedir [69]. Bu nedenle özellikle piksellerin bağımsız olarak işlendiği algoritmalar için GPU paralelleştirmesi ve dolayısıyla CUDA kullanılması ile yüksek oranda hızlanma sağlanabilecektir. Yapılan çalışmaların bir kısmında da yüksek oranlarda paralelleştirme sağlandığı görülmektedir. Bundan sonra yapılacak çalışmalarda da CUDA kullanımı bölütleme algoritmalarında hızlanma sağlanması açısından önemlidir. Algoritmaların mümkün olduğu kadar komşu piksellerden bağımsız çalışması paralelleştirmenin daha kolaylaşmasını sağlasa da iteratif ve bir adımın sonucunun diğer adımın girdisi olarak kullanıldığı algoritmalarda GPU üzerinde paralelleştirmeyi zorlaştırdığı ve yeterli hızlanmalara ulaşamayacağı söylenebilir. Yapılan çalışmalarda da hızlanma oranının sınırlı kaldığı algoritmalar bulunmaktadır. Görüntü bölütlemeye birbirinden farklı pek çok yöntem kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalarda da bu çeşitlilik göze çarpmaktadır. Bölütleme algoritmalarından bir kısmının (örneğin; eşikleme, morfoloji, aktif kontur çıkarma, Markov rasgele alan ve merkez çizgi çıkarma) GPU ile paralelleştirmeye daha uygun olduğu [65] ve CUDA uygulamaları sonucu bu algoritmalarda elde edilecek hızlanmaların daha yüksek olacağı söylenebilir. Kalman filtresi, istatistik kenar modeli, Ridge transversal gibi algoritmaların ise GPU kullanımı için uygunluk derecesinin daha düşük olduğu görülmektedir.

4.4. Görüntü Çakıştırma (Image Registration)

Görüntü çakıştırma farklı kaynaklardan, farklı açı veya farklı zamanlarda elde edilen görüntüler içerisindeki ortak alt görüntülerin her noktası geometrik olarak üst üste gelecek şekilde hizalanması olarak tanımlanır. Görüntü çakıştırmada öteleme, döndürme ve boyutlandırma işlemleri gerçekleştirilir. Bu konuda kullanılan pek çok algoritma bulunmaktadır. Görüntü çakıştırma işlemlerinin CUDA uygulamaları bu bölümde incelenmiştir.

Görüntü çakıştırma konusunda yapılan ilk çalışma 2008 yılında Muyan-Özçelik ve diğerlerinin [70] yaptığı GPU hızlandırma uygulamasıdır. Çalışmada Demons algoritması ile 3B CT akciğer görüntüleri üzerinde görüntü çakıştırma işlemleri CUDA kullanılarak paralelleştirilmiş ve 55 kata kadar hızlanma elde edilmiştir. Demons algoritmasının GPU ile paralelleştirildiği başka bir çalışma da 2010 yılında Gu ve diğerlerinin [71] uygulamasıdır. [68] gibi CT görüntüleri üzerinde Demons algoritmasını

CUDA ile hızlandırmışlardır. CPU'ya göre 100 kata kadar hızlanma elde etmişlerdir.

Huang ve diğerleri [72] 2011 yılında yaptıkları çalışmada 3B MR görüntülerinde görüntü çakıştırma için popüler bir yöntem olan istatistiksel parametre haritalama yöntemini CUDA kullanarak paralelleştirmişlerdir. 643, 1283, 2563 boyutlarında görüntülerde uygulama gerçekleştirilmiştir. Çalışmada 14 kata kadar hızlanma sağlanmıştır. Aynı yıl yayınlanan başka bir çalışmada Ruijters ve diğerleri [73] görüntü çakıştırmada B-spline tabanlı esnek bir yöntem kullanmışlardır. İç cerrahide bölgesel hareketli biyomedikal görüntüler esnek görüntü çakıştırma kullanılarak telafi edilebilir. Çalışmada paralel işlemci gücü kullanılarak esnek çakıştırma işlemi GPU ile hızlandırılmaktadır. Bunun için benzerlik ölçümü ve türevlerin hesaplanması kullanılmaktadır. 3B görüntüler üzerinde GPU ile 50 kat hızlanma sağlanmıştır. Gerçek zamanlı bir uygulamada Park ve diğerleri [74] GPU kullanmışlardır. İteratif en yakın nokta ve iteratif izdüşüm noktası tekniklerini kullanarak CPU işlem zamanını ölçmektedirler. İteratif izdüşüm noktası tekniğini CUDA kullanarak paralelleştirmişler ve CPU ile GPU işlem zamanını karşılaştırmışlardır. Aynı tekniğin CUDA uygulamasında yaklaşık 10 kat hızlanma sağlanmıştır.

2012'de Osama ve diğerleri [75] 2B ve 3B röntgen görüntüleri üzerinde CUDA kullanarak çakıştırma işlemini paralelleştirmişlerdir. Çakıştırmada görüntüleri 0 ile 20 derece arasında çevirerek düzeltmektedirler. Paralelleştirmede iki farklı algoritma kullanmışlardır. İlk algoritmada çevirme işlemi GPU'da gerçekleştirilirken, benzerlik ölçümü adımı CPU üzerinde çalıştırılmaktadır. İkincide ise hem çevirme işlemi hem de benzerlik ölçümü adımı GPU üzerinde çalıştırılmaktadır. 3B görüntülerde 12 kata kadar hızlanma elde edilmiştir. Sah ve diğerleri [76] yine aynı yılda yaptıkları çalışmada çakıştırma için öteleme, döndürme ve ölçeklendirme işlemlerini FFT (Fast Fourier Transform) kullanarak uygulamışlardır. CUDA ve OpenCL ile FFT kütüphanelerini kullanarak paralelleştirme gerçekleştirmişlerdir. CUDA ile 345, OpenCL ile 116 kata kadar hızlanma elde etmişlerdir. CUDA ile OpenCL'e göre daha iyi sonuç alınmasının kütüphanesinde kullanılan komutların optimizasyonunun daha iyi olmasından kaynaklandığı öne sürülmüştür. Çalışma frekans modülasyonu kullanılan örneklerdendir.

2013 yılında Lu [77] Affine dönüşümünü CUDA uygulaması ile hızlandırmış ve gerçek zamanlı uygulamalarda kullanılabileceğini belirtmiştir. 255 kata kadar hızlanma elde edilmiştir. Yine aynı yılda Marchelli ve diğerleri [78] çalışmalarında CUDA'nın Thrust kütüphanesini kullanarak görüntü çakıştırma işlemini gerçekleştirmektedirler. Uygulamalarında bellekleri etkin bir biçimde kullanmaktadırlar. Uygulamalarını farklı NVIDIA kartlarında çalıştırmışlar ve sonuçları karşılaştırmışlardır. 1 MB'lık veriyi yaklaşık 1 ms'de işlemişlerdir. Zhang ve diğerleri [79] 2014 yılında yaptıkları çalışmada görüntü çakıştırma işlemi için esinleştirme ve ayrıntılandırma (coarse-to-fine) yaklaşımı kullanmaktadırlar. Algoritmanın hızlandırılması amacıyla GPU kullanılmaktadır.

Yüksek çözünürlüklü görüntülerde algoritma çalıştırılmış ve farklı yöntemlerle olan sonuçlar verilmiştir. İşlemlerin çoğunda GPU uygulamasında CPU'ya göre hızlanma sağlanmıştır. Li ve diğerleri [80] 2015 yılında yayınlanan çalışmalarında görüntü çakıştırma işlemini GPU ile paralelleştirmişlerdir. Çalışmada 5 farklı korelasyon oranı tabanlı metot geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri algoritmaları Fermi, Kepler ve Maxwell mimarilerinde çalıştırmışlardır. CPU uygulamasına göre 4 GPU ile 55 kata kadar hızlanma elde etmişlerdir. 145 saniye olan görüntü çakıştırma süresini 2.6 saniyeye kadar indirmişlerdir.

Görüntü çakıştırma görüntü işleme alanları içerisinde nispeten yeni olan ve halen de üzerinde çalışılan alanlardandır. Bu nedenle bu konu geliştirilmeye açıktır ve yapılabilecek çalışmalar bulunmaktadır. GPU ile paralelleştirmede farklı algoritmalar üzerinde uygulamaların yapıldığı görülmektedir. Yapılan çalışmalar algoritmaların GPU ve CUDA kullanılarak paralelleştirilmesi sonucunda çok yüksek oranlarda hızlanma elde edildiğini göstermektedir. Görüntü çakıştırma algoritmalarında amaç bir resim üzerinde belli bir modelin aranması olmaktadır. Seri işlemlerde aranan modelin büyük resim üzerinde aranması sırasında genellikle algoritmanın daha az zaman alması için resim belli oranlarla küçültülerek aramalar gerçekleştirilmektedir. Bu bakımdan GPU tüm piksellerde aynı işlemi eşzamanlı gerçekleştirdiğinden algoritmanın küçük iş parçalarına ayrılması kolay ve veri miktarı büyük olduğundan elde edilen hızlanmalar da yüksek olmaktadır. GPU kartlarının çekirdek sayılarının artarak güçlendiğini düşünürsek görüntü çakıştırma alanında GPU kullanımı hız açısından çok büyük avantaj sağlayacaktır.

4.5. Görüntü Sınıflandırma (Image Classification)

Sınıflandırma birçok bilim dalında bir karar verme işlemidir. Görüntü sınıflandırması görüntünün çeşitli özelliklerini analiz eder ve onları kategorilere ayırır. Görüntü sınıflandırma teknikleri kullanılırken iki farklı yaklaşım vardır [81]. Bunlardan birincisi piksel tabanlı görüntü sınıflandırma yaklaşımıdır. Bu yaklaşım eğitilmiş ve eğitimsiz görüntü sınıflandırma olarak ikiye ayrılmaktadır. Bu sınıflandırma yaklaşımında görüntü üzerindeki piksel değerlerinden çeşitli algoritmalar kullanılarak sınıflandırma gerçekleştirilir. Diğeri ise nesne tabanlı (object-based) görüntü analizi kullanarak yapılan sınıflandırmadır [82]. Bu yaklaşımla elde edilen görüntülerin sınıflandırılması için diğer görüntü işleme teknikleri kullanılmaktadır. Komşu piksellerin gruplandırılması ve nesnelere ölçeklerine göre ayarlanması işlem basamakları içerisinde yer alır. Sınıflandırma için genellikle diğer görüntü işleme tekniklerinden bir veya birkaçı uygulanır. Bu bölümde görüntü sınıflandırma konusundaki CUDA uygulamalarına yer verilmiştir.

Görüntü işleme üzerinde sınıflandırma yapan ilk çalışma 2011 yılında yapılmıştır. Gumbau ve diğerleri [83] sınıflandırma konusunda farklı bir uygulama yapmışlardır. Ağaçların türlerinin tespit edilmesi konusunda ağaçlar-

dan elde edilen görüntüleri kullanmışlardır. Bu görüntülerden ağaç türleri belirlenmektedir. Algoritmanın daha hızlı çalışması için GPU kullanılmaktadır. Başka bir çalışmada ise Cesnovar ve diğerleri [84] gökyüzü görüntülerini sınıflandırmaktadırlar. Yapısal benzerlik tabanlı algoritmalarını CUDA kullanarak paralelleştirmişlerdir. Gabor filtrelerini ve hızlı Fourier dönüşümünü kullanmışlardır. Algoritmalarında paylaşımlı belleğin kullanıldığı ve kullanılmadığı algoritmalar bulunmakta ve ayrı ayrı değerlendirilmektedir. Ortalama 39 kat hızlanma elde etmişlerdir.

Haythem ve diğerleri [85] 2014 yılında frekans dönüşümünün sınıflandırmada kullanıldığı bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında görüntülerde nesne tanıma için Fourier dönüşümünü kullanmışlardır. İki boyutlu renkli görüntülerde nesne tanımayı CUDA kullanarak hızlandırmışlardır. CUDA'nın cuFFT kütüphanesini kullanmışlar ve 142 kata kadar hızlanma elde etmişlerdir. Aynı yıl Ganiau ve Onchiş [86] yaptıkları çalışmada bazı algoritmaları GPU'da paralelleştirmişlerdir. Dijital görüntü analizi yapan pek çok kullanım yerinde hızlı ve doğru yüz tanıma sistemine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada yüz tanıma noktalarının işaretlenmesinde kullanılan Gabor kareleri GPU kullanılarak paralelleştirilmiştir. Matris çarpımı, FFT, kenar yakalama, yüz tanıma algoritmaları GPU'da çalıştırılmıştır. Matris çarpımında 48 kat, FFT'da 10 kat, kenar yakalama algoritmasında 9 kat, yüz tanıma algoritmasında 5 kat hızlanma sağlanmıştır. Werff ve Bakker [87] çalışmalarında görüntü sınıflandırma için en çok kullanılan mesafe ölçme algoritmalarını kullanmışlardır. Çalışmada Öklit uzaklığı ve iki vektörün benzerliği olmak üzere iki farklı algoritma kullanılmaktadır. Bunların GPU uygulamaları çalıştırılmış ve sonuçları çalışmada verilmiştir. Verilen sonuçlarda GPU'ya veri transferinin ne kadar zaman aldığı ayrıca verilmektedir. Çalışma zamanı veri transferleri ve kernel süresi olarak ayrıca belirtilmektedir. İki vektörün benzerliği (spectral angle) metodu ile Öklit uzaklığına göre daha iyi hızlanma sağlanmıştır.

Lopez-Fandino ve diğerleri [88] 2015 yılındaki çalışmalarında aşırı öğrenme makinelerini (Extreme machine learning) [89, 90] kullanan bir sınıflandırma gerçekleştirmişlerdir. Sınıflandırmada destek vektör makinelerini kullanmışlardır. Tıbbi görüntüler üzerinde aşırı öğrenme makinelerini kullanarak sınıflandırmayı GPU ile hızlandırmışlardır. OpenMP ile çok çekirdekli işlemci ile karşılaştırıldığında 5,9 kata kadar hızlanma elde etmişlerdir. Çalışma aşırı öğrenme makinesi algoritmasının GPU ile hızlandırıldığı karşılaşılan tek çalışmadır.

Görüntü sınıflandırma konusunda elde edilen çalışmalarda farklı algoritmaların ve farklı yaklaşımların kullanıldığı görülmektedir. Çalışmaların bir kısmında ise piksel tabanlı sınıflandırma yaklaşımı ile görüntü sınıflandırma işlemi CUDA kullanılarak paralelleştirilmiştir. Bu çalışmalarda Öklit uzaklığı, iki vektörün benzerliği, destek vektör makineleri gibi çok kullanılan algoritmalar üzerinde uygulama yapıldığı görülmektedir. Bazı çalışmalarda ise sadece sınıflandırma aşaması değil görüntü

işleme sürecinin tüm aşamalarında CUDA kullanılmaktadır. Çünkü görüntü sınıflandırma her ne kadar bir görüntü işleme alanı olsa da bu adım genellikle görüntü işlemenin son adımıdır ve yapılan uygulamalarda görüntü işlemenin GPU ile paralelleştirildiği ve elde edilen sonuçlardan sınıflandırma yaparak bir yargıya varıldığı görülmektedir. Bu çalışmaların sayısı az da olsa bundan sonra yapılacak olan çalışmalara ışık tutmaktadır. Çünkü CUDA kullanımının artık gerçek uygulamalar için kullanılması ve sonuç elde edilebilecek çalışmalarda hızlanma sağlaması mümkün olabilmektedir. Uygulamalar genellikle nesne tanıma işlemlerinin farklı alanlarda ve farklı algoritmalar kullanılarak GPU paralelleştirmesi olup hızlanma oranları çalışmaya göre farklılık göstermektedir.

4.6. Diğer Uygulamalar (Other Applications)

Bu bölümde görüntü işleme konusunda GPU kullanılan CUDA uygulamalarından yukarıdaki konu başlıkları dışında yapılan çalışmalar incelenmiştir.

Shi ve diğerleri [91] 2012 yılında GPU kullanılan tıbbi görüntü işleme tekniklerini kullanan çalışmaları incelemişlerdir. Çalışmaları bölütleme, çakıştırma ve görüntüleme olarak üç gruba ayırmışlardır. Her bir grupta kullanılan algoritmaların ne tür veriler üzerinde kullanıldığını ve elde edilen sonuçları karşılaştırmışlardır.

İncelenen çalışmalarda 2014 yılında yayınlananlar şu şekildedir: Sugimoto ve diğerleri [92] çalışmalarında desen (texture) tabanlı hacim kaplama (volume rendering) metodlarından ışın izleme (ray-casting) tekniğini ön belleği kontrollü kullanarak GPU ile hızlandırmışlardır. Çünkü GPU mimarisinde işlemci ve hafıza birimlerinin kullanımında ön bellek optimizasyonu performansı arttırmada çok önemlidir. Önerilen metotta doku bellek kullanımı belirlenmiş ve iş parçacığı bloklarının genişlik ve yüksekliği dinamik olarak seçilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre 2,2 kat hızlanma görülmüştür. Nam ve diğerleri [93] yaptıkları çalışmada makro öznelikler kullanarak görüntü üzerinde hareket algılama ve nesne yakalama işlemi gerçekleştirmektedirler. Standart insan algılama algoritması geliştirilerek daha kısa zaman alan bir algoritma oluşturulmuştur. Bu iki algoritmanın da GPU uygulaması gerçekleştirilmiş ve hızları karşılaştırılmıştır. Önerilen algoritma hem CPU'da hem de GPU'da daha hızlı çalışmaktadır. Liu ve diğerleri [94] çalışmalarında yeni bir merkez çizgi çıkarma algoritması önermektedirler. Merkez çizgi çıkartma şekil analizi, geometri işleme, sanal endoskopi gibi farklı görüntüleme uygulamalarında önemli bir yer almaktadır. Merkez çizgi nesnelere uzunluklarının ölçülmesini sağlar. 3B şekillerde merkez çizginin bulunması yeteri kadar hızlı gerçekleştirilememektedir. Bu nedenle CPU üzerinde çalışan seri metodların performansı sınırlıdır. Bu çalışmada GPU üzerinde çalışan yeni bir paralel merkez çizgi çıkarma algoritması uygulanmıştır. Bu yeni algoritma var olan Brute Force algoritmasından daha iyi sonuç vermiştir. [90] ve [91] çalışmalarında sadece GPU uygulaması yaparak onun sonuçlarını karşılaştırmamış kendi algoritmalarını önermişler ve bu algoritmayı GPU ile hızlandırmışlardır. Kütüphane kullanarak uygulama yapan

çalışma örneklerinden biri de Zhang ve diğerlerinin [95] yaptıkları çalışmadır. Geniş veri setleri üzerinde uzaysal koordinatları toplama işlemi gerçekleştirmişlerdir. Çok çekirdekli CPU'lar ve GPU üzerinde uygulama çalıştırılmış ve elde edilen sonuçlar verilmiştir. Paralleleştirme CUDA platformunda gerçekleştirilmiş ve CUDA kütüphanelerinden olan Thrust kütüphanesi kullanılmıştır.

Galizia ve diğerleri [96] 2015 yılında yaptıkları çalışmada heterojen sistemler üzerinde çalışmışlardır. Modern yüksek başarılı hesaplama sistemleri çoklu çekirdekli CPU, çoklu GPU'lar ve FPGA'lardan oluşan heterojen sistemlerden oluşmaktadır. Bu sistemlerde performans açısından iyi yazılımlar geliştirmek daha zordur. Bu çalışmanın amacı GPU kümelerinde görüntü işleme çalışmalarını yapmak amacıyla PIMA(GE)2 kütüphanesi ve Paralel Görüntü İşleme GEnoa kütüphanesini kullanmaktır. Bu kütüphane geleneksel kümeleri MPI ile, GPU'ları ise CUDA ile kullanabilmektedir. Burada ilk hedef GPU kümelerini tanımak olmaktadır. Kütüphane operasyonları seri arayüzlerle tanımlanmış ve paralel işleme kullanıcıdan gizlenmiştir. Çalışmada kütüphanenin geliştirilmesi yaklaşımı daha öne çıkmış ve tek GPU'ya göre işlem zamanı açısından %30'luk bir kazanç elde edilmiştir. Quin ve diğerleri [97] çalışmalarında video görüntülerinde arka zemin çıkarmayı GPU ile hızlandırmışlardır. Arka zemin çıkarma yöntemi ile hareket eden nesnelere tespit etmektedirler. Bunun için Gabor filtresini kullanmışlardır. Gabor filtresi kullanılarak ve kullanılmadan video görüntülerinde arka zemin çıkarma yöntemi ile hareket algılaması gerçekleştirmişlerdir. Gabor filtresi uygulanmadan 10 kat hızlanma sağlanırken, Gabor filtresi ile 14,5 kat hızlanma elde edilmiştir.

Parmak izi tanıma konusunda CUDA ile paralelleştirmede literatürde iki çalışmaya rastlanmıştır. Her iki çalışmada da parmak izi tanıma algoritması CUDA kullanarak paralelleştirilmektedir. Lastra ve diğerleri [98] algoritmalarını tek GPU ile 15 kat, birden fazla GPU kullanarak ise 54 kat hızlandırmışlardır. Cappeli ve diğerleri ise [99] GPU ile hızlandırmada saniyede 35 milyon parmak izi taramışlardır.

Stereo görüntüler üzerinde derinlik haritası çıkarma işleminin GPU uygulamasına literatürde 2016 yılında karşılaşılmıştır. Hernandez-Juarez ve diğerleri [100] derinlik haritası çıkarılmasında semi global matching algoritmasını kullanmışlar ve GPU ile daha önce yapılan çalışmalardan iyi sonuçlar almışlardır. 640X480 çözünürlükteki görüntülerde 128 seviyeli derinlik haritası çıkarmada saniyede 48 kare (frame) işleme hızına ulaşmışlardır. Algoritmalarında paylaşımlı hafıza kullanmışlardır. Stereo görüntüler üzerinde derinlik haritası çıkarırken GPU kullanan başka bir uygulamayı Wang ve diğerleri [101] yapmışlardır. 20 kata kadar hızlanma elde etmişlerdir.

Bu bölümde incelenen çalışmalar kullanılan algoritmalar ve yöntemler açısından CUDA kullanımının farklı örnekleridir. Yapılan çalışmalarda algoritmaların paralelleştirilmesi kazancın yüksek olmamasına rağmen önemlidir. Kazancın artırılması için bundan sonra yapılacak çalış-

malar için rehber niteliğinde kullanılabilir çalışmalardır. Ayrıca Zhang ve diğerlerinin [95] 2014 ve Galizia ve diğerlerinin [96] ise 2015 yılında yaptıkları çalışmada kütüphaneler kullanılmaktadır. GPU programlamada bir algoritmanın piksel düzeyinde paralelleştirilmesi hem zor hem de uzun bir çalışma gerektiren bir iştir. Görüntü

işlemede kullanılan gerçek bir uygulama için pek çok algoritma (gürültü temizleme, bulanıklaştırma, keskinleştirme, bölütleme, çakıştırma, sınıflandırma vb.) kullanılmaktadır. Bu nedenle gerçek uygulamalarda GPU kullanımını uzun bir süreç gerektirmektedir.

Çizelge 2. GPU ve CUDA kullanılan paralel görüntü işleme çalışmaları özeti (Summary of parallel image processing studies using GPU and CUDA)

Görüntü İşleme Alanı	Görüntü İşleme Tekniği	Çalışma	Maksimum hızlanma oranı
Görüntü geriçatma	İleri ve geri izdüşüm	[22] Vazquez ve diğ., 2010	40
		[23] Noel ve diğ., 2010	1.6
		[24] Zhengz ve diğ., 2010	Belirtilmemiş
		[25] Herraiz ve diğ., 2010	72
		[29] Blas ve diğ., 2014	3
	İteratif geriçatma	[26] Xu ve diğ., 2010	Belirtilmemiş
		[28] Palenstjin ve diğ., 2011	Belirtilmemiş
	İteratif izdüşüm, hareket ve yön doğrulama	[30] Flores ve diğ., 2013	19
		[31] Flores ve diğ., 2014	4
		[32] Feng ve diğ., 2013	6
	3B geriçatma	[33] Li ve diğ., 2010	240
	FDK algoritması	[34] Okitsu ve diğ., 2010	24
		[35] Scherl ve diğ., 2012	22
	Stereo tabanlı yüzey eleman algoritması	[36] Chang ve diğ., 2011	100
	Adaftif en küçük dikdörtgen kapama yöntemi	[37] Jiang ve diğ., 2012	200
WBP ve SIFT	[38] Aquilero ve diğ., 2012	2	
Izgaralama algoritması	[39] Yang ve diğ., 2013	7.5	
Monte Karlo	[41] Monte ve diğ., 2013	Belirtilmemiş	
Yayılm ağırlıklı görüntüleme	[44] Cahang ve diğ., 2014	490	
3B modelleme	[45] Orts-Escolano ve diğ., 2015	180	
Görüntü iyileştirme	Gürültü temizleme	[46] Huhle ve diğ., 2010	Belirtilmemiş
		[47] Sanchez ve diğ., 2013	30
	Kontrast iyileştirme	[48] Urena ve diğ., 2013	10
	Laplace keskinleştirme	[49] Ma ve diğ., 2014	6.8
	Sobel filtresi	[50] Saha ve diğ., 2016	11
Görüntü bölütleme	Bölge büyütme	[53] Pan ve diğ., 2008	2.5
	Bulanık mantık	[54] Zhuge ve diğ., 2009	14
	Markov rasgele alan metodu	[56] Sui ve diğ., 2012	10
	Gradient tabanlı kenar yakalama	[57] Pernil ve diğ., 2013	8
	Çeşitli yöntemler	[58] Ozdemir ve Altılar, 2014	6.5
		[59] Alvarado, 2014	8
	Faz kontrast	[61] D'ambra ve diğ., 2016	14
	Jacobi ve Gauss-Seidel algoritmaları	[66] D'ambra ve Pilippone, 2016	14
	Hough algoritması	[67] Diaz-Pernil ve diğ., 2016	Belirtilmemiş
	K-means algoritması	[68] Jaros ve diğ., 2017	Belirtilmemiş
Görüntü çakıştırma	Demons	[70] Ozcelik ve diğ., 2008	55
		[71] Gu ve diğ., 2010	100
	Haritalama	[72] Huang ve diğ., 2011	14
	B-spline tabanlı esnek çakıştırma	[73] Rujters ve diğ., 2011	50
	İteratif izdüşüm	[74] Park ve diğ., 2011	10
	FFT	[76] Sah ve diğ., 2012	345
	Affine dönüşümü	[77] Lu, 2013	255
	Korelasyon oranı	[80] Li ve diğ., 2015	55
Görüntü sınıflandırma	Gabor filtresi	[84] Cesnovar ve diğ., 2011	39
	Fourier dönüşümü	[85] Haythem ve diğ., 2014	142
	Çeşitli yöntemler	[86] Ganiau ve Onchis, 2014	48
	Öklit uzaklığı	[87] Werff ve Bakker, 2014	Belirtilmemiş
	Destek vektör makineleri	[88] Lopez-Fandino ve diğ., 2015	6
Diğer	Işın izleme	[92] Sugimoto ve diğ., 2014	2.2
	Merkez çizgi çıkarma	[94] Liu ve diğ., 2014	Belirtilmemiş
	Parmak izi tanıma	[98] Lastra ve diğ., 2015	54
	Derinlik haritası çıkarma	[99] Cappeli ve diğ., 2014	Belirtilmemiş
		[100] Hernandez-Juarez ve diğ., 2016	10
	[101] Wang ve diğ., 2016	20	

GPU programlamada oluşturulan kütüphaneler standart algoritmaların kütüphanelerden kullanılmasını sağlayarak bu sürecin kısalmasını sağlamaktadır. GPU programlamada CUDA platformu kullanılan ve yukarıda detaylı bir şekilde incelenen paralel görüntü işleme çalışmaları ve teknikleri Çizelge 2’de özetlenmiştir.

Çizelge 2’de görüldüğü gibi CUDA platformunda GPU kullanılarak paralel görüntü işleme ile ilgili görüntü geriçatma, iyileştirme, bölütleme, çakıştırma ve sınıflandırma alanlarında çalışmalar yapılmıştır. Bu alanlar arasında en fazla çalışmanın görüntü geriçatma alanında olduğu görülmektedir. Bu alanda yapılan çalışmalar incelendiğinde ise ileri ve geri izdüşüm tekniğinin en fazla tercih edildiği görülmektedir. Diğer alanlarda ise öne çıkan bir tekniğin olmadığı görülmektedir. Hızlanmanın en yüksek olduğu çalışma da yine görüntü geriçatma alanında olmaktadır.

5. SONUÇ (CONCLUSION)

Son yıllarda GPU programlama her alanda kullanılmaya başlamıştır. CUDA, GPU programlamada en çok kullanılan platformdur. GPU programlama her alanda kullanılmakla beraber doğası gereği veri paralelliği içeren uygulamalar için daha iyi sonuçlar vermektedir. Görüntü işleme, her piksel üzerinde aynı işlemin yapılmasından dolayı veri paralelliği içeren algoritmaların en çok kullanıldığı alanlardan biridir. Bu çalışmada görüntü işlemede CUDA platformu kullanılan GPU programlama uygulamaları incelenmiştir. CUDA platformu GPU kullanarak paralel programlama uygulaması gerçekleştirmeyi sağlamaktadır. Paralel programlama bir programın daha kısa sürede çalıştırılmasını sağlamaktadır. GPU kullanmanın asıl amacı CPU’nun performansını artırmaktır. Performansın artırılması için GPU programlamada donanım kullanımı ve hafıza yönetimi konusuna dikkat edilmesi gerekmektedir. İncelenen çalışmalarda hızlanmanın çok az olduğu çalışmalar bulunmakla birlikte 490 kata kadar hızlanma sağlanan çalışmalar da bulunmaktadır.

GPU programlamada paylaşımlı hafıza kullanımı hızlanmayı artıran önemli etkenler arasındadır. Görüntü işleme uygulamalarında hızlanmaya etki eden bir diğer unsur çözünürlük olmaktadır. Yapılan çalışmalarda görülmektedir ki GPU uygulamalarında çözünürlük arttıkça elde edilen hızlanma oranı da artmaktadır. Hızlanmanın olumsuz olarak etkilendiği noktalardan biri CPU’dan GPU’ya ve GPU’dan CPU’ya veri aktarımı için geçen süredir. Yapılan işlemin durumuna bağlı olarak veri aktarımı için geçen sürenin işlem süresine oranı çok yüksek olabilmektedir. Buna rağmen yapılan tüm çalışmalarda önemli oranlarda hızlanma elde edilmiştir. GPU kullanımı ile elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde son dönemlerde yapılan çalışmalarda çok yüksek oranlarda hızlanma elde edilmiştir. Bu durumun hem donanımsal hem de yazılımsal nedenleri bulunmaktadır. Donanımsal olarak son dönemlerde GPU gelişimi çok hızlı olmuştur. GPU’ların içerdiği çekirdek sayısı çok yükselmiş, her bir

SM içerisindeki çift hassasiyetli kayan nokta mimarisi gelişmiş, bellek miktarları artmış ve CPU ile GPU arasındaki veri iletişimi hızlanmıştır. GPU’nun hızlanma oranı CPU’ya göre çok daha yüksek olmuştur. Yazılımsal olarak da hem CUDA platformunun yetenekleri artırılmış, hem de açık olarak kullanılan kütüphaneler artırılmıştır. Bunun yanında çalışmalarda gerçekleştirilen algoritmalarda GPU’nun yetenekleri daha iyi kullanılmaya başlanmıştır. Çekirdeklere işlerin paylaşılması ve bellek kullanımı ile uygulamalarda paralellik daha etkin bir şekilde kullanılmaktadır.

GPU programlamada algoritmaların başarılı olarak paralelleştirilmesi için GPU donanımının iyi bilinmesi gerekmektedir. Bu, donanımlarla ilgili darboğazların aşılması açısından önemlidir. Geliştirilecek algoritmaların performansının yüksek olması için, görüntüleri piksel ve bit seviyesinde işlenmesine hakim olmayı gerektirecek düzeyde uzmanlık gerekmektedir. Görüntü işleme ile ilgili araç ve kütüphanelerin gelişmesi sayesinde kullanıcılar uzman olmasalar bile GPU ve CUDA teknolojilerini verimli bir şekilde kullanabileceklerdir. Son dönemlerde CUDA kullanımını yaygınlaştırmak amacıyla üst düzey programlamayı destekleyen araçlar geliştirilmekte ve bazı kütüphaneler oluşturulmaktadır.

Görüntü işlemede incelenen alanlar içerisinde görüntü geriçatma alanı en verimli uygulamaların bulunduğu alandır. Hızlanmaların en yüksek olduğu alan olmasının temel nedeni bu alanda kullanılan algoritmaların paralelleştirmeye çok uygun olmasıdır. Hızlanmanın yüksek olduğu diğer alan ise görüntü çakıştırma. Bunun nedeni ise çakıştırma işlemlerinde aynı işlemin farklı veriler üzerinde tekrarının yüksek olması ve bu nedenle işlem zamanının fazlalığıdır. Bu algoritmalarda da paralelleştirme sonucu kazancın yüksek olduğu görülmektedir. İki alanda da GPU’ların donanımları daha verimli çalışmaktadır.

Gerçek zamanlı görüntü işleme uygulamalarında yüksek performanslı yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu kapsamda görüntü işleme için kullanılan diğer paralelleştirme tekniklerinin araştırılması ve bu konuda yapılan çalışmaların incelenmesi gelecekte yapılabilecek çalışmalardandır. GPU ile paralelleştirilen çalışmaların optimize edilerek hızlandırılması gerçek zamanlı uygulamalarda kullanılmasını sağlayacaktır. Optimize için CPU ve GPU arasında veri iletişimi sürelerinin kısaltılması ve paylaşımlı hafıza kullanımının artırılması sağlanabilir. Görüntü işlemede yaygın olarak kullanılan OpenCV kütüphanesinin CUDA fonksiyonlarının artırılması ve optimizasyonun yapılması ile CUDA konusunda uzman olmayanların bu kütüphaneyi kullanım oranı artacaktır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Brodtkorb A.R., Hagen T.R., Saetra M.L., “Graphics processing unit (GPU) programming strategies and trends in GPU computing”, **Journal of Parallel and Distributed Computing**, 73: 4-13, (2013)

- [2] Cook S., *CUDA Programming A developer's Guide to Parallel Computing with GPUs*, Elsevier, USA, (2013).
- [3] Schneider M., Fey D., Kapusi D., Macheidt T., "Performance comparison of designated preprocessing white light interferometry algorithms on emerging multi- and many-core architectures", *Procedia Computer Science*, 4:2037–2046, (2011).
- [4] Ruetsch G., Oster B., *Getting Started with CUDA, NVISION08: The World of Visual Computing*, California USA, August 25-27, (2008).
- [5] NVIDIA CUDA Compute Unified Device Architecture Programming Guide, Version 1.0, (2007)
- [6] NVIDIA Accelerated Computing. GPU-Accelerated Libraries. Yayın tarihi 2017. Erişim tarihi Nisan 10, (2017).
- [7] Es A., İşler V., "Accelerated regular grid traversals using extended anisotropic chessboard distance fields on a parallel stream processor", *Journal of Parallel and Distributed Computing*, 67: 1201-1217, (2007)
- [8] Göddeke D., Strzodka R., Mohd-Yusof J., McCormick P., Buijssen S.H.M., Grajewski M., Turek S., "Exploring weak scalability for FEM calculations on a GPU-enhanced cluster", *Parallel Computing*, 33: 685-699, (2007)
- [9] Zwart S.F.P., Belleman R.G., Geldof P.M., "High-performance direct gravitational N-body simulations on graphics processing units", *New Astronomy*, 12: 641-650, (2007)
- [10] Anderson A.G., Goddard III W.A., Schröder P., "Quantum Monte Carlo on graphical processing units", *Computer Physics Communications*, 177: 298–306, (2007)
- [11] Martinsen P., Blaschke J., Künnemeyer R., Jordan R., "Accelerating Monte Carlo simulations with an NVIDIA graphics processor", *Computer Physics Communications*, 180: 1983–1989, (2009).
- [12] Che S., Boyer M., Meng J., Tarjan D., Sheaffer J.W., SKadron K., "A performance study of general-purpose applications on graphics processors using CUDA", *Journal of Parallel and Distributed Computing*, 68: 1370–1380, (2008)
- [13] Diez D.C., Mueller H., Frangakis A.S., "Implementation and performance evaluation of reconstruction algorithms on graphics processors", *Journal of Structural Biology*, 157: 288-295, (2007)
- [14] Stone S.S., Haldar J.P., Tsao S.C., Hwu W.W., Sutton B.P., Liang Z.P., "Accelerating advanced MRI reconstructions on GPUs", *Journal of Parallel and Distributed Computing*, 68: 1307-1318, (2008)
- [15] Schenk O., Christen M., Burkhart H., "Algorithmic performance studies on graphics processing units", *Journal of Parallel and Distributed Computing*, 68: 1360-1369, (2008)
- [16] Diez D.C., Moser D., Schoenegger A., Pruggnaller S., Frangakis A.S., "Performance evaluation of image processing algorithms on the GPU", *Journal of Structural Biology*, 164: 153–160, (2008)
- [17] Belleman R.G., Bedorf J., Zwart S.F.P., "High performance direct gravitational N-body simulations on graphics processing units II: An implementation in CUDA", *New Astronomy*, 13: 103-112, (2008)
- [18] Ram M.P.M., Kurfess T.R., Tucker T.M., "Least-squares fitting of analytic primitives on a GPU", *Journal of Manufacturing Systems*, 27: 130-135, (2008)
- [19] Ryoo S., Rodrigues C.I., Stone S.S., Stratton J.A., Ueng S., "Program optimization carving for GPU computing", *Journal of Parallel and Distributed Computing*, 68: 1389-1401, (2008)
- [20] Walsh S.D.C., Saar M.O., Bailey P., Lilja D.J., "Accelerating geoscience and engineering system simulations on graphics hardware", *Computers & Geosciences*, 35: 2353–2364, (2009)
- [21] Komatitsch D., Michea D., Erlebacker G., "Porting a high-order finite-element earthquake modeling application to NVIDIA graphics cards using CUDA", *Journal of Parallel and Distributed Computing*, 69: 451-460, (2009)
- [22] Vazquez F., Garzon E.M., Fernandez J.J., "A matrix approach to tomographic reconstruction and its implementation on GPUs", *Journal of Structural Biology*, 170: 146–151, (2010)
- [23] Noel P.B., Walczak A.M., Xu J., Corso J.J. Hoffmann K.R., Schafer S., "GPU-based cone beam computed tomography", *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 98: 271–277, (2010)
- [24] Zheng S.Q., Branlund E., Kesthelyi B., Braunfeld M.B., Cheng Y., Sedat J.W., Agard D.A., "A distributed multi-GPU system for high speed electron microscopic tomographic reconstruction", *Ultramicroscopy*, 111: 1137–1143, (2011)
- [25] Herráiz J.J., España S., Cal-Gonzalez J., Vaquero J.J., Desco M., Udias J.M., "Fully 3D GPU PET reconstruction", *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, 648: S169–S171, (2011)
- [26] Xu W., Xu F., Jones M., Keszthelyi B., Sedat J., Agard D., Mueller K., "High-performance iterative electron tomography reconstruction with long-object compensation using graphics processing units (GPUs)", *Journal of Structural Biology*, 171: 142–153, (2010)
- [27] Xu F., Xu W., Jones M., Keszthelyi B., Sedat J., Agard D., Mueller K., "On the efficiency of iterative ordered subset reconstruction algorithms for acceleration on GPUs", *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 98: 261–270, (2010).
- [28] Palenstijn W.J., Batenburg K.J., Sijbers J., "Performance improvements for iterative electron tomography reconstruction using graphics processing units (GPUs)", *Journal of Structural Biology*, 176: 250–253, (2011)
- [29] Blas J.G. Abella M., Isaila F., Carretero J., Desco M., "Surfing the optimization space of a multiple-GPU parallel implementation of a X-ray tomography reconstruction algorithm", *The Journal of Systems and Software*, 95: 166–175, (2014)
- [30] Flores L. A., Vidal V., Mayo P., Rodenas F., Verdu G., "CT Image Reconstruction Based on GPUs", *Procedia Computer Science*, 18: 1412–1420, (2013)
- [31] Flores L.A., Vidal V., Mayo P., Rodenas F., Verdu G., "Parallel CT image reconstruction based on GPUs", *Radiation Physics and Chemistry*, 95: 247–250, (2014)
- [32] Feng C., Yang J., Zhao D., Liu J., "CUDA accelerated method for motion correction in MR PROPELLER imaging", *Magnetic Resonance Imaging*, 31: 1390–1398, (2013)
- [33] Li X., Grigorieff N., Cheng Y., "GPU-enabled FREALIGN: Accelerating single particle 3D reconstruction and refinement in Fourier space on graphics processors", *Journal of Structural Biology*, 172: 407–412, (2010)
- [34] Okitsu Y., Ino F., Hagihara K., "High-performance cone beam reconstruction using CUDA compatible GPUs", *Parallel Computing*, 36: 129–141, (2010)
- [35] Scherl H., Kowarschik M., Hofmann H.G., Keck B., Hornegger J., "Evaluation of state-of-the-art hardware architectures for fast cone-beam CT reconstruction", *Parallel Computing*, 38: 111–124, (2012)

- [36] Chang J.Y., Park H., Park I.K., Lee K.M., Lee S.U., "GPU-friendly multi-view stereo reconstruction using surfel representation and graph cuts", **Computer Vision and Image Understanding**, 115: 620–634, (2011)
- [37] Jiang N., Yang W., Duan L., Xu X., Huang C. Liu Q., "Acceleration of CT reconstruction for wheat tiller inspection based on adaptive minimum enclosing rectangle", **Computers and Electronics in Agriculture**, 85: 123–133, (2012)
- [38] Agulleiro J.I., Vazquez F., Garzon E.M., Fernandez J.J., "Hybrid computing: CPU+GPU co-processing and its application to tomographic reconstruction", **Ultramicroscopy**, 115: 109–114, (2012)
- [39] Yang J., Feng C., Zhao D., "A CUDA-based reverse gridding algorithm for MR reconstruction", **Magnetic Resonance Imaging**, 31: 313–323, (2013)
- [40] Piccialli F., Cuomo S., Michele P.D., "A regularized MRI image reconstruction based on Hessian penalty term on CPU/GPU systems", **Procedia Computer Science**, 18: 2643–2646, (2013)
- [41] Monte C.F.P., Pccoli F., Luciano C., Rizzi S., Bianchini G., Scutari P.C., "Estimation of Volume Rendering Efficiency with GPU in a Parallel Distributed Environment", **Procedia Computer Science**, 18: 1402–1411, (2013)
- [42] Gai J., Obeid N., Holtrop J.L., Wu X.W., Lam F., Fu M., Haldar J.P., Hwu W.W. Liang Z. Sutton B.P., "More IMPATIENT: A gridding-accelerated Toeplitz-based strategy for non-Cartesian high-resolution 3D MRI on GPUs", **Journal of Parallel and Distributed Computing**, 73: 686–697, (2013)
- [43] Birk M., Balzer M., Rüter N.V., Becker J., "Evaluation of performance and architectural efficiency of FPGAs and GPUs in the 40 and 28 nm generations for algorithms in 3D ultrasound computer tomography", **Computers and Electrical Engineering**, 40: 1171–1185, (2014)
- [44] Chang L., El-Araby E., Dang V.Q., Dao L.H., "GPU acceleration of nonlinear diffusion tensor estimation using CUDA and MPI", **Neurocomputing**, 135: 328–338, (2014)
- [45] Orts-Escolano S., Garcia-Rodriguez J., Serra-Perez J.A., Jimeno-Morenilla A., Garcia-Garcia A., Morell V., Cazorla M., "3D model reconstruction using neural gas accelerated on GPU", **Applied Soft Computing**, 32: 87–100, (2015)
- [46] Huhle B., Schairer T., Jenke P., Straber W., "Fusion of range and color images for denoising and resolution enhancement with a non-local filter", **Computer Vision and Image Understanding**, 114: 1336–1345, (2010)
- [47] Sanchez M.G., Vidal V., Bataller J., Arnal J., "A Parallel Method for Impulsive Image Noise Removal on Hybrid CPU/GPU Systems", **Procedia Computer Science**, 18: 2504–2507, (2013)
- [48] Urena R., Morillas C., Pelayo F., "Real-time bio-inspired contrast enhancement on GPU", **Neurocomputing**, 121: 40–52, (2013)
- [49] Ma T., Li L., Ji S., Wang X., Tian Y., Al-Dhelaan A., Al-Rodhaan., "Optimized Laplacian image sharpening algorithm based on graphic processing unit", **Physica A**, 416: 400–410, (2014)
- [50] Saha D., Darji K., Patel N., Thakore D., "Procedia Computer Science, Implementation of Image Enhancement Algorithms and Recursive Ray Tracing using CUDA", **7th International Conference on Communication, Computing and Virtualization**, 79: 516–524, (2016)
- [51] Aydın S. "Paralel veri işleme teknikleri kullanılarak silindirik metal nesnelerin yüzey hatalarının gerçek zamanlı olarak belirlenmesi". Gazi Üniversitesi, Bilişim Enstitüsü, **Doktora Tezi**, (2019)
- [52] Uslu R., "Elektronik bir hücresel yapay sinir ağı gerçekleştirilmesi olan ACE16K üzerinde görüntü bölütleme", İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, **Yüksek Lisans Tezi**, (2007)
- [53] Pan L., Gu L., Xu J., "Implementation of Medical Image Segmentation in CUDA", **5th International Conference on Information Technology and Application in Biomedicine**, Shenzhen, China, 30–31, Mayıs, (2008)
- [54] Zhuge Y., Cao Y., Miller R.W., "GPU Accelerated Fuzzy Connected Image Segmentation by using CUDA", **31st Annual International Conference of the IEEE EMBS**, Minneapolis, Minnesota, USA, 2–6 Eylül, (2009)
- [55] Abramov A., Kulvicius T., Worgotter F., Dellen B., "Real-Time Image Segmentation on a GPU", **Facing the Multicore-Challenge: Aspects of New Paradigms and Technologies in Parallel Computing**, 6310: 131–142, (2010)
- [56] Sui H., Peng F., Xu C., Sun K., Gong J., "GPU-accelerated MRF segmentation algorithm for SAR images", **Computers & Geosciences**, 43: 159–166, (2012)
- [57] Diaz-Pernil D., Berciano A., Pena-Cantillana F., Gutierrez-Naranjo M.A., "Segmenting images with gradient-based edge detection using Membrane Computing", **Pattern Recognition Letters**, 34: 846–855, (2013)
- [58] Özdemir A., Altılar T., "GPU Based Parallel Image Processing for Plant Growth Analysis", **Third International Conference on Agro-Geoinformatics**, 315–320, (2014)
- [59] Alvarado R., Tapia J.J., Rolon J.C., "Medical image segmentation with deformable models on graphics processing units", **Journal of Supercomputing**, 68: 339–364, (2014)
- [60] Bergen R.V., Lin H., Alexander M.E., Bidinosti C.P., "4D MR phase and magnitude segmentations with GPU parallel computing", **Magnetic Resonance Imaging**, 33: 134–145, (2015)
- [61] D'Ambra P., Pilippone S., "A parallel generalized relaxation method for high-performance image segmentation on GPUs", **Journal of Computational and Applied Mathematics**, 293: 35–44, (2016)
- [62] Singh B.M., Sharma R., Mittal A., Ghosh D., "Parallel Implementation of Otsu's Binarization Approach on GPU", **International Journal of Computer Applications**, 32(2): 16–21, (2011)
- [63] Jin X., Kang D.J., Jeong M., "GPU-Based Real-Time Range Image Segmentation", **Intelligent Computing Methodologies**, 8589: 293–297, (2014)
- [64] Wang J., Chen W., "MRI Image Segmentation Based on a GPU Shortest Path Algorithm", **2nd International Conference on Intelligent Computing and Cognitive Informatics**, 1–4, (2015)
- [65] Smistad E., Thomas L.F., Bozorgi M., Elster A.C., Lindseth F., "Medical Image Segmentation on GPUs- A Comprehensive Review", **Medical Image Analysis**, 20(1): 1–18, (2015)
- [66] D'Ambra P., Pilippone S., "A parallel generalized relaxation method for high-performance image segmentation on GPUs", **Journal of Computational and Applied Mathematics**, 293: 35–44, (2016)
- [67] Diaz-Pernil D., Fondon I., Pena-Cantillana F., Gutierrez-Naranjo M.A., "Fully automatized parallel segmentation of the optic disc in retinal fundus images", **Pattern Recognition Letters**, 83 (1): 97–107, (2016)
- [68] Jaros M., Strakos P., Karasek T., Riha L., Vasatova A., Jarosova M., Kozubek T., "Implementation of K-means segmentation algorithm on Intel Xeon Phi and GPU:

- Application in medical imaging”, **Advances in Engineering Software**, 103: 21-28, (2017)
- [69] Aydin S., Samet R., Bay O.F., “Real-time parallel image processing applications on multicore CPUs with OpenMP and GPGPU with CUDA”, **The Journal of Supercomputing**, 74(6): 2255-2275, (2018)
- [70] Muyan-Özçelik P., Samant J.X.S.S., “Fast Deformable Registration on the GPU: A CUDA Implementation of Demons”, **International Conference on Computational Sciences and Its Applications**, 223-233, (2008)
- [71] Gu X., Pan H., Liang Y., Castillo R., Yang D., Choi D., Castillo E., Majumdar A., Guerrero T., Jiang S.B., “Implementation and evaluation of various demons deformable image registration algorithms on a GPU”, **Physics in Medicine and Biology**, 55: 207-219, (2010)
- [72] Huang T.Y., Tang Y., Ju S., “Accelerating image registration of MRI by GPU-based parallel computation”, **Magnetic Resonance Imaging**, 29: 712-716, (2011)
- [73] Ruijters D., Romeny B.M.H., Suetens P., “GPU-accelerated elastic 3D image registration for intra-surgical applications”, **Computer Methods and Programs in Biomedicine**, 103: 104-112, (2011)
- [74] Park S., Choi S., Kim J., Chae J.S., “Real-time 3D registration using GPU”, **Machine Vision and Applications**, 22: 837-850, (2011)
- [75] Dorgham O.M., Laycock S.D., Fisher M.H., “GPU Accelerated Generation of Digitally Reconstructed Radiographs for 2D/3D Image Registration”, **IEEE Transactions on Biomedical Engineering**, 59 (9): 2594-2603, (2012)
- [76] Sah S., Vanek J., Roh Y., Wasnik R., “GPU Accelerated Real Time Rotation, Scale and Translation Invariant Image Registration Method”, **Image Analysis and Recognition**, 7324: 224-233, (2012)
- [77] Lu M., “3D Medical Images Registration Based on GPU Parallel Computing”, **Applied Mechanics and Materials**, 241-244: 3010-3013, (2012)
- [78] Marchelli G., Haynor D., Ledoux W., Tsai R., Storti D., “A Flexible toolkit for rapid GPU-based generation of DDRs for 2D-3D registration”, **Medical Imaging 2013: Image Processing**, 8669, (2013)
- [79] Zhang Y., Zhou P., Ren Y., Zou Z., “GPU-accelerated large-size VHR images registration via coarse-to-fine matching”, **Computers & Geosciences**, 66: 54-65, (2014)
- [80] Li A., Kumar A., Ha Y., Corporaal H., “Correlation ratio based volume image registration on GPUs”, **Microprocessors and Microsystems**, 39 (8): 998-1011, (2015)
- [81] GISGeography. Image Classification Techniques in Remote Sensing. Yayın tarihi January 22, 2017. Erişim tarihi Nisan 5, (2017)
- [82] BEÜ Mühendislik Fakültesi. Görüntü Sınıflandırma. Yayın tarihi 2016. Erişim tarihi Nisan 2, (2017)
- [83] Gumbau J., Chover M., Remolar I., Rebollo C., “View-dependent pruning for real-time rendering of trees”, **Computers & Graphics**, 35: 364-374, (2011)
- [84] Cesnovar R., Risojevic V., Babic Z., Dobravec T., Bulic P., “A GPU implementation of a structural-similarity-based aerial-image classification”, **J. Supercomputing**, 65: 978-996, (2013)
- [85] Haythem B., Mohamed H., Marwa C., Fatma S., Mohamed A., “Fast Generalized Fourier Descriptor for object recognition of image using CUDA”, **World Symposium on Computer Applications and Research (WSCAR)**, : Sousse, TUNISIA, JAN 18-20, (2014)
- [86] Ganiyanu M., Onchiş D.M., “Face and marker detection using Gabor frames on GPUs”, **Signal Processing**, 96: 90-93, (2014)
- [87] Werff H.M.A., Bakker W.H., “Implementation and performance of a general purpose graphicsprocessing unit in hyperspectral image analysis”, **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, 26: 312-321, (2014)
- [88] Lopez-Fandino J., Quesada-Barriuso P., Heras D.B., Argüello F., “Efficient ELM-Based Techniques for the Classification of Hyperspectral Remote Sensing Images on Commodity GPUs”, **IEEE Journal Of Selected Topics In Applied Earth Observations And Remote Sensing**, 8 (6): 2884-2893, (2015)
- [89] Alçin Ö.F., Şengür A., İnce M.C., “İleri-geri takip algoritması tabanlı seyrek aşırı öğrenme makinesi”, **Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University**, 30 (1): 111-117, (2015)
- [90] Kaya Y., Tekin R., “Epileptik Nöbetlerin Tespiti için Aşırı Öğrenme Makinesi Tabanlı Uzman Bir Sistem”, **Bilişim Teknolojileri Dergisi**, 5 (2): 33-39, (2012)
- [91] Shi L., Liu W., Zhang H., Xie Y., Wang D., “A survey of GPU-based medical image computing techniques”, **Quant Imaging Med Surg**, 2(3): 188-206, (2012)
- [92] Sugimoto Y., Ino F., Hagihara K., “Improving cache locality for GPU-based volume rendering”, **Parallel Computing**, 40: 59-69, (2014)
- [93] Nam W., Han B., Han J.H., “Macrofeature layout selection for pedestrian localization and its acceleration using GPU”, **Computer Vision and Image Understanding**, 120: 46-58, (2014)
- [94] Liu B., Telea A.C., Roerdink J.B.T.M., Clapworthy G.J., Williams D., Yang P., Dong F., Codreanu V., Chiarini A., “Parallel centerline extraction on the GPU”, **Computers & Graphics**, 41: 72-83, (2014)
- [95] Zhang J., You S., Greunwald L., “Parallel online spatial and temporal aggregations on multi-core CPUs and many-core GPUs”, **Information Systems**, 44: 134-154, (2014)
- [96] Galizia A., D’Agostino D., Clematis A., “An MPI-CUDA library for image processing on HPC architectures”, **Journal of Computational and Applied Mathematics**, 273: 414-427, (2015)
- [97] Qin L., Sheng B., Lin W., Wu W., Shen R., “GPU-Accelerated Video Background Subtraction Using Gabor Detector”, **J. Vis. Commun. Image R.**, 32: 1-9, (2015)
- [98] Lastra M., Carabano J., Gutierrez P.D., Benitez J.M., Herrera F., “Fast fingerprint identification using GPUs”, **Information Sciences**, 301: 195-214, (2015)
- [99] Cappelli R., Ferrara M., Maltoni D., “Large-scale fingerprint identification on GPU”, **Information Sciences**, 306: 1-20, (2015)
- [100] Hernandez-Juarez D., Chacon A., Espinosa A., Vazquez D., Moure J.C., Lopez M., “Embedded real-time stereo estimation via Semi-Global Matching on the GPU”, **Procedia Computer Science**, ICCS 2016. **The International Conference on Computational Science**, , 80, 143-153, (2016)
- [101] Wang H., Zhang N., Creput J., Ruichek Y., Moreau J., “Massively parallel GPU computing for fast stereo correspondence algorithms”, **Journal of Systems Architecture**, 65: 46-58, (2016)



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

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



The effect of flame spray coating on the tribological properties of brake disc

Yazar(lar) (Author(s)): Bekir GÜNEY¹, İbrahim MUTLU², Hanifi KÜÇÜKSARIYILDIZ³

ORCID¹: 0000-0001-9764-9313

ORCID²: 0000-0001-5563-1000

ORCID³: 0000-0001-5218-3409

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz(To cite to this article): Güney B., Mutlu İ., and Küçüksarıyıldız H., “The effect of flame spray coating on the tribological properties of brake disc”, *Politeknik Dergisi*, 23(3): 755-761, (2020).

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

DOI: 10.2339/politeknik.563277

The Effect of Flame Spray Coating on the Tribological Properties of Brake Disc

Highlights

- ❖ High bond strength was obtained between cast iron and NiCrBSi powder coated by flame spray technique.
- ❖ Hardness of coated sample was found to be approximately three times higher than that of cast iron sample.
- ❖ The wear rate of the coated sample was found to be lower than the wear rate that of the lamellar graphite cast iron.
- ❖ The surface roughness of the coated sample was seven times lower than that of the cast iron sample.

Graphical Abstract

In this study, tribological properties of lamellar graphite cast iron disc surface, which are widely used in cars, were investigated. For this purpose the disc surface was covered with NiCrBSi powder by the help of cost-effective flame spray coating technique.

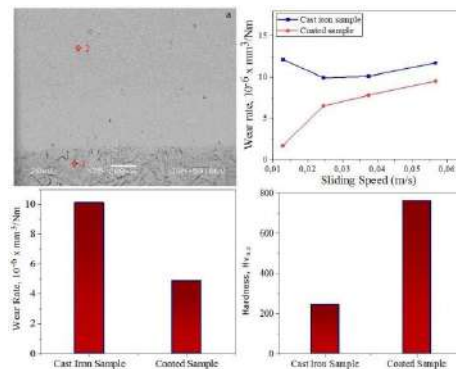


Figure. SEM micrograph (x200) taken from cross section of the disc coated with flame spraying and melting NiCrBSi, Wear rate change depending on sliding rate, Wear rate values under 10N load, Hardness values of cast iron sample and coated sample

Aim

The aim of this study is to improve the microstructure, wear, hardness and surface roughness of the brake disc coated with NiCrBSi powder coated with flame spray and melting method.

Design & Methodology

The characterization of and mechanical properties of NiCrBSi coated disc and uncoated disc were examined by SEM, EDS, profilometer, micro-hardness and ball on disc wear tests.

Originality

As Mentioned in the literature, surface modification with metal coating with ceramic powders can indeed improve the physical and tribological properties of brake discs. Inspired by this, the lamellar graphite cast iron-based brake disc surface has been modified with flame-spray coating NiCrBSi.

Findings

The coated disc showed superior properties than the uncoated disk in terms of surface roughness, hardness and wear resistance.

Conclusion

The coated sample produced higher hardness, lower surface roughness and less wear than the uncoated sample. This indicates a better tribological property and longer life coating sample.

Declaration of Ethical Standards

The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

The Effect of Flame Spray Coating on the Tribological Properties of Brake Disc

Araştırma Makalesi / Research Article

Bekir GÜNEY^{1*}, İbrahim MUTLU², Hanifi KÜÇÜKSARIYILDIZ³

¹Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Motorlu Araçlar ve Ulaş. Tek. Bölümü, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Türkiye

²Teknoloji Fakültesi, Otomotiv Müh. Bölümü, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Türkiye

³Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Motorlu Araçlar ve Ulaş. Tek. Bölümü, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 13.05.2019 ; Kabul/Accepted : 23.08.2019)

ABSTRACT

The movement of moving devices or machines in terms of safety perspective must be controlled. In modern vehicle applications, braking is closely related to safety. Slowing or breaking the movements of vehicles safely is the task of braking mechanisms. The most important components of these mechanisms are the disc and brake lining pairs. Brake discs are made of lamella graphite cast iron. During the braking, the kinetic energy of the vehicle is converted into the heat energy through friction. The braking elements are subject to very heavy thermo mechanical conditions under heat, speed and load. The friction and wear properties of the brake disc must be thermally more stable against the heat energy generated on it in order to maintain stability. In this study, mechanical properties of the brake discs, which the disc surface was coated with flame spraying and melting, were improved. In addition, microstructure, abrasion, hardness and surface roughness tests of the brake disc were conducted. As a result, the coated disc showed superior mechanical properties compared to the original disc.

Keywords: Brake discs, coating methods, flame spraying, wear.

1. INTRODUCTION

In recent years, efforts have been made to reduce emissions and reduce fuel consumption by reducing the weight of vehicles in the automotive industry. Most engineering materials in use are expected to be light and have high performance. It is the task of braking mechanisms to slow or stop the movements of the vehicles under different operating conditions. The most important components of these mechanisms are the disc and lining pairs. Brake discs are made of graphite cast iron.

The friction of the brake pad against a cast iron disc has a great technological importance in the automotive industry. In addition, different physical rules of contact and friction mechanisms are involved in micro scale of braking. Friction motion is required and the coefficient of friction must be stable. The disc and lining pair must maintain its structure without being affected by temperature, humidity and the degree of wear, dirt and water splashes on the road. They also do not vibrate and make noise [1].

The surface properties of the brake disc exposed to high temperatures need to be improved. One of the most commonly used methods to solve the problems arising from friction and wear mechanisms is coating [2]. NiCrBSi coatings straighten the homogeneity by reducing porosities and improve micro structural properties and tribological performance. These coatings are widely used in large industrial applications where

high temperature wear, friction, corrosion and oxidation are required [3]. Based on this information, Demir et al. [4] investigated the corrosion, friction and temperature-related brake attenuation characteristics by coating $Al_2O_3-TiO_2$ by plasma spray method and NiCr-Cr₃C₂ coating with HVOF method on the cast iron disc. Wang et al. [5] investigated the wear resistance and fatigue damage of the laser coating on wheel and rail materials. Wu et al. [6] investigated the microstructure and mechanical properties of 24CrNiMo dust on the brake disc by laser coating. Zamani et al. [7] studied the microstructure and mechanical properties of the material coated with $Al_2O_3-Cr_2O_3$ composite using plasma spraying. Poirier et al. [8] investigated corrosion, corrosion and thermal cycling resistance of aluminum-based disc surfaces by stainless steel coating using thermal spraying.

In our previous study [9], we investigated the temperature-dependent properties of wear, friction and braking performances by coating the brake disc with $Cr_2O_3-40\%TiO_2$ by plasma spray method. The aim of this study was to investigate whether NiCrBSi (Metco 15E) ceramic powder coated with flame spray and melting method improves the braking performance of the vehicles and microstructure, wear, hardness and surface roughness of the coated surfaces.

2. EXPERIMENTAL PRODECURE

2.1 Material Preparation

In order to improve the performance characteristics of the cast iron brake disc shown in Figure 1, the surface of the

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : guneyb03@hotmail.com.tr

disc was coated with NiCrBSi metallic-based composite powder by flame spraying and melting. Microstructure, abrasion, hardness and surface roughness tests were performed on the original and coated disc to determine the effect of the coating on the microstructure and mechanical properties of cast iron brake disc.



Figure 1. Views of the brake discs used in this study: a-cast iron sample; b-coated sample

The elemental composition of uncoated lamellar graphite cast iron sample and the coating material were analyzed with Thermo Niton X13t 980 brand spectrometer device, and the results are shown in Table 1.

Table 1. Elemental composition of GGL sample and coating layer

The composition of elements (%)	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al	Cu	Ag	Ti	V	Mg	Zr
The samples GGL	93.56	3.61	1.81	0.586	0.025	0.023	0.116	0.021	0.033	-	0.005	-	0.015	-	0.003	-
The coated material	3.59	-	-	-	-	-	54.69	-	0.047	0.018	0.148	0.047	40.88	0.328	-	0.015

2.2 Preparation of Disc Surfaces for Coating

In order to increase the adhesion strength between the coating and the backing material, the oxide film soil, grease, moisture, organic or inorganic substances on the surface of the substrate were cleaned and the surface to be coated was roughened. For this purpose, degreasing and sand blasting were carried out. After the sanding process, coating process was started. In the meantime, attention was paid not to waste much time to prevent the surfaces from becoming dirty again and not oxidized.

2.3. Application of Flame Spraying and Melting Coating Method

The cast iron discussed in the study was coated with NiCrBSi coating powder and the flame spraying with melting parameters given in Table 2 below. Table 3 presents the properties of flammable and burning gas used in flame generation.

Surface was cleaned from oil, rust and dirt. Sample discs were made by spraying with quartz abrasives at a pressure of 7 bar pressure in order to increase roughness of their surfaces. Since the connections between the sample disc and the coating layer had intermetallic phases and chemical properties, the coating process was immediately initiated to prevent the surfaces from being affected by atmospheric oxidation.

Table 2. Coating parameters of NiCrBSi powder coated with flame spraying and melting method

Coating parameters	Specification/Value
Powder coater	NiCrBSi
Spray gun type	6 P
Spray nozzle type	MG-C 26
Spraying distance (mm)	50-75
Spraying angle	90°
Oxygen pressure (Bar)	4
Acetylene pressure (Bar)	0.7
Air pressure (Bar)	4.8-4.9
Oxygen flow velocity (m ³ /s)	1.7
Acetylene flow velocity (m ³ /s)	0.93-1.4
Spraying velocity (kg/s)	0.7-0.9

Table 3. Properties of oxygen and acetylene gas mixture [10].

Gas mixture	Flame temperature (°C)	Heat value (kJ/m ³)	Ignition speed (cm/s)	Flame yield (kJ/cm)
Oxygen-Acetylene	3300	56430	1350	45

2.4. Properties of NiCrBSi Powder

NiCrBSi is a metallic composite made of gas atomization method between 142 and 350 micro meter grain sizes by blending. Since it has good wetting properties, it provides excellent metallurgical bonding. It provides high hardness, abrasion and corrosion resistance as it can be obtained without porous and dense surfaces. The hardness value rises to 850-900 HV micro hardness [11].

NiCrBSi is alloy product made to improve the properties of conventional Ni-based alloys. Chromium improves oxidation resistance, high temperature corrosion resistance and hardness by providing a very good coating. The addition of boron and silicon provides the ability to produce better coatings by increasing the self-wetting ability of the NiCr alloy. The presence of carbon increases the hardness and abrasion resistance of the coating by providing carbide formation [12].

One of the most suitable methods in NiCrBSi coatings is the flame spray method. These coatings exhibit good wear behavior up to 500 °C and retain their volume [13]. Nickel-based coatings, in particular NiCrBSi coating, perform very well in corrosion and abrasion resistance applications at high temperatures. Ni-based alloys are known as spray-melting powders in thermal spray technology. The post melting process is carried out with the aid of an oxy-acetylene head or furnace between the solid-liquid temperatures (927-1127 °C) of the alloy. Thus, the diffusion and bond strength of the coating is increased between the coating layer and the base material [14]. Another way to increase the wear resistance of Ni-based alloys is the addition of hard phases such as WC, VC and CrC in the coating layer [15].

Nickel-based alloys used on their own or in combination exhibit superior properties such as high wear, corrosion resistance and high temperature resistance along with other reinforcing particles [16, 17, 18]. They are used in piston, cylinder, box packaging, sockets, pump shafts, food, medicine, automotive and aerospace industries. The effect of the load is higher than the temperature in the increase of wear in coatings made by NiCrBSi powder thermal spray method [13].

2.5. Mechanical Properties Testing

The microstructure, hardness, wear and surface roughness were measured as following: The samples were prepared by standard methods and the microstructures of the samples were examined with the Olympus BX-60 optical microscope (LM) and JEOL-JSM 5910-LV scanning electron microscope (SEM) and the micrographs of various sizes were taken and transferred to the computer. The microstructures of original and coated discs were examined by LM and SEM and analyzed by Oxford Industries Inca X-Sight 7274 energy dispersive spectrometer (EDS).

Using micro hardness device (Wolpert) with Vickers diamond pyramid tip and 200 g load, the measurements were conducted from 10 points and averaged. Wear tests were carried out in reciprocating wear test device under normal atmospheric conditions (at room temperature and 30% humidity). Using Al₂O₃ as abrasive ball, experiments were conducted under various loads (10N, 15N, 20N, and 25N) and various sliding speed (0.0128, 0.0245, 0.0375, and 0.0567 m/s); and the total sliding distance was 40 m. The measurements were made with surface roughness device (Mahr) which is perpendicular to the slip lines formed during rotation of the disc.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Microstructure Features of Samples

The original disc and NiCrBSi coating prepared by standard metallographic methods were analyzed by using LM and SEM micrographs. Automobile brake discs are usually made of pearlitic laminated graphite cast iron [19]. X100 magnified light microscope images, which were polished by standard technique and showing

graphite lamellae of cast iron brake disc that were branded using 5HNO₃+95%CH₃OH, are shown in Figure 2.

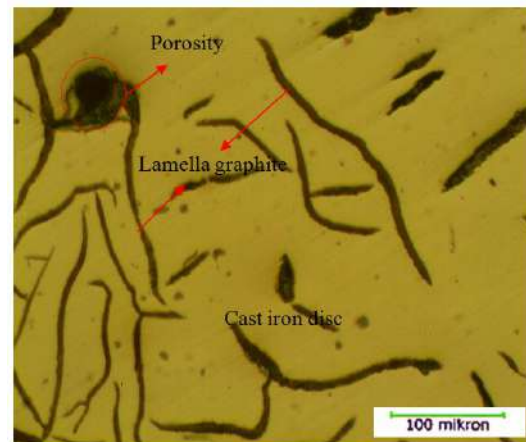


Figure 2. LM micrograph of the surface of the base material which is made of cast iron, x100

In Figure 3, a micrograph was obtained by x100 magnification from the surface section by light microscope. In micrograph, as a function of temperature and time, the presence of oxidized and carbide compounds has been observed due to the re-melting of the Ni element and the very small particle size distribution. NiCrBSi powder was used in flame spraying process and melting process was applied to improve mechanical properties. It has been observed that the Ni element settles more intensively near the boundary zone, thus providing a perfect mechanical bonding between the cast iron disc and the coating layer.

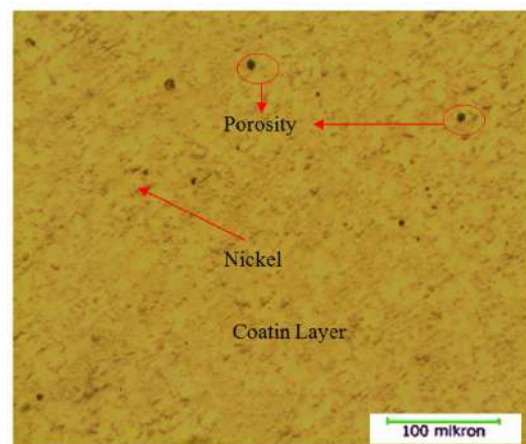


Figure 3. LM micrograph of the disc coated with flame spraying and melting NiCrBSi, x100

In Figure 4 (a), a small amount of ferrite in the perlite matrix seen in the region 1' of the SEM micrograph is a known structure. The graphite structures of the elemental free carbon atoms formed in the cast-iron matrix in different geometric forms can be seen. The EDS analysis

of the samples taken from two different points indicated in this micrograph is shown in Figures 5 (b) and (c).

Based on the results of the analysis in Fig. 4 (b), the presence of Ni element in the region 2 of the SEM micrograph in Fig. 4 (a) is concentrated and also Fe, Cr, P, Si and C are available. The presence of oxidized and carbide compounds was determined in the melting of the Ni element, where the amount of Ni increased from the coating layer to the disc material.

In Fig. 4 (c), it is understood that the analysis of point 1 is typical cast iron disc material (> 90% by weight). The

presence of C, Cr and Si elements in cast iron disc is understood from the analysis results.

In Figure 4 (a), the micrograph from the cross-section at x75 magnification shows that there is an excellent mechanical bond between substrate material and the coating. It is seen that there is a perfect bond between the cast iron disc and the coating layer. There are 1-2% pores in the coatings. It has been reported in previous studies that a certain amount of pores were present in thermal spray coatings [20, 21, 22].

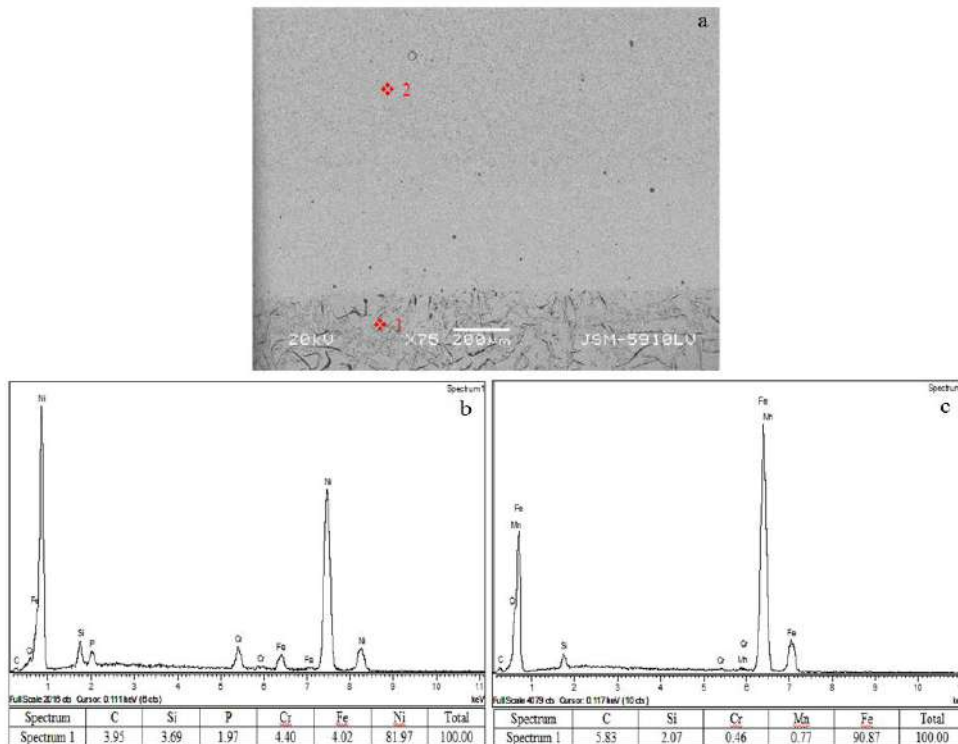


Figure 4. SEM micrograph (x200) taken from cross section of the disc coated with flame spraying and melting NiCrBSi, and EDS analysis

In Figure 4 (c), the presence of Cr, Fe, P, Si and C elements in which the matrix was prominently Ni was determined in the analysis of point 2 on light gray. In the analysis, it is thought that Fe and C elements have been added to the structure by diffusion from the disc material. The presence of boron and silicon elements in the coating powder increased the ability of the NiCr alloy to self-wetting and provided the opportunity to produce better coatings [12]. It has been stated that the elements of boron and silicon reduce the melting temperature of the coating powder and increase the fluidity, thereby contributing to the formation of hard and oxidized hard phases. It is also reported that carbon increase the hardness and the abrasion resistance by providing hard carbides [23, 24, 25, 26, 27].

It can be seen in micrographs, nickel has perfectly bonded by re-melting and by showing interconnectivity

with problematic disk material. This also supports the presence of elements such as Fe and C which are added to the structure by diffusion in EDS analysis. Oxidized compounds are likely to form in the coating layer as flame spraying and melting are in atmospheric conditions. SEM micrographs and EDS analyzes show that different morphological elements such as Fe, Cr, Si, C and P have distributed within the Nickel-prominent matrix. The oxide, carbide, porosity and the particles that are not fully melted indicate the discontinuity in the structure. This means a non-homogeneous structure. It is seen that the strong binding structure in SEM micrographs and light microscope images, has eliminates the disadvantages arising from this non-homogeneous structure disorder.

3.2. Wear Behavior of Samples

The wear test results of discs under 10 N load are given in Figure 5. The NiCrBSi coated disc showed a lower wear rate than the original disc. Wear tests were performed at different load and different shear rates to examine the effect of load and shear rate on wear.

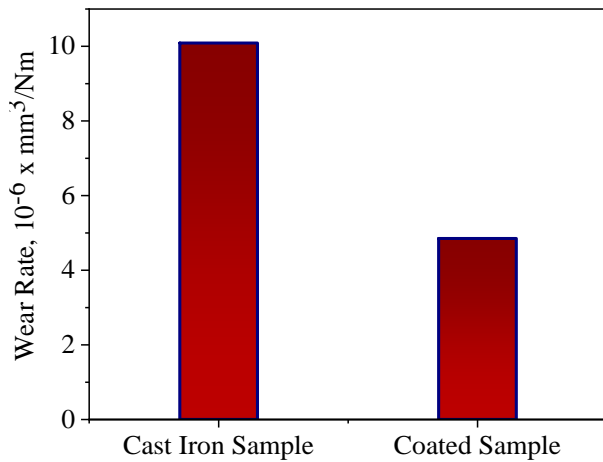


Figure 5. Wear rate values under 10N load

The change in the wear rate of the original disc-coated disc due to increased load and shear rate is given in Figure 6 and Figure 7, respectively. It has been observed that the wear rate of the NiCrBSi coated disc with high surface hardness is lower than the original disc in accordance with previous studies [28], while the wear rate of the coating in question has not been changed much due to the increased load (Figure 7).

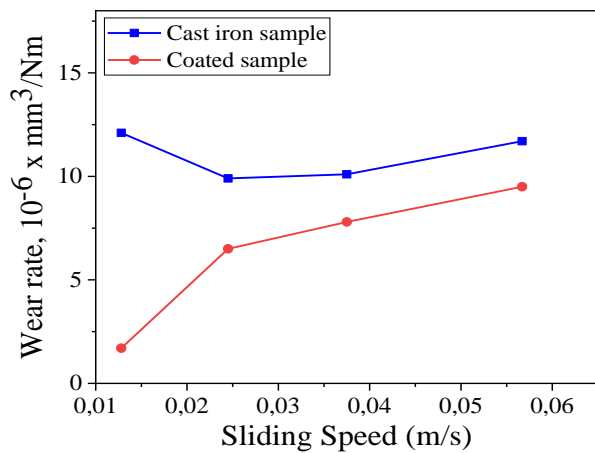


Figure 6. Wear rate change depending on sliding rate

The NiCrBSi coated disc with high surface hardness due to the increased shear rate shown a low wear rate compared to the original disc, it is shown in Figure 8 that there is no different change in wear rate.

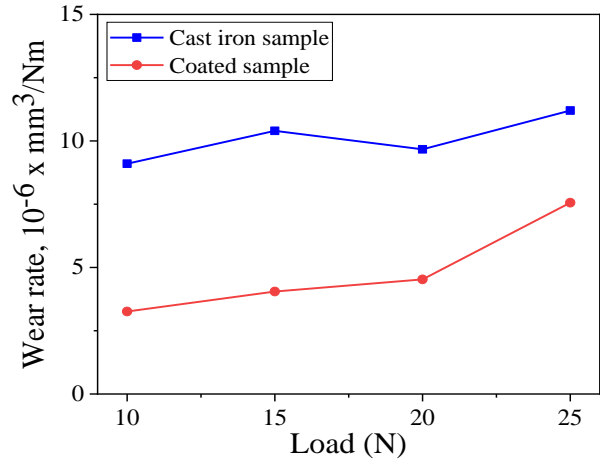


Figure 7. Wear rate change depending on loads

3.3 Hardness Behavior of samples

Micro hardness tests of original and coated discs were carried out by using Matsuzawa MHT-2 in TS 6503 EN ISO 4516 “Metallic and other inorganic coatings-vickers and knoop micro hardness tests”. The surfaces of the original and coated discs were applied at 200 grf for 15 sec, and the disc surfaces were divided into 36 degree distances and 10 measurements were made at equal intervals. The measured hardness values are given in Figure 8. The hardness of the cast iron disc is between 170-255 HB (~ 180-270 HV) [31]. The average value hardness of the original disc used in the study was measured as 245 HV_{0.2}. Depending on the coating parameters, the hardness of NiCrBSi coating in our study was 761 HV_{0.2}.

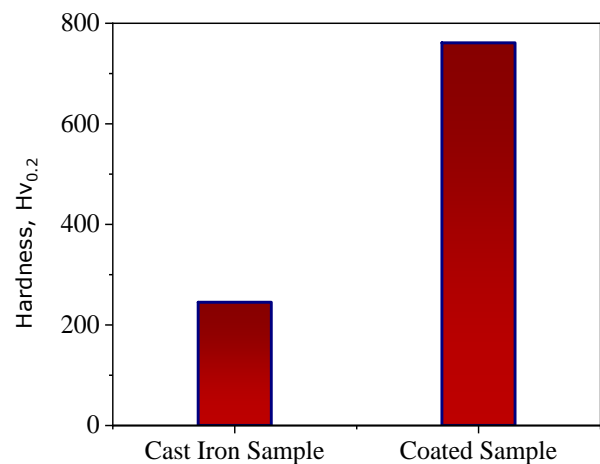


Figure 8. Hardness values of cast iron sample and coated sample

3.4. Surface Roughness Behavior of Samples

Generally, the average surface roughness value (Ra) of the new discs can be between 1.125-1.5µm [29]. Surface roughness values of the original and coated brake discs

was measured 10 times, with the disc surface being marked with 10 equal parts - 36° . The roughness values of the disc used in the experiment were determined by the obtained values.

Eriksson et al. (2002) reported that the disc structure has a significant effect on the friction coefficient not only in microstructure but also in terms of surface geometry. The decrease in the roughness values on the surface increases the friction coefficient by increasing the contact area [30]. The temperature resulting from the roughness of the surfaces during friction significantly affects the friction coefficient. The increase in temperature to a certain degree causes the friction coefficient to drop in the material and the system becomes inoperable [31]. The surface roughness values of the original and coated brake discs are shown in Figure 9. The surface roughness of the coated disc was found to be seven times lower compared to cast-iron sample.

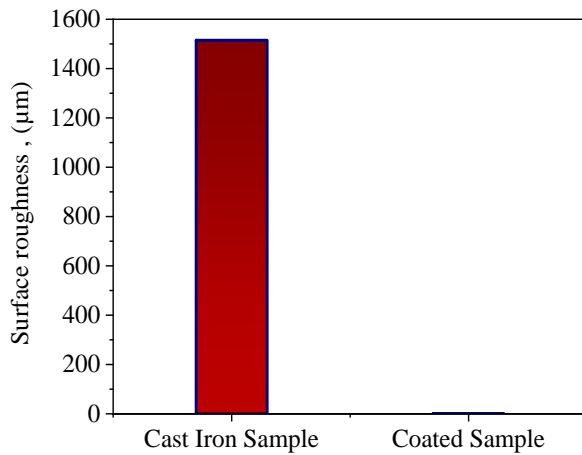


Figure 9. Surface roughness values of cast iron sample and coated sample

4. CONCLUSIONS

In this work, the flame sprayed NiCrBSi coating was re-melted by using the flame in an automatic mode. Microstructures and mechanical properties (such as hardness, bonding strength, wear performance and surface roughness) of the flame sprayed and re-melted NiCrBSi were systematically characterized. The results of this study are as follows:

1. The lamella structure, which is the characteristic of flame spraying coatings, occurred in the NiCrBSi coating. The coatings have a small porosity level. EDX analysis shows that diffusion is formed at the substrate/coating interface. In this case, the binding mechanism become metallurgical.
2. The re-melted NiCrBSi coating provides a lower wear volume than that of the cast iron sample at both 0.01 m/s and 0.06 m/s slide speed.
3. Micro hardness values measured on cast iron and coated sample surfaces, the hardness value of the sample coated with NiCrBSi powder was three times

higher than the cast iron sample by flame spraying with melting. This was attributed to the formation of a more strong coating by the deposition of the nickel matrix coating powder in the W_2C coating layer during the re-melting process.

4. Due to the high hardness and hard carbide phases, the surface roughness value of the NiCrBSi coated sample was seven times lower than that of the cast iron sample. As a result, braking characteristics can thought to be better.

REFERENCES

- [1] Mutlu I., Eldogan O. and Fındık F., "Tribological properties of some phenolic composites suggested for automotive brakes", *Tribology International*, 39:317-325, (2006).
- [2] Wu Y., Ma Y., Gao W., Yang G., Fu H., Xi N. and Chen H., "High temperature wear performance of laser cladding CoO_6 coating on high-speed train brake disc", *Applied Surface Science*, 481:761-766, (2019).
- [3] Rachidi R., Kihel B. E. and Delaunois F., "Microstructure and mechanical characterization of NiCrBSi alloy and NiCrBSi-WC composite coatings produced by flame spraying", *Materials Science-Engineering*, 241:13-21 (2019).
- [4] Demir A., Samur R. and Kılıçaslan I., "Investigation of the coatings applied onto brake discs on disc-brake pad pair", *Metalurgija*, 48(3): 161-166, (2009).
- [5] Wang J., Fu Z.K., Guo J., Zhang Y.Q., Liu Q.Y. and Zhu M.H., "Investigation on wear resistance and fatigue damage of laser cladding coating on wheel and rail materials under the oil lubrication condition". *Tribology Transactions*, 59(5):810-817, (2016).
- [6] Wu Y., Liu Y., Chen H., Chen Y., Li H. and Yi W., "Microstructure evolution and crack propagation feature in thermal fatigue of laser deposited Stellite 6 coating for brake discs", *Surface-Coatings Technology*, 358: 98-107, (2019).
- [7] Zamani P. and Valefi Z., "Microstructure, phase composition and mechanical properties of plasma sprayed Al_2O_3 , Cr_2O_3 and $Cr_2O_3-Al_2O_3$ composite coatings", *Surface-Coatings Technology*, 316:138-145, (2017).
- [8] Poirier D., Legoux J.G., Irissou E., Gallant D., Jian, J., Potter T. and Boileau J., "Performance assessment of protective thermal spray coatings for lightweight al brake rotor disks", *Journal of Thermal Spray Technology*, 28 (1-2): 291-304, (2019).
- [9] Güney B. and Mutlu İ., "Tribological properties of brake discs coated $Cr_2O_3-40\%TiO_2$ by plasma spraying", *Surface Review And Lettres*, (2019), <https://doi.org/10.1142/S0218625x19500756>.
- [10] Salman S., "Plazma ve alev püskürtme tekniğiyle $Al_2O_3-13\%TiO_2$ ve $Cr_2O_3-5\%SiO_2-3\%TiO_2$ seramik kaplanan malzemelerin özellikleri", *Doktora Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, (1995).
- [11] https://www.oerlikon.com/ecomaXL/files/oerlikon_BRO-0001.17_TS_MaterialGuide_EN.pdf , Received on May 11, 2019.

- [12] Gonzalez R., Cadenas M., Fernandez R., Cortizo J.L. and Rodriguez E., "Wear behaviour of flame sprayed NiCrBSi coating remelted by flame or by laser", *Wear*, 262: 301-307, (2007).
- [13] Rodriguez J., Martin A., Fernandez R. and Fernandez J. E., "An experimental study of the wear performance of NiCrBSi thermal spray coatings", *Wear*, 255: 950-955, (2003).
- [14] Miguel J.M., Guilemany J.M. and Vizcaino S. "Tribological study of NiCrBSi coating obtained by different processes", *Tribology International*, 36(3): 181-187, (2003).
- [15] Hidalgo V.H., Varela F.J.B., Menendez A.C. and Martinez, S.P., "A comparative study of high-temperature erosion wear of plasma sprayed NiCrBSiFe and WC-NiCrBSiFe coatings under simulated coal-fired boiler conditions", *Tribology International*, 34:161-169, (2001).
- [16] Ming Q., Lim L.C. and Chen, Z.D. "Laser cladding of nickel - based hardfacing alloys", *Surface-Coatings Technology*, 106: 174-182, (1998).
- [17] Wu P., Zhou C. Z. and Tang X. N., "Microstructural characterization and wear behavior of laser clad nickel-based and tungsten carbide composite coatings", *Surface-Coatings Technology*, 166:84-88, (2003).
- [18] Serres N., Hlawka F., Costil S., Langlade C. and Machi F., "Microstructures of metallic NiCrBSi coatings manufactured via hybrid plasma spray and in situ Laser remelting process", *Journal of Thermal Spray Technology*, 20(1-2):336-343, (2011).
- [19] Grivic U., Derzic D. and Simon Muhic S., "Numerical optimisation and experimental validation of divided rail freight brake disc crown", *Journal of Modern Transportation*, 27(1):1-10, (2019).
- [20] Hong S., Wu Y., Li G., Wang B., Gao W. and Ying, G., "Microstructural characteristics of high-velocity oxygen-fuel (HVOF) sprayed nickel-based alloy coating", *Journal of Alloys and Compounds*, 581:398-403, (2013).
- [21] Bergant Z., Trdan U. and Grum J., "Effect of high-temperature furnace treatment on the microstructure and corrosion behavior of NiCrBSi flame-sprayed coatings", *Corrosion Science*, 88:372-386, (2014).
- [22] Chen L.Y., Xu T., Wang H., Sang P., Lu S., Ze-Xin Wang Z.X., Chen S. and Zhangb L.C., "Phase interaction induced texture in a plasma sprayed-remelted NiCrBSi coating during solidification: an electron backscatter diffraction study", *Surface-Coatings Technology*, 358:467-480, (2019).
- [23] Miguel J.M., Guilemany J.M. and Vizcaino, S., "Tribological study of NiCrBSi coating obtained by different processes", *Tribology International*, 36(3): 181-187, (2003).
- [24] Stoica V., Ahmed R. and Itsukaichi T., "Influence of heat-treatment on the sliding wear of thermal spray cermet coatings", *Surface-Coatings Technology*, 199: 7-21, (2005).
- [25] Carrasquero E.J., Lesage J., Puchi-Cabrera E.S. and Staia M.H., "Fretting wear of HVOF Ni-Cr based alloy deposited on SAE 1045 steel". *Surface-CoatingsTechnology*, 202: 4544-4551, (2008).
- [26] Serres N., Hlawka F., Costil S., Langlade C., Machi F. and Cornet A., "Dry Coating sand ecodesign. Part 2. Tribological performances", *Surface-CoatingsTechnology*, 204(1-2): 197-204, (2009)
- [27] Habib K.A., Cano D.L., Heredia J.A. and Mira J.S., "Effect of post-coating technique on microstructure, microhardness and the mixed lubrication regime parameters of thermally-sprayed NiCrBSi coatings", *Surface-Coatings Technology*, 358: 824-832, (2019).
- [28] Gemalmayan N., "Sürtünme Malzemelerinin Özelliklerinin Deneysel İncelenmesi", *Doktora Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, , Ankara, (1984).
- [29] Halderman J.D., "Automotive brake systems", Second Edition, *Prentice-Hall*, (2000).
- [30] Eriksson M., Bergman F. and Jacobson S., "On the nature of tribological contact in automotive brakes", *Wear*, 252: 26-36, (2002).
- [31] Zhao N., Zhao Y., Wei Y., Wang X., Li L., Xu Y., Yan F. and Lu Z., "Friction and wear behavior of TaC ceramic layer formed in-situ on the gray cast iron", *Tribology International*, 135: 181-188, (2019).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

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



NdFeB mıknatısların üretimine yönelik sanal platform modeli

Virtual platform model for production of NdFeB magnets

Yazar(lar) (Author(s)): Musa Faruk ÇAKIR¹, Mustafa KARHAN²

ORCID¹: 0000-0003-2406-372X

ORCID²: 0000-0001-6747-8971

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Çakır M. F. ve Karhan M., “NdFeB mıknatısların üretimine yönelik sanal platform modeli”, *Politeknik Dergisi*, 23(3): 763-770, (2020).

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

DOI: 10.2339/politeknik.560944

NdFeB Mıknatısların Üretimine Yönelik Sanal Platform Modeli

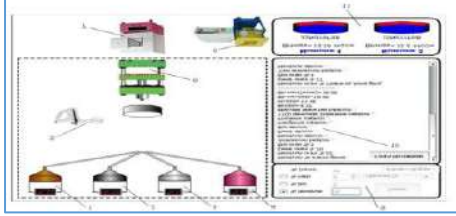
Virtual Platform Model for Production of NdFeB Magnets

Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Sanal platform modelinin tasarımı ve oluşturulması. / Design and creation of virtual platform model.
- ❖ B_r , H_c , BH_{max} ve Curie sıcaklığı ile ilgili verilerden matematiksel fonksiyonların elde edilmesi. / Obtaining mathematical functions from data related to B_r , H_c , BH_{max} and Curie temperature.
- ❖ Elde edilen fonksiyonların ayrıntılı değerlendirilmesi. / The detailed evaluation of the obtained functions.
- ❖ Elde edilen fonksiyonlarla sanal laboratuvar platformunun hazırlanması. / Preparing the virtual laboratory platform with the obtained functions.
- ❖ Sanal platform ve benzetim sonuçlarının karşılaştırılması. / Comparison of virtual platform and simulation results.

Grafik Özet (Graphical Abstract)

Bu çalışmada, gerçek laboratuvarında farklı NdFeB alaşımları üzerine yapılan araştırmalarda elde edilen B_r (kalıcı mıknatıslık), H_c (manyetik koersivite), BH_{max} (maksimum enerji çarpımı) ve Curie sıcaklığı ile ilgili verilerden elde edilen fonksiyonlar ile sanal laboratuvar platformu hazırlanmıştır. / In the study, mathematical functions were obtained from data related to B_r (permanent magnetism), H_c (magnetic coercivity), BH_{max} and Curie temperature obtained in researches on different NdFeB alloys in real laboratory. The virtual laboratory platform was prepared with the obtained functions.



Şekil. Sanal platformun grafiksel kullanıcı arayüzü ve ticari mıknatıs seçimi bölümü. / Figure. The graphical user interface (GUI) of the virtual platform and commercial magnet selection section.

Amaç (Aim)

Bu çalışmada, NdFeB mıknatısların üretimi öncesinde AR-GE çalışmalarında ve üretimde kullanılacak sanal bir laboratuvar platformunun geliştirilmesi amaçlanmıştır. / In this study, it is aimed to develop a virtual laboratory platform that can be used in research and development studies and production before the production of NdFeB magnets.

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Sanal laboratuvar platformu elde edilen fonksiyonlarla (F_{B_r} , F_{H_c} , $F_{BH_{max}}$) hazırlanmıştır. Bu platform, Action Script 3.0 programlama dili kullanılarak geliştirilmiştir. / The virtual laboratory platform was prepared with the obtained functions (F_{B_r} , F_{H_c} , $F_{BH_{max}}$). It was developed using Action Script 3.0 programming language.

Özgünlük (Originality)

Bu hazırlanan sanal platformda Nd, Fe ve B elementleri kullanılarak kompozit NdFeB mıknatıs üretimi sanal olarak gerçekleştirilmiştir. / In this prepared virtual platform, composite NdFeB magnet production was performed using Nd, Fe and B elements in a virtual way.

Bulgular (Findings)

Çalışmada, gerçek laboratuvarında farklı NdFeB alaşımları üzerine yapılan araştırmalarda elde edilen B_r , H_c , BH_{max} ve Curie sıcaklığı ile ilgili verilerden matematiksel fonksiyonlar elde edilmiştir. / In the study, mathematical functions were obtained from data related to B_r , H_c , BH_{max} and Curie temperature obtained in researches on different NdFeB alloys in a real laboratory.

Sonuç (Conclusion)

NdFeB mıknatıs üretimine yönelik olarak düşük hata oranına sahip bir sanal platform modeli geliştirilmiştir. / A virtual platform model with a low error rate has been developed for NdFeB magnet production.

Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

NdFeB Mıknatısların Üretimine Yönelik Sanal Platform Modeli

Araştırma Makalesi / Research Article

Musa Faruk ÇAKIR, Mustafa KARHAN*

Çankırı Karatekin Üniversitesi, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Çankırı, Türkiye

(Geliş/Received : 06.05.2019 ; Kabul/Accepted : 26.08.2019)

ÖZ

Bilgi ve iletişim teknolojisi alanındaki son gelişmeler, eğitim ve üretim teknikleri üzerinde büyük bir etkiye neden olmuştur. Sanal enstrüman kavramı, ölçüm ve üretim sistemleri tasarımı alanında yeni tekniklerin uygulanmasına yol açmıştır. Sanal enstrümanlar, gerçek laboratuvarların ana parçası olan pahalı ve karmaşık gerçek enstrümanların yerini almaya başlamıştır. Böylece laboratuvarların tasarlanması, gerçekleştirilmesi ve modernleştirilme süreci kolaylaşmıştır. Günümüzde NdFeB mıknatıslardaki gelişmeler, birçok teknoloji alanında vazgeçilmez unsur haline gelmelerine sebep olmuşlardır. NdFeB mıknatıslar, maksimum enerji çarpımı BH_{max} sayesinde hibrit elektrikli araçların motorlarında yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır. Ayrıca manyetik rezonans görüntüleme, elektrikli motorlar, çeşitli jeneratörler gibi uygulamalarda, büyük ölçekli veya küçük ölçekli rüzgar enerjisi jeneratörlerinde kullanımları önemli ölçüde artmıştır. Bu çalışmada NdFeB mıknatısların üretimi öncesinde AR-GE çalışmalarında ve üretimde kullanılabilecek sanal bir laboratuvar platformu gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen sanal platform masaüstü uygulaması olarak tasarlanıp çalıştırılmıştır. İleriki çalışmalarda açık kaynak donanımlar kullanılarak web tabanlı uygulamalar geliştirilecektir. Çalışmada, gerçek laboratuvarlarda farklı NdFeB alaşımları üzerine yapılan araştırmalarda elde edilen B_r (kalıcı mıknatısiyet), H_c (manyetik koersivite), BH_{max} (maksimum enerji çarpımı) ve Curie sıcaklığı ile ilgili verilerden matematiksel fonksiyonlar elde edilmiştir. Elde edilen fonksiyonlar ile sanal laboratuvar platformu hazırlanmıştır. Oluşturulan laboratuvar sistemi çok amaçlı olarak endüstride kullanılabileceği gibi eğitim amaçlı da kullanılabilir. Mıknatıs tasarımındaki AR-GE çalışmalarını sırasında maliyet ve zaman tasarrufu sağlaması ve yeni mıknatıs çalışmalarının önünün açılması hedeflenmektedir.

Anahtar Kelimeler: NdFeB, BH_{max} (maksimum enerji çarpımı), B_r (kalıcı mıknatısiyet), H_c (manyetik koersivite), sanal platform.

Virtual Platform Model for Production of NdFeB Magnets

ABSTRACT

Recent developments in information and communication technology have caused a major impact on training and production techniques. The concept of virtual instrument has led to the application of new techniques in the area of measurement and production systems design. Virtual instruments have begun to replace the expensive and complex instruments that are the main part of real laboratories. Thus, the process of designing, realizing and modernizing laboratories has been facilitated. Today, developments in NdFeB magnets have caused these magnets to become essential elements in many technology fields. NdFeB magnets are widely used in the engines of hybrid electric vehicles due to the maximum energy product (BH_{max}). In addition, usage of NdFeB in applications such as magnetic resonance imaging, electric motors, various generators and in large-scale or small-scale wind energy generators have increased significantly. In this study, before the production of NdFeB magnets, a virtual laboratory platform which can be used in research and development studies and production is realized. The developed virtual platform is designed and run as a desktop application. In future studies, web based applications will be developed by using open source hardware. In the study, mathematical functions were obtained from data related to B_r (permanent magnetism), H_c (magnetic coercivity), BH_{max} , and Curie temperature obtained in researches on different NdFeB alloys in real laboratory. The virtual laboratory platform was prepared with the obtained functions. The laboratory system can be used in industry for multi-purpose. In addition, it also allows for use for educational purposes. It is aimed to save cost and time during the the research and development studies in magnet design and to perform different magnet works.

Keywords: NdFeB, BH_{max} (maximum energy product), B_r (permanent magnetism), H_c (magnetic coercivity), virtual platform.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kalıcı mıknatıslar, son yirmi yıl boyunca performans açısından çarpıcı bir şekilde gelişmiştir ve modern yaşamda önemli hale gelmiştir. Halihazırda çeşitli endüstriyel ekipmanlarda kullanılan kalıcı mıknatıslar genel

olarak ferrit mıknatıs ve nadir toprak mıknatısı olmak üzere iki kategoriye ayrılmaktadır. Ferrit mıknatıslar, başlıca demir oksitten oluşan oksit mıknatıslardır. İyi manyetik özelliklere sahip olmalarına rağmen, düşük maliyetlerinden dolayı büyük miktarlarda üretilirler ve sonuç olarak iyi bir fiyat performansı özelliğine sahiptirler. Buna karşın, nispeten yüksek maliyete rağmen, günümüzde nadir toprak mıknatısları, üstün manyetik

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

özelliklerinden dolayı çeşitli yüksek performanslı cihazlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Nadir toprak mıknatısların mukavemeti, ferrit mıknatıslarinkinden yaklaşık 10 kat daha fazladır [1]. Nadir toprak mıknatısları SmCo tipi ve NdFeB mıknatıslar olarak iki sınıfa ayrılırlar. Mevcut üretimle ilgili olarak, nadir toprak mıknatıslarının %98'inden fazlası NdFeB mıknatıslardır. Günümüzde NdFeB mıknatıslar, üstün manyetik özelliklerinden dolayı çeşitli yüksek performanslı cihazlarda yaygın olarak kullanılmaktadır [1]. Nadir toprak mıknatısların en önemli bileşenleri Nd (Neodimyum), Fe (Demir) ve B (Bor) elementleridir. Bu üç elementten oluşan ve katkı maddeleriyle zenginleştirilen NdFeB mıknatıslarının geliştirilmesiyle nadir toprak mıknatısları güçlü bir manyetik akı sağlama kabiliyeti kazanmıştır. Bu yeteneklerinden dolayı birçok teknoloji alanında vazgeçilmez unsur haline gelmişlerdir [1,2,3].

NdFeB mıknatıslar, tüketici elektroniği ve görsel-işitsel sistemler gibi çeşitli ürünlerde de kullanılmaktadır. Buzdolaplarında, çamaşır makinelerinde ve ayrıca klimalardaki en küçük kompresörlerde kullanılırlar. Geleneksel ana ferrit mıknatısların NdFeB mıknatıslarına geçişi performans iyileştirme ve daha büyük güç tasarruflarından kaynaklanmıştır. Klimalarda kullanılan ısı pompalarında NdFeB mıknatısların kullanımıyla, enerji konservasyonu, CO₂ emisyonunun azaltılması ve küresel ısınmanın önlenmesi konusunda büyük faydalar sağlanacaktır. [3,4,5,6,7].

NdFeB mıknatıslar; asansörler, endüstriyel robotlar, enjeksiyon kalıplama makineleri yüksek güçlü AC servo motorlarında da kullanılması anlamında çok önemli bir yere sahiptir. Ayrıca, otomobil uygulamalarında NdFeB mıknatısların kullanımı son zamanlarda büyük ölçüde artmıştır [2].

NdFeB mıknatıslar sadece elektrikli araçlarda veya hibrit elektrikli araçlarda değil, aynı zamanda konvansiyonel benzin ve dizel araçlarda da, örneğin çeşitli sensörlerde, ateşleme bobinlerinde ve hoparlör sistemlerinde kullanılır. NdFeB mıknatısların elektrikli direksiyon sistemlerine uygulanmasının hızla genişlemesi beklenmektedir. Otomobil endüstrisinin yakıt verimliliğinin iyileştirilmesi ve CO₂ emisyonunun yeniden üretilmesi gibi çevresel problemlerle başa çıkma sorumluluğu olduğu göz önüne alındığında, NdFeB mıknatısların otomobil endüstrisinin gelişiminde daha önemli bir rol oynayacağı beklenmektedir [8].

Ayrıca NdFeB mıknatıs ürünleri; görüntüleme sistemlerinde, elektrikli motor teknolojisinde, jeneratör uygulamalarında kullanılmaktadır. NdFeB mıknatıslarının büyük ölçekli veya küçük ölçekli rüzgar enerjisi jeneratörlerinde kullanılmaya başlanmış ve çok yüksek verimler elde edilmiştir [7]. Bu açıklamalardan da anlaşılacağı üzere NdFeB mıknatıslar enerji verimliliğini artırmak, enerji tasarrufu sağlamak ve ekonomik verimliliği artırmak için yüksek performanslı cihazlarda kullanılmaktadır.

Mıknatıs tasarımında önemli kriterlerden biri küçük hacimde yüksek kalıcı (artık) mıknatısiyet yoğunluğuna (B_r) sahip olmaktır. Böylece mıknatıs kuvvetli olur ve istenen akıyı sağlar. Ayrıca büyük bir giderici kuvvete (H_c) (kalıcı mıknatısiyeti yok edici kuvvet) sahip olmalıdır. Böylece dış etkiler tarafından kolaylıkla mıknatısiyeti yok edilemez. Bu iki önemli kriter sonucunda BH_{max} adını verdiğimiz mıknatısın maksimum enerji çarpımı elde edilmektedir. BH_{max} değeri mıknatısların gücünü temsil etmektedir. Mıknatıslar için B_r , H_c ve BH_{max} değerleri çok önemlidir. Kullanım alanlarında bu değerler göz önüne alınarak seçimler yapılır [9-14].

Literatürde elektrik motorları [15,16,17,18], elektromanyetik [19,20], elektrik devreleri [21, 22], yüksek gerilim[23], güç elektroniği [24,25,26] alanlarında birçok bilgisayar destekli çalışmalar bulunmaktadır. Daha spesifik olarak ele alındığında mıknatısların üretimi ile ilgili bilgisayar destekli çalışmalarda genellikle üretilmiş mıknatısların dotaları kaydedilerek veri tabanına dayalı ölçüm platformları oluşturulmuştur [27]. Bu hazırlanan sanal platformda ise Nd, Fe ve B elementleri kullanılarak kompozit NdFeB mıknatıs üretimi sanal olarak gerçekleştirildi. Mıknatıs tasarımı yapılırken malzeme ve zamanın önemli etkenler olmasından dolayı, yapılacak çalışmaları bir sanal ortamda tasarlayıp sonra gerçek laboratuvar ortamında denemenin önemli olduğu düşüncesiyle sanal bir üretim platformu gerçekleştirildi.

2. SANAL PLATFORM VERİLERİ VE MATEMATİKSEL FONKSİYONLAR (VIRTUAL PLATFORM DATA AND MATHEMATICAL FUNCTIONS)

Tasarımını gerçekleştirdiğimiz sanal platformun hazırlanmasında 5,183,516 United States patent numaralı çalışma referans alınarak gerekli veriler elde edilmiştir. Referans aldığımız patentte NdFeB mıknatısların üretiminde kullanılan maddelerin toz boyutları 0,3 - 0,8 µm arasındadır [28]. Bu maddelerle çalışırken ortamın inert (oksijensiz) olması gerekmektedir. Kullanılan maddeler aktif elementler olduğu için çok çabuk oksitlendiklerinden dolayı havasız ortamda çalışmalıdır. Bu tür sistemler genelde glovebox adını verdiğimiz sistemlerdir.

Hazırlanan mıknatıs numunelerinin sinterlenmesi (pişirme) için sıcaklığı 700 °C ile 1500 °C arasında değişen fırınlar kullanılmaktadır [29].

NdFeB mıknatısların üretilmesinde Nd (Neodymium) atomik yüzde olarak % 8-30, B(Bor) % 2-28 ve diğer kalan atomik yüzde bölümü de Fe (Demir)'den oluşmaktadır. Referans aldığımız patent çalışmasında yukarıdaki atomik yüzde değerleri kullanılmıştır. Katkı maddeleri olarak da Ti, Zr, Hf, V, Ta, Nb, Cr, W, Mo, Mn, Ni, Sb, Sn, Ge, Al ve Bi eklenmiştir.

Sanal platformun hazırlanmasında matematiksel fonksiyonlara ihtiyaç vardır. Bu fonksiyonların elde edilmesinde laboratuvar ortamlarının ve kullanılan parametrelerin aynı olması gerekmektedir. Bu konulara dikkat ederek fonksiyonları elde edebilmek için verilere

ihtiyaç duyulmaktadır. Bu veriler ilgili referans kaynak-tan alınmıştır.

2.1. Sanal Platformun Oluşturulmasında Kullanılan Veriler (Data for Preparing Virtual Platform)

Çizelge 1'de $15Nd-(85-x)Fe-xB$ alaşımına ait B_r , H_c ve BH_{max} değerleri verilmiştir. Burada B (Bor) elementinin ilgili alaşımda manyetik özelliklere (B_r , H_c ve BH_{max}) etkisi incelenmiştir. B (Bor) elementi %6 kullanıldığında B_r , H_c ve BH_{max} değerleri en yüksek değerlere ulaştığı görülmektedir.

Çizelge 1. % B değişimine göre $15Nd-(85-x)Fe-xB$ alaşım için B_r , H_c ve BH_{max} değerleri [16] (B_r , H_c and BH_{max} values for $15Nd-(85-x)Fe-xB$ alloy according to B % change [16])

Alaşım Adı: $15Nd-(85-x)Fe-xB$			
%B	Br (KG)	Hc (KOe)	BHmax (MGOe)
0	0,0	0,0	0
2	7,5	1,3	4,1
3	10,4	1,8	7,0
4	10,8	2,8	13,4
6	13,0	8,0	36,5
7	12,9	8,2	36,0
8	12,1	7,3	32,1
10	11,9	8,0	31,9
12	10,5	8,2	25,2
17	8,7	7,6	17,6
23	6,8	11,3	10,9
30	4,2	10,7	4,0
32	3,0	10,2	1,8

Çizelge 2'de $xNd-(92-x)Fe-8B$ alaşımına ait B_r , H_c ve BH_{max} değerleri verilmiştir. Burada Nd (Neodmiyum) elementinin ilgili alaşımda manyetik özelliklere (B_r , H_c ve BH_{max}) etkisi incelenmiştir. Nd (Neodmiyum) elementi %14 kullanıldığında B_r , H_c ve BH_{max} değerleri en yüksek değerlere ulaştığı görülmektedir. Bu değerlerde üretilen mıknatıs en küçük hacimde en yüksek manyetik özelliklere sahip olmaktadır. Bu değerlerin dışında grafiklerden de görüleceği manyetik değerlerde azalma görülmektedir.

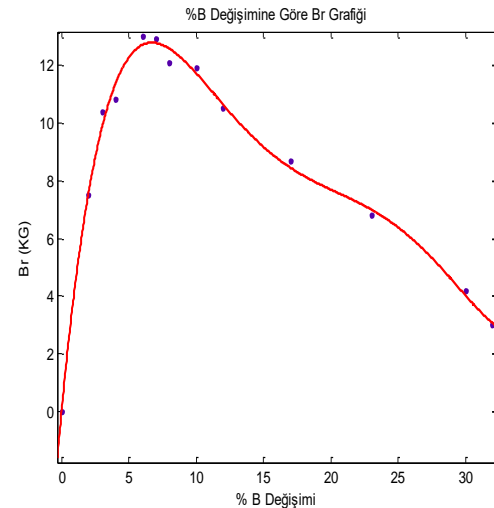
Çizelge 2. % Nd değişimine göre $xNd-(92-x)Fe-8B$ alaşımının B_r , H_c ve BH_{max} değişimi [16] (B_r , H_c and BH_{max} values for $xNd-(92-x)Fe-8B$ alloy according to Nd % change [16])

Alaşım Adı: $xNd-(92-x)Fe-8B$			
%Nd	Br (KG)	Hc (KOe)	BHmax (MGOe)
6	0	0	0
13	13,1	4,8	29,3
14	12,8	7,8	36,5
17	11,6	9,2	31,1

19	10,9	11,4	28,0
25	5,8	12,6	8,8
35	1,9	14,6	≤1

2.2. Sanal Platformun Oluşturulmasına İlişkin Matematiksel Fonksiyonlar (Mathematical Functions for Preparing Virtual Platform)

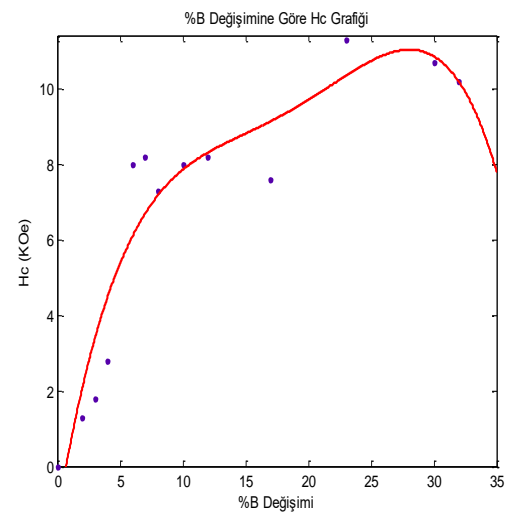
Çizelge 1 kullanılarak $F_{Br}(x=\%B)$, $F_{Hc}(x=\%B)$ ve $F_{BHmax}(x=\%B)$ grafikleri (Şekil 1,2,3) ve fonksiyonları (Denklemler 1,2,3) elde edilmiştir.



Şekil 1. $15Nd-(85-x)Fe-xB$ alaşımında % B değişimine göre B_r değişimi (B_r change in $15Nd-(85-x)Fe-xB$ alloy relative to B % change)

$$F_{Br}(x = \%B) = 9,754 \cdot 10^{-6} \cdot x^5 - 0,0009972 \cdot x^4 + 0,03813 \cdot x^3 - 0,6705 \cdot x^2 + 4,959 \cdot x + 0,0536 \quad (1)$$

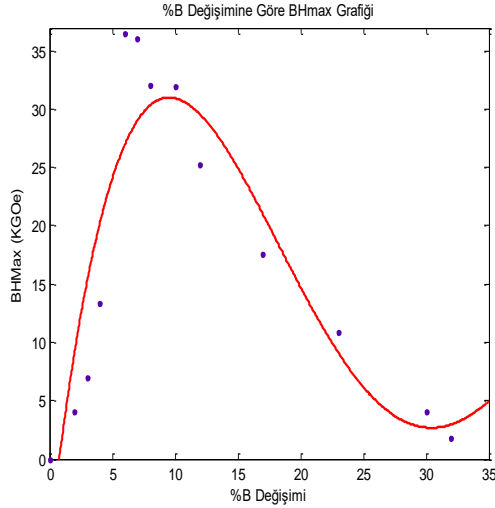
Şekil 1 incelendiğinde $15Nd-(85-x)Fe-xB$ alaşımında B (Bor) oranı %5 ile % 10 arasında değiştiğinde B_r değeri en yüksek değerleri almaktadır.



Şekil 2. $15Nd-(85-x)Fe-xB$ alaşımında % B değişimine Göre H_c değişimi (H_c change in $15Nd-(85-x)Fe-xB$ alloy relative to B % change)

$$F_{H_c}(x = \%B) = -8,322 \cdot 10^{-5} \cdot x^4 + 0,006099 \cdot x^3 - 0,1613 \cdot x^2 + 2,004 \cdot x - 1,316 \quad (2)$$

Şekil 2 incelendiğinde B(Bor)'un %10-%25 aralığında değişimi H_c 'yi 8-10 KOe aralığında değiştirmektedir. Ancak B_r 'nin de değeri düşünüldüğünde (%6 B(Bor) için) H_c 'nin değeri en uygun 8 KOe görülmüştür.

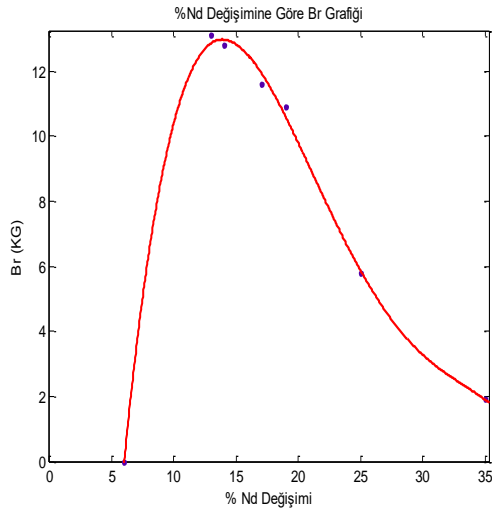


Şekil 3. $15Nd-(85-x)Fe-xB$ alaşımında % B değişimine göre BH_{max} değişimi (BH_{max} change in $15Nd-(85-x)Fe-xB$ alloy relative to B % change)

$$F_{BH_{max}}(x = \%B) = -0,0001754 \cdot x^4 + 0,02022 \cdot x^3 - 0,7541 \cdot x^2 + 9,474 \cdot x - 6,858 \quad (3)$$

Şekil 3 incelendiğinde B(Bor)'un % değişimi 5-10 aralığında BH_{max} en yüksek değerleri almıştır. B(Bor) %6 olduğunda BH_{max} en yüksek değer olarak 36,5 MGOe değerine ulaşmıştır.

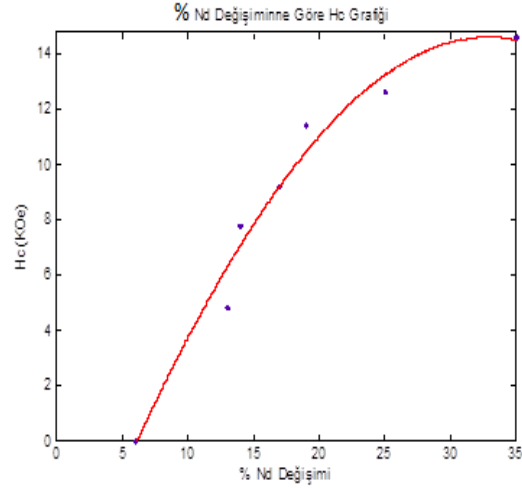
Nd (Neodmiyum) elementinin NdFeB mıknatıslar üzerine etkisini incelemek ve matematiksel fonksiyonları elde etmek için Çizelge 2 'deki veriler kullanılmıştır. Çizelge 2 kullanılarak $F_{B_r}(x = \%Nd)$, $F_{H_c}(x = \%Nd)$ ve $F_{BH_{max}}(x = \%Nd)$ grafikleri (Şekil 4,5,6) ve fonksiyonları (Denklem 4,5,6) elde edilmiştir.



Şekil 4. $xNd-(92-x)Fe-8B$ alaşımında % Nd değişimine göre B_r değişimi (B_r change in $xNd-(92-x)Fe-8B$ alloy relative to Nd % change)

$$F_{B_r}(x = \%Nd) = -0,0001578 \cdot x^4 + 0,01715 \cdot x^3 - 0,6637 \cdot x^2 + 10,21 \cdot x - 40,84 \quad (4)$$

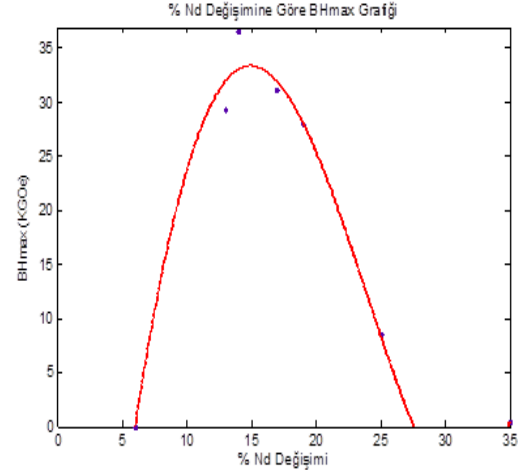
Şekil 4 incelendiğinde Nd'nin %8-15 aralığında değişiminde B_r değeri en yüksek değerlerini almıştır. Nd %13 alındığında B_r değeri 13,1 KG olarak görülmüştür.



Şekil 5. $xNd-(92-x)Fe-8B$ alaşımında % Nd değişimine göre H_c değişimi (H_c change in $xNd-(92-x)Fe-8B$ alloy relative to Nd % change)

$$F_{H_c}(x = \%Nd) = -8,242 \cdot 10^{-5} \cdot x^3 - 0,01436 \cdot x^2 + 1,217 \cdot x - 6,966 \quad (5)$$

Şekil 5 incelendiğinde Nd'nin % olarak değişimi H_c 'yi arttırmaktadır. Ancak burada H_c artarken B_r 'nin ve BH_{max} 'in artış oranları da önemlidir. BH_{max} önemli bir manyetik özellik olduğundan, BH_{max} 'in en yüksek olduğu değeri referans değer olarak kabul edilebilir. Nd'nin %14 olduğu değer uygun bir değerdir.



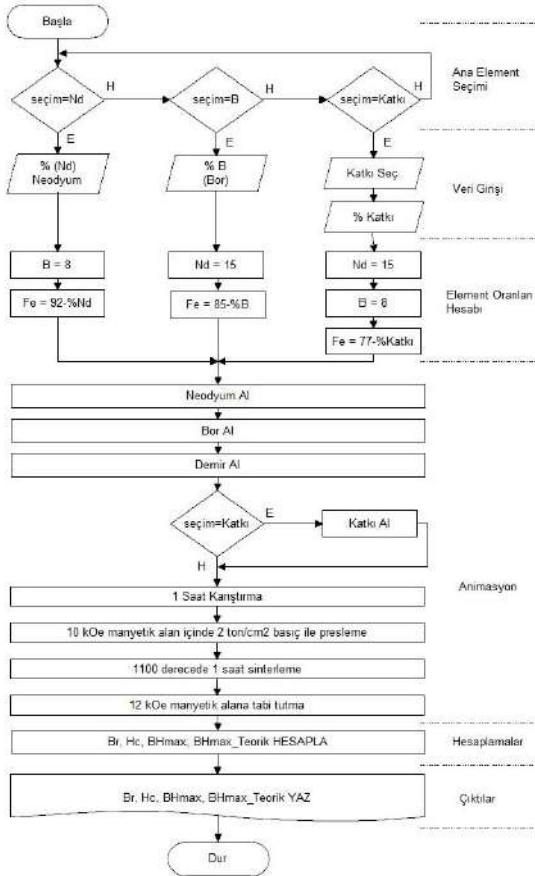
Şekil 6. $xNd-(92-x)Fe-8B$ alaşımında % Nd değişimine göre BH_{max} değişimi (BH_{max} change in $xNd-(92-x)Fe-8B$ alloy relative to Nd % change)

$$F_{BHmax}(x = \%Nd) = 0,00026 \cdot x^4 - 0,006882 \cdot x^3 - 0,4002 \cdot x^2 + 13,11 \cdot x - 63,16 \quad (6)$$

Şekil 6 incelendiğinde Nd'nin % olarak değişiminde %13-18 aralığında BH_{max} yüksek değerler almıştır. Nd %14 alındığında BH_{max} değeri 36.5 MGOe olarak görülmüştür.

3. NdFeB MIKNATISLARIN ÜRETİMİ İÇİN SANAL PLATFORM (VIRTUAL PLATFORM FOR PRODUCTION OF NdFeB MAGNETS)

Şekil 8'de arayüzü verilmiş olan laboratuvar platformunun animasyonlar Adobe Flash 8 programı ile hazırlanmıştır. Sanal platform, Action Script 3.0 programlama dili kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen sanal platform masaüstü uygulaması olarak tasarlanıp çalıştırılmıştır. İleriki çalışmalarda açık kaynak donanımlar kullanılarak web tabanlı uygulamalar geliştirilecektir. Geçleştirilen sanal platformun akış diyagramı Şekil 7'de gösterilmiştir.

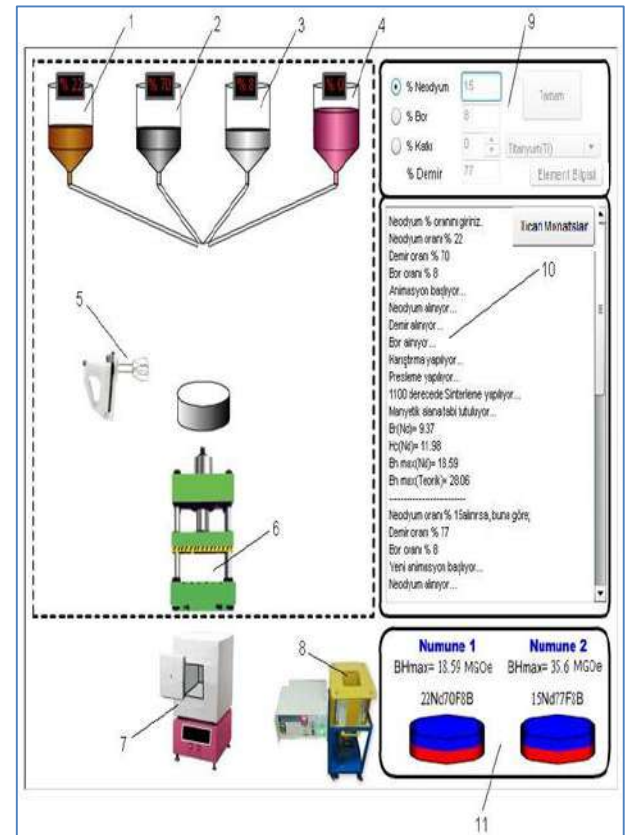


Şekil 7. Sanal platformun akış diyagramı (Flowchart of virtual platform)

Sanal platform, mıknatıs tasarımı üzerine çalışan araştırma ve üretim merkezlerinde, üniversitelerin ilgili araştırma merkezlerinde, lisans ve lisansüstü düzeydeki eğitim çalışmalarında kullanılabilir. Sanal platformu kullanacak araştırmacı ve/veya öğrenciler için platformun aşağıda verilen laboratuvar bölümlerini tanıyarak NdFeB mıknatıs tasarımı ve üretimi gerçekleştirebileceklerdir.

Laboratuvardaki bölümlerin açıklaması şu şekildedir;

- 1- Neodmiyum (Nd) elementinin bulunduğu kap,
- 2- Demir (Fe) elementinin bulunduğu kap,
- 3- Bor (B) elementinin bulunduğu kap,
- 4- Katkı maddelerinin (M=Ti, Zr, Hf, V, Ta, Nb, Cr, W, Mo, Mn, Ni, Sb, Sn, Ge, Al, Bi) bulunduğu kap,
- 5- Numunenin karışımının yapıldığı bölüm,
- 6- Numunenin preslendiği bölüm,
- 7- Numunenin sinterlendiği (1100 °C de fırımlandığı) bölüm,
- 8- Elde edilen numunenin 12 kOe'lik manyetik alana tabii tutulduğu bölüm,
- 9- Hazırlanacak nano mıknatıs için karıştırılacak elementlerin % olarak ağırlık değerlerinin girildiği bölüm,
- 10-Sanal platformun çalışması durumundaki işlem basamaklarının gösterildiği bölüm,
- 11-Elde edilen nano mıknatıs gösterildiği bölüm.



Şekil 8. Sanal platformun arayüz görüntüsü (User interface of virtual platform)

Nd elementini baz alarak mıknatıs üretmek istenildiğinde sanal laboratuvardaki 9. bölümde % olarak Nd değerini girip tamam denildiğinde, sistem çalışıp sonuçta numunenin alaşım formülü ve BH_{max} değerleri elde edilmektedir.

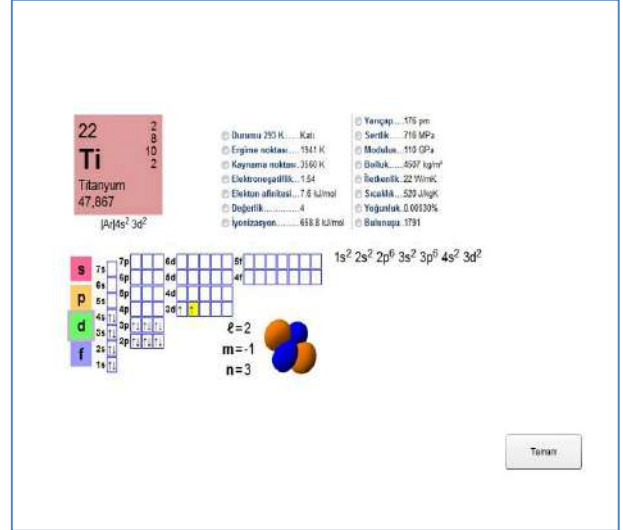
B elementi için de aynı işlemler yapıp istenilen NdFeB alaşımları oluşturabilmektedir. Bir NdFeB mıknatıs katkı maddelerinin artık mıknatısiyetine (B_r) etkisi incelemek için sanal laboratuvarında 9. bölümde katkı maddesini seçip % oranı girildiğinde 15Nd-Fe-8B-xM alaşımındaki artık mıknatısiyet değeri elde edilmektedir (M=katkı maddeleri).

Sanal laboratuvarında günümüz ticari mıknatıslara da yer verilmiştir. B_r , BH_{max} ve çalışma sıcaklıklarına göre ticari mıknatıs seçimleri Şekil 9'da görüldüğü gibi yapılabilmektedir. Sanal platformda üretimi gerçekleştirilen mıknatıslarla ticari mıknatısların özellikleri karşılaştırabilmektedir.



Şekil 9. Ticari mıknatıs seçimi bölümü (Commercial magnet selection section)

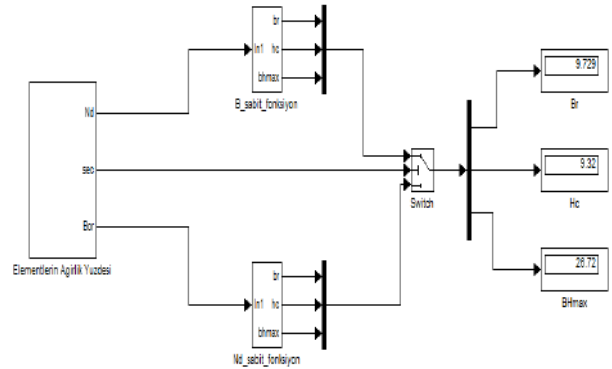
Kullanılan katkı maddelerinin kimyasal ve fiziksel özellikleri hakkında bilgi sahibi olabilmek için element bilgisi adı altında bir bölüm oluşturulmuştur. Bu bölümde platformda kullanılacak elementlerin fiziksel ve kimyasal özellikleri verilmiştir. Şekil 10'da elementlerin fiziksel ve kimyasal özellikleri hakkında bilgi veren bölümün bir görüntüsü verilmiştir.



Şekil 10. Elementlerin kimyasal ve fiziksel özelliklerini veren bölüm (Section that provides chemical and physical properties of the elements)

4. SANAL PLATFORMUN SONUÇLARI VE KARŞILAŞTIRILMASI (RESULTS AND COMPARISON OF THE VIRTUAL PLATFORM)

Hazırlanan sanal platformun doğruluk kontrolünün yapılması için Şekil 11'deki blok diyagram oluşturulmuştur. Burada benzetim ile sanal platform sonuç değerlerinin karşılaştırılması ve platformun çalışması test edilmiştir.



Şekil 11. Laboratuvarın MATLAB/Simulink ile blok diyagramı (MATLAB/Simulink block diagram of laboratory)

Çizelge 3'te Sanal platform sonuçlarının doğrulukları karşılaştırılmalı olarak verilmiştir. Çizelge dikkatle incelendiğinde sonuçların birbirine çok yakın olduğu gözlemlenmektedir. Hazırlanan sanal platform bu sayede amacına uygun bir şekilde çalıştığı görülmektedir. Sanal platformda elde edilen verilerdeki hata ihmal edilebilecek seviyelerdedir. Sonuçlar hesaplanırken iki farklı programlama platformu kullanılmış olup veri tipi farklılıkları nedeniyle, elde edilen eğri fonksiyonlarındaki üstel parametrelerin değerleri sonucu doğrudan az da olsa etkilediği

gözlemlenmiştir. Örnek olarak Çizelge 3'te de görüleceği üzere NdFeB mıknatıs üretimi için ağırlık oranının %10'u Nd, %8'i B ve diğer kalan %82 Fe elementi kullanıldığında 10Nd82Fe8 Alaşımı elde edilmektedir. Bu alaşımın manyetik özellikleri Sanal platform için $B_r=10.48$ KG, $H_c=3.68$ KOe ve $BH_{max}=23.63$ MGOe elde edilirken Simulinkte $B_r=10.46$ KG, $H_c=3.684$ KOe ve $BH_{max}=23.67$ MGOe olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 3. Sanal laboratuvar ve Simulink sonuçlarının karşılaştırılması (Comparison of virtual laboratory and Simulink results)

Laboratuvar Sonuçlarının Karşılaştırılması	
Sanal	Simulink
Nd = 20, B=8 için 20Nd72Fe8B Alaşımı	
$B_r=10.15$ KG $H_c=10.97$ KOe $BH_{max}=25.5$ MGOe	$B_r=9.832$ KG $H_c=10.96$ KOe $BH_{max}=25.55$ MGOe
Nd = 10, B=8 için 10Nd82Fe8 Alaşımı	
$B_r=10.48$ KG $H_c=3.68$ KOe $BH_{max}=23.63$ MGOe	$B_r=10.46$ KG $H_c=3.684$ KOe $BH_{max}=23.67$ MGOe
Nd = 15, B=10 için 15Nd75Fe10B Alaşımı	
$B_r=11.72$ KG $H_c=7.86$ KOe $BH_{max}=30.93$ MGOe	$B_r=11.7$ KG $H_c=8.118$ KOe $BH_{max}=30.94$ MGOe
Nd = 17, B=8 için 17Nd75Fe8B Alaşımı	
$B_r=12.16$ KG $H_c=9.16$ KOe $BH_{max}=31.95$ MGOe	$B_r=12$ KG $H_c=9.159$ KOe $BH_{max}=31.99$ MGOe
Nd = 7, B=8 için 7Nd85Fe8B Alaşımı	
$B_r=3.61$ KG $H_c=0.82$ KOe $BH_{max}=7.26$ MGOe	$B_r=3.612$ KG $H_c=0.8205$ KOe $BH_{max}=7.287$ MGOe
Nd = 27, B=8 için 27Nd65Fe8B Alaşımı	
$B_r=5.75$ KG $H_c=13.8$ KOe $BH_{max}=1.78$ MGOe	$B_r=4.695$ KG $H_c=13.77$ KOe $BH_{max}=1.812$ MGOe
Nd=15, B=15 için 15Nd70Fe15B Alaşımı	
$B_r=9.18$ KG $H_c=8.82$ KOe $BH_{max}=24.94$ MGOe	$B_r=9.294$ KG $H_c=9.487$ KOe $BH_{max}=24.94$ MGOe

Mıknatısların tasarımı ve üretimi ile ilgili yapılan bilgisayar destekli çalışmalarda genellikle mıknatısların ölçüm değerleri kaydedilip veri tabanı oluşturulmuştur

[27]. Bu çalışma da ise Nd, Fe ve B elementleri kullanılarak kompozit NdFeB mıknatıs üretimi sanal olarak gerçekleştirilmiştir.

5. SONUÇ (CONCLUSION)

Bir sanal platformu gerçekleştirmeden önce, sistemin çalışma koşulları altında davranışının incelenmesi ve uygun verilerin belirli bir kurala uyması gerekmektedir. Yapılan gerçek laboratuvar çalışmalarının bir algoritmaya göre yapılması, sonraki çalışmalarda büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Bu amaçla gerçekleştirilecek sistemi en doğru temsil eden matematiksel fonksiyonları elde etmek sanal laboratuvarın temelini oluşturur. Yapılmak istenen laboratuvar çalışmalarının matematiksel fonksiyonlarla benzetimi gerçekleştirilebilir. Hazırlanan sanal laboratuvarın doğruluk kontrolü MATLAB/Simulink ile yapılmıştır. Sonuçlar birbirine çok yakın değerlerdedir hatta bazı durumlarda aynı değerler elde edilmiştir. Platformun çalışması sonucundaki çıktı hataları, fonksiyonların hazırlanmasında seçilen eğri uydurma metodlarından ve veri tipi farklılıklarından kaynaklanmaktadır. Bu tür hatalar, üretilen mıknatısların çalışma ortamlarındaki mıknatısiyet parametrelerini ihmal edilebilecek seviyelerde etkilemektedir.

Sanal platform sayesinde, malzemeleri istenen oranda karıştırarak mıknatıs tasarımı ve üretimi ile ilgili AR-GE çalışmaları yapmak mümkündür. Platform şu anda üretilmiş ticari mıknatıs alaşımları için istenilen ara değer çalışmaları yapabilir. Ayrıca mıknatıs tasarımı AR-GE çalışmalarına katkıda bulunarak, hem numune mıknatısların üretiminde harcanan süre hem de malzeme maliyetlerinden büyük tasarruflar sağlanabilecektir.

Platformun hazırlanmasında kullanılan veriler çoğaltıldıkça, sistemin çalışma aralığı genişleyerek sonuçların daha kararlı olması sağlanmış olacaktır. Platform gelişmeye ve yeniliklere açık olmakla birlikte gerek ticari gerek akademik uygulamalara entegre olabilme esnekliğine sahiptir. Hazırlanan platform eğitimde, üretimde ve AR-GE çalışmalarında büyük faydalar sağlayacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Minowa T., "Rare Earth Magnets: Conservation of Energy and the Environment", *Resource Geology*, 58(4): 414 – 422. (2008).
- [2] Sugimoto S., "Current status and recent topics of rare-earth permanent magnets" *Journal of Physics D: Applied Physics*, 44(6): 064001, (2011).
- [3] Xu X.D., Sasaki T.T., Li J.N., Dong Z.J., Sepehri-Amin H., Kim T.H., Ohkubo T., Schrefl T., Hono K. "Microstructure of a Dy-free Nd-Fe-B sintered magnet with 2 T coercivity" *Acta Materialia*, 156: 146-157, (2018).
- [4] Zhang S., Zhao D.L., "Advances in Magnetic Materials: Processing, Properties, and Performance", *CRC Press*, 315, (2017).

- [5] Gutfleisch O., Willard M.A., Brück E., Chen C.H., Sankar S.G., Liu J.P., “Magnetic materials and devices for the 21st century: stronger, lighter, and more energy efficient”, *Advanced Materials*, 23: 821-842, (2011).
- [6] Coey J.M.D., “Permanent Magnets: plugging the gap”, *Scripta Mater.*, 67(6): 524-529, (2012).
- [7] Hono K., Sepehri-Amin H., “Strategy for high-coercivity Nd-Fe-B magnets”, *Scripta Mater.*, 67 : 530-535, (2012).
- [8] Kaneko Y., “Highest Performance of Nd-Fe-B Magnet Over 55 MGOe” *IEEE Transactions on Magnetics*, 36(5):3275-3278, (2000).
- [9] Wang Z., Zhang J., Wang J., Ju J., Chen R., Tang X., Yin W., Lee D., Yan A., “Coercivity improvement of hot-deformed Nd-Fe-B magnets by stress-induced Pr-Cu eutectic diffusion”, *Acta Materialia*, 156:136-145, (2018).
- [10] Lee R.W., “Hot-pressed neodymium-iron-boron magnets”, *Appl. Phys. Lett.*, 46: 790-791, (1985).
- [11] Grünberger W., Hinz D., Kirchner A., Müller K.H., Schultz L., “Hot deformation of nanocrystalline Nd-Fe-B alloys”, *J. Alloy. Comp.*, 257: 293-301, (1997).
- [12] Pathak A.K., Khan M., Gschneidner K.A., McCallum R.W., Zhou L., Sun K., Dennis K.W., Zhou C., Pinkerton F.E., Kramer M.J., Pecharsky V.K., “Cerium: an unlikely replacement of dysprosium in high performance Nd-Fe-B permanent magnets”, *Adv. Mater.*, 27: 2663-2667, (2015).
- [13] Lewis L.H., Zhu Y., Welch D.O., “Evidence for reversal by nucleation in RE-Fe-B die-upset magnets”, *J. Appl. Phys.* 76: 6235-6237, (1994).
- [14] Liu J., Sepehri-Amin H., Ohkubo T., Hioki K., Hattori A., Schrefl T., Hono K., “Effect of Nd content on the microstructure and coercivity of hot-deformed Nd-Fe-B permanent magnets”, *Acta Materials*, 61: 5387-5399, (2013).
- [15] Colak I., Irmak E., Kabalcı E., and Issi F., “Design and implementation of a remote laboratory platform using MATLAB builder for NE”, *Comput. Appl. Eng. Educ.*, 22: 617-629, (2014).
- [16] Gencer C. and Gedikpinar M., “A computer-aided educational tool for induction motors”, *Comput. Appl. Eng. Educ.*, 20: 503-509, (2012).
- [17] Idowu P. and Root C., “Real-time motor current signature analysis tool for undergraduate laboratory”, *Comput. Appl. Eng. Educ.*, 18: 634-639, (2010).
- [18] Tekin A., Ata F., and Gokbulut M., “Remote control laboratory for DSP-controlled induction motor drives”, *Comput. Appl. Eng. Educ.*, 20: 702-712, (2012).
- [19] Bjekić M., Šučurović M., Božić M., Rosić M., and Antić S., “Using computer for measurement and visualization of rotating magnetic field in AC machines”, *Comput. Appl. Eng. Educ.*, 25: 608-624, (2017).
- [20] Iskander M. F., “Technology-based electromagnetic education” *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 50(3): 1015-1020, (2002).
- [21] Reyes-Aviles F. and Aviles-Cruz C., “Handheld augmented reality system for resistive electric circuits understanding for undergraduate students”, *Comput. Appl. Eng. Educ.*, 26: 602-616, (2018).
- [22] Svoboda J. A., “ELab: A circuit analysis program for engineering education”, *Comput. Appl. Eng. Educ.*, 5: 135-149, (1997).
- [23] Vahidi B. and Taherkhani M., “Teaching short circuit breaking test on high-voltage circuit breakers to undergraduate students by using MATLAB-SIMULINK”, *Comput. Appl. Eng. Educ.*, 21: 459-466, (2013).
- [24] Bonisławski M. and Hołub M., “Teaching modern power electronics—Computerized test stand design”, *Comput. Appl. Eng. Educ.*, 26: 928-937, (2018).
- [25] Yalcin N. A. and Vatanserver F., “A web-based virtual power electronics laboratory”, *Comput. Appl. Eng. Educ.*, 24: 71-78, (2016).
- [26] Yamin H. Y., Altawil I. A., Al-Ajlouni A. F., and Al-Fahoum A. S., “A new developed educational approach to improve conventional teaching methodology of the power electronics laboratory”, *Comput. Appl. Eng. Educ.*, 19: 193-200, (2011).
- [27] Sim J. W., Baiod R., Brown B. C., Desavouret E., Glass H. D., Hall P. J., ... & Russell, A., “Software for a database-controlled measurement system at the Fermilab” *Proceedings Particle Accelerator Conference, IEEE*, 4: 2285-2287, (1995).
- [28] Sagawa M., Furimuro S., Matsuura Y., “Magnetic materials and permanent magnets”, *United States Patent*, Patent. No:5183516.,feb.2, (1993).
- [29] Kaneko Y. and Ishigaki N., “Recent developments on high-performance NEOMAX magnets,” *JMEPEG*, 3(2): 228-233, (1994).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

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



Inertia and droop controller for a modern variable speed wind turbine to provide frequency control in a microgrid

Modern değişken hızlı rüzgar türbini için mikro şebekede frekans kontrolü sağlayabilecek atalet ve frekans eğim tepkisi kontrolörü

Yazar(lar) (Author(s)): Ali HASSAN¹, Müfit ALTIN², Ferhat BİNGÖL³

ORCID¹: 0000-0003-2405-7741

ORCID²: 0000-0002-3650-3131

ORCID³: 0000-0002-8071-3814

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz(To cite to this article): Hassan A., Altin M. and Bingöl F., "Inertia and droop controller for a modern variable speed wind turbine to provide frequency control in a microgrid", *Politeknik Dergisi*, 23(3): 771-777, (2020).

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

DOI: 10.2339/politeknik.581228

Inertia and Droop Controller for a Modern Variable Speed Wind Turbine to Provide Frequency Control in a Microgrid

Highlights

- ❖ Modelling of Type D wind turbine in MATLAB/Simulink.
- ❖ Inertia and Droop controllers are designed and their performance in providing frequency support is compared.

Graphical Abstract

Inertia and droop controllers are designed and their performance in providing frequency control in an isolated power system containing one steam turbine generator and wind farm is compared.

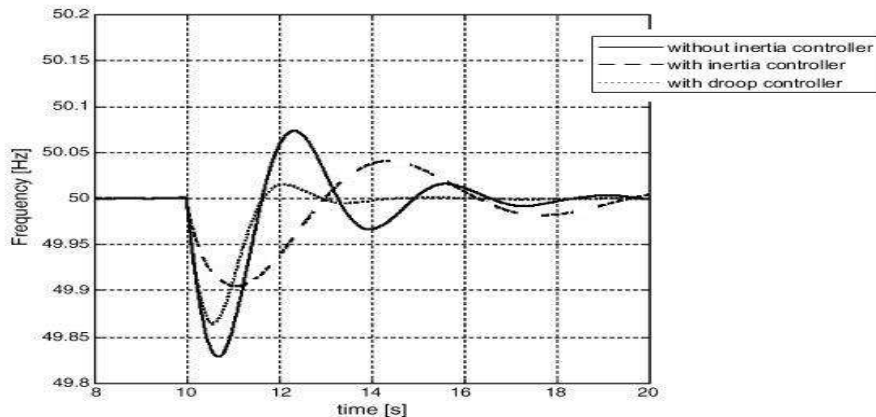


Figure. Frequency deviation after disturbance. a) Without inertial controller – solid line
b)with inertial controller – dashed line c) with droop controller – dotted line

Aim

To design droop and Inertia controller for a Variable Speed Wind Turbine to control frequency fluctuations in an isolated power system.

Design & Methodology

Modelling of a Type D wind turbine retrofitted with droop and inertia controllers in MATLAB/Simulink.

Originality

The comparison of the two types of controllers (Inertia and Droop) has been attempted for the first time in this article.

Findings

Modern Variable Wind Turbines provide a better primary frequency control support when retrofitted with inertia or droop controllers.

Conclusion

The results show that inertial and the droop controllers, support the dropping frequency which is vital in isolated power systems with high wind power penetration with less spinning reserve.

Declaration of Ethical Standards

The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

Modern Değişken Hızlı Rüzgar Türbini İçin Mikro Şebekede Frekans Kontrolü Sağlayabilecek Atalet ve Frekans Eğim Tepkisi Kontrolörü

Araştırma Makalesi/Research Article

Ali HASSAN¹, Müfit ALTIN^{2*}, Ferhat BİNGÖL²

¹Energy Engineering MSc. Programme, Izmir Institute of Technology (IYTE), Izmir, Turkey

²Department of Energy Systems Engineering, Izmir Institute of Technology (IYTE), Izmir, Turkey

(Geliş/Received : 22.06.2019 ; Kabul/Accepted : 05.09.2019)

ÖZ

Modern Değişken Hızlı Rüzgar Türbinlerinin (VSWT) mikro şebekelerde artan varlığı, güç sisteminin ataletinin azalması nedeniyle frekans stabilizasyonu sorunu yaratmaktadır. Geleneksel senkron makinelerin Atalet Tepkisi taklit etmek için, rüzgar türbinlerine bir atalet emülasyon denetleyicisi sağlanabilir. Bu yazıda sunulan modelleme, modern D Tipi rüzgar türbininin atalet tepkisi ve birincil frekans kontrolü (PFC) yetenekleri ile donatılmasını amaçlamaktadır. İki kontrol cihazı - atalet ve frekans eğim tepkisi, uygulanır ve frekans kontrol yetenekleri, geleneksel bir buhar türbini jeneratörü ve rüzgar tarlasında oluşan izole edilmiş güç sistemi ile karşılaştırılır. Elde edilen sonuçlar, önerilen kontrol cihazlarının mikro şebekedeki daha iyi frekans kontrol performansına yardımcı olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Atalet emülasyon, rüzgar türbini, frekans kontrolü.

Inertia and Droop Controller for a Modern Variable Speed Wind Turbine to Provide Frequency Control in a Microgrid

ABSTRACT

The increasing penetration of modern Variable Speed Wind Turbines (VSWTs) in microgrids creates the problem of frequency stabilization due to reduced inertia of the power system. To emulate the Inertia Response of the conventional synchronous machines, wind turbines can be provided with an inertia emulation controller. The modeling presented in this paper aims at equipping the modern Type D wind turbine with inertia response and primary frequency control (PFC) capabilities. Two controllers — inertial and droop, are implemented and their frequency control capabilities are compared in an isolated power system which consists of a conventional steam turbine generator and a wind farm. The results suggest that proposed controllers help in better frequency control performance in the microgrid.

Keywords: Inertia emulation, wind turbine, frequency control.

1. INTRODUCTION

The exhaustion of the fossil fuels and environmental concerns have sped up the installation of renewable energy resources in the last decade. Wind and Solar are among the most utilized renewable sources around the globe [1]. Although the wind energy is nearly emission free, it exhibits an intermittent behavior. This intermittency poses major challenges for the integration of high penetration of wind in the power system. The wind power is predicted to further increase its share in the electric power generation.

The trend of small or isolated power systems (microgrids) with high penetration of wind is also increasing. Microgrids are a small power energy networks in which electrical loads are fed by a

combination of Distributed Energy Resources (DERs) and conventional generation. The capability of conventional generation to provide Inertia Response (IR) or Primary Frequency Control (PFC) is limited in microgrids. Modern Variable Speed Wind Turbine (VSWT) use back-to-back electronic converter for the connection to the grid [2] which isolates the grid frequency from the Wind Turbine Generator (WTG) and the overall inertia of the system goes down. Consequently, high Rate of Change of Frequency (RoCoF) is noticed in microgrids in the case of a contingency or sudden load disturbance. The high wind penetration creates frequency stabilization issues and there is an increasing need for the wind turbines to play an active role in the frequency control. Providing additional reserve margin by the conventional generation to integrate wind power increases economic costs [2]. One way to provide the frequency control through wind turbine is Deloading [3] in which turbines are operated

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : mufitaltin@iyte.edu.tr

below their capacity to provide a ramp up in the power in the case of frequency drop. It can be done through pitch control [4] and speed control [5]. The drawback, however, of such an operation is the economic loss incurred due to turbines not operating at their maximum potential. Other methods include using the wind turbines in combination with Battery Energy Storage Systems (BESS) and fuel cells. In related studies [6], the researchers propose a control strategy that uses conventional plant’s output electrical power as a reference power for VSWT so that VSWT injects an additional power (ΔP) after the imbalance.

The contribution of this paper is the design of two types of controllers — inertial and droop, for a modern variable speed wind turbine to enable it to provide the inertial response to alleviate the frequency drop in the case of frequency drop due to a fault.

In next section, a theoretical isolated power system used in our study, is introduced, followed by the modelling of various components of a “Type D” wind turbine and steam turbine generator in section 3 and 4 respectively. Section 5 and 6 are related to the inertia and droop controller. Section 6 shows the results followed by conclusions.

2. MICROGRID MODELLING

A microgrid is an electricity distribution system containing electrical loads and DERs that can be operated in controlled coordinated way while connected to the main grid or in isolation [7]. The test system in Figure 1 that is modelled in this study consists of a conventional steam turbine generator operating along a wind farm consisting of four modern VSWTs. The system is isolated from the main grid. Various parameters of this microgrid are given in Table 1. For this system the wind penetration level — defined as a ratio of total annual wind energy to gross annual demand — is 13 percent which is considered as high and can be used to simulate the contribution of wind turbines in frequency control of a microgrid [8]. A block diagram of microgrid is represented in Figure 2.

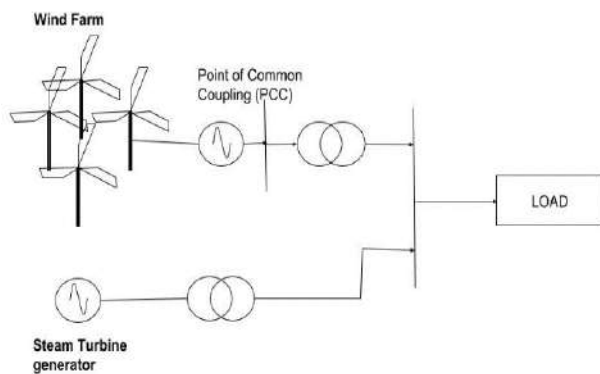


Figure 1. Isolated power system with a steam turbine generator and a wind farm (one-line diagram)

Table 1. Parameters of isolated power system used in our study

Wind generation	4 x 2 = 8MW
Steam turbine Generation	50 MW
Load	50 MW

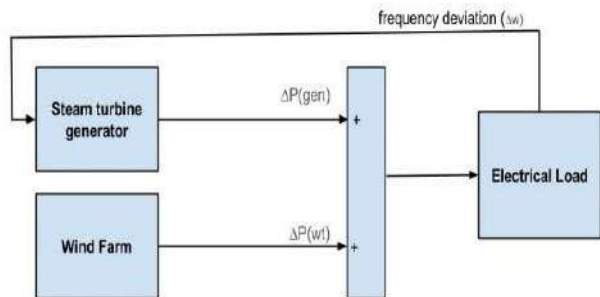


Figure 2. Isolated power system with a steam turbine generator and a wind farm (block diagram)

3. MODELLING OF A TYPE D WIND TURBINE

A Type D wind turbine is chosen in the study because it is widely utilized modern VSWT. Most of the current and future wind farms use this latest wind turbine type that makes its contribution to frequency control essential. The wind turbine modelling is the initial step towards integrating new control features on wind power plant (WPP) level. The components of the wind turbine include a rotor connected to the generator through a gear box. The interface between WTG and the grid in type D wind turbine is through a full-scale frequency converter consisting of a rotor side converter and a grid side converter as shown in Figure 3.

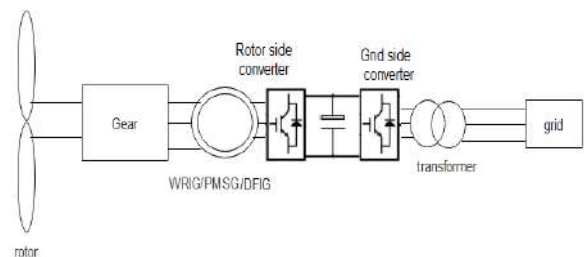


Figure 3. Type D VSWT model proposed by International Electrotechnical Commission (IEC)

The parameters used for this standard reference wind turbine model correspond to a 2 MW type D wind turbine proposed by International Electrotechnical Commission (IEC) in IEC61400-27-1[9] having the specifications shown in Table 2.

The power curve depicted in Figure 4 consists of power optimization and power limitation zone which means that the turbine’s aim is to optimize power production when the wind speed is between the cut-in and rated value. Whereas, for the wind speed values between the rated and cut-off, the pitch control limits the power production due to safety reasons.

Table 2. Parameters of a type D VSWT

Wind turbine power rating (MW)	2
Cut-in wind speed (m/s)	3
Rated wind speed (m/s)	11.6
Cut-out wind speed (m/s)	25
Height (m)	100
Turbine diameter (m)	80

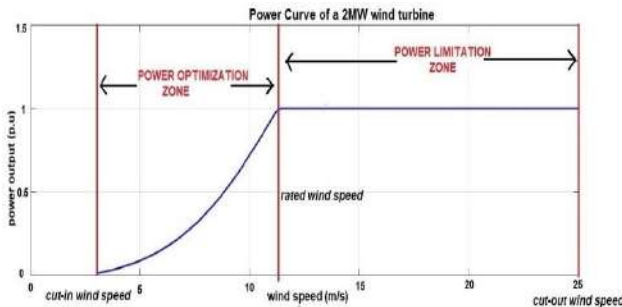


Figure 4. power curve of a 2MW wind turbine

Various blocks of the model simulated in Simulink are shown in Figure 5. These blocks are I) Aerodynamic model II) Pitch controller III) Mechanical model and IV) Maximum Power Point Tracking (MPPT) block [9].

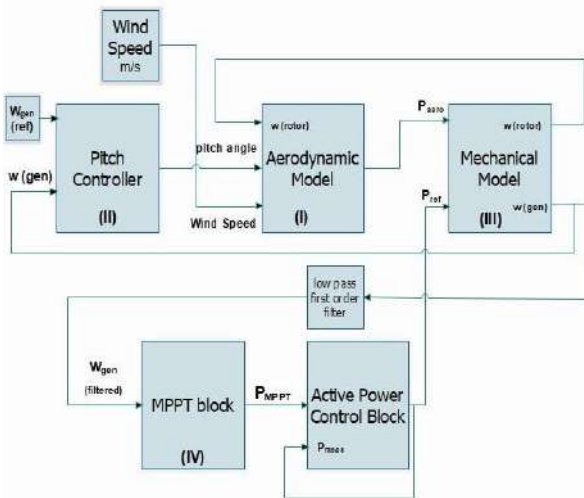


Figure 5. Block diagram of a type D wind turbine

The aerodynamic model is the interface between the incoming wind (m/s) and the wind turbine blades. The block gives aerodynamic power (P_{aero}) as an output which is fed to the mechanical model. The mechanical model determines the speed of generator (w_{gen}) used as an input to MPPT block which gives the electrical power output corresponding to the generator speed based on the power curve. The pitch control keeps the rotation of wind turbine blades in check by comparing the error between actual generator speed (w_{gen}) and nominal generator speed ($w_{gen(ref)}$) [10].

3.1. Aerodynamic Model

The equation for the aerodynamic power of the WT is given by

$$P = \frac{1}{2} \rho \pi R^2 U^3 C_p(\lambda, \beta) \tag{1}$$

where,

ρ is the density of the air, R is the radius of the turbine rotor in meters, U is the wind speed in m/s , C_p is the power coefficient, λ is the Tip Speed Ratio (TSR) and β is the pitch angle.

Figure 6 shows the Simulink diagram of the aerodynamic model. The $C_p-\lambda-\beta$ table is used as a 2-D lookup table in the model. TSR λ is given by

$$\lambda = \frac{w_{rotor}R}{U} \tag{2}$$

where, w_{rotor} is the rotating speed of the turbine blades.

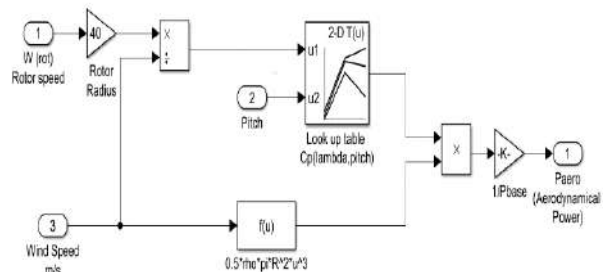


Figure 6. Simulink diagram of aerodynamic model

3.2. Pitch Controller

In VSWT, pitch controller changes the pitch angle of the turbine blades against the wind to change the power output. The PI control system generates a reference blade angle and the pitch servo motor serves as an actuator turning the blades to a certain angle. In Figure 7 the error between the generator’s actual speed and its nominal speed is fed as an input to the PI controller which generates the reference value which is further compared to the actual pitch angle. The actuator sets the new pitch angle according to the WTG speed. The pitch servo is subjected to angle limitations, β_{min} and β_{max} providing a certain limit of angles within which the blades can turn. Likewise, there is also a pitch speed limitation, $\frac{d\beta}{dt}$ which is the limit to the rate of change of angle of the turbine’s blade.

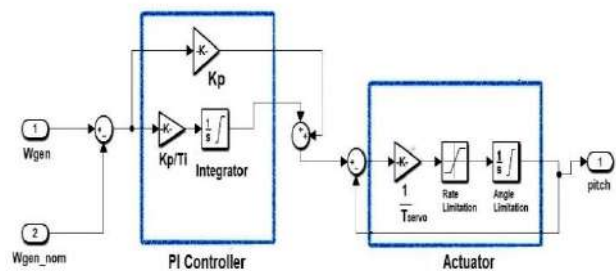


Figure 7. Simulink model of Pitch controller

The pitch controller remains passive in the power optimization zone during which the optimal value of the pitch is zero. It is activated only when the wind turbine is operating in its power limitation zone i.e. the case of high wind speeds when there is a need to cap the output by limiting rotor's rotation speed.

3.3. Mechanical Model

The drive train is taken into consideration in mechanical model which is connected on one side (Low speed, *LS* side) with the turbine's rotor blades and on the other side (High Speed, *HS* side) with the generator. The LS turbine rotations are converted into HS generator rotations through a gearbox. The high-speed shaft is assumed to be stiff whereas the low speed shaft is assumed to be flexible with a stiffness ' k ' and damping coefficient ' c ' as shown in Figure 8.

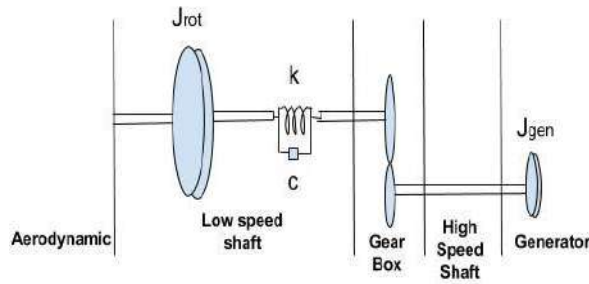


Figure 8. Mechanical model

According to basic formula of rotational motion the torque T is given as a product of inertia J and rotational acceleration α which is a double derivative of angle of rotation, i.e. $\ddot{\theta}$. Therefore, the dynamical behavior of mechanical model is governed by the following mathematical equations,

$$T_{rot} - T_{shaft} = J_{rot} \ddot{\theta}_{rot} \quad (3)$$

$$T_{shaft} - T_{gen} = J_{gen} \ddot{\theta}_{gen} \quad (4)$$

$$T_{shaft} = k\Delta\theta + c\Delta\omega \quad (5)$$

$$T_{shaft} = k \left(\theta_{rot} - \frac{\theta_{rot}}{n_{gear}} \right) + c \left(\dot{\theta}_{rot} - \frac{\dot{\theta}_{rot}}{n_{gear}} \right) \quad (6)$$

where

T_{rot} is aerodynamic torque

T_{shaft} is mechanical torque of flexible shaft

T_{gen} is generator torque

J_{gen} is generator inertia

J_{rot} is the rotor inertia

θ_{gen} is generator angle

$\Delta\theta$ is the angular difference

$\Delta\omega$ is the speed difference between two ends of a shaft

k is the stiffness

c is the damping coefficient

θ_{rot} is a rotor angle

n_{gear} is the gear ratio

H is the inertia time constant and is given by,

$$H = \frac{Jw_{base}^2}{2P_{base}}$$

The equations (3)-(6) can be transformed by taking Laplace transform [9]

$$w_{rot \text{ p.u.}} = \frac{1}{2sH_{rot \text{ p.u.}}} (T_{rot \text{ p.u.}} - T_{shaft \text{ p.u.}}) \quad (7)$$

$$w_{gen \text{ p.u.}} = \frac{1}{2sH_{gen \text{ p.u.}}} (T_{shaft \text{ p.u.}} - T_{gen \text{ p.u.}}) \quad (8)$$

$$T_{shaft \text{ p.u.}} = k\Delta\theta_{pu} + c\Delta w_{pu} \quad (9)$$

where,

$P_{(aero)}$ is aerodynamic power

H_{rot} is the wind turbine's rotor inertia

w_{rot} is the rotor speed

$P_{(meas)}$ is the measured power

H_{gen} is the constant inertia of the generator

w_{gen} is the generator speed

k is the shaft stiffness

c is the damping constant

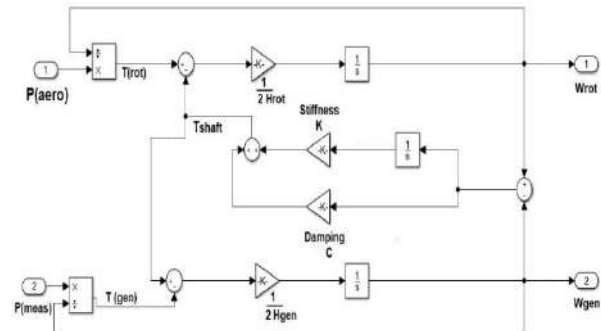


Figure 9. Simulink diagram of mechanical model

Equations (7)-(9) are used to implement the two-mass model behavior shown in

Figure 9. The values are calculated in per unit.

3.4. Maximum Power Point Tracking (MPPT) block

1-D lookup table showing relation between power output of turbine (P_{ref}) and generator speed (w_{gen}) is used to model the MPPT block. The MPPT block takes filtered generator speed as input and gives the optimized power $P_{(ref)}$ as an output as shown in Figure 10.

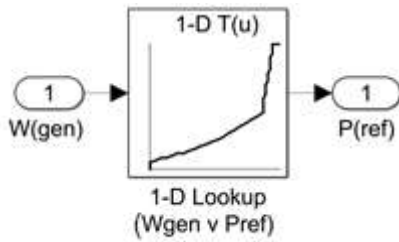


Figure 10. Maximum Power Point Tracking Block

3.5. Performance of the Wind Turbine Model Against Wind Speed Input.

The wind turbine model’s output ($P_{measured}$) and generator speed (w_{gen}) are measured against deterministic and turbulent wind speeds. For a deterministically increasing wind speed from 4m/s to 7m/s (power optimization zone) and from 13 m/s to 17 m/s (power limitation zone), the power output and generator speed are shown in Figure 11 and Figure 12.

The wind turbine model is then tested for real wind speed data, output of which is shown in Figure 13.

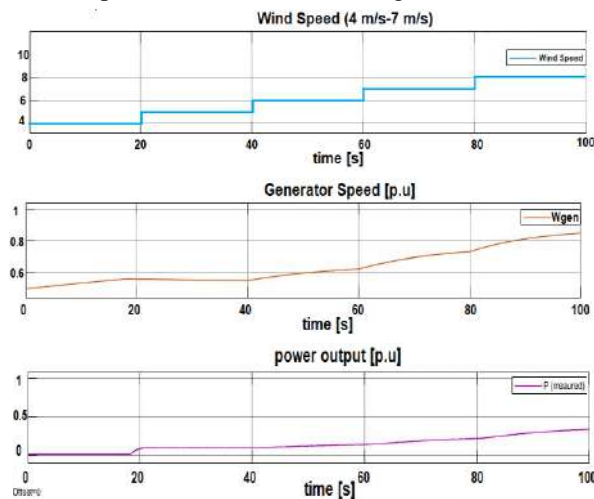


Figure 11. Wind turbine operation against deterministic wind speed 4m/s to 7 m/s.

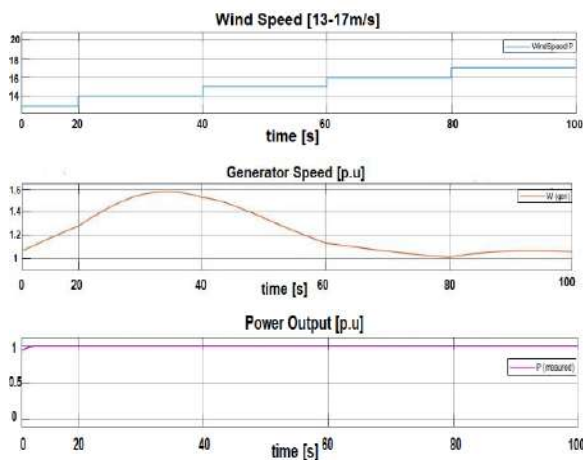


Figure 12. Wind turbine operation against deterministic wind speed 13m/s to 17 m/s

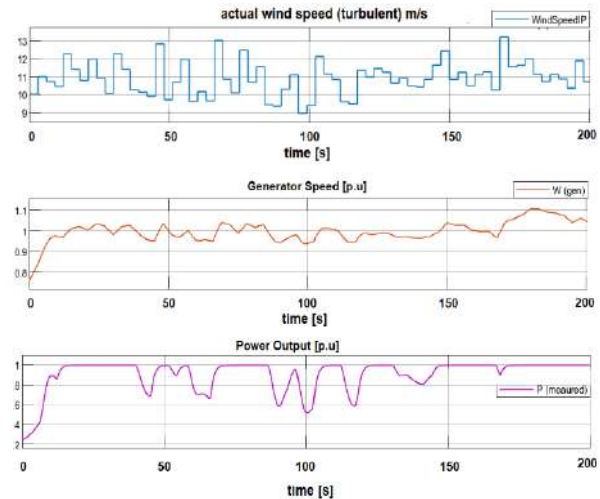


Figure 13. Wind turbine operation against turbulent wind speed data.

4. STEAM TURBINE GENERATOR MODELLING

Various components of steam turbine generator are its governor, turbine, prime over and load[11] which are modelled in Figure 14. Various parameters used for the modelling are given in Table 3.

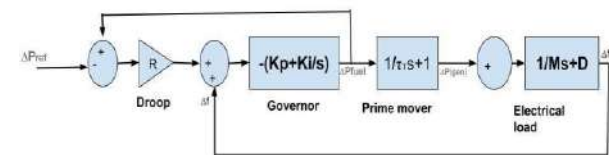


Figure 14. Model of a steam turbine generator

Table 3. Steam Turbine Generator model parameters[12]

Prime mover time constant (τ_i)	2
Governor proportional parameter (K_p)	20
Governor integral parameter (K_i)	2
Damping (D)	0.40
Droop (R)	0.04

5. INERTIA CONTROLLER

The equation for inertia controller is given as

$$\Delta P_{ROC} = -K_{ROC} \frac{df}{dt} \tag{10}$$

The inertia controller consists of a derivative block which takes the derivative of the falling frequency and multiplies it with a gain $-K_{ROC}$. The output ΔP_{ROC} is then added to the normal output P_{MPPT} of wind turbine. The new reference power ' P_{ref} ' is then fed to the rotor side converter which sends the signal to the WTG. The generator uses the inherent inertia of the rotor and drive train to generate a surge in power that helps to stabilize the frequency drop. The inertial controller is shown in Figure 15.

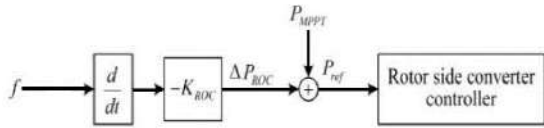


Figure 15. Inertia controller

A wind turbine with the inertia control is shown in a block and schematic diagram in Figure 16 and Figure 17.

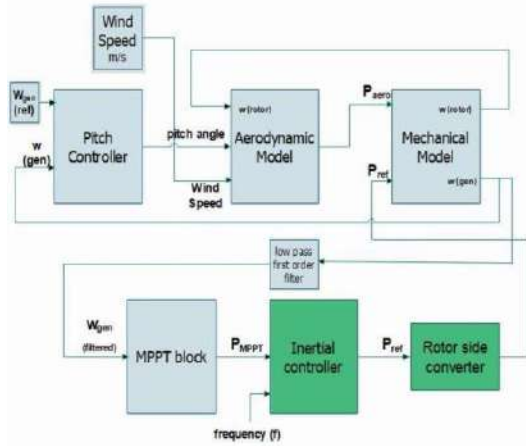


Figure 16. Wind Turbine block diagram with inertial controller

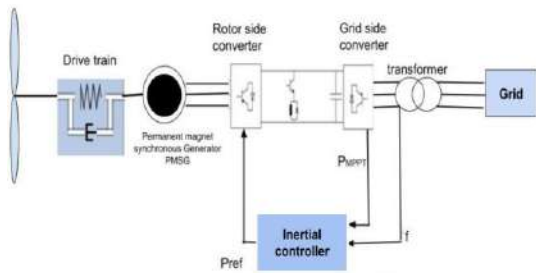


Figure 17. Type D wind turbine with inertial controller

6. DROOP CONTROLLER

The droop controller takes the difference between actual frequency f and the nominal frequency f_{nom} and multiplies it with a gain $-K_{dro}$. The output ΔP_{dro} is added to the normal power output P_{MPPT} of the WT. The equation is given by

$$\Delta P_{dro} = -K_{dro}(f - f_{nom}) \tag{11}$$

Figure 18 shows the droop controller. It also utilizes the inherent inertia of wind turbines rotor to generate the surge of power. The block diagram of a wind turbine with a droop controller is represented in Figure 19.

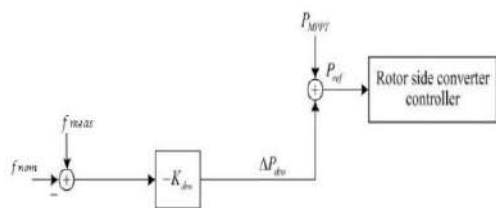


Figure 18. Droop controller

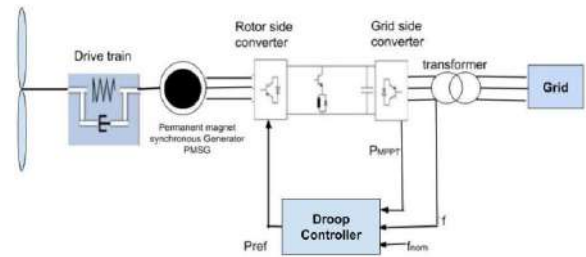


Figure 19. Type D WT with droop controller

7. RESULTS AND DISCUSSION

A disturbance in the form of a unit step input equal to 0.2 p.u emulating a sudden load increase is applied in the simulation at 10s as shown in Figure 20 and the frequency of the system at the load end measured for three cases is shown in Figure 21. The wind speed for all the measurements is maintained constant at 10.8 m/s [13].

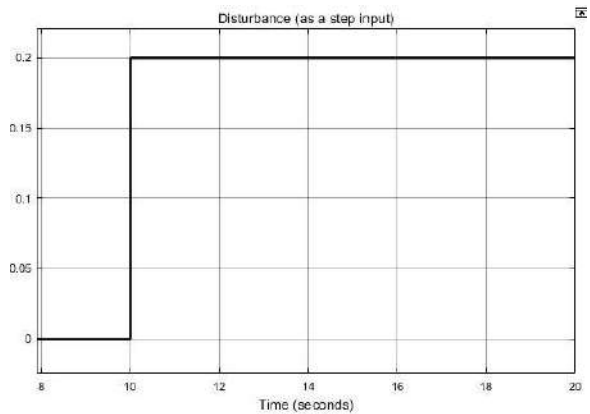


Figure 20. Disturbance of 0.2 p.u at 10 sec

For the case of no frequency control contribution from the wind turbine, the frequency drops to 49.83 Hz. In this case the primary frequency control is provided completely by the conventional generator. The frequency oscillates until 20 seconds before stabilizing at 50Hz.

For the case of inertial controller, the frequency drops to 49.91 Hz which means that by emulation of inertia from the wind turbine the drop in frequency is less. The oscillations are more in this case as the turbine goes in to recovery mode.

For droop controller, the frequency drop is 49.87 Hz but, in this case, there is no overshoot in the frequency.

Figure 22 shows the power output of the wind turbine for the case of inertial and droop controller. Before the disturbance the wind turbine is producing a power equal to 0.9 p.u corresponding to a wind speed of 10.8m/s. As soon the disturbance occurs the inertial controller provides a surge in power reaching 1.23 p.u. This surge is provided by using the inherent inertia of the turbine rotors and plays a part in controlling the frequency drop. After the surge, the turbine enters a recovery phase and

the speed of rotor drops. For droop controller the power surge reaches 1.08 p.u.

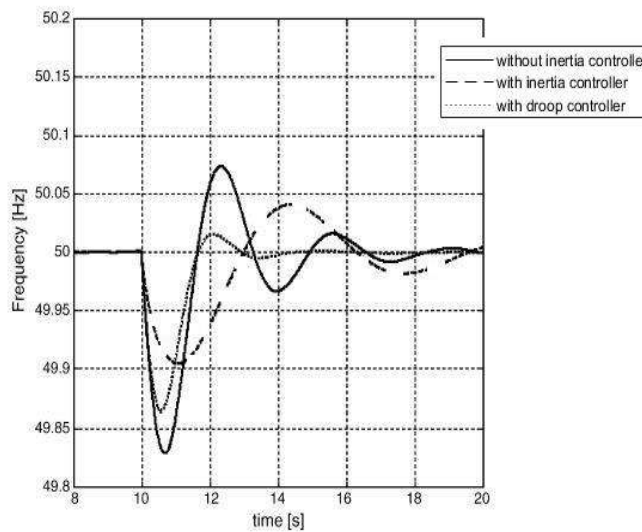


Figure 21. Frequency deviation after disturbance. a) Without inertial controller – solid line b) with inertial controller – dashed line c) with droop controller – dotted line

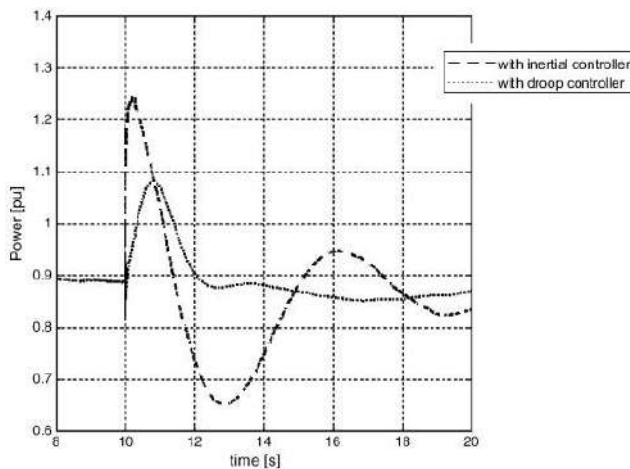


Figure 22. Power output of wind turbine [p.u] for inertia and droop controllers

8. CONCLUSION

The use of high percentage of wind power in a microgrid can cause severe frequency stabilization problems. There is therefore a need of inertia emulation from the wind turbines. The inertial controller and a droop controller for providing such frequency control are designed in this paper and the performances of both the controllers are compared. The droop controller tends to have better frequency stabilization performance while the inertial controller has the least amount of frequency dip in the case of a disturbance.

The results show that inertial and the droop controller implemented in this paper, support the dropping frequency which is vital in isolated power systems with high wind power penetration with less spinning reserve. This contribution from the wind turbine not only eases the pressure from the conventional generator but can also lead to reducing reserve generation requirements in the case of a large power system which can be translated to reduction in economic costs.

9. REFERENCES

- [1] Leung D. and Yang Y., "Wind energy development and its environmental impact: a review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(1):1031-1039, (2012).
- [2] Yingcheng X. and Nengling T., "Review of contribution to frequency control through variable speed wind turbine," *Renewable Energy*, 36(6): 1671-1677, (2011).
- [3] TransEnergie H. Q., "*Technical requirements for the connection of generation facilities to the hydro-quebec transmission system-supplementary requirements for wind generation*" (2003).
- [4] Holdsworth L., Ekanayake J. B. and Jenkins N., "Power system frequency response from fixed speed and doubly fed induction generator-based wind turbines," *Wind Energy: An International Journal for Progress and Applications in Wind Power Conversion Technology*, 7(1): 21-35, (2004).
- [5] Ramtharan G., Jenkins N. and Ekanayake J., "Frequency support from doubly fed induction generator wind turbines," *IET Renewable Power Generation*, 1(1): 3-9, (2007).
- [6] Akbari M. and Madani S., "Participation of DFIG based wind turbines in improving short term frequency regulation," *18th Iranian Conference on Electrical Engineering*, 874-879, (2010).
- [7] Marnay C. Spyros C., Chad A., Reza I., Geza J., Pio L., Mancarella P. and Appen J.V., "Microgrid evolution roadmap," *2015 International Symposium on Smart Electric Distribution Systems and Technologies (EDST)*, 139-144, (2015).
- [8] Dreidy M., Mokhlis H. and Mekhilef S., "Inertia response and frequency control techniques for renewable energy sources: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 69: 144-155, (2017).
- [9] Hansen A. D. and Margaris I.D., "Type IV wind turbine model," *DTU Wind Energy*, (2014).
- [10] Hansen A. D., "*Introduction to wind power models for frequency control studies*," (2016).
- [11] Saadat H., "*Power systems analysis*". McGraw-Hill, (2002).
- [12] Gagnon R. and Brochu J., "*Wind Farm-Synchronous Generator and Full Scale Converter (Type 4) Detailed Model*," 1997-2009, (2006).
- [13] Xie L., Carvalho P., Ferriera L., Liu J., Krogh B., Popli N. and Ilic M., "Wind integration in power systems: Operational challenges and possible solutions," *Proceedings of the IEEE*, 99(1): 214-232, (2010).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

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



High energy efficient system design for incubation process and cooling of yoghurt

Yoğurtun inkübasyonu ve soğutulması için yüksek enerji verimli sistem tasarımı

Yazar(lar) (Author(s)): Gülşah KARACA¹, Ekin Can DOLGUN², Rukiye MAVUŞ³, Mustafa AKTAŞ⁴

ORCID¹: 0000-0002-6219-6016

ORCID²: 0000-0002-9990-3300

ORCID³: 0000-0003-2918-4491

ORCID⁴: 0000-0001-6026-0849

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Karaca G., Dolgun E. C., Mavuş R. and Aktaş M., “High energy efficient system design for incubation process and cooling of yoghurt”, *Politeknik Dergisi*, 23(3): 779-784, (2020).

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

DOI: 10.2339/politeknik.531574

High Energy Efficient System Design for Incubation Process and Cooling of Yoghurt

Highlights

- ❖ Designing of an efficient energy system for yoghurt production process.
- ❖ Rational approach to yoghurt production for dairy industry.
- ❖ Two separate room design for incubation and cooling of yoghurt.
- ❖ Explanation of important yoghurt production criteria.
- ❖ Thermodynamic analysis of incubation-cooling system.

Graphical Abstract

Important yoghurt production criteria were explained. Two separate rooms were designed using energy efficient model.

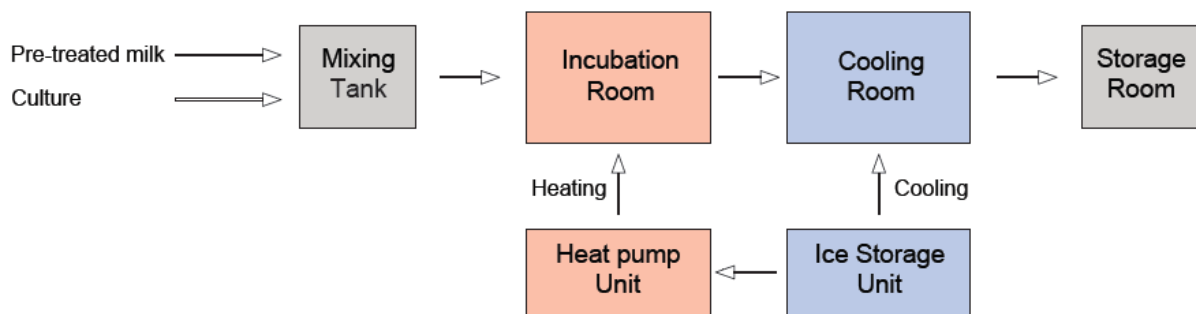


Figure. Design of the combined heating & cooling system

Aim

A system design for incubation process and cooling of yoghurt with two separate rooms was aimed to decrease the energy cost for the dairy industry.

Design & Methodology

A design has been made to produce yoghurt according to the standards by researching important criteria in yoghurt production.

Originality

A novel design was made using two separate rooms with high energy saving model.

Findings

With this study, energy is stored at a rate of 64/100 for R410a and a rate of 68/100 for R134a ($COP_{cooling}/COP_{heating}$) compared to the heat given independently of the incubation time.

Conclusion

An energy efficient-combined system which includes two separate rooms for yoghurt production has been designed. This study will provide important information to dairy producers.

Declaration of Ethical Standards

The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

Yoğurtun İnkübasyonu ve Soğutulması için Yüksek Enerji Verimli Sistem Tasarımı

Araştırma Makalesi / Research Article

Gülşah KARACA^{1*}, Ekin Can DOLGUN², Rukiye MAVUŞ², Mustafa AKTAŞ¹

¹Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği, Gazi Üniversitesi, Türkiye

²Gemak Gıda Endüstri Makinaları Tic. A.Ş., Türkiye

(Geliş/Received : 29.02.2019 ; Kabul/Accepted : 05.09.2019)

ÖZ

Gıda işleme çalışmaları, hem enerjinin verimli kullanımı hem de kaliteli ürünler elde etmek için önemlidir. Yoğurt, yaygın olarak tüketilen bir süt ürünüdür. Yoğurt üreten tesisler, geleneksel üretim yöntemlerinden dolayı yüksek enerji tüketmekte ve düşük verimlilikte çalışmaktadır. Kaliteli yoğurt üretmek için pastörize süt, maya türüne bağlı olarak 3-5 saat süreyle 42-45 °C'de tutulmalıdır, bu işlem inkübasyon olarak adlandırılır. İnkübasyon işleminden sonra, üretilen yoğurt, paket yoğurt büyüklüğüne bağlı olarak iki saat içerisinde 20 °C'ye kadar soğutulmalıdır. Geleneksel yoğurt üretim tesislerinde gerekli ısıtma ve soğutma birbirinden bağımsız olarak uygulanır ve bu yaklaşım yüksek enerji tüketimine, atık ısıya ve enerjinin verimsiz kullanılmasına neden olur. Bu çalışmada, daha yüksek enerji performansı ve verimliliği sağlamak için birbirinden bağımsız olarak aynı anda ısıtma ve/veya soğutma yapabilen ısı pompası ve ısı depolama ünitesinden oluşan kombine bir sistem tasarlanmıştır. Böylece, buharlaştırıcıdan ısı transferi için gerekli enerji ve inkübasyon sonrası soğutma depolanan buzdan sağlanmış ve ürünün ağırlığından bağımsız olarak her 100 birim ısıtma enerjisi için 64/68 birim enerji (soğutucu akışkana bağlı olarak) kazanılmıştır. Isıtma, soğutma ve ikili işletme seçenekleri için R410a ve R143a kullanan sistemin performans katsayısı (COP) sırasıyla 2.83, 1.83, 4.66 ve 3.16, 2.16, 5.31 olarak hesaplanmıştır. Isı pompası ve geleneksel doğalgaz-fuel-oil kazanları için enerji maliyetleri karşılaştırılmıştır. Sunulan tasarım ile yüksek enerji verimliliği ve düşük enerji tüketimi sağlanmış ve üretim tesislerinde kullanımı için öneriler verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yoğurt inkübasyonu, enerji verimliliği, ısıtma, soğutma.

High Energy Efficient System Design for Incubation Process and Cooling of Yoghurt

ABSTRACT

Food processing studies are important for both efficient use of energy and to obtain quality products. Yoghurt is a dairy product which consumes widely. Yoghurt producing facilities consumes high energy and run at low efficiency due to their traditional production methods. In order to produce quality yoghurt, pasteurized milk should be kept at 42-45 oC for 3-5 hours depending on the yeast type, this process called as incubation. After the incubation process, produced yoghurt must be cooled down to 20 oC in two hours depending on the package size of yoghurt. In conventional yoghurt production facilities, required heating and cooling are applied independently and this approach causes high energy consumptions, waste heat and the inefficient use of energy. In this study, a combined system consisting of a heat pump and a heat storage unit which is capable of the simultaneously heating and/or cooling application independently of each other is designed to ensure higher energy performance and efficiency. Thus, the required energy for heat transfer from the evaporator and cooling after the incubation process was ensured from the stored ice and, independently of the weight of the product, 64/68 units of energy (depending of refrigerant) were gained for each 100 units of required heating energy. The coefficient of performance (COP) of the system using R410a and R134a for heating, cooling and dual operation modes were calculated as 2.83, 1.83, 4.66 and 3.16, 2.16, 5.31, respectively. Energy costs for heat pump and conventional natural gas-fuel-oil boilers were compared. High energy efficiency and low energy consumption have been provided with the presented design, and suggestions for use for production facilities are given.

Keywords: Incubation of yoghurt, energy efficiency, heating, cooling.

1. INTRODUCTION

Fermentation is one of the oldest methods used by human beings to extend the shelf life of food. Today, yoghurt is one of the most consumed fermented dairy products in the world. Yoghurt passes through many stages which has high energy intensity until it is presented to the consumer. Since the human population is increasing rapidly [1] and overpopulation needs food more than ever in order to

survive, food production also become an important industry. But, energy efficient food production is not yet really achieved and dairy products are not an exception. For this reason, the production with the efficient use of energy has been the subject of many academic fields, especially in industry especially in recent years [2,3,4].

Yoghurt producing facilities that are running in Turkey are usually using conventional methods that are consuming much more energy than the process would consume. Using fossil fuels for heating process also emitting CO₂ and wasting heat. Since used coals are not

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : gulsahkaraca@mu.edu.tr

atomized, efficient combustion also is not possible. It is reported that, during flavored yoghurt production exergy loss can rise up to 26% [2].

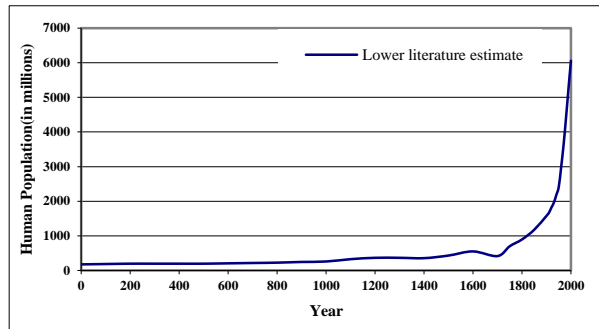


Figure 1. Human Population Increase

Conventional incubation and post-cooling systems have problems such as non-sensitive temperature control and high energy consumption. The proposed solution to these problems is the use of heat pump technology because the heating and cooling processes in the yoghurt production process are carried out in series. The heat pump system can be used for preheating in high temperature applications and also can work efficiently at medium to low temperatures (below the first freezing point of the material). Heat pumps are high-performance systems for converting electrical energy into heat energy, achieving optimum efficiency, especially when the difference between source and supply temperatures decreases. Heating and cooling can be provided with a single device.

Yoghurt production is a set of processes with high energy consumption and water density. The required energy is mainly used for pasteurization, cooling and

homogenization. The water is consumed for heating, cooling and mix preparation processes during yoghurt production [5]. Considering that the cooling process takes longer than heating, more capacity is required for cooling, 8,000 L/h for cooling the yoghurt, 40,000 L/h of chilled water is required [6].

The United Nations Environment Program (UNEP) estimated that the needed amount of electricity for production of the milk was 0.2 MJ per kg of milk, based on this Dewick et al. (2007), estimated that 1.2 MJ per kg yoghurt is required [7]. As it can be seen, there is an intensive use of energy in yoghurt production. In this sense, energy efficient incubation systems are one of the important research topics. Also, rapid heating-cooling will damage the product in the incubation and cooling room. For this reason, the temperature will be increased and decreased sensitively with the heat pump system [7]. Studies using heat pump for heating and/or cooling process is presented Table 1.

Yoghurt producing is accomplished in 11 stages, which starting from milking stage and ends at cooling stage. But this paper interests only last two stages which are incubation and cooling stages. But the standardization process also has great influence on the final product because of the fat content of the milk in influences properties of the yoghurt; increase in the consistency and viscosity of yoghurt increases as the fat increases [17-18].

Incubation is the a phase where starter kit bacterias get injected to the pasteurized milk. After the injection, this incubated milk will be kept under steady conditions for 3 to 5 hours depends on the bacteria type.

Table 1. Summary of previous studies about drying, heating and cooling using heat pump technology

Ref.	Application	Refrigerant	Purpose	Performance indicator
[8]	Industrial scale drying with heat pump		Drying of seedless grapes	COP _{system} 2.81
[9]	Drying with solar assisted heat pump		Drying of red pepper	COP _{system} 2.10
[10]	Small scale drying with heat pump		Drying of grape pomace	COP _{system} 3.28 (45 °C&1m/s) 3.10 (50 °C&1m/s)
[11]	Heating	R134a R410a	Residential sector	T _{in} = 20 °C T _{out} = 0 °C COP= 2.7 T _{in} = 20 °C T _{out} = 5 °C COP= 3.2 T _{in} = 20 °C T _{out} = 10 °C COP= 4.5
[12]	Heating	-	Space heating	Mean value ASHPs COP= 2.59; SD-GHPs COP = 3.72; SWHPs COP= 4.64; MD-GHPsCOP= 5.15
[13]	Heating	CO ₂ / [BMIM][PF6]	Produce heat isothermally at the temperature over 120 °C	Source 290K-Sink 400K COP 2.16
[14]	Simultaneously heating & cooling	R407C CO ₂	Hotels, luxury dwellings and smaller office buildings	First law COP COP _{R407C} 3.57 COP _{CO₂} 3.26
[15]	Air source heat pumps for space heating & cooling	-	Space conditioning	Seasonal COP 2.32 - 3.44
[16]	Simultaneously heating & cooling	R407C R290	Collective residential buildings	7/55 simultaneous mode (cooling/heating) COP _{R407C} 5.79 COP _{R290} 5.40

These parameters are given as follows: air quality of incubation room, steady incubation temperature, homogenous heat distribution. Göçer et al. [20] tried different incubation temperatures and finished the process at different pH values for one selected probiotic bacteria. They observed that best physicochemical properties obtained at 45°C incubation temperature. Lee and Lucey [21] also studied on incubation temperature and found that incubation temperature should be 45 °C for a selected bacteria. Wardani et al. [22] observed that best incubation temperature for *L. Plantarum* Dad 13 is 37 °C in terms of acidity and curd formation. Aswal et al. [23] researched the rheological, physicochemical properties of yoghurt with the change of substances.

Cooling of yoghurt is the last stage of the production. Yoghurt should not be cooled instantly but cooling has to take almost 24 hours. Instantly cooled yoghurts will have cracked structure, which is not acceptable. Cooling temperature has to be 2-4 °C [6] depending on these parameters in order to achieve quality products. Quality design of the incubation room and the cooling room is essential for achieving this task. Ice thermal storage is an energy efficient method for the cooling process. Ice thermal storage units storing the latent heat and offering intensive storage capacity.

In this study, the extracted heat from the ice storage tank was used to heat the incubation (fermentation) room. Since extracting heat from the ice storage tank decreases the temperature inside the tank, it makes ice storage is possible. Since ice storage can be done, it is also possible to cool the cooling room with the stored ice.

This paper claims that this new approach would reduce energy consumption and this approach would be beneficial for both yoghurt producing facilities and nature due to reduced energy consumption and efficient use of energy.

2. METHODOLOGY

In conventional yoghurt producing facilities, required heating and cooling process are applied independently. In order to reduce energy consumption, cooling and incubation rooms are connected via the combined system. This system extracts heat from ice storage tank and heats the incubation room with the condenser. Since this system works with Reverse Carnot Cycle, a logP-h diagram of the system can be seen at Figure 2.

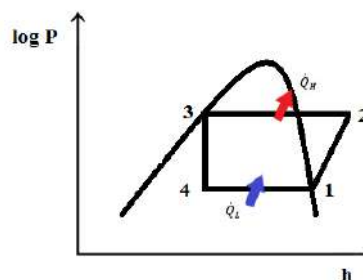


Figure 2. The logP-h diagram of the system working between incubation room and storage tank.

* \dot{Q}_L refers to the heat drawn from the ice storage tank and \dot{Q}_H refers to the heat thrown into the incubation chamber.

Designed incubation room to have laminar flow conditions inside, Reynolds number can be calculated as following equation:

$$Re = \frac{\rho v L_c}{\mu} \tag{1}$$

To calculate convection heat transfer coefficient, Nusselt number can be expressed as below:

$$Nu = \frac{h L_c}{k} \tag{2}$$

Total heat losses of incubation room can be determined with the following equation:

$$\dot{Q} = UA\Delta T \tag{3}$$

And the coefficient of performance of heat pump can be obtained from:

Where:

$$COP = \frac{\dot{Q}_{cond}}{W_{comp}} \tag{4}$$

$$\dot{Q}_{cond} = \dot{m} \Delta h \tag{5}$$

$$\dot{W}_{comp} = \dot{m} \Delta h \tag{6}$$

Ice storage is a phase change problem. Therefore this problem can be modeled as Eq.7 and solved as following: Since this cooler is a solution, there are 3 stages depending on the liquid fraction (ϕ). The first stage is where both the base fluid and the coolant is liquid, the second stage is where the base fluid is liquid but the coolant is solidifying and the third stage is where the coolant is solid. These phases are depending on the melting temperature of the coolant and the working temperature of the base fluid.

$$Q = \begin{cases} \text{if } \phi = 0, & Q = m_{bf}c_{p,bf}\Delta T_{bf} + m_{pcm}c_{p,f}\Delta T_{pcm} \\ \text{if } 0 < \phi < 1, & Q = m_{bf}c_{p,bf}\Delta T_{bf} + m_{pcm}L \\ \text{if } \phi = 1, & Q = m_{bf}c_{p,bf}\Delta T_{bf} + m_{pcm}c_{p,s}\Delta T_{pcm} \end{cases} \tag{7}$$

Table 2. Carnot and first law performance factors depending on the operating mode [14].

Performance Factor	Heating mode (Op.1)	Cooling mode (Op.2)	Dual mode (Op.3)
First law COP, COP_f	$\frac{Q_H}{W_{comp}}$	$\frac{Q_L}{W_{comp}}$	$\frac{Q_H + Q_L}{W_{comp}}$
Carnot COP, COP_c	$\frac{T_{hot source}}{T_{hot source} - T_{cold source}}$	$\frac{T_{cold source}}{T_{hot source} - T_{cold source}}$	$\frac{T_{hot source} + T_{cold source}}{T_{hot source} - T_{cold source}}$

Ice storage offers intensive cooling capacity and it is usable for this application. The coolant is an aqueous solution, therefore, it is possible to circulate it inside the cooling room using a heat exchanger with a pump.

3. INCUBATION ROOM DESIGN

Designing of the incubation process is a specific task. In presented design, there are two separate rooms as incubation and cooling room. After end of incubation process, the products taken to the cooling room. Schematical view of the incubation rooms is given in Figure 3. Ventilation inlet units are placed at the bottom of the left and right side of the room and the pressure outlet unit is placed at the top middle of the room in order to have homogenous flow and heat distribution inside the room. Air inlet units have high-efficiency particulate absorber (HEPA) filters to prevent contaminant particles inside the incubation system.

Ice thermal storage unit is located near the incubation room. This unit is filled with base fluid and ice balls. Ice balls are basically plastic balls which has phase changing liquid inside. When the evaporators are extracting heat from the base liquid, the fluid inside the ice balls is solidifying and storing latent heat. Since base fluid has the lower phase change temperature, only the fluid inside the balls are solidifying and for that reason, a working liquid with a phase change material advantage can be obtained. Standard phase change material (PCM) applications do not offer working fluid coolant but this approach has this great benefit [24-25].

Cooling room is also located very near to the incubation room due to prevent structural problems during transporting the yoghurt carrying carts. This room is also insulated to prevent heat transfer from the room. Inside the room, cold water is circulated via a pump using a heat exchanger to cool the system air for cooling of incubated yoghurt. Consequently, a combined energy efficient system was designed and presented in Fig. 3.

R410a and as an option R134a were chosen as the refrigerants in the heat pump unit since they provide suitable operating temperatures (2-45 °C) for the production of yoghurt. However, both refrigerants are frequently used in industrial heat pump application, both offers the lowest ASHRAE toxicity classification “A1” with essentially zero ozone depletion potential (ODP) and global warming potential values (GWP) 2088,1430.

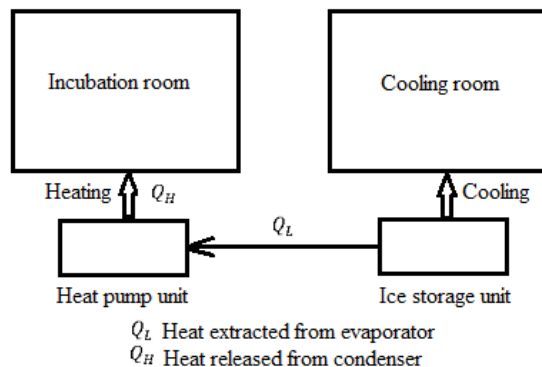


Figure 2. Design of the combined heating and cooling system

4. RESULTS AND DISCUSSION

In this study, a combined system which includes both heating and cooling in yoghurt production has been designed. The performance coefficients of the heat pump shown in Figure 2 were analyzed according to the first law and Carnot and are shown in Table 3.

As can be seen from Table 3, COP values are calculated in case of heating, cooling and dual operation. Since both heating and cooling can be done for two groups of products at the same time, it would be more appropriate to evaluate the COP value of this system as dual. As a result of the product process, incubation takes place first, while heating is carried out at the same time, the heat extracts from the ice storage tank. With the presented design, both heating and cooling processes can be carried out simultaneously and/or independently from each other, so that energy is stored at a rate of 64/100 for R410a and a rate of 68/100 for R134a (COP_{cooling}/COP_{heating}) compared to the heat given independently of the incubation time.

Based on the 1 kWh heating load, the electrical energy requirement for R410a and R134a will be 0.353 and 0.316 kWh, respectively and this corresponds to 0.144 and 0.129 TRY in Turkey (kWh price of electricity is accepted as 0.41 TRY). In addition, energy costs are calculated as 0,193 and 0,367 TRY, respectively, when natural gas and fuel oil are used in a 90% efficient boiler for this heating load (the lower heating value of natural gas and fuel-oil are taken as 8250 kcal/m³ and 9200 kcal/kg and unit fuel prices are accepted as 1.67 and 3.93 TRY, respectively).

Table 3. Results for incubation-cooling system according to first law COP and Carnot COP

Refrigerant	T _H (°C)	T _L (°C)	η _{ise} (%)	COP _{f,Op.1}	COP _{f,Op.2}	COP _{f,Op.3}	COP _{c,Op.1}	COP _{c,Op.2}	COP _{c,Op.3}
R410a	55	-10	80	2.83	1.83	4.65	5.04	4.04	9.09
R134a				3.16	2.16	5.31			

Considering the cost of fuel, the heat pump seems to be more profitable, and in addition to the operating and maintenance costs, the heat pump becomes even more advantageous. Since heating required for the incubation

process can be extracted from the ice storage tank, it is also possible to use the stored energy (phase change material) during heating for the cooling load. Thus, a

cost-free cooling process is provided and this provides the user with a profit in every aspect.

In this system, which is particularly recommended for industrial plants, energy can be stored on ice when energy demand and electricity pricing is low (especially at night in Turkey 10:00 pm – 06:00 am). The cooling process in food facilities has a more important place in terms of health and product quality. Heat extracts from the ice storage tank and the ice is produced and heat is supplied from the condenser. Since the cooling process is more energy-intensive than heating, waste heat can be utilized in both single and dual operation modes. The waste heat can be used as a hot source/water in accordance with business needs or, it can be used for cleaning in place (CIP) process which is one of the most important subjects of food factories, so that the hot water can be brought to a lower energy consumption and the desired CIP temperature in a faster time.

In industrial applications, the heating and cooling applications usually performed in two different places with two different thermal systems. With presented design, these heating and cooling applications can be performed in two place again but this time with only thermal system. The study on the design of the incubation room was intended to assist others to work on this issue, and some recommendations were made as to the direction in which the study could proceed.

5. ACKNOWLEDGEMENT

We would like to give our thanks to the GEMAK A.Ş for contributing to this study. This work was presented at an international conference called 3rd International Symposium on Industrial Design & Engineering at 22-24 November 2018 in Antalya.

Nomenclature

A	: Heat transfer area (m ²)
$c_{p,bf}$: Specific heat of base fluid (kJ/kgK)
$c_{p,f}$: Specific heat of phase changing fluid (kJ/kgK)
$c_{p,s}$: Specific heat of phase changing material in solid phase (kJ/kg K)
h	: Convection heat transfer coefficient (W/m ² K)
k	: Thermal conductivity of the material (W/mK)
L	: Latent heat (kJ/kg)
L_c	: Characteristic length (m)
m_{bf}	: Mass of base fluid (kg)
m_{pcm}	: Mass of phase changing fluid (kg)
\dot{m}	: Mass flow rate of refrigerant (kg/s)
Nu	: Nusselt number

\dot{Q}_{cond}	: Energy released at condenser (kW)
PCM	: Phase change material
Re	: Reynolds number
U	: Overall heat transfer coefficient (W/m ² K)
v	: Velocity of the fluid (m/s)
μ	: Dynamic viscosity (Pa.s)
ρ	: Density (kg/m ³)
\dot{W}_{comp}	: Energy consumed by compressor (kW)
Δh	: Entalpy difference of refrigerant (kJ/kg)
ΔT	: Difference in temperature (K)
ΔT_{bf}	: Temperature difference of base fluid (K)
ΔT_{pcm}	: Temperature difference of phase changing fluid (K)
Q_H	: Heat thrown into the incubation chamber (kJ)
Q_L	: Heat drawn from the ice storage tank (kJ)
COP	: Coefficient of Performance

Subscripts

in	: inlet
out	: outlet
H	: heatsink
L	: heat source
comp.	: compresor
ise	: isentropic
f	: first law
c	: carnot
Op.1	: Operation mode 1
Op.2	: Operation mode 2
Op.3	: Operation mode 3

Abbreviations

ASHPs	: Air source heat pump systems
SD-GHPs	: Conventional GCHP (ground-coupled heat pump systems)
SWHPs	: Surface water heat pump systems
MD-GHPs	: Medium-depth geothermal energy

6. REFERENCES

- [1] Our World in Data. World Population Growth. [online] Available at: <https://ourworldindata.org/world-population-growth>, (2018).

- [2] Sorgüven, E. and Özilgen, M. “Energy utilization, carbon dioxide emission, and exergy loss in flavored yogurt production process”, *Energy*, 40(1):214-225, (2012).
- [3] Xu, T. and Flapper, J. “Energy use and implications for efficiency strategies in global fluid-milk processing industry”, *Energy Policy*, 37(12):5334-5341, (2009).
- [4] Özilgen, M. “Energy utilization and carbon dioxide emission during production of snacks”, *Journal of Cleaner Production*, 112:2601-2612, (2016).
- [5] Foster, C., Green K., Bleda, M., Dewick, P., Evans, B., Flynn A., Mylan, J. “Environmental Impacts of Food Production and Consumption”, A report to the Department for Environment, Food and Rural Affairs. Manchester Business School. Defra, London, (2006).
- [6] Tamime, A. Y., and Robinson, R.K., “Yoghurt Science and Technology”, *Second edition, Woodhead Publishing Ltd.*, ISBN 1 85573 399 4, England, (1999).
- [7] Dewick, P., Foster, C. and Green, K. “Technological Change and the Environmental Impacts of Food Production and Consumption, The Case of the UK Yogurt Industry”, *Journal of Industrial Ecology*, 11(3): 133-146, (2007).
- [8] Abuşka, M. ve Doğan, H. “Endüstriyel Tip Isı Pompalı Kurutucuda Çekirdeksiz Üzümün Kurutulması”, *Politeknik Dergisi*, 13 (4): 271-279, (2010).
- [9] Aktaş, M. “Güneş Enerjisi ve Isı Pompası Destekli Bir Kurutucuda Kırmızıbiber Kurutulmasının Deneysel İncelenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 13(1):1-6, (2010).
- [10] Aktaş, M., Taşeri, L., Şevik, S., Gülcü, M., Seçkin, G.U, Dolgun E.C. “Heat pump drying of grape pomace: Performance and product quality analysis”, *Drying Technology*, <https://doi.org/10.1080/07373937.2018.1536983>, (2019).
- [11] Bianco, V., Scarpa, F., Tagliafico, L.A. “Estimation of primary energy savings by using heat pumps for heating purposes in the residential sector”, *Applied Thermal Engineering*, 114 : 938–947, (2017).
- [12] Deng, J., Wei, Q., Liang, M., He, S., Zhang, H., “Does heat pumps perform energy efficiently as we expected: Field tests and evaluations on various kinds of heat pump systems for space heating”, *Energy & Buildings*, 182: 172–186, (2019).
- [13] Bai, L., Liu, X., He, M., “A new thermodynamic cycle of heat pump relying on excess enthalpy changing”, *Applied Thermal Engineering*, 150: 605–611, (2019).
- [14] Byrne, P., Miriel, J., Lenat, Y. “Design and simulation of a heat pump for simultaneous heating and cooling using HFC or CO₂ as a working fluid”, *International Journal of Refrigeration*, 32:1711-1723, (2009).
- [15] Dongellinia, M., Naldia, C., Morinia, G.L., “Annual performances of reversible air source heat pumps for spaceconditioning”, *Energy Procedia*, 78: 1123 – 1128, (2015).
- [16] Byrne, P., Ghoubali, R., “Exergy analysis of heat pumps for simultaneous heating and cooling”, *Applied Thermal Engineering*, 149 : 414–424, (2019).
- [17] Walstra, P.; Wouters, J.T.M.; Geurts, T.J. “Chapter 22 Fermented milks”, *Dairy Science and Technology*, CRC Press, DOI:<https://doi.org/10.1201/9781420028010>, Boca Raton-USA, (2005).
- [18] Shaker, R.R.; Jumah, R.Y.; Abu-Jdayil, B. “Rheological properties of plain yogurt during coagulation process: Impact of fat content and preheat treatment of milk”, *J. Food Eng.*, 44: 175–180, (2000).
- [19] Lee, W. and Lucey, J. “Formation and physical properties of yoghurt”, *Asian-Australian Journal of Animal Science* 23: 1127 – 1136, (2010).
- [20] Göçer E.M.Ç., Ergin F., Arslan A.A., Küçükçetin A., “Effect of Different Incubation Temperature and Final Incubation pH on Physicochemical and Microbiological Properties of Probiotic Yogurt”, *Akademik Gıda*, 14(4): 341-350, (2016).
- [21] Lee, W. and Lucey, J. “Structure and Physical Properties of Yoghurt Gels: Effect of Inoculation Rate and Incubation Temperature”, *Journal of Dairy Science*, 87: 3153-3164, (2004).
- [22] Wardani, S.K., Cahyanto, M.N., Rahayu, E.S., Utami, T. “The effect of inoculum size and incubation temperature on cell growth, acid production and curd formation during milk fermentation by *Lactobacillus plantarum* Dad 13”, *International Food Research Journal*, 24(3):921-926, (2017).
- [23] Aswal, P., Shukla, A., and Priyadarshi, S. “Yoghurt: Preparation, Characteristics and Recent Advancements”, *An Online International Journal*, 1(2) : 32-44, (2012).
- [24] Yamada, M., Fukusako, S. and Kawanami, T. “Performance analysis on the liquid-ice thermal storage system for optimum operation”, *International Journal of Refrigeration*, 25(2):267-277, (2002).
- [25] Mammoli, A., Robinson, M. “Numerical analysis of heat transfer processes in a low-cost, highperformanceice storage device for residential applications”, *Applied Thermal Engineering*, 128 : 453–463, (2018).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

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



Mahremiyet korumalı büyük veri yayınlama için kavramsal model önerileri

Conceptual model suggestions for privacy preserving big data publishing

Yazar(lar) (Author(s)): Yavuz CANBAY¹, Yılmaz VURAL², Şeref SAĞIROĞLU³

ORCID¹: 0000-0003-2316-7893

ORCID²: 0000-0002-2858-5448

ORCID³: 0000-0003-0805-5818

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Canbay Y., Vural Y. ve Sağiroğlu S., "Mahremiyet korumalı büyük veri yayınlama için kavramsal model önerileri", *Politeknik Dergisi*, 23(3): 785-798, (2020).

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

DOI: 10.2339/politeknik.535184

Mahremiyet Korumalı Büyük Veri Yayınlama İçin Kavramsal Model Önerileri

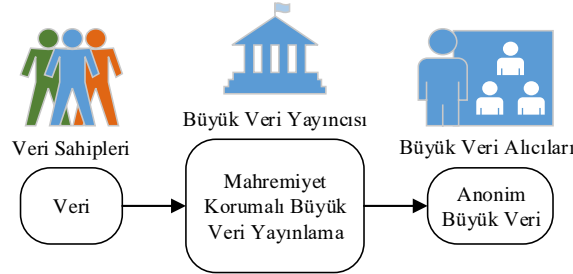
Conceptual Model Suggestions for Privacy Preserving Big Data Publishing

Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Mahremiyet koruma modelleri (Privacy preserving models)
- ❖ Büyük veri yayınlama modelleri (Big data publishing models)
- ❖ Kavramsal model önerileri (Conceptual model suggestions)
- ❖ Mahremiyet korumalı büyük veri yayınlamada ilk kavramsal model önerileri (First conceptual model suggestions for privacy preserving big data publishing)

Grafik Özet (Graphical Abstract)

Bu çalışmada, mahremiyet korumalı büyük veri yayınlama için kavramsal modeller önerilmiştir. In this paper, conceptual models are proposed for privacy preserving big data publishing.



Şekil. Mahremiyet korumalı büyük veri yayınlama mimarisi /Figure. The architectre of privacy preserving big data publishing

Amaç (Aim)

Bu çalışma, büyük veri mimarisine uygun mahremiyet korumalı veri yayınlama modellerinin geliştirilmesi amaçlamıştır. / This paper aims to develop privacy preserving big data publishing models.

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Literatürdeki geleneksel veri için geliştirilen mahremiyet korumalı veri yayınlama modelleri araştırılarak büyük veri mimarisine göre yeniden tasarlanmıştır. / Existing privacy preserving data publishing models were reviewed and then adapted for big data architecture.

Özgünlük (Originality)

Bu çalışmada mahremiyet korumalı büyük veri yayınlama için ilk defa kavramsal modeller önerilmiştir. / In this paper, conceptual models for privacy preserving data publishing were proposed for the first time.

Bulgular (Findings)

Önerilen modellerin büyük verilerin yayınlanmasında başarı ile kullanılacak temel kavramsal modeller olduğu açıkça görülmektedir. / It can be clearly seen that the proposed models can be successfully employed for privacy preserving big data publishing.

Sonuç (Conclusion)

Bu çalışmada büyük veri mimarisine uygun kavramsal modeller önerilmiş ve başarıyla tasarlanmıştır. / In this paper, privacy preserving big data publishing models were proposed and successfully designed.

Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

Mahremiyet Korumalı Büyük Veri Yayınlama için Kavramsal Model Önerileri

Araştırma Makalesi / Research Article

Yavuz CANBAY^{1*}, Yılmaz VURAL², Şeref SAĞIROĞLU¹

¹Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Müh. Bölümü, Gazi Üniversitesi, Türkiye

²Kişisel Verileri Koruma Kurumu, Türkiye

(Geliş/Received : 04.03.2019 ; Kabul/Accepted : 02.09.2019)

ÖZ

Teknolojinin gelişmesi ile beraber veri üretim ve işleme hızı artmış, bunun sonucu olarak hacim, hız, çeşitlilik ve değer gibi bileşenlere sahip büyük veri kavramı ortaya çıkmıştır. Büyük verilerden elde edilecek faydayı arttırmak için bu verilerin mahremiyetini koruyarak paylaşmak veya yayınlamak gerekir. Literatür incelendiğinde, büyük verinin mahremiyetini koruyarak yayınlanmasını kolaylaştıran herhangi bir modelin olmadığı tespit edilmiştir. Mahremiyet Korumalı Büyük Veri Yayınlama (Privacy Preserving Big Data Publishing – PPBDP) modellerinin oluşturulması, büyük veri mahremiyeti koruma sürecindeki tüm tarafların doğru bir şekilde yönlendirilmesi ve gereksinimlerinin doğru karşılanması, doğru alt yapı ve hizmetlerin oluşturulması adına önemlidir. Ayrıca, bu modelleri oluştururken maliyet ve güvenlik gibi faktörleri de göz önünde bulundurmamak gerekir.

Bu çalışmada, mahremiyet korumalı geleneksel veri yayınlama modelleri araştırılmış, çeşitli kriterlere göre karşılaştırılarak mahremiyet risk seviyeleri değerlendirilmiş ve bu risk seviyelerini de dikkate alan büyük veri temelli yeni kavramsal modeller ilk defa önerilmiştir. Önerilen bu modeller senaryo temelli olarak oluşturulmuş, üstünlükleri ve dezavantajları sunulmuştur. Önerilen modellerin, büyük verilerin mahremiyetinin korunarak yayınlanması, mahremiyet risklerinin minimize edilmesi ve büyük veriden maksimum faydanın sağlanması gibi pek çok konuda katkılar sağlayacağı değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Mahremiyet koruma, büyük veri, mahremiyet korumalı büyük veri yayınlama modelleri, kavramsal model.

Conceptual Model Suggestions for Privacy Preserving Big Data Publishing

ABSTRACT

Recent developments in IT has increased the speed of data production and processing, as a result, big data concept with components such as volume, velocity, variety and value has emerged. In order to get more benefit from big data, it is necessary to share or publish the data by preserving or respecting privacy. The literature reviews report that there is no model that facilitates publishing big data by preserving privacy. Designing Privacy Preserving Big Data Publishing (PPBDP) models is important to direct all the parties and to meet the requirements of them correctly, and to create the right infrastructures and services. In addition, it is necessary to consider some factors such as cost and security when designing these models.

In this study, privacy preserving data publishing models were reviewed, compared based on various criteria and then evaluated based on privacy risk levels. Finally, big data architecture based new conceptual models were then established for the first time according to these evaluations and privacy risk levels. It is expected that the proposed models might contribute to the literature on some issues, such as publishing big data with preserving privacy, minimizing privacy risks and obtaining maximum benefit from the big data.

Keywords: Privacy preserving, big data, privacy preserving big data publishing models, conceptual model.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

“Mahremiyet Hakkı” başlıklı makale [1] ile literatüre giren mahremiyet kavramı, günümüzde yasalarla korunan temel ve zorunlu bir ihtiyaç haline gelmiştir. Özellikle, teknolojinin her alana girdiği bir dönemde birçok siber saldırıya maruz kalan insanoğlunun mahremiyetinin korunması, bireyin kendi sınırlarını belirlediği gerçek ve sanal ortamlarda birey olabileceği hakkı olarak tanımlanabilir.

Mahremiyet toplumdaki topluma, kültürden kültüre ve hatta bireyden bireye değişiklik gösterebilen çok yönlü değişken bir kavramdır. Veri mahremiyeti her ne kadar

ilk bakışta veri sahiplerinin mahremiyetini korumak olarak anlaşılabilir da sadece bununla sınırlı olmayıp, verinin fayda sağlama özgürlüğünün de veri mahremiyeti koruma sürecine dâhil olduğu bilinmelidir.

Mahremiyet korumalı veri yayınlama (Privacy Preserving Data Publishing - PPDP) modelleri; veriden daha fazla değer üretilmesi amacıyla verinin mahremiyetini koruyarak yayınlanmasını sağlayan, veri mahremiyeti koruma sürecini ve bu süreçteki tarafları kapsayan yapılarıdır.

İlk defa 2012 yılında literatüre giren büyük veri kavramı, Gartner tarafından “daha iyi sezgi, karar verme ve süreç otomasyonunu mümkün kılan maliyet etkin, yenilikçi bilgi işleme biçimleri talep eden yüksek hacimli, yüksek hızlı ve/veya çok çeşitli bilgi varlıkları” [2] olarak

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

tanımlanmıştır. Hacim, hız ve çeşitlilik açısından geleneksel mimari ve sistemlerle yönetilemeyen veri büyük veri olarak değerlendirilmekte, dolayısıyla yeni gereksinimleri de beraberinde getirmektedir. Yeni teknolojilerden sistemlere, yazılımlardan donanımlara, programlama modellerinden tasarımlara kadar pek çok farklılığı içeren büyük veri sistemleri, ülkelerin artık en çok yatırım yaptıkları alanlardan biri haline gelmiştir. Sağlık, eğitim, ülke yönetimi ve istihbarat gibi çeşitli alanlarda önemini arttıran büyük veri kavramı, politika belirleme, strateji geliştirme, seçim yönetimi, gelecek planlama, tahmin ve analiz yapma gibi pek çok alanda da büyük fırsatlar sunmaktadır.

Geleneksel veri alanından büyük veri alanına geçildiğinde fırsatların yanında yeni tehditlerin de ortaya çıktığı ve var olan tehditlerin ise karmaşıklaşarak mahremiyet risklerini daha da arttırdığı görülmektedir. Özellikle siber tehditlerin son zamanlarda yoğunlaştığı veri mahremiyeti alanı için, büyük veri alanında geliştirilecek çözümlerin yine bu alanın gereksinimlerine özgü olarak tasarlanması şarttır. Geleneksel verilerin mahremiyetini sağlama NP-Zor bir problem iken [3], büyük verilerde ise bu problemin daha da zorlaştığı değerlendirilmektedir.

Büyük verinin mahremiyetini koruyarak yayınlamak, analiz, araştırma, katma değer sağlama, gelecek planlamaları yapma, politikalar oluşturma gibi ülke menfaatine dokunacak çıktılarının üretilmesinde büyük önem arz eder. Bunu gerçekleştirebilmek adına mahremiyet korumalı büyük veri yayınlama (Privacy Preserving Big Data Publishing – PPBDP) modellerinin oluşturulması önemlidir. PPDP modellerinin büyük veri alanına uyarlanması ile PPBDP modelleri elde edilebilir. Bu modellerin oluşturulmasında, veri mahremiyetinin korunmasına ek olarak maliyet ve güvenlik bileşenlerini de dikkate almak; doğru, güvenilir, güvenli ve faydalı modeller oluşturulmasına büyük katkı sunar. Büyük veri sistemleri yüksek maliyetli yapılar olduğu için böylesi sistemlerin farklı çatılar altında ayrı ayrı kurulması yerine tek bir merkezî yapıda kurulması maliyet açısından daha etkilidir. Ayrıca bu yapılarda veri alıcısının sistemle doğrudan etkileşimi güvenlik riskini de arttıracığı için, bu aşamada kullanıcı etkileşimini dikkate almayan PPBDP modellerinin oluşturulması gerektiği bu çalışmada değerlendirilmektedir.

Bu çalışma altı bölümden oluşmaktadır. İkinci bölümde makale ile ilgili temel bilgiler sunulmuş, üçüncü bölümde temel veri yayınlama modelleri gözden geçirilmiş, dördüncü bölümde büyük veride mahremiyet problemi açıklanmış, beşinci bölümde önerilen büyük veri yayınlama modelleri tanıtılmış ve son bölümde ise sonuç ve tartışmalara yer verilmiştir.

2. TEMEL BİLGİLER (BACKGROUND INFORMATION)

Bu bölümde veri mahremiyeti, anonimleştirme ve büyük veri kavramları bu makale kapsamında önerilen

modelleri daha iyi ifade etmek ve çıktılarını daha doğru anlamak adına aşağıda kısaca açıklanmıştır.

2.1. Veri Mahremiyeti (Data Privacy)

Veri mahremiyeti literatürde, “bilgisel seçici kontrol” [4] ve “muhatapların bilgilerinin doğru kullanımı ve muhatapın hangi bilgisinin, kiminle ve ne derecede paylaşılmasına karar verme mekanizması” [5] olarak tanımlanmıştır. Bu tanımlara ek olarak aşağıda sunulan tanımlar da konuyu daha iyi anlamaya yardımcı olacaktır;

- Veri üzerinde uygulanacak herhangi bir metot, teknik veya arka plan bilgileri ile veri sahiplerinin ifşa riskinin mümkün olduğu kadar minimize edilmesi,
- Veriden bir ya da daha fazla kişiye doğrudan veya dolaylı olarak erişilmesinin mümkün olduğu kadar önlenmesi,
- Verinin kiminle, hangi seviyede ve ne amaçla paylaşılacağına dair sınırların belirlenmesinde veri sahibinin seçici kontrolü ve
- Veriden kişiye ulaşmayı sağlayacak herhangi bir ilişkinin mümkün olduğu ölçüde ortadan kaldırılmasıdır.

Veri mahremiyeti tanımının doğru yapılması kişi, kurum ve kuruluşlarca bu kavramın özümsemesini daha da kolaylaştıracaktır. Genellikle güvenlik ve gizlilik gibi kavramlarla karıştırılan mahremiyet kavramının yukarıda belirtilen tanımlar doğrultusunda bu kavramlardan ayrıştığı açıkça görülmektedir.

2.2. Anonimleştirme (Anonymization)

Anonimleştirme, mahremiyet gereksinimlerinin karşılanmasında sıklıkla kullanılan fayda temelli bir yaklaşımdır. Saldırganın veri sahibinin kimliğini tespit etmesini zorlaştırmak amacıyla, veri üzerinde genelleştirme, baskılama vb. teknikleri uygulayarak paylaşılan verileri ifşa saldırılarına karşı korur [6].

Anonimleştirilecek bir veri kümesinde öznitelikler, tam-tanımlayıcı, yarı-tanımlayıcı, hassas ve hassas-olmayan olmak üzere dört farklı sınıfta incelenir [7]. Tam-tanımlayıcılar; TC kimlik numarası, ad-soyad, pasaport numarası vb. gibi kişiyi doğrudan tanımlayan bilgilerdir. Yarı-tanımlayıcılar ise, kişiyi doğrudan tanımlama özelliği olmayan ancak bir araya gelmesi halinde kişiyi dolaylı olarak tanımlayabilecek öznitelik grubudur. Yaş, cinsiyet ve posta kodu özniteliklerinin oluşturduğu grup yarı-tanımlayıcılara örnek olarak verilebilir. Veri sahibine ait hassas bilgileri içeren öznitelikler hassas öznitelik olarak sınıflandırılmakta olup, hastalık, gelir, gider, din vb. bilgiler bu sınıfa örnek olarak verilebilir. Yukarıdaki sınıflandırmalar dışında kalan ve umuma açık öznitelikler ise hassas olmayan öznitelikler olarak sınıflandırılır.

Mahremiyet ihlalleri verinin toplanmasında, depolanmasında, paylaşılmasında ve işlenmesinde ortaya çıkabilmektedir [8]. Verinin toplanması ve depolanmasında güvenlik tedbirlerine ihtiyaç

duyulurken, paylaşılmasında ve işlenmesinde ise mahremiyet koruyucu önlemlere ihtiyaç duyulur. Verinin yayınlanmasında dikkat edilmesi gereken en önemli husus, saldırganların yayınlanan veriler ile başka kaynaklardan elde edeceği arka plan bilgilerini kayıt ve tablo düzeyinde birbirine bağlayarak yapacağı çıkarımlardır. Saldırganlar tarafından yapılan çıkarımlar sonucunda gerçekleştirilecek mahremiyet ihlalleri aşağıda özetlenmiştir [7];

- Kimlik ifşası: saldırganın, önceden yayınlanmış kamuya açık kimlikli veri kümesini, yayınlanan diğer kimliksiz verilerle kayıt düzeyinde eşleştirmesi sonucu kurbanın kimliğini ifşa etmesidir.
- Öznitelik ifşası: saldırganın, yayınlanan veri kümesindeki bilgilerin homojen dağılımından faydalanarak kurbanın hassas öznelikliğini ifşa etmesidir.
- Üyelik ifşası: arka plan bilgisine sahip saldırgan, yayınlanan veri kümesinde, kurbanı ait verilerin de olduğunu bilmesi durumunda veri bağlama yöntemleriyle kurbanın kimliğini ifşa etmesidir.

Yukarıda belirtilen mahremiyet ihlallerini en aza indirmek adına literatürde sıklıkla kullanılan temel mahremiyet koruma modelleri aşağıda özetlenmiştir.

k-Anonimlik: yayınlanan veri kümesi içerisinde bir verinin en az *k*-1 tane veriden ayırt edilememesini sağlar ve yarı-tanımlayıcı öznelikleri üzerinde işlem yapar. Saldırgan, kimliğini ifşa etmek istediği kurbanın yarı-tanımlayıcılarının değerini bilse bile, o kişinin verisini diğer *k*-1 tane veriden ayırt edemez. Bu şekilde kimlik saldırısı belirli bir seviyede engellenmiş olur [9].

l-Çeşitlilik: *k*-Anonimlik modeli her ne kadar kimlik ifşası saldırısına bir çözüm sunsa da, hassas öznelikli saldırısına karşı savunmasızdır. Kurbanın yarı-tanımlayıcı değerlerini bilen bir saldırgan, eşlenik sınıflardaki hassas öznelikli çeşitliliğinin az olması durumunda kişinin hassas verisine ulaşabilir ve bu şekilde hassas öznelikli saldırısı gerçekleştirebilir. Bu saldırıya karşı geliştirilen bir çözüm olan *l*-Çeşitlilik modeli, her bir eşlenik sınıf içerisinde en az *l* adet en iyi temsil edilmiş hassas verinin olmasını sağlar [10].

t-Yakınlık: tüm verideki hassas özneliklerin dağılımı göz önüne alındığında, *l*-Çeşitlilik modelinin öznelikli saldırısına yeteri kadar çözüm sunmadığı görülür. Örneğin, bir hassas verinin tüm tabloda oranı %5 iken, bir eşlenik sınıfı içerisindeki oranı %50 ise bu durumda ciddi bir mahremiyet ihlali ortaya çıkabilir. *t*-Yakınlık modeli, eşlenik sınıflardaki herhangi bir hassas öznelikliğin dağılımını tüm verideki dağılımına bir *t* değeri kadar yakın olmasını sağlar [7].

δ -Mevcudiyet: *k*-Anonimlik, *l*-Çeşitlilik ve *t*-Yakınlık modelleri kimlik ve hassas öznelikli saldırılarına karşı koruma sağlarken üyelik saldırılarına karşı koruma sağlayamaz. Üyelik bilgisinin keşfini zorlaştırarak mahremiyet riskini azaltmak amacıyla, Nergiz ve arkadaşları δ -Mevcudiyet modelini önermiştir [11]. Bu

modeldeki temel yaklaşım yayınlanan veri kümesini, saldırganın arka plan bilgisini temsil eden genel veri kümesinin bir alt kümesi olarak modellemektir.

2.3. Büyük Veri Kavramı Ve Büyük Veri Teknolojileri (Big Data and Big Data Technologies)

Dijitalleşen dünyanın ürettiği önemli bir konsept olan büyük veri, sosyal medyadan güvenlik sistemlerine, sağlıktan finansa kadar pek çok alanda hayatın bir parçası haline gelmiştir. Veri büyük olunca üretilecek çıktılardan değerinin de büyük olması beklenir [12]. Büyük veriden beklenen değeri üretmek için veriyi kendi yapısına uygun bir şekilde analiz etmek en doğrusudur.

Büyük veri, geleneksel sistemlerin sınırlarını aşan ve kabul edilebilir bir sürede işlenemeyen karmaşık verilerin yönetimi, analizi, depolanması, anlamlandırılması, görselleştirilmesi gibi konularda karşılaşılan zorlukların aşılması amacıyla ortaya çıkan bir kavramdır [13-15]. Hacim, hız, çeşitlilik ve değer bileşenlerine sahip büyük veri kavramına, zamanla değişen problemlerin ihtiyacına uygun olarak değer, değişkenlik, zafiyet ve görselleştirme gibi bileşenler de eklenmiştir [15-19].

Büyük veri analitiğinde Hadoop ve Spark literatürde en çok kullanılan anaçatı teknolojileridir. Hadoop, Hadoop Dosyalama Sisteminde (Hadoop File System - HDFS) tuttuğu verileri MapReduce yapısına uygun olarak işlenmesine; Spark ise geçici bellekte Esnek Dağıtılmış Veri Kümesi (Resilient Distributed Dataset - RDD) olarak tuttuğu verileri MapReduce yapısının uyarlanmış bir versiyonu ile işlenmesine imkân sağlar. Hangi teknolojinin neye göre tercih edileceği probleme bağlıdır. Örneğin; akan veri üzerinde bir analitik uygulaması yapılacaksa Spark'ı kullanmak Hadoop'a göre daha avantajlı iken, diskte duran bir veriyi işlemede Hadoop Spark'a göre daha avantajlı olabilir [20, 21]. Aşağıda büyük veri işlemede kullanılan temel teknolojiler ve yapılar daha detaylı açıklanmıştır.

Spark: Bilgisayar kümeleri üzerinde büyük veri analitiği yapılmasına imkân sağlayan, hızlı, etkili, hata-toleranslı ve ölçeklenebilir bir büyük veri işleme platformudur. Hızlı veri işlemenin yanı sıra akan veri işleme imkânı da sağlaması çoğu projede önemli bir tercih sebebidir. Geçici bellekte tutulan ve RDD adı verilen dağıtık kayıt dosyaları üzerinde işlem yaparak veri analizini hızlandırmayı amaçlar. Klasik MapReduce yapısını kendi amacı doğrultusunda uyarlayarak dağıtık işlem yapılmasını sağlar. Replika tabanlı çalışan bu yapı mevcut işlenen veride herhangi bir bozulma olması halinde replikasyondan yedekleme yaparak işlemlerin devam etmesini sağlar [22].

RDD: Spark için sunulan veri soyutlama yapısıdır. Verinin geçici hafızadaki soyutlanmış halini temsil eden dağıtık kayıt dosyalarıdır [22].

Hadoop: HDFS dağıtık dosya sistemi ve MapReduce dağıtık programlama modeli yapılarını barındıran, büyük veriyi analiz etme ve işlemede kullanılan, güvenilir, hızlı, ölçeklenebilir ve dağıtık hesaplamaya imkân sağlayan bir

açık kaynak sistemidir. Yapısal ve yapısal olmayan veri kümeleri için geliştirilmiştir. Büyük veri kümelerini küçük parçalara bölerek her bir parçanın bulunmuş olduğu düğüm üzerinde işlenmesini sağlar. Bilgisayar kümeleri arasında petabayt veya exabayt boyutlarına varan büyük verilerin, dağıtık ve paralel işlenmesine izin vererek bir tek makineden yerel işlemleri yürüten binlerce makineye işleri ölçeklendiren veya çoğaltan bir yapıdır [23, 24].

HDFS: Hadoop mimarisinde kullanılan dağıtık dosyalama sistemi olup uygulamalardaki tüm giriş ve çıkış verilerini depolayan yapıdır. Temel mimarisini efendi-köle örüntüsüne dayanır. Bir adet NameNode (efendi) ve çok sayıda DataNode (köle) düğümünden oluşur. NameNode, paylaşılan dosya sistemi için üst bilgi yapısını saklar ve giriş/çıkış işlemleri için DataNode'u yönlendirir. Sistemdeki düğümlerin çökmesi halinde sistemin devamlılığını sağlama adına NameNode kullanılarak düğümler tekrardan aktif hale getirilir. Veri çok sayıda parçalara bölünerek farklı düğümlere dağıtılır ve bir verinin birden fazla kopyası olduğu için herhangi bir düğümde sorun oluşması halinde diğer düğümlerde tutulan mevcut kopyalar kullanılır. Bir HDFS dosyasında okuma/yazma işlemleri sırasında dosya bloklara bölünür ve NameNode hangi bloğun hangi DataNode'da bulunduğu bilgisini tutar. Her bir DataNode başka bir DataNode ile veya NameNode ile iletişime geçebilir [24].

3. TEMEL MAHREMİYET KORUMALI VERİ YAYINLAMA MODELLERİ (PRIVACY PRESERVING DATA PUBLISHING MODELS)

Veri yayınlama, mevcut verinin çeşitli kişi, kurum veya kuruluşlarla çeşitli politika ve stratejilere göre paylaşılmasıdır. Bu paylaşımın temel amacı veriden elde edilecek faydayı olabildiği kadar yüksek seviyeye çıkararak veri sahibi veya veri yayıncısı olan kişi, kurum veya kuruluşlar için bir katma değer sağlamaktır.

ile iletişimin nasıl olacağı; veri alıcısı tarafında ise veri yayıncısı tarafı ile olan etkileşim gibi konular temel veri yayın senaryoları için önemli bazı kriterlerdir.

Günümüzde verilerin geleneksel (normal) veri veya büyük veri olarak sınıflandırılmasında dolayı, geliştirilen bir sistem veya modelin hangi sınıfa uyumlu olduğunu belirtmek de yerinde olacaktır. Çünkü bu veri sınıfları için geçerli alt yapı, sistem ve mimariler birbirinden tamamen farklıdır.

Geleneksel veri mimarisindeki veri yayınlama modelleri için örnek bir sistem alt yapısı Şekil 1'de gösterilmiştir. Verilen şekilde, veri sahiplerinden toplanan veriler merkezî mimariye sahip veri yayıncısı tarafında merkezî olarak depolanır, merkezî olarak anonimleştirilerek anonim veri kümesi oluşturulur ve veri alıcısına iletilir.

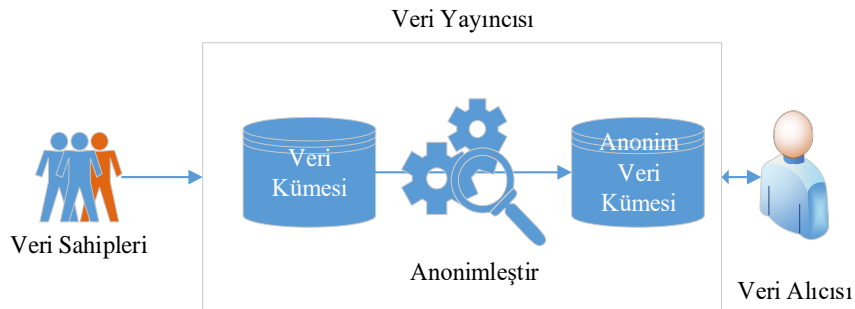
Bu bölümde, literatürde geleneksel veri mimarisini için geliştirilen temel PPDP modelleri açıklanmış, şekillerle örneklendirilmiş ve son olarak birbirleriyle mahremiyet riskleri açısından karşılaştırılmıştır. Literatürdeki temel PPDP modellerinin sınıflandırılması ise Şekil 2'de gösterilmiştir [25-28].

3.1. Tek Yayıncılı Veri Yayınlama Modelleri (Single Publisher Data Publishing Models)

Tek bir veri yayıncısının olduğu veri yayınlama modelidir. Veri yayınlama politikası sadece bir yayıncı tarafından oluşturulur ve yönetilir. Örneğin, bir A kurumu sahip olduğu çeşitli verileri analizler yapılması amacıyla belirli politikalar çerçevesinde yayımlayabilir. Bu durumda bu kurum tek veri yayıncısı olarak nitelendirilir. Bu model, yayınlanan veri sürümlerine göre farklı alt sınıflara ayrılmakta olup bunlar aşağıda özetlenmiştir.

3.1.1. Tek Sürüm Yayınlama (Single Release Publishing)

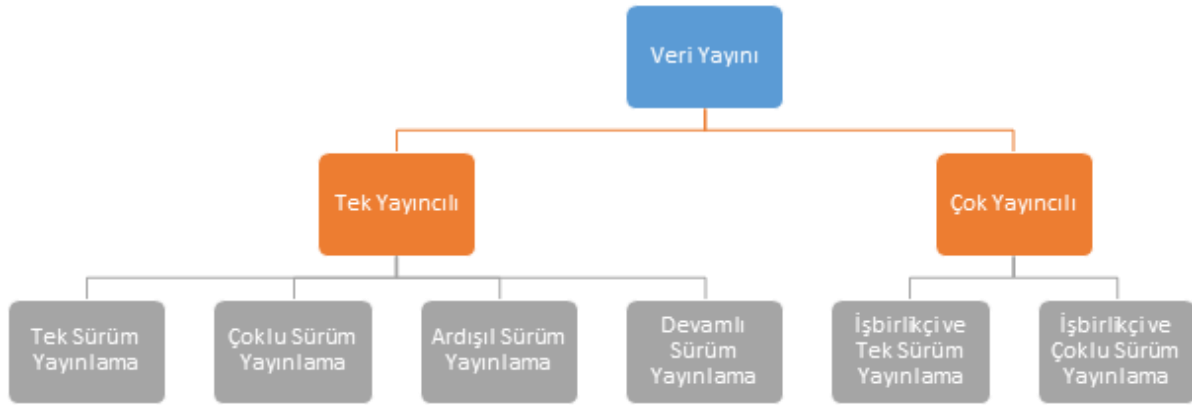
Yayımlanacak veri kümesi sadece tek sürüm ve bir defaya mahsus olarak yayınlanır. Veri, yayımlandıktan sonra



Şekil 1. Geleneksel veri yayınlama modellerinde sistem alt yapısı (System infrastructure of traditional data publishing models)

Veri yayınlarken, mahremiyet koruma sürecindeki tüm tarafların gereksinimlerini en iyi şekilde karşılayan modellere ihtiyaç duyulur. Veri sahibi tarafında hangi verilerin paylaşılacağına karar verilmesi; veri yayıncısı tarafında hangi verilerin toplanacağı, hangi özniteliklerin hangi sınıflara atanacağı, nasıl bir mimari üzerinden bu işlemlerin gerçekleştirileceği, veri sahibi ve veri alıcısı

ekleme, çıkarma, güncelleme gibi herhangi bir işleme tabi tutulmaz. 2010 yılına ait diyabet verileri, 2018 yılına ait kredi kartı harcama verileri gibi tek defaya mahsus yayınlanan veriler bu modele örnek olarak verilebilir. Kullanıcı etkileşimi içermeyip, veri yayıncısı kendi belirlediği stratejiye göre yayınlacağı veriye ve özniteliklerine karar verir. Veri alıcısının ihtiyaç



Şekil 2. Temel mahremiyet korumalı veri yayınlama modellerinin sınıflandırılması (Classification of privacy preserving data publishing models) [25-28]

duyduğu veri alanından fazlasının yayınlanması durumu oluşabileceği için, böylesi bir durumda hem gereksiz bilgi paylaşımı yapılmış olur hem de yayınlanan veri saldırıya açık hale gelir. Yani saldırgan bilmesi gerekenden daha fazla öznitelik bilgisine sahip olacağı için çıkarım yapma ihtimali de artar. Bu ihtimali düşürmek için veri yayıncısının, yayınlacağı verilerdeki öznitelikleri doğru bir şekilde belirlemesi gerekir [25].

Şekil 3'de bu model bir örnek üzerinde gösterilmiş olup, verilen şekilde orijinal veri tablosu $T(\text{Yaş, Meslek, Doğum Yeri, Hastalık})$ ile temsil edilirken, anonimleştirilen ve paylaşılan veri tablosu ise $T'(\text{Yaş, Meslek, Doğum Yeri, Hastalık})$ ile gösterilmiştir.

3.1.2. Çoklu Sürüm Yayınlama (Multiple Release Publishing)

Şekil 4'de gösterilen bu modelde veri alıcıları, bir veri tablosundan kendi amaçları doğrultusunda kullanmak istedikleri özniteliklere ait alt veri grubunu talep eder. Tek sürüm yayınlama modelinden farklı olarak tüm verinin alıcılara iletilmesi yerine, veri alıcılarının talepleri dikkate alınır ve bu şekilde belirli bir alt veri grubu iletilmiş olur. Örnek olarak; bir $T(\text{Yaş, Meslek, Doğum Yeri, Hastalık})$ veri tablosu üzerinde, bir araştırmacı kendi araştırmasında kullanmak üzere Meslek, Doğum Yeri ve Hastalık bilgilerini talep ettiğinde $T^A(\text{Meslek, Doğum Yeri, Hastalık})$ anonim veri tablosu araştırmacıya iletilirken, bir başka araştırmacı Yaş, Meslek ve Doğum Yeri bilgilerini talep ettiğinde ise ona da $T^B(\text{Yaş, Meslek, Doğum Yeri})$ anonim veri tablosu iletilir. Bu modelde hem ihtiyaç duyulmayan alanların yayınlanması engellenir hem de talep edilen özniteliklere göre veri anonimleştirilip paylaşılacağı için bilgi kaybı düşük olur [25].

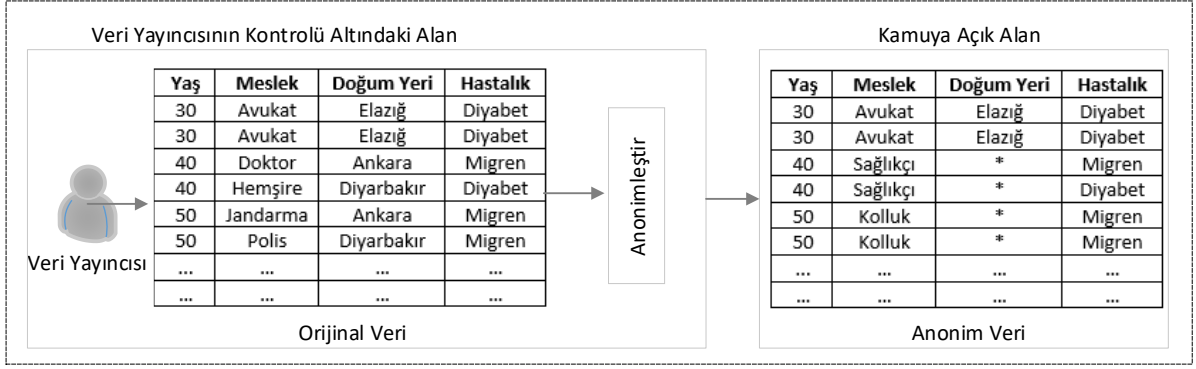
Bu modelde, bir saldırganın aynı anda birden fazla sürüme ulaşması halinde yarı-tamamlayıcılar üzerinden bağlantı kurarak hassas bilgi çıkarımında bulunması, önemli bir mahremiyet riski oluşturur. Ayrıca kullanıcının sistemle etkileşimi sonucu güvenlik zafiyetinin oluşma ihtimali de artar.

3.1.3. Ardışıl Sürüm Yayınlama (Sequential Release Publishing)

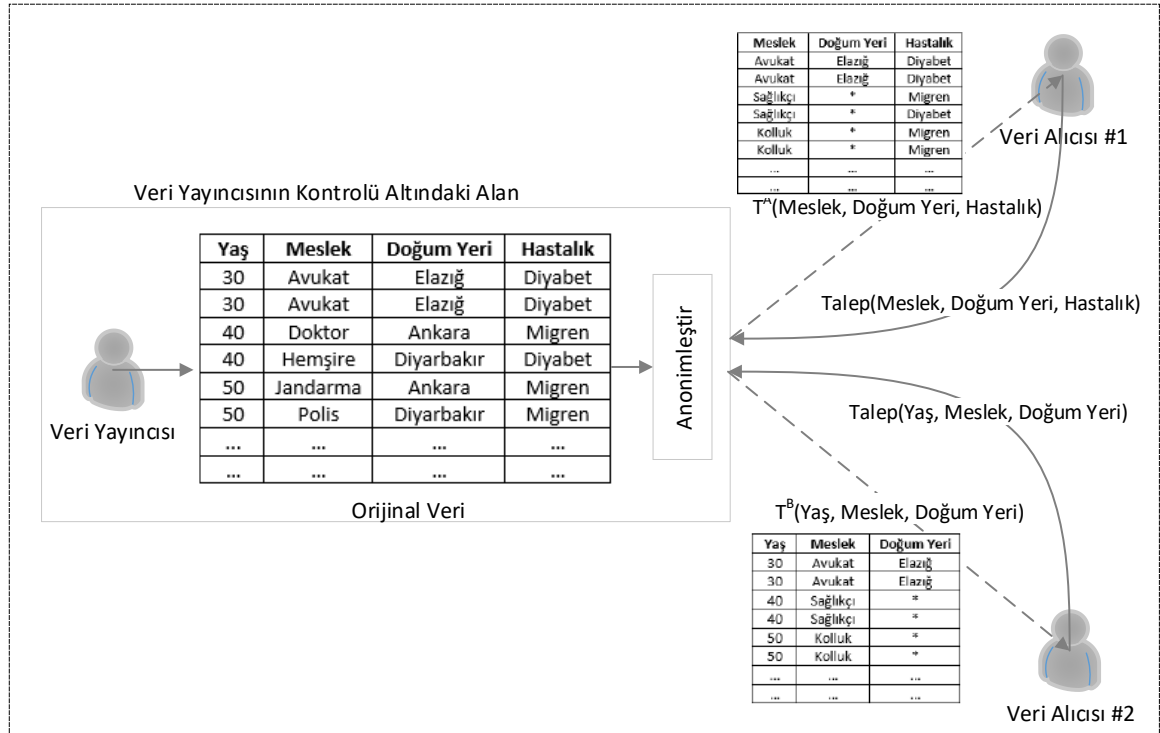
Dinamik veri yayınlama modellerinden biri olup Şekil 5'de bir örnek üzerinde gösterilmiştir. Bu modelde yeni bilgiler geldiği sürece veri ardışıl olarak yayınlanır. Kullanıcı etkileşimi söz konusu değildir. Yayınlanacak bir veri tablosu için kayıt sayıları aynı kalmak şartıyla, öznitelikleri barındıran sütunlar her bir sürümde değişir. $T(\text{Yaş, Meslek, Doğum Yeri, Hastalık})$ veri tablosu için; birinci sürümde $T^A(\text{Meslek, Doğum Yeri, Hastalık})$ anonim veri tablosunun, ikinci sürümde ise $T^B(\text{Yaş, Meslek, Doğum Yeri})$ anonim veri tablosunun yayınlanması bu modele örnek olarak verilebilir. Saldırgan, yayınlanan önceki sürümlerden faydalanarak yeni yayınlanan sürümdeki verileri birleştirip ifşa saldırıları yapabilir. Bunu önlemek için, veri yayıncısı bir sonraki yayınlacağı sürümü öncekilerle birleştirerek anonimleştirebilir. Böylelikle sürümler arasındaki birleşim ilişkisi ortadan kaldırılmaya çalışılır [28].

3.1.4. Devamlı Sürüm Yayınlama (Continuous Release Publishing)

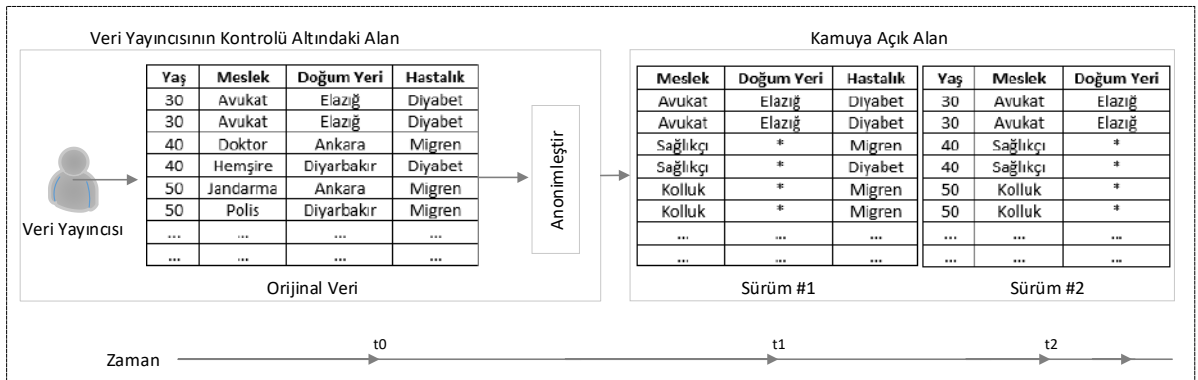
Dinamik veri yayınlama modellerinden biri olup Şekil 6'da gösterilmiştir. Veri yayıncısı yayınlamak istediği verideki öznitelikleri sabit tutarak her bir sürümde farklı kayıtlar ekler, siler veya güncelleştirir. Bu şekilde yayınlanan sürümler arasında farklılıklar oluşur. Ancak yine de saldırgan, sürümlerin zaman damgası bilgisine ve yarı-tanımlayıcı değerlerine sahipse bir mahremiyet ifşası gerçekleştirebilir [27].



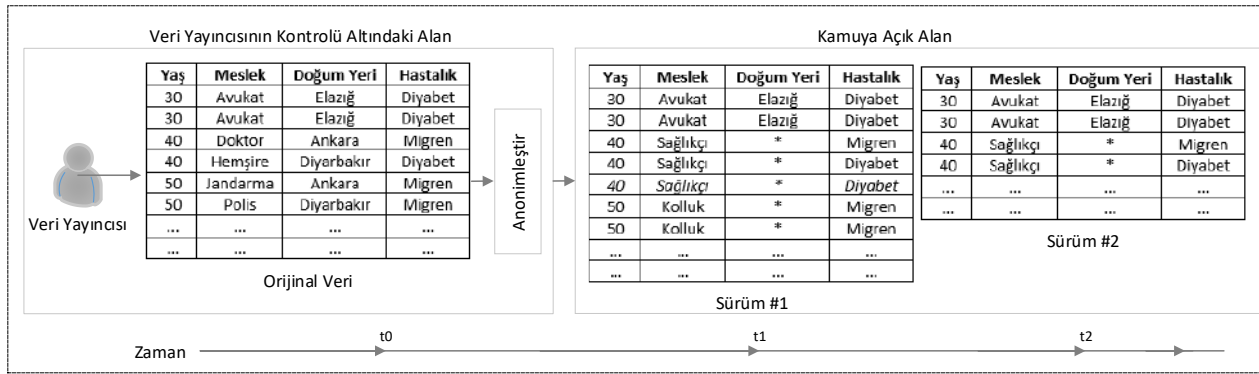
Şekil 3. Tek sürüm veri yayınlama modeli (Single release data publishing model)



Şekil 4. Çoklu sürüm veri yayınlama modeli (Multiple release data publishing model)



Şekil 5. Ardışıl sürüm veri yayınlama modeli (Sequential release data publishing model)



Şekil 6. Devamlı sürüm veri yayınlama modeli (Continuous release data publishing model)

3.2. Çok Yayıncılı Veri Yayınlama Modelleri (Multiple Publisher Data Publishing Models)

Her ne kadar veriler bazen tek yayıncılar tarafından yayınlansa da, çoğu zaman bu durum çoklu veri yayıncılarına doğru evrilebilmektedir. Yani veriler tek bir varlık tarafından yayınlanmaktan ziyade birden fazla varlık kendi verilerini yayınlamak isteyebilir. Böylesi modeller için, “birleştir-anonimleştir” ve “anonimleştir-birleştir” olmak üzere iki farklı yaklaşım geliştirilmiştir. Birleştir-anonimleştir yaklaşımında veri yayıncılarda tutulan veriler önce birleştirilir sonra anonimleştirilir ve yayınlanırken, anonimleştir-birleştir yaklaşımında ise yayıncılarda tutulan veriler önce anonimleştirilir sonra birleştirilir ve yayınlanır [25].

3.2.1. İşbirlikçi ve Tek Sürüm Yayınlama

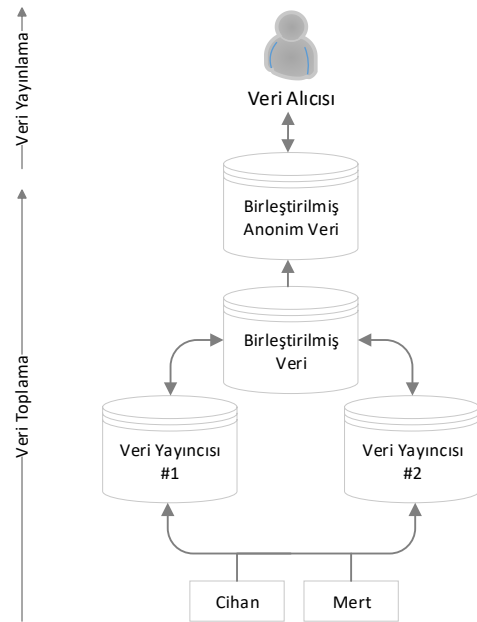
(Collaborative and Single Release Publishing)

Şekil 7’de gösterilen bu model birden fazla veri yayıncısından oluşur. Belirli amaçlar doğrultusunda aynı kişilere ait farklı verilerin birleştirilerek yayınlanması ilkesine dayanır. Örneğin; X hastanesi T^X (TC, Meslek, Doğum Yeri, Hastalık) tablosuna, Y hastanesi ise T^Y (TC, Yaş, Meslek, Doğum Yeri) tablosuna sahip olsun. Bu durumda iki tablonun birleşmesi ile T (TC, Yaş, Meslek, Doğum Yeri, Hastalık) tablosu elde edilir. Bu şekilde veri yayıncısında birleştirilen veri tablosu anonimleştirildikten sonra yayınlanabilir [25].

3.2.2. İşbirlikçi Ve Çoklu Sürüm Yayınlama

(Collaborative and Multiple Release Publishing)

Veri yayıncısı ile veri alıcısı arasında bir etkileşim söz konusudur. Dağıtık halde bulunan veri yayıncılarda tutulan veriler, veri alıcısının talep ettiği öznitelikler çerçevesinde veri yayıncıları tarafından anonimleştirilir ve veri alıcısına iletilir. Bu modelde, kendi verilerini barındıran ve yayınlamak isteyen çok sayıda veri yayıncısı vardır. Veriler bu dağıtık yapılar da yatayda veya dikeyde bölümlenmiş olarak bulunabilir. Önemli



Şekil 7. İşbirlikçi ve tek sürüm veri yayınlama modeli (Collaborative and single release data publishing model)

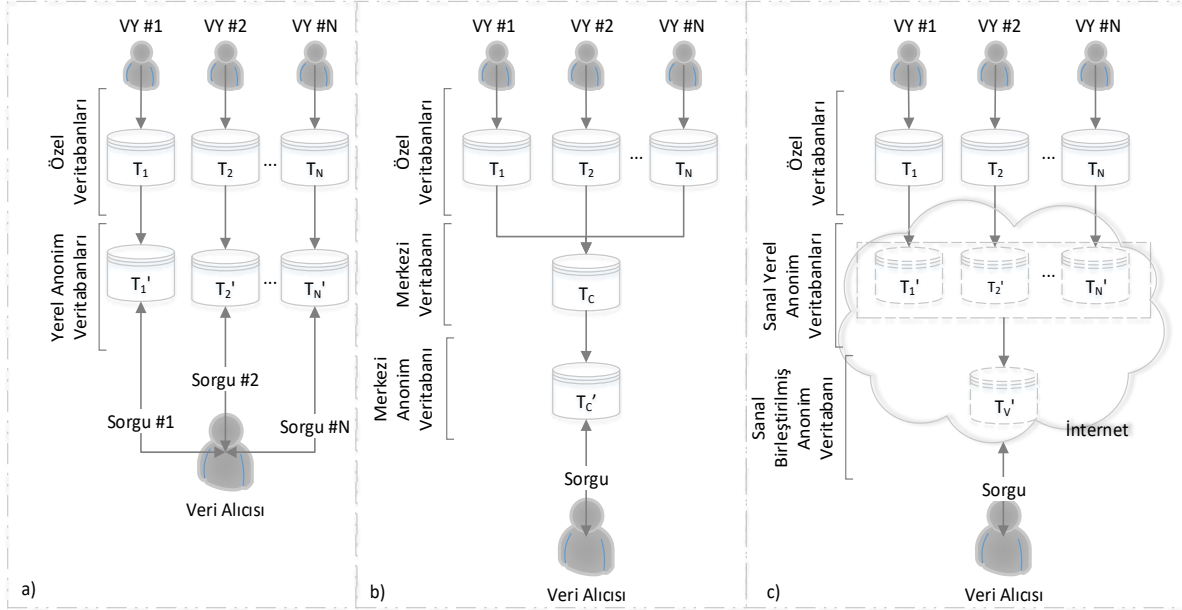
olan bu verilerin kullanıcı istekleri doğrultusunda anonimleştirilerek yayınlanmasıdır [29].

Bu modelde birleştirme, anonimleştirme ve verinin tutulduğu ortam üzerine literatürde çeşitli yaklaşımlar geliştirilmiş ve bunlar Şekil 8’de detaylı olarak sunulmuştur. Şekil 8.a’da her bir veri yayıncısı sahip olduğu verileri diğerlerinden bağımsız olarak kendi tarafında anonimleştirir. Veri alıcısı bir tablodan sorgu yapabileceği gibi birden fazla tablodan da sorgu yapabilir. Bu yaklaşımın dezavantajı, saldırgan farklı veri tablolarına aynı anda ulaşabileceği için çıkarım yapma ihtimali artar. Şekil 8.b’de ise veri yayıncıları verilerini merkezî bir yapıya iletir ve burada birleştirilen veriler anonimleştirilerek paylaşılır. Sorgular merkezî bir veri tabanı üzerinden gerçekleştirilir. Bu yaklaşımın dezavantajı ise güvenilir bir merkezî yapının bulunmasının zor olması ve böylesi bir merkezî yapının saldırıya uğraması halinde tüm verilerin doğrudan saldırganların eline geçme ihtimalinin olmasıdır. Şekil

8.c'de ise yatay bölünmüş veri tabanlarını barındıran veri yayıncıları sanal, bütünlük ve anonim bir veri tablosu üretmek için dağıtık bir protokole dâhil olurlar. Yerelde anonimleştirilen her bir veri tabanı güvenli dağıtık protokoller kullanılarak birleştirilir. Böylelikle veri alıcısının bu birleşik veri tabanı üzerinden sorgu yapması sağlanır. Bu yaklaşımda sorgular doğrudan veri yayıncılarına gitmediği için güvenlik bir üst seviyede sağlanır. Ancak buna rağmen her bir veri tabanı kendi içerisinde anonimleştirildiğinden dolayı bilgi kaybı yüksek olur.

4. BÜYÜK VERİDE MAHREMİYET (PRIVACY IN BIG DATA)

Büyük verinin elde edilmesinden yayınlanmasına kadar geçen süreç, bir büyük veri mahremiyeti koruma sürecini temsil eder. Bu süreç gerek tarafları gerekse de bu tarafların rollerini ve sorumluluğu altında gerçekleşen işlemleri kapsar. Büyük veri mahremiyeti koruma sürecindeki taraflar büyük veri sahibi, büyük veri toplayıcısı/yayıncısı ve büyük veri alıcısı olarak üç gruba ayrılabilir.



Şekil 8. İşbirlikçi ve çoklu sürüm veri yayınlama modeli (Collaborative and multiple release data publishing model)

Çizelge 1. Tek sürüm veri yayınlama modellerinin karşılaştırılması (Comparison of single release data publishing models)

Yayınlama Modeli	Kullanıcı Sorgusu	Kimlik Saldırısı	Öznelik Saldırısı	Üyelik Saldırısı	Mahremiyet Riski
Tek Sürüm	Yok	Düşük	Düşük	Düşük	Düşük
Çoklu Sürüm	Var	Orta	Orta	Orta	Orta
Ardışıl Sürüm	Yok	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek
Devamlı Sürüm	Yok	Düşük	Düşük	Yüksek	Yüksek
İşbirlikçi ve Tek Sürüm	Yok	Düşük	Düşük	Düşük	Düşük
İşbirlikçi ve Çoklu Sürüm	Var	Orta	Orta	Orta	Orta

Yukarıda belirtilen tüm veri yayınlama modelleri Çizelge 1'de çeşitli kriterlere göre karşılaştırılarak mahremiyet riskleri açısından değerlendirilmiştir. Mahremiyet açısından kimlik, öznelik ve üyelik saldırısı ihtimalleri; güvenlik açısından ise kullanıcı sorgusunun olup olmaması karşılaştırma kriterleri olarak belirlenmiş ve bu kriterler her bir model için değerlendirilmiştir. Buna göre; tek sürüm yayınlama modeli ile işbirlikçi ve tek sürüm yayınlama modelinin mahremiyet açısından en düşük riski barındırdığı sonucuna ulaşılmıştır.

Büyük veri sahibi, hassas bilgi içeren veri kümesinin toplandığı taraf olmakla beraber herhangi bir kişi, kurum veya kuruluş olabilir. Hassas bilgileri barındıran büyük verilere sağlık verileri, finans verileri, banka verileri, telekomünikasyon verileri, kredi kartı verileri, sigorta verileri ve eğitim verileri örnek olarak verilebilir. Bu verilerin ortak noktası ise bir kişiyi doğrudan veya dolaylı olarak tanımlayabilen veya ifşa riski taşıyan bilgileri içermesidir.

Büyük veri toplayıcısı/yayıncısı ise çeşitli varlıklardan büyük verileri toplayarak sahip olduğu teknik, teknoloji ve alt yapı ile bu verileri anonimleştirerek yayınlayan

tarafıdır. Veri sahiplerinden topladığı büyük veriyi dağıtık olarak depolar ve bu veriler üzerinde dağıtık mimariye uygun geliştirilen anonimleştirme tekniklerini uygulayarak dağıtık anonim veri kümelerini elde eder. Sonrasında ise bu verilerini birleştirerek büyük anonim veri kümesini oluşturur. Güvenilir bir merkezî yapı olabileceği gibi çeşitli anlaşmalarla hukuka uygun bir zeminin oluşturulduğu güvenilir üçüncü taraf yapısı da olabilir. Örneğin, Sosyal Güvenlik Kurumu (SGK) kendi bünyesinde güvenilir bir merkezî yapı iken, bir A firması güvenilir olduğu kabul edilen üçüncü taraf yapısı olabilir.

Büyük veri alıcısı büyük veriyi analiz ederek değer üretmesi beklenen ve güvenilir olmadığı kabul edilen üçüncü taraf yapısıdır. Büyük veri işleme alt yapı ve teknolojisine sahiptir. Aksi halde yayınlanan büyük veriyi işleme yetkinliğine sahip olamaz. Genelde beklenen durum, büyük veri yayıncısından aldığı anonim büyük veriyi analiz ederek değer üretmesidir. Ancak bu varlık eğer kötücül bir niyet taşıyorsa ve mahremiyet istenilen düzeyde korunmamışsa kimlik saldırısı, öznitelik saldırısı ve üyelik saldırısı gibi pek çok saldırıyı gerçekleştirebilme potansiyeline sahip olabileceği için güvenilir olmayan bir varlık olarak nitelendirilir.

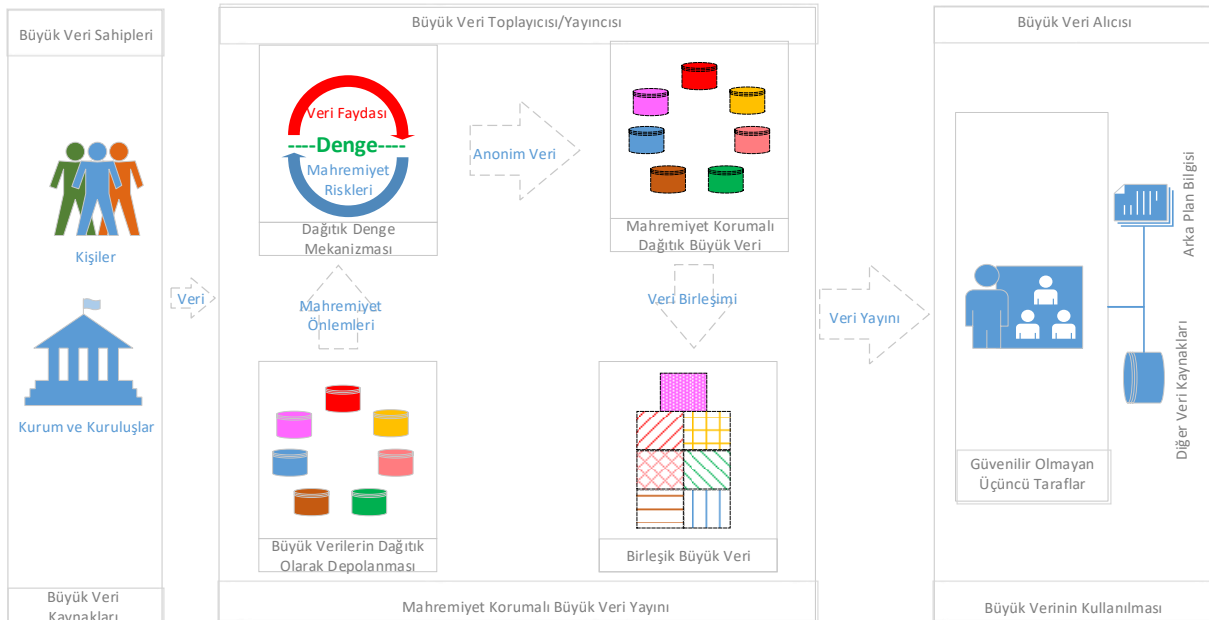
Geleneksel veride mahremiyet koruma süreci, bu süreçteki taraflar ve rolleri Vural (2017)'dan [30] alınarak büyük veri konseptine uyarlanmış ve büyük veri mahremiyet koruma süreci bu çalışma kapsamında ilk defa oluşturulmuştur. Şekil 9'da gösterilen bu süreçte, büyük veri sahiplerinden toplanan veriler büyük veri toplayıcılarda anonim hale getirilir ve sonrasında ise büyük veri alıcılara iletilir. Burada büyük verilerin

veri toplayıcısı/yayıncısı rolünde olan taraf ise veriye çeşitli mahremiyet koruyucu yaklaşımlar uygulayarak veri faydası ile mahremiyet seviyesi arasında bir denge bulmayı amaçlar ve yayınlanacak olan büyük verinin mahremiyetini koruyarak büyük veri alıcıları ile paylaşır. Büyük veri alıcılar ise büyük veriden değer üreten taraftır.

Hassas ve kişisel bilgiler içerebilen büyük verinin paylaşılması sırasında gerekli tedbirler alınmadığında mahremiyet ihlallerinin ve diğer olumsuzlukların yaşanması kaçınılmazdır. Kişileri doğrudan hedef alan mahremiyet saldırılarının sonucunda, hassas bilgiler ifşa olur ve bu durum veri sahiplerinin mağduriyet yaşamalarına yol açar. Özellikle sağlık, eğitim, ticari, sosyal medya gibi bireyin doğrudan dâhil olduğu alanlarda toplanan büyük veriler üzerinde gerçekleştirilecek mahremiyet ihlallerinin derinlemesine irdelenmesi gerekir.

5. ÖNERİLEN MAHREMİYET KORUMALI BÜYÜK VERİ YAYINLAMA MODELLERİ (THE PROPOSED PRIVACY PRESERVING BIG DATA PUBLISHING MODELS)

Literatür incelendiğinde, büyük veri kapsamında mahremiyet korumalı veri yayınlama modellerinin oluşturulmadığı veya önerilmediği görülmüştür. Ancak büyük veri konseptine uygun veri yayınlama modellerinin oluşturulması günümüz şartlarında bir ihtiyaçtır. Çünkü büyük veri konseptini içeren bir dijital dünyada mahremiyet gereksinimlerinin yanı sıra, verinin



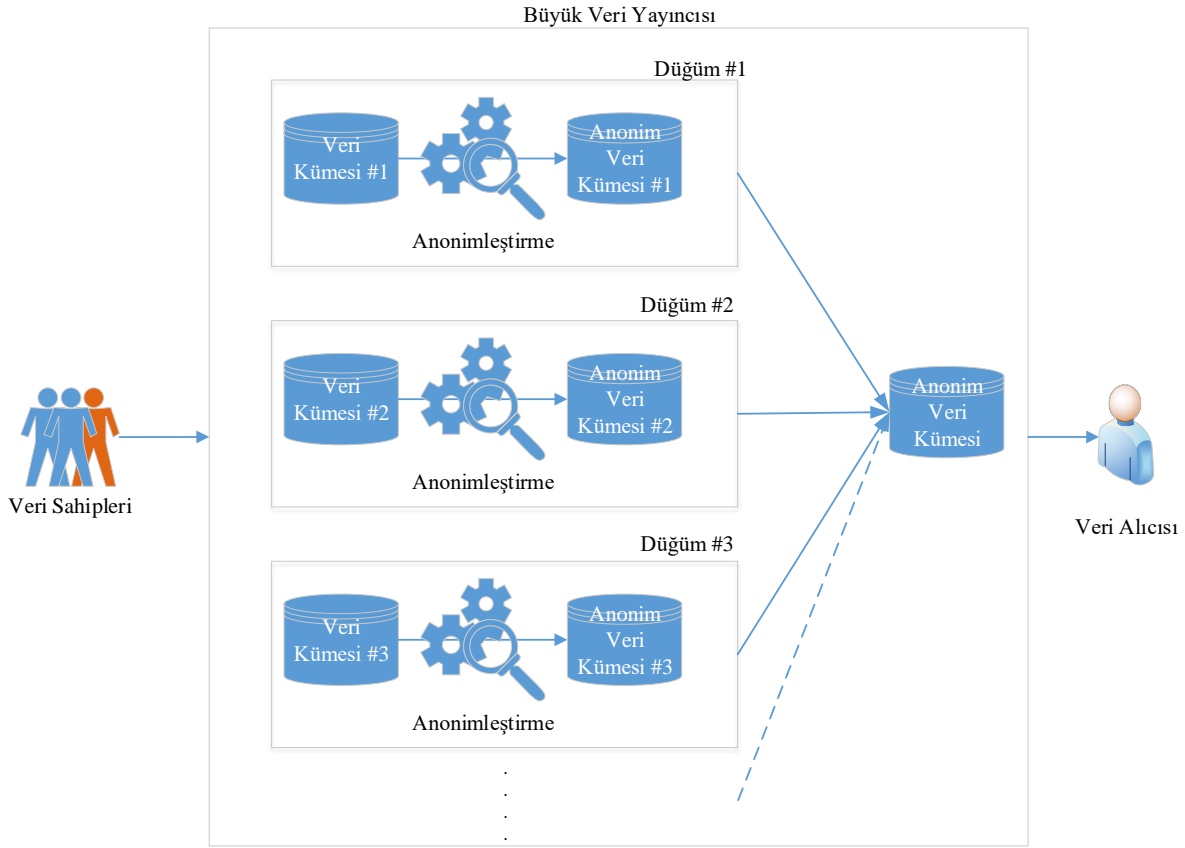
Şekil 9. Büyük veride mahremiyet koruma süreci (Privacy preserving process in big data)

temin edildiği taraflar büyük veri kaynaklarıdır. Mahremiyet korumalı büyük veri yayını yapan ve büyük

alınmasından anonimleştirilip yayınlanmasına kadarki süreçte aktif rol alan tüm tarafların gereksinimlerinin

doğru anlaşılması, doğru alt yapı ve sistemlerin oluşturulması, maliyet açısından etkin ve güvenli

anonimleştirilerek birleştirilen verinin sunacağı faydaya göre daha yüksektir.



Şekil 10. Büyük veri yayımlama modellerinde sistem alt yapısı (System infrastructure of big data publishing model)

mekanizmaların geliştirilmesi büyük önem arz etmektedir.

Büyük veri mimarisine uygun olarak geliştirilecek veri yayımlama modelleri için örnek bir sistem alt yapısı Şekil 10'da gösterilmektedir. Verilen şekilde, veri sahiplerinden toplanan veriler dağıtık mimariye sahip büyük veri yayıncısı tarafında dağıtık olarak depolanır, dağıtık olarak anonimleştirilerek elde edilen anonim veri kümeleri birleştirilerek büyük anonim veri kümesi elde edilir ve son olarak büyük veri alıcısına iletilir.

PPBDP modellerinin oluşturulmasında dikkat edilmesi gereken iki önemli unsur vardır. Bunlardan ilki merkezî bir yayın modelinin olması gerekliliğidir. Bunun iki temel sebebi vardır;

- Büyük verileri yerelde geleneksel sistemlerle işlemek mümkün değildir. Bunun için merkezî bir yerde konuşlandırılan büyük veri sistemlerine ve teknolojilerine ihtiyaç vardır. Büyük veri sistemleri maliyeti yüksek yapılar olduğu için merkezî bir yerde bu sistemlerin kurularak verilerin bu merkeze çekilmesi maliyet açısından daha avantajlıdır,
- Merkezî bir yapıda birleştirilerek anonimleştirilen verinin sunacağı fayda dağıtık yapılarda

Dikkat edilecek ikinci unsur ise anonimleştirme işleminde kullanıcı etkileşiminin olup olmayacağıdır. Kullanıcı etkileşiminin olması durumunda cevap süresi önemli bir kriter olacağı için Spark gibi hızlı teknolojilere ihtiyaç duyulacaktır. Ancak kullanıcı etkileşimi olmayan bir model tercih edilecekse burada zaman kısıtı söz konusu olmayacağı için Hadoop teknolojisi de gerekli ihtiyaçları karşılayabilir. Ayrıca kullanıcı etkileşiminin olduğu bir sistemde çeşitli güvenlik riskleri de oluşabileceği için bu aşamada sadece veri yayıncısı özelinde temel modeller oluşturulmuş, kullanıcı etkileşimi dikkate alınmamıştır. Ek olarak, verinin farklı sürümlerini yayınlamak saldırganlara yayınlanan veriler üzerinde çeşitli çıkarımlar yapma imkânı da sunacağı için bu çalışmada sadece tek sürümlü modeller oluşturulmuştur.

Çizelge 1'de sunulan karşılaştırma dikkate alındığında; mahremiyet risk derecesi en az olan modellerin tek sürüm yayımlama ile işbirlikçi ve tek sürüm yayımlama olduğu görülmektedir. Bu değerlendirme dikkate alınarak, belirtilen iki ana model özelinde büyük veri yayımlama modelleri oluşturulmuştur. Her ne kadar diğer modeller de mevcut ihtiyaçlar doğrultusunda büyük veri kapsamında değerlendirilebilir olsa da, mahremiyet risklerinin düşük seviyede tutulması için çeşitli

önlemlere her zaman ihtiyaç vardır. Bu kapsamda önerilen büyük veri yayınlama modelleri ve bunların sınıflandırılması Şekil 11’de verilmiştir.



Şekil 11. Önerilen mahremiyet korumalı büyük veri yayınlama modellerinin sınıflandırılması (Classification of the proposed privacy preserving big data publishing model)

5.1. Tek Sürüm Büyük Veri Yayınlama Modeli (Single Release Big Data Publishing Model)

Büyük veri yayıncısının kendi bünyesindeki alt varlıklarından topladığı verileri birleştirip anonimleştirerek yayınladığı modeldir. Alt varlıklara ait veriler normal veya büyük veri formunda olabilir. Önemli olan bu verilerin merkezî bir yapıda birleştirilerek büyük veri formundaki verilerin elde edilmesidir. Bu modelde, dağıtık halde tutulan veriler merkezî yapıya aktarılır, veri yayıncısı bu verileri dağıtık olarak depolar ve büyük veri platformunda dağıtık anonimleştirme teknikleriyle anonim hale getirerek veri alıcısına iletir. Büyük veri sadece veri yayıncısı tarafından yönetilir ve tek sürüm olarak bir defaya mahsus yayınlanır. SGK'nın tüm kamu hastanelerinden hasta verilerini toplayarak belirli politika ve stratejilere göre tüm diyabet hastalarının 2018 yılına ait verilerini mahremiyet korumalı olarak yayınlaması bu modele örnek olarak verilebilir.

Önerilen tek sürüm büyük veri yayınlama modeli Şekil 12’de gösterilmiştir. Bu model her ne kadar işbirlikçi veri yayını yaklaşımını andırırsa da, merkezî yapıdaki büyük veri tabanı ve işbirliğinde bulunan alt varlıklar tek bir kuruma ait olduğu için bu modelin tek veri yayıncılı veri yayınlama modeli sınıfına girdiği değerlendirilmektedir. Bu model yapılacak detaylı bir tasarıma göre daha çok özelleştirilebilir.

Önerilen model genel olarak aşağıdaki adımlardan oluşur;

1. Dağıtık varlıklarda tutulan veriler merkezî yapıda bulunan büyük veri tabanına güvenli olarak aktarılır,
2. Aktarılan veriler büyük veri platformunda dağıtık olarak depolanır,
3. Belirlenen özniteliklere göre yayınlanacak büyük veri dağıtık olarak anonimleştirilir,

4. Dağıtık olarak tutulan anonim veri kümeleri birleştirilir ve
5. Büyük anonim veri kümesi büyük veri alıcısına iletilir.

Önerilen model değerlendirildiğinde, avantajları ve dezavantajları aşağıda verilmiştir;

- **Avantajlar:**
 - Güvenilir bir merkezî yapı vardır,
 - Verinin üretilmesinden yayınlanmasına kadar geçen tüm süreçte veri güvenliği merkezî yapı tarafından sağlanır,
 - Büyük veri tek sürüm olarak yayınlanır ve böylece saldırganların çıkarım yapma ihtimali en aza indirgenir,
 - Merkezî yapıda gerçekleştirilen anonimleştirme, dağıtık yapılarda gerçekleştirilen anonimleştirmeye göre daha yüksek veri faydası sunar,
 - Kullanıcı etkileşimi olmadığı için daha güvenlidir,
 - Hangi özniteliklerin yayınlanacağı veri yayıncısının tasarrufunda olduğu için daha esnekler,
 - Hangi verilerin hangi amaç doğrultusunda yayınlanacağı merkezî yapı tarafından belirlenir,
 - Merkezî bir yapı olmasından dolayı maliyet açısından etkindir.
- **Dezavantajı:** ağda akan verilerin getirebileceği yük bir dezavantajdır. Ancak veriden sağlanacak fayda göz önüne alındığında bu dezavantaj göz ardı edilebilir.

5.2. İşbirlikçi ve Tek Sürüm Büyük Veri Yayınlama Modeli (Collaborative and Single Release Big Data Publishing Model)

Önerilen bu model birden fazla veri yayıncısından oluşur ve belirli amaçlar doğrultusunda verilerin birleştirilerek yayınlanması ilkesine dayanır. Farklı veri yayıncılarının güvenli iletişim ortamı üzerinden ilettikleri veri tabanları üçüncü tarafa yapısında birleştirilerek büyük veri tabanlarında dağıtık olarak saklanır. Mahremiyet korumalı büyük veri yayını yapabilmek için verinin merkezî bir yapıda toplanarak işlenmesi gerekmektedir. Önerilen modelin çalışma prensibi şu şekilde örneklendirilebilir; A, B ve C Telekom firmaları kendilerinde hatları bulunan ortak 10 milyon abonelin iletişim örüntüsünün çıkarılarak daha iyi teklifler sunabilecekleri abonelerini belirlemek istesin. Bu durumda her bir firma kendilerinde tuttıkları aynı öznitelige sahip verileri güvenilir üçüncü taraf yapısına iletir. Bu veriler güvenilir üçüncü taraf yapısında yatayda birleştirilerek anonimleştirilir. Şekil 13’de gösterilen bu modelde, güvenilir üçüncü taraf yapısında büyük veri alt yapısı mevcuttur.

Önerilen model genel olarak aşağıdaki adımlardan oluşur;

1. Dağıtık halde bulunan veri yayıncılarda tutulan veriler, güvenli bir ortam üzerinden güvenilir üçüncü taraf yapısına aktarılır,
2. Aktarılan bu veriler birleştirilir,
3. Birleştirilen veriler büyük veri platformunda dağıtık olarak depolanır,
4. Belirlenen özneliklere göre yayınlanacak büyük veri dağıtık olarak anonimleştirilir,
5. Dağıtık olarak tutulan anonim veri kümeleri birleştirilir ve
6. Büyük anonim veri kümesi büyük veri alıcısına iletilir.

Önerilen model değerlendirildiğinde, avantajları ve dezavantajları aşağıda sunulmuştur;

- **Avantajları:**
 - Dağıtık halde bulunan veri yayıncılarda tutulan verilerin merkezî yapıya iletilmesi işleminde tüm iletişim güvenli bir protokol üzerinden yapılır,
 - Veri tek sürüm olarak yayınlanır ve böylece saldırganların çıkarım yapma ihtimali en aza indirgenir,
 - Merkezî yapıda gerçekleştirilen anonimleştirme işlemi, dağıtık yapılardaki anonimleştirmeye göre daha yüksek veri faydası sunar,
 - Merkezî bir yapı olduğu için maliyet olarak etkindir ve
 - Kullanıcı etkileşimi olmadığı için güvenlidir.
- **Dezavantajları:**
 - Güvenilir bir merkezî yapı yoktur. Bundan dolayı güvenilir kabul edilen üçüncü bir yapıyı bulmak her zaman kolay olmayabilir,
 - Farklı veri yayıncıları farklı format ve özneliğe sahip verileri topladıkları için standart olmayan bir veri kümesi ortaya çıkacaktır. Böylesi bir veriyi standart hale getirmek ise maliyetli bir işlemdir ve
 - Veri yayın politikası güvenilir üçüncü taraf yapısınca belirlenir.

6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRMELER (RESULT AND EVALUATIONS)

Mahremiyet korumalı büyük veri yayınlama modellerinin oluşturulması, büyük verilerin mahremiyetinin korunarak paylaşılmasıyla büyük veriden elde edilecek değerlerin maksimum seviyeye çıkarılması adına önemlidir. Bu çalışmada mahremiyet korumalı geleneksel veri yayınlama modelleri araştırılmış, bunlardan mahremiyet riski en düşük olduğu değerlendirilen iki model kullanılarak iki farklı mahremiyet korumalı büyük veri yayınlama modeli

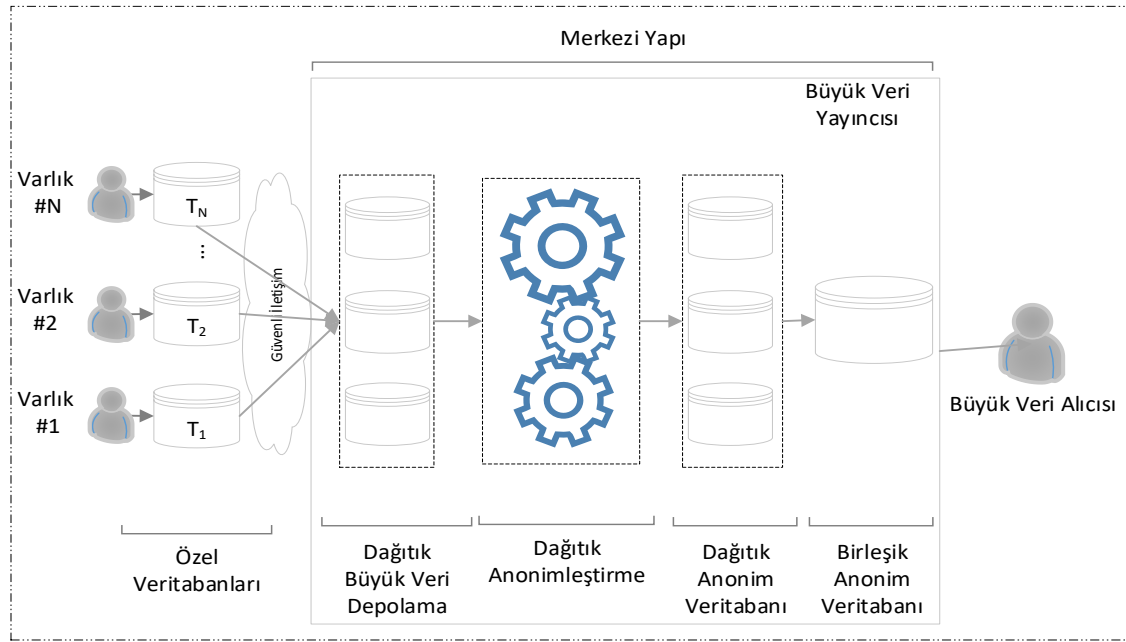
kavramsal olarak önerilmiş ve önerilen modellerin hem avantajları hem de dezavantajları sunulmuştur.

Bu çalışmanın ve önerilen PPBDP modellerinin sunduğu katkılar genel olarak aşağıda değerlendirilmiştir;

- Önerilen modellerin büyük verilerin yayınlanmasında başarı ile kullanılacak temel kavramsal modeller olduğu ve bu modellere ilave olarak çeşitli parametreleri de dikkate alan yeni modellerin geliştirilebileceği,
- Önerilen ilk modelin özellikle kamuda uygulanması daha uygun iken, önerilen ikinci modelin daha çok anonimleştirme hizmeti alımı şeklinde kullanımının uygun olacağı,
- Merkezî yapıda anonimleştirilen verinin sunduğu fayda dağıtık yapılarda anonimleştirilen verinin sunduğu faydaya göre daha yüksek olduğu için yeni modellerin geliştirilmesine ihtiyaç olacağı,
- Önerilen modellerin üstünlükleri olsa da çeşitli kısıtlarının da bulunduğu dikkate alınarak yeni modellerin geliştirilebileceği,
- Kavramsal modellerin uygulanması ve gerçekleştirilmesi sonrası elde edilen sonuçlara göre bu modellerin revize edilmesi gerektiği,
- Özellikle ülkemizde “Açık Büyük Veri” kavramını uygulamalarla desteklemek adına önerilen modellerin kamu kurum ve kuruluşlarınca dikkate alınarak kullanılabilirliği,
- Pek çok kurumun barındırdığı büyük veri kümelerinin mahremiyetinin korunarak yayınlanması aşamasında önerilen modellerin referans modeller olabileceği ve
- Büyük veri bileşenlerinin mahremiyet açısından değerlendirilmesi ile gelecekte oluşturulacak yeni PPBDP modellerinin daha etkin, odaklı ve veri faydası yüksek modeller olacağı değerlendirilmektedir.

Kişisel Verileri Koruma Kanunu (KVKK) ve Genel Veri Koruma Yönetmeliği (GDPR) dikkate alındığında, kişisel bilgileri içeren verilerin paylaşılmasında verinin anonim hale getirilmesi bir zorunluluktur. Belirtilen yasa ve düzenlemeler veri mahremiyetini koruma ve mahremiyet korumalı veri paylaşımını daha dikkatli yapmayı gerektirdiğinden, önerilen kavramsal modellerin önemi açıkça görülmektedir.

2015-2018 Bilgi Toplumu Stratejisi ve Eylem Planı, 2016-2019 Ulusal e-Devlet Stratejisi ve Eylem Planı, 2013-2014 Ulusal Siber Güvenlik Stratejisi ve Eylem Planı, 11. Kalkınma Planı ve 2013 yılında yayımlanan Açık Yönetim Ortaklığı Girişimi Başbakanlık Genelgesi’nde belirtilen, mevcut kamu verilerinin anonimleştirilmesi, mahremiyetinin korunarak paylaşılması ve kamu verilerinin belirli bir kısmının kamuya açılması gerekliliğinin ortaya konulması ile



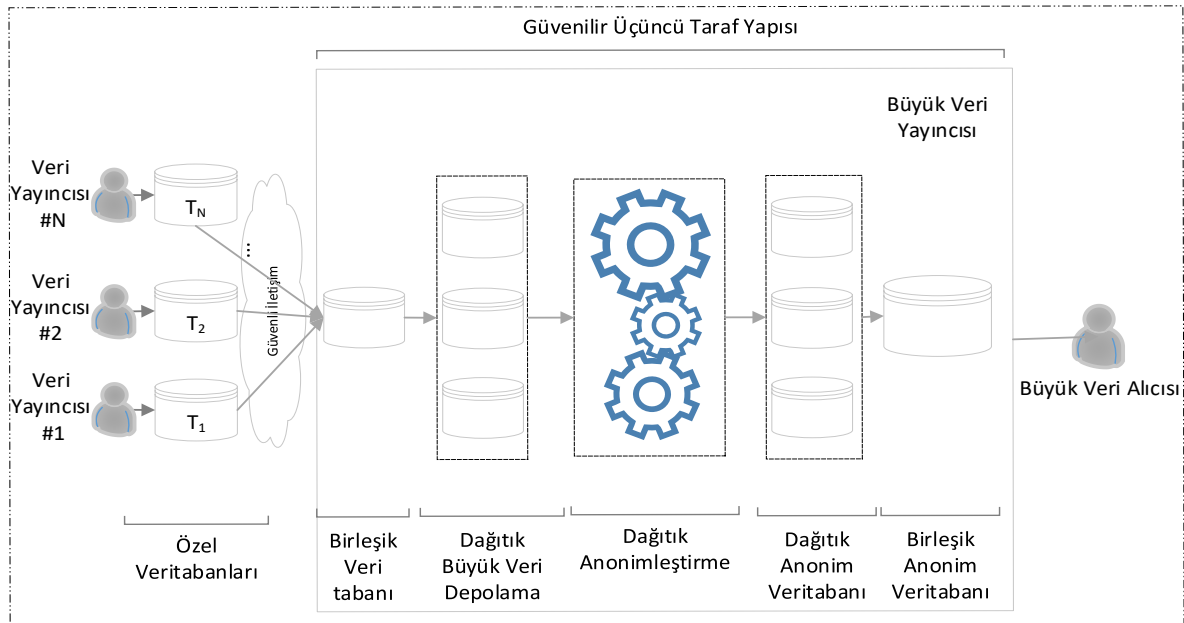
Şekil 12. Önerilen tek sürüm büyük veri yayınlama modeli (The proposed single release big data publishing model)

beraber bu çalışmada önerilen kavramsal modellere ihtiyacın olduğu görülmektedir. Sonuç olarak; ülkemizde kişisel bilgiler içeren büyük verilerden daha fazla değer üretmek adına mahremiyet korumalı büyük veri yayınlama modellerinden mutlaka istifade edilmeli, kanun ve yönetmeliklerde belirtilen “istisnalar” ve “anonimleştirme” seçeneklerinin de bulunduğu unutulmadan ar-ge ve inovasyon çalışmaları yürütülmeli ve bu kapsamda büyük verilerin mahremiyetini koruyup yayınlamak bu verilerden

mümkün olduğu kadar yüksek seviyede değer üretmesi sağlanmalıdır.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Gazi Üniversitesi Büyük Veri ve Bilgi Güvenliği Laboratuvarı (BIDISEC) ve Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne bu çalışma kapsamında verdikleri destekten ötürü teşekkür ederiz.



Şekil 13. Önerilen işbirlikçi ve tek sürüm büyük veri yayınlama modeli (The proposed collaborative and single release big data publishing model)

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Warren S.D. and L.D. Brandeis, "The right to privacy", *Harvard law review*, 193-220, (1890).
- [2] Beyer M.A. and Laney D., "The importance of 'big data': a definition", *Stamford*, CT: Gartner, (2012).
- [3] Scott A., Srinivasan V., and Stege U., "k-Attribute-Anonymity is hard even for k=2", *Information Processing Letters*, 115(2): 368-370, (2015).
- [4] Chibba M. and Cavoukian A., "Privacy, consumer trust and big data: Privacy by design and the 3 C'S", *IEEE ITU Kaleidoscope: Trust in the Information Society*, (2015).
- [5] Jain P., Gyanchandani M., and Khare N., "Big data privacy: a technological perspective and review", *Journal of Big Data*, 3(1): 25, (2016).
- [6] Zhang X., et al., "A scalable two-phase top-down specialization approach for data anonymization using mapreduce on cloud", *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 25(2): 363-373, (2014).
- [7] Fung B.C., et al., "Introduction to privacy-preserving data publishing: Concepts and techniques", *CRC Press*, (2010).
- [8] Mehmood, A., et al., Protection of big data privacy. *IEEE access*, 4: 1821-1834, (2016).
- [9] Zakerzadeh, H., Aggarwal, CC. and Barker, K., "Privacy-preserving big data publishing", *International Conference on Scientific and Statistical Database Management*, Kaliforniya, ABD, (2015).
- [10] Machanavajjhala, A., et al., "l-diversity: Privacy beyond k-anonymity", *IEEE International Conference on Data Engineering*, Georgia, ABD, (2006).
- [11] Nergiz, M.E., Atzori, M. and Clifton, C., "Hiding the presence of individuals from shared databases", *ACM SIGMOD International Conference on Management of Data*, Beijing, China (2007).
- [12] Chen H., Chiang R.H., and Storey V.C., "Business intelligence and analytics: From big data to big impact", *MIS*, 36(4), (2012).
- [13] Nandini K.S. and Pratheek T, "Providing anonymity using top down specialization on Big Data using hadoop framework", *IEEE India Conference*, India, (2015).
- [14] Patil H.K. and Seshadri R., "Big data security and privacy issues in healthcare", *IEEE International Congress on Big Data*, Alaska, ABD, (2014).
- [15] Victor N., Lopez D., and Abawajy J.H, "Privacy models for big data: a survey", *International Journal of Big Data Intelligence*, 3(1), 61-75, (2016).
- [16] Zhang X., et al., "A MapReduce based approach of scalable multidimensional anonymization for big data privacy preservation on cloud", *IEEE International Conference on Cloud and Green Computing*, Karlsruhe, Germany, (2013).
- [17] Li W. and Li H., "LRDM: Local Record-Driving Mechanism for Big Data Privacy Preservation in Social Networks", *IEEE International Conference on Data Science in Cyberspace*, Changsha, China, (2016).
- [18] Olaronke I. and Oluwaseun O., "Big data in healthcare: Prospects, challenges and resolutions", *IEEE Future Technologies Conference*, Kaliforniya, ABD, (2016).
- [19] Tanwar M., Duggal R. and Khatri S.K, "Unravelling unstructured data: A wealth of information in big data. in Reliability", *IEEE International Conference on Infocom Technologies and Optimization*, Noida, India, (2015).
- [20] Samadi Y., Zbakh M. and Tadonki C., "Comparative study between Hadoop and Spark based on Hiben benchmarks", *International Conference on Cloud Computing Technologies and Applications*, Marrakech, Morocco, (2016).
- [21] Lee M.S., et al., "Design of educational big data application using spark", *IEEE International Conference on Advanced Communication Technology*, Bongpyeong, South Korea, (2017).
- [22] İnternet: Apache Spark, <http://spark.apache.org>, (2017).
- [23] Jam M.R., et al., "A survey on security of Hadoop", *IEEE International Conference on Computer and Knowledge Engineering, Mashhad*, Iran, (2014).
- [24] Sogodekar M., et al., "Big data analytics: hadoop and tools", *IEEE Bombay Section Symposium*, Baramati, India, (2016).
- [25] Fung B., et al., "Privacy-preserving data publishing: A survey of recent developments", *ACM Computing Surveys*, 42(4), 14, (2010).
- [26] Jurczyk P. and Xiong L., "Distributed anonymization: Achieving privacy for both data subjects and data providers", *Annual Conference on Data and Applications Security and Privacy*, Montreal, Canada, (2009).
- [27] Byun, J.W., et al., "Secure anonymization for incremental datasets", *Workshop on Secure Data Management*, Seoul, Korea, (2006).
- [28] Wang, K. and Fung, B., "Anonymizing sequential releases", *ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, Pensilvenya, ABD, (2006).
- [29] Jurczyk, P. and Xiong, L., "Distributed Anonymization: Achieving Privacy for Both Data Subjects and Data Providers", *DBSec*, 5645: 191-207, (2009).
- [30] Vural, Y., "p-Gain: Privacy Preserving Utility-based Data Publishing Model", *Ph. D. Thesis*, Department of Computer Engineering, Hacettepe University, (2017).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

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



Çelikhane cürufunun yol temel ve alttemel malzemesi olarak kullanılması

Utilization of steel slag as road base and subbase material

Yazar(lar) (Author(s)): Hüseyin KARADAĞ¹, Seyhan FIRAT², Nihat Sinan IŞIK³

ORCID¹: :0000-0002-0120-4342

ORCID²: 0000-0003-3649-0999

ORCID³: 0000-0002-5104-9504

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Karadağ H., Fırat S. ve Işık N.S., “Çelikhane cürufunun yol temel ve alttemel malzemesi olarak kullanılması”, *Politeknik Dergisi*, 23(3): 799-812, (2020).

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

DOI: 10.2339/politeknik.612190

Çelikhane Cürufunun Yol Temel ve Alttemel Malzemesi Olarak Kullanılması

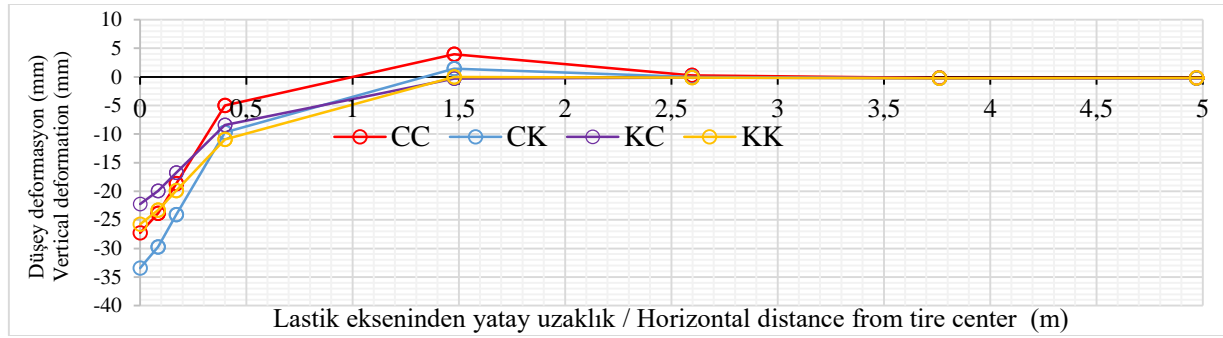
Utilization of Steel Slag as Road Base and Subbase Material

Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Çelikhane Cürufunun yol inşaatında kullanılması (Utilization of steel slag in road construction)
- ❖ Esnek yol üst yapısı (Flexible highway pavement)
- ❖ Çelikhane cürufunun mühendislik özellikleri (Engineering properties of steel slag)
- ❖ Yol üst yapısının dinamik analizi (Dynamic analysis of highway pavement)

Grafik Özet (Graphical Abstract)

Bu çalışmada çelikhane cürufunun yol üst yapısında kullanılabilirliği sonlu elemanlar analizi ile değerlendirilmektedir. / In this study, utilization of steel slag in flexible pavement is evaluated by using finite element analyses.



Şekil. Asfalt yüzeyinde oluşan düşey deformasyonlar /Figure. Rutting on the asphalt surface

Amaç (Aim)

Çelikhane cürufunun yol üst yapısında kullanılabilirliğini değerlendirmek / To evaluate the steel slag utilization in road construction.

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Çalışma kapsamında çelikhane cürufunun yol temel ve alttemelinde kullanılabilirliği sonlu elemanlar analizi ile değerlendirilmiştir. Toplam dört farklı yol kesiti dinamik olarak analiz edilmiştir. Çelikhane cürufunun deformasyon davranışı kırmataş ile karşılaştırılmıştır. / In this study, the utilization of steel slag in road base and subbase layers are evaluated by using finite element method. Four different road cross-section are analysed dynamically. Deformation behaviour of steel slag is compared to crushed stone.

Özgünlük (Originality)

Yol üst yapısının dinamik analizi, çelikhane cürufunun tekrarlı trafik yükleri altındaki deformasyon davranışı / Dynamic analysis of road pavement, deformation behaviour of steel slag under repetitive traffic loads

Bulgular (Findings)

Dört kesit analiz edilmiştir. Çelikhane cürufunun doğal agrega yerine yol granüler tabakalarında kullanılabileceği belirlenmiştir. En efektif sonuç alttemel tabakasında kullanılması durumunda elde edilmiştir. / Four different road cross-section are analysed. The results show that the steel slag can be used in unbound layers. The best result is obtained when steel slag used as subbase layer.

Sonuç (Conclusion)

Yol granüler tabakalarında çelikhane cürufunun doğal agrega yerine kullanılabileceği belirlenmiştir / The results show that the steel slag can be used in unbound layers of road instead of natural aggregate.

Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazarları çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The authors of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

Çelikhane Cürufunun Yol Temel ve Alttemel Malzemesi Olarak Kullanılması

Araştırma Makalesi / Research Article

Hüseyin KARADAĞ^{1*}, Seyhan FIRAT², Nihat Sinan IŞIK²

¹Aile Çalışma ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı, Türkiye

²Teknoloji Fakültesi, İnşaat Müh. Bölümü, Gazi Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 28.08.2019 ; Kabul/Accepted : 24.10.2019)

ÖZ

Endüstriyel üretim sonucu oluşan atıkların geri kazanımı veya farklı sektörlerde kullanılmak suretiyle değerlendirilmesi doğal kaynakların korunması adına günümüz teknolojileri için önemli bir konu olmuştur. 2014 yılı verilerine göre Türkiye’de çelikhane cürufunun ancak %41’i geri dönüştürülmektedir. Geri kalan çelikhane cürufu bertaraf edilmekte veya düzensiz depolanmaktadır. Bu çalışmada çelikhane cürufunun yol üst yapısında temel ve alttemel malzemesi olarak kullanılabilirliği değerlendirilmiştir. Çalışmada kontrol kesiti olarak kırmataş temel ve kırmataş alttemelden oluşan yol kesiti analiz edilmiştir. Çelikhane cürufu ise temel ve alttemelde olmak üzere birlikte ve ayrı ayrı kullanılmıştır. Toplam dört farklı yol kesitinin 400 kPa yük altında, 20.111 tekrarlı yükleme yapılarak iki boyutlu sonlu elemanlar metodu ile aksisimetrik analizleri gerçekleştirilmiştir. Cüruf dinamik kayma modülünü elde etmek için rezonant kolon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucu yol temel ve alttemel tabakalarında çelikhane cürufunun doğal agrega yerine kullanılabilmesi belirlenmiştir. Cürufun alttemelde kullanıldığı KC kesiti ise düşey deformasyonlar açısından en iyi sonucu vermiştir.

Anahtar Kelimeler: Çelikhane cürufu, sonlu elemanlar, temel, alttemel.

Utilization of Steel Slag as Road Base and Subbase Material

ABSTRACT

One of the important topic for the current technologies is to protect the natural resources by using industrial waste materials that are produced during industrial manufacturing. According to 2014’ statistics, only 41% of steel slag is recycled in Turkey. The remaining amount of steel slag produced in Turkey was disposed or stored in wild life. In this study, the utilization of steel slag in road base and subbase layers are evaluated by using finite element method. Deformation behaviour of steel slag is compared to crushed stone. Four different road cross-section are analysed by using axisymmetric finite element method. Analyses are carried out under 400 kPa wheel pressure for 20.111 cyclic loads. Steel slag deformation parameter was obtained by carrying out resonant column tests. The results show that the steel slag can be used in road base and subbase layers instead of natural aggregate. The minimum vertical deformation was obtained in the KC cross-section where the steel slag is used in the subbase layer.

Keywords: Steel slag, finite element, base, subbase.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

İnsanoğlunun doğa ile mücadele serüveni, sanayi devrimi ile birlikte çevre aleyhine ivmelenecek gelişim kaydetmiştir. İlk zamanlar ekonomik bir kavram temelinde, daha çok üretim ve daha çok tüketim şeklinde algılanan çarpık kalkınma anlayışı, ikinci dünya savaşı sonrasında teknolojik açıdan geri kalan dünyanın da sanayileşme ve kalkınma devresine girmesiyle adeta bir yarış haline giren doğal kaynakların hesapsız ve düzensiz tüketimi büyük çevre sorunlarını beraberinde getirmiştir.

Doğal kaynakların tüketilerek gelecek nesillerin yaşamının tehlikeye sokulmasıyla karşı karşıya kalınmıştır. Teknolojik gelişmelere paralel olarak artan arz ihtiyacının sınırlı doğal kaynaklardan karşılanması zorunluluğu, ekonomik anlamda sürdürülebilir uluslararası rekabetçi bir ulusal sektör yaratmak ve gelecek nesillere yaşanabilir bir dünya bırakmak için

çevresel faktörler dikkate alındığında, endüstriyel üretim sonucu atıkların geri kazanımı veya farklı sektörlerde kullanılmak suretiyle değerlendirilmesi günümüz teknolojileri için önemli bir konu olmuştur.

Doğal kaynakların ve enerjinin verimli kullanılmasını gerektiren endüstriyel süreçler arasındaki simbiyotik ilişki, sürdürülebilir endüstriyel faaliyetlerin başlıca yollarındandır. Bu bağlamda, hammadde kullanmak yerine bazı endüstriyel işlemlerin yan ürünleri girdi olarak diğer bazı endüstriyel işlemlerde kullanılmaktadır [1]. Böylece doğal kaynaklar korunarak, enerji ihtiyacı azaltılmış ve gelecek nesillere daha iyi bir çevre bırakılmış olunacaktır.

Dünya genelinde agrega üretimi % 58’lik pay ile tüm maden üretimi içinde birinci sıradadır. Avrupa’da ortalama agrega kullanımı 7 ton/kişi iken, bu rakam ülkemizde 4 ton/kişi civarındadır [2]. Karayolu inşaatı alt yapısında en çok kullanılan malzeme büyük çoğunluğu

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : karatagh@hotmail.com

taş ocakları ve dere yataklarındaki doğal kaynaklardan elde edilen agregadır.

Çelik üretiminde, yüksek fırın cürufu ve çelikhane cürufu bazik oksijen cürufu (BOF) ve elektrik ark fırın cürufu (EAF) yan ürün olarak ortaya çıkmaktadır. Entegre üretim yapan tesislerde bir ton çelik üretiminde yaklaşık 100–150 kg (% 10–15) çelikhane cürufu oluşmaktadır [3, 4]. Dünya genelinde yılda elli milyon ton çelikhane cürufu üretilmektedir [5]. Türkiye genelinde, 2014 yılında 5.4 milyon ton civarında çelikhane cürufu, açığa çıkmıştır [6]. Çelikhane cürufunun dünyadaki başlıca kullanım sahaları; asfalt agregası, dolgu malzemesi, çimento katkısı, zemin iyileştirme, demiryolu balastı, yol üstü yapı temeli, riprap malzemesinin yanı sıra çevre ve tarım alanındaki uygulamalardır [4, 7-10].

Bazik oksijen fırını (BOF) çelikhane cürufu genel olarak silt boyutundan çakıl boyutuna değişen dane boyutuna sahip iyi derecelenmiş bir malzemedir. Büyük ölçekli kesme kutusu deney sonuçlarına göre kritik içsel sürtünme açısı ve pik sürtünme açısı 43°'nin üstündedir. Elektrik ark fırın (EAF) cürufu kritik sürtünme açısı ise 40°'nin üstündedir [11].

Çelikhane cürufunun önemli bir bölümü inşaat mühendisliği alanında kullanılmaktadır. İnşaat mühendisliği alanındaki çelikhane cürufu kullanımını çimento ve beton sanayi, yol uygulamaları ile geoteknik uygulamalar olmak üzere üç başlığa ayrılabilir [11]. Çelikhane cürufunun yol yapımında kullanılması 1979 yılından beri Japon Endüstri Standardında yer almakta ve bu tarihten beri nakliye maliyetleri açısından ekonomik olan yerlerde yol temel ve sıcak asfalt karışımlarında kullanılmaktadır [4, 12].

Fırat vd., yaptıkları çalışmada kaolin kili, uçucu kül, çelikhane cürufu ve kireci belli oranlarda karıştırarak, optimum su muhtevasında hazırlayıp sıkıştırdıkları numunelere yapılan kompaksiyon, serbest basınç ve CBR deneylerinde karışım oranına bağlı olarak kompaksiyon, serbest basınç ve CBR değerlerinde önemli artış olduğunu gözlemlemişlerdir [13]. Yol altyapısında zemin iyileştirme malzemesi olarak kullanılması ile ilgili yapılan çalışmada ise çelikhane cürufunun yol alt tabakalarında kullanılabilirliği ve böylece atık olarak ortaya çıkan bu malzemenin değerlendirilerek ekonomiye katkı sağlayabileceği değerlendirilmiştir.

Çelikhane cürufu yol uygulamalarında hem bağlayıcı tabakalarda hem de bağlayıcısız granüle tabakalarda temel ve alttemel malzemesi olarak kullanılmıştır [11]. Marn ve kum gibi doğal agregaya değişen oranlarda çelikhane cürufu katılmasıyla oluşan karışımlarında %45'e varan CBR değerleri elde edilmiştir [14]. Yapılan çalışmalar elektrik ark fırın (EAF) cürufu esneklik modülünün doğal agregaya göre oldukça yüksek olduğunu göstermiştir. Düşük trafik hacmine sahip yollarda temel malzemesi olarak kullanıldığında yol maliyetini önemli ölçüde azaltmaktadır [15]. Çimento ile aktive edilmiş çelikhane cürufu doğal zemin karışımlarının yol tabanında kullanılması durumunda,

temel tabakasının daha ince seçilebilmesine olanak vermesine ve yol yapım maliyetini düşürebileceği görülmüştür [16].

Behiry deneysel ve numerik çalışmasında kireç taşına belli oranlarda çelikhane cürufu katılmasının CBR, maksimum kuru birim hacim ağırlığı ve rezilient modül değerlerinde artışlar sağladığını gözlemlemiştir. Optimum oran %70 çelikhane cürufu ve %30 kireç taşı karışım oranında elde edilmiştir. Çelikhane cürufu ilavesi tekerlek izi ve yükten 60 cm mesafeye kadar deformasyon değerlerinde azalma sağlamıştır [17].

Sas vd., yol yapımında alternatif malzeme olarak kullanılması amacıyla çelikhane cürufunun kimyasal ve geoteknik özelliklerinin belirlenmesi için yaptıkları çalışma kapsamında CBR deneyi, plaka yükleme deneyi ve kimyasal analizler gerçekleştirmişlerdir. Kimyasal testler çelikhane cürufu kimyasal bileşiminin yol uygulamaları için tehdit oluşturmayacağı yönünde sonuçlanmıştır. Laboratuvar ve saha deneyi sonuçlarından elde edilen CBR ve esneklik modülü (Mr) değerleri ise çelikhane cürufunun orta trafikteki yollarda alttemel ve yüzey kaplaması tabakalarında kullanılabilirliğini göstermiştir [18]. Sıcak asfalt karışımlarında daha yüksek optimum bitüm oranına rağmen doğal agrega ile karşılaştırıldığında çelikhane cürufu yüksek esneklik modülü ve düşük tekerlek izi değerleri nedeniyle sürdürülebilir esnek yol üst yapıları için alternatif bir malzemedir [19, 20]. Bir başka çalışmada, Asi vd.'nin çalışmasında çelikhane cürufunun kimyasal ve toksidik analizlerinin, malzemenin karayolu yapımında güvenle kullanılabilirliğini göstermiştir [21].

Ereğli demir çelik fabrikası cürufunun asfalt betonunda agrega olarak kullanılması için yapılan çalışmada marshall stabilite, indirekt çekme, rijitlik modülü, statik yüklemeli sünme sertliği deneyleri yapılmış ve çelikhane cürufunun bitümlü sıcak karışımlarının performansını kapsamlı olarak düzelttiği görülmüştür. Stabilite değerleri, indirekt çekme rijitlik modülü, statik yüklemeli sünme sertliği modülü sonuçları açısından doğal agregaya göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir [22].

Çelikhane cürufunun yol üst yapısında kullanılması ile ilgili yapılan çalışmalarda çelikhane cürufu karışımlarının aşınma ve taş mastik asfalt (TMA) tabakasında kullanılması durumunda kalıcı deformasyona direncinin doğal agregaya oranla % 35,1 daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Akma ve stabilite değerleri açısından Karayolları Teknik Şartnamesi (KTS 2013) içinde kaldığı belirlenmiştir [23, 24]. Çelikhane cürufu, hava tesirlerine karşı dayanıklılık, aşınma ve yassılık indeksi açısından da Karayolları Teknik Şartnamesinin temel ve alttemel ile ilgili sınır değerleri içinde kalmaktadır [23, 25-29].

Birçok bilimsel konuda olduğu gibi yol üst yapısının tasarımında da analitik çözümler bazen mümkün olmamakta veya fiziksel model için ideal analitik modelin kurulması her zaman kolay olmamaktadır. Bilgisayar teknolojisinin de gelişmesiyle problemlerin analitik çözümlerinin yüksek bir doğruluk derecesiyle

hesaplanmasını mümkün kılan sayısal yöntemler diğer bilimsel konularda olduğu gibi yol üstyapısının tasarımında da kullanılagelmiştir.

Bu çalışmada yol yapısı performansa dayalı deneysel yöntemler yerine yol alt ve üst yapılarının malzeme bünye modellerini dikkate alan, malzemelerde oluşan gerilmelere ve bu gerilmelerin trafik yükleri altındaki değişimini de hesaba katan deformasyon odaklı sayısal analizler yapılmıştır. Bu analizler için gerekli olan cüruf dinamik parametreleri ise rezonant kolon deneyleri ile elde edilmiştir. Bir adet kontrol kesiti ve cürufun farklı tabaklarda kullanıldığı üç farklı kesit analiz edilmiştir. Analizler sonuçları cüruf malzemesinin granüle temel ve alttemel tabaklarında tekrarlı trafik yükleri altında dinamik performans açısından doğal agrega yerine kullanılabilirliğini göstermiştir. Kesit analizlerine göre çelik cürufu alttemel malzemesi olarak kullanıldığında en iyi performansı göstermiştir.

2. MATERYAL (MATERIAL)

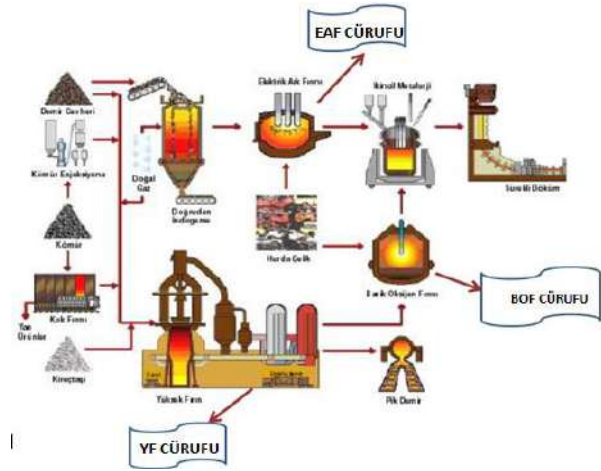
2.1. Çelikhane cürufu (Steel Slag)

Çelik üretim sürecinde yüksek fırın cürufu ve çelikhane cürufu olmak üzere iki tür cüruf yan ürün olarak ortaya çıkmaktadır. Yüksek fırın cürufu, yüksek fırında (YF) demir cevherinin indirgenerek sıvı ham demir elde edilmesi esnasında, cüruf yapıcı elementlerin oksitlenerek, sıcak maden üzerinde toplanmasıyla oluşur. Çelikhane cürufu ise, çelik üretiminde, elektrik ark ocağı (EAO), İndüksiyon Ocağı (İO) veya Bazık Oksijen Fırınında (BOF) metal eriğin rafinasyon ve oksitlenmesi sırasında oluşur.

Yüksek Fırın Cürufu dünyada olduğu gibi Türkiye’de de çimento sanayi, hazır beton gibi pek çok alanda kullanılmaktadır. KGM bünyesinde “Elektrik Ark Fırını İle Çelik Üretiminde Elde Edilen Cürufun Yol Yapımında Kullanımı, Performansı ve Mevzuat Altyapısının Oluşturulması” isimli proje tamamlanmıştır. İzmir Büyükşehir Belediyesi bünyesinde elektrik ark fırını (EAF) cürufunun karayolu alt temel tabakasında kullanılması ile ilgili uygulama çalışmaları yapılmaktadır. Ancak çelik üretiminde bazık oksijen

fırınından (BOF) elde edilen çelikhane cürufu ile ilgili kullanım ve çalışmalar ülkemizde henüz istenen seviyede değildir.

Entegre üretim yapan tesislerde akım şeması ve ortaya çıkan cüruf atıklar Şekil 1’de görülmektedir. Yüksek fırından ergimiş halde elde edilen sıvı pik demir çelik üretim sürecine katılmak üzere bazık oksijen fırınına aktarılır. Burada safsızlıkları giderilerek çelik halini alırken, atık malzeme olarak Çelik (BOF) Cürufu oluşur.



Şekil 1. Çelik üretim aşamaları ve cüruf oluşumu (Steel production process and slag formation) [3]

Çelikhane cürufunun parke, bordür, yağmur oluğu, hazır beton ürünleri, granüle ürünler, raspa kumu, asansör ve beyaz eşya denge ağırlığı, asfalt agregası, alt ve üst temel malzemeleri ve muhtelif ebatlarda dolgu malzemesi olarak geri kazanımı yapılmaktadır. Geri kazanıma gönderilemeyen çelikhane cürufu, yeterli alanı bulunan kuruluşlar tarafından, tesis içerisinde geçici depolanmakta, alanı uygun olmayan tesisler tarafından ise, düzenli depolama alanında bertaraf edilmektedir. Çizelge 1’de 2014 yılında Türkiye’de üretilen çelikhane cürufunun kullanım miktarları ve geri kazanım miktarları yer almaktadır.

Çizelge 1. Çelikhane cürufunun üretim-geri kazanım miktarları (Production and recycling amounts of steel slag in Turkey) [6]

İl	Çelikhane Cürufu	Atık/Bertaraf	Geri Kazanım	Geri Kazanım (%)
Kocaeli	874.327,00	494.117,00	380.210,00	%43,50
Bursa	35.500,00	7.500,00	28.000,00	%78,90
Tekirdağ	132.000,00	47.000,00	85.000,00	%64,40
Çanakkale	459.343,00	50.529,00	408.814,00	%89,00
Bilecik	8.400,00	4.000,00	4.400,00	%52,40
İzmir	490.580,00	182.907,00	307.673,00	%62,70
Zonguldak	449.848,00	261.327,00	188.521,00	%41,90
Karabük	266.760,00	0,00	243.540,00	%91,30
Samsun	150.206,00	150.206,00	0,00	%0,00
Osmaniye	619.819,00	608.745,00	11.074,00	%1,80
Hatay	1.131.695,00	901.155,00	230.540,00	%20,40

Yol inşaatlarında kullanılan agregaların maliyetindeki en önemli unsur nakliye maliyetleridir. Ancak endüstriyel atıkların kullanılmasının ekonomik açıdan doğal agregaya göre avantaj ve dezavantajı değerlendirildiğinde tek başına edinim ve nakliye bedellerinin hesaplanması yetersiz bir değerlendirme olacaktır. Çünkü bu atıkların bertaraf edilmesi veya depolanması için katlanılacak maliyetlerin de değerlendirilmesi gerekmektedir. Doğal kaynaklardan tasarruf sağlanarak gelecek nesillere de kullanabilecekleri doğal kaynaklar bırakılması suretiyle sürdürülebilir bir endüstri ve sürdürülebilir bir çevre politikası sağlanması da büyük resimde görülmesi gereken diğer faktörlerdir. Sürdürülebilirlik; çevresel, ekonomik ve sosyal sürdürülebilirlik olmak üzere üçlü sacayağı olan bir yapıdır [30].

2.2. Çelikhane cürufunun Kimyasal Özellikleri (Chemical Properties of Steel Slag)

Çelikhane sıvı pik demir içindeki istenmeyen elementlerin oksitlenme yoluyla giderilmesi için sıcak metal ve hurdaya yardımcı hammadde olarak yanmış kireç (CaO), kireçtaşı (CaCO₃), dolomit [CaMg(CO₃)₂] gibi cüruf yapıcı malzemeleri ilave edilir [31]. Çelikhane cürufunda bulunan başlıca bileşikler; CaO, MgO, MnO, SiO₂, Al₂O₃, FeO ve Fe'dir.

Çizelge 2 ve Çizelge 3'de çelik üretim sürecinde kullanılan yöntemle ilgili olarak ortaya çıkan bazik oksijen fırın (BOF) cürufu ve elektrik ark fırın (EAF) cürufunun literatürdeki verilere göre kimyasal bileşimi görülmektedir [32].

Çizelge 2. BOF cürufu kimyasal bileşimi (Chemical composition of BOF slag) [32]

Referans	% Oksit kompozisyonu									
	CaO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	MgO	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	P ₂ O ₅	TiO ₂	Serbest CaO
Yi vd.	45-60	1-5	10-15	3-13	3-9	7-20	2-6	1-4	-	-
Belhadj vd.	40-45	1-2	8-13	4-8	28-32	-	2-4	1-2	0,5-1	-
Ameri vd.	50-57	0,7-1,4	9-11	1-2	10-13	-	4-5	2,3-3,2	-	-
Zhu vd.	40-58	2,3-4,9	12-16	6-9	17-28	-	-	1,4-1,8	-	-
Li vd.	41-43	2,7-2,9	19-20	5-6	7-8	11-13	-	-	-	-
Wang	35-41	2,4-3	12-18	8-11	-	-	4-5	0,5-0,8	-	-
Wang vd.	30-55	1-6	8-20	5-15	-	10-35	2-15	0,2-3	0,4-2	-
Mahieux vd.	47-50	2	11,8	6,3	22,6	-	1,9	2,7	0,50	-
Shen vd.	39,3	0,98	7,75	8,56	38,06	-	4,24	-	0,94	-
Shen vd.	30-55	1-6	8-2	5-15	-	10-35	2-8	0,2-2	0,4-2	-
NSA 2008	41,3	2,2	15,6	6,9	-	-	8,9	-	0,50	3,3
Nicolae	40,1	2,04	17,8	6,32	6,58	12,92	6,52	1,33	-	3,9
Das vd.	47,88	1,22	12,16	0,82	-	26,30	0,28	3,33	-	-
Chaurand vd.	41,3	2,40	12,5	4,30	31,2	-	6,1	1,1	0,80	-
Xue vd.	45,41	3,8	13,71	6,25	3,24	21,85	3,27	1,42	-	-
Reddy vd.	53,3	1,3	15,3	1,1	-	-	0,39	3,1	-	-
Tossavainen vd.	45	1,9	11,1	9,6	10,9	10,7	3,1	-	-	-
Poh vd	40-52	1-4	10-15	5-8	9-10	13-17	2-5	0,9-1,3	0,5-0,7	3-10

Çizelge 3. EAO cürufu kimyasal bileşimi (Chemical composition of EAF slag) [32]

Referans	Oksit kompozisyonu (%)									
	CaO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	MgO	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	P ₂ O ₅	TiO ₂	Serbest CaO
Yi vd	30-50	10-18	11-20	8-13	5-6	8-22	5-10	2-5	-	-
Pasetto ve Baldo	29,60	9,30	13,02	3,65	-	32,84	5,09	-	0,35	-
Wang vd	35-60	2-9	9-20	5-15	-	15-30	3-10	1-2	-	-
Lekakh vd	32,10	8,60	19,4	9,4	-	-	6,8	-	0,4	-
Tsakiridis vd	35,70	6,25	17,53	6,45	26-36	-	2,5	-	0,76	-
Nicolae	40,78	4,23	17,81	8,53	3,97	9,25	9,79	0,74	-	-
Tossavainen vd	45,50	3,70	32,20	5,2	1	3,3	2	-	-	-
Tossavainen vd	38,80	6,70	14,10	3,9	20,3	5,6	5	-	-	-
Manso vd	23,90	7,40	15,30	5,1	-	-	4,5	-	-	-
Manso vd	23-32	3,50-7,00	8,15	4,8-6,6	11-40	7-35	2,50-4,5	-	-	0,45
Shi	35-60	2-9	9-20	5-15	-	15-30	3-8	0,01-0,25	-	0-4

Çizelgelerden de görüldüğü gibi kimyasal içerik benzer olmakla birlikte yüzde ağırlık oranları araştırmacıya ve

üretim biçimine (BOF, EAF) göre kısmen değişmektedir. Kimyasal içeriği belirleyen başlıca faktörler; üretim

biçimi, saflaştırma amacıyla üretime giren cüruf yapıcı malzeme, kullanılan hurda çelik olarak sayılabilir. FHWA'nın FHWA-RD-97-148 numaralı yayınına göre

üretim tarzından bağımsız olarak çelikhane cürufunun tipik kimyasal bileşimi Çizelge 4'de ki gibidir [33].

Çizelge 4. Çelikhane cürufunun Kimyasal kompozisyonu (Chemical composition of steel slag)

Bileşik (%)	CaO	SiO ₂	FeO	MnO	MgO	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	S	Fe
	40 – 52	10 - 19	10 – 40)	5 - 8	5 - 10	1 - 3	0,5 - 1	< 0,1	0,5 - 10

Yukarıda da belirtildiği gibi her bir bileşik geniş bir aralık göstermektedir. Çelikhane cürufunun yaklaşık %90'ı CaO, MgO, SiO₂ ve FeO, oksitlerinden oluşmaktadır. Hacim stabilitesi açısından cürufun yol yapımında kullanılmasına etki eden en önemli faktör CaO, MgO oksitleridir [18, 34]. Bu nedenle yol yapımında kullanılacak cürufun kimyasal içerikleri mutlaka belirlenmelidir. Arazideki şartlara göre kimyasal analiz değerlendirilmeli ve hangi arazi ve iklim koşullarında kullanılacağına ilişkin teknik değerlendirme mutlaka yapılmalıdır. Özellikle şişme potansiyeli açısından CaO, MgO oksitlerinin değerlendirilerek gerekirse yaşlandırma prosesinden sonra kullanılmalıdır. Yapılan araştırmalar MgO oksidinin hidratasyon hızının daha düşük olduğunu ortaya koymaktadır. Bu yönüyle cüruftaki MgO oksidinin şişme potansiyeli ve test süreleri ön plana çıkmaktadır. %10 kadar C sınıfı uçucu kül ilavesi hem BOF hem de EAF cüruflarının şişme potansiyelini önemli ölçüde sınırladığı gibi

mukavemet özelliklerini de arttırdığı ortaya konulmuştur [11].

2.3. Çelikhane cürufu Fiziksel Özellikleri (Physical Properties of Steel Slag)

Yol üst yapısında kullanılan granüle malzemeler tekrarlı trafik yükleri ve belli iklim koşullarına maruz kalırlar. Hem trafik yüklerinden kaynaklı dış yüklere hem de iklim koşullarından kaynaklı ısınma-soğuma, donma-çözülme gibi etkilere karşı yeterli mukavemeti göstermek zorundadır. Bunun için yol üst yapısında kullanılan granüle malzemelerin hacim stabilitesi, aşınma dayanımı, hava tesirlerine dayanıklılık, su emme vb. özellikler açısından belirli değerlere sahip olması gerekmektedir. Çizelge 5'te karayolunda kullanılan granüle malzemelerin sahip olması gereken fiziksel özellikler açısından çelikhane cürufunun FHWA tarafından belirlenmiş temel fiziksel özellikleri yer almaktadır [33]

Çizelge 5. Çelikhane cürufunun genel özellikleri (General properties of steel slag) [35]

Çelikhane cürufunun fiziksel özellikleri	Değer
Los Angeles Aşınma (ASTM C131), %	20 - 25
Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık Deneyi (ASTM C88), %	<12
İçsel sürtünme açısı	40° - 50°
Kalifornia Taşıma Oranı (CBR), % en büyük boyut 19mm)**	300'e kadar
Sertlik (Moh skalası)*	6 - 7
*Dolomit sertliği 3-4	

Yapılan literatür taramalarında çelikhane cürufunun fiziksel özellikleri açısından doğal agrega ile benzer mukavemet ve özelliklere sahip olduğu görülmüştür. Çelikhane cürufunun fiziksel özellikleri için belirlenen

bazı değerler Karayolları Teknik Şartnamesindeki değerlerle karşılaştırmalı olarak Çizelge 6'da yer almaktadır.

Çizelge 6. Çelikhane cürufu fiziksel özellikleri (Physical properties of steel slag)

Test	Granit	Çelikhane cürufu [32]	ASA [7]	KTŞ [36]		BSK [37]
				Alttemel	Temel	Aşınma
Los Angeles aşınma %	9,80	9,80	12-18	≤45	≤35	≤30
Yassılık indeksi %	19,00	4,00		≤30	≤25	≤30
Hava tesirlerine karşı dayanıklılık %	5,20	ND	<4	≤25	≤20	≤16
Parlaklık/cilalama değeri %	52,70	56,60	58-63			≤50
Su emme %	0,51	1,20	1-4	≤3,50	≤3,00	≤2,00
Soyulma deneyi %		>95				≤50

Çizelge 5 ve Çizelge 6 birlikte değerlendirildiğinde çelikhane cürufunun aşınma, hava tesirlerine karşı

dayanıklılık, su emme, gibi fiziksel özellikler açısından Karayolları Teknik Şartnamesi için belirlenen değerleri

sağladığı, temel ve alttemel malzemesi olarak kullanılabilirliğini göstermektedir.

2.4. Çelikhane cürufu Mekanik Özellikleri (Mechanical Properties of Steel Slag)

FHWA tarafından desteklenen Joint Transportation Research Programı çerçevesinde çelikhane cürufunun zemin uygulamalarında kullanılması amacıyla hazırlanan 2009/32 sayılı raporda çelikhane cürufunun; özgül

ağırlığının 3.29-3.34 aralığında, optimum su içeriğinin %4-%8, kuru birim hacim ağırlığının 19.5-21.8 kN/m³, %90 rölatif kompaksiyon numunesi üzerinde 100 kPa hücre basıncında yapılan konsolidasyonlu drenajlı üç eksenli deney verilerine göre kritik içsel sürtünme açısının da 45° olduğu görülmüştür [11]. Çizelge 7’de farklı araştırmacılar tarafından belirlenmiş çelikhane cürufunun içsel sürtünme açısı değerleri yer almaktadır.

Çizelge 7. Çelikhane cürufunun mekanik özellikleri (Mechanical properties of steel slag)

Çelikhane cürufunun Mekanik Özellikleri	FHWA [33]	Perzi& Yıldırım [11]	Moghaddam (2011) [38]	Noureddin& McDaniel [39]
İçsel sürtünme açısı	40°- 50°	40°-50°	46°-57°	40°-50°
Kalifornia taşıma Oranı (CBR), en büyük boyut 19mm	%300’e kadar		26	% 300’e kadar

Çelikhane cürufu doğal agregaya göre oldukça yüksek kesme dayanımına sahiptir. Bunun başlıca nedeni pürüzlü doku, köşeli dane yüzeyi ve çok farklı çapa sahip danelerin varlığı sayılabilir [11]. CBR değerleri ise

%300’e kadar çıkmaktadır. Çizelgede 8’de Yonar tarafından yapılan çalışmada çelikhane cürufu değerleri ve KTŞ 2013 limitleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir [23].

Çizelge 8. CBR sonuçları ve KTŞ 2013 limitleri (CBR results of steel slag and limits of technical specification) [23]

Tabaka	KTŞ 2013 Limit	Doğal Agregaya	Çelikhane cürufu
Alttemel Tip A	≥30	93	126
Alttemel Tip A	≥50	93	142
Temel Tip A	≥100	130	147
Temel Tip B	≥100	89	117
Temel Tip C	≥100	107	140
PMT Tip I	≥120	121	135
PMT Tip II	≥120	90	127

Veriler çelikhane cürufunun KTŞ 2013 limit değerlerini sağladığını ve doğal agregadan daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymaktadır.

2.5. Çelikhane cürufu Kullanım Alanları (Utilization of Steel Slag)

Almanya’da 1998 yılında üretilen çelik cürufuların yaklaşık %97’si yüksek trafikli yollarda kaplama tabakası, temel, alttemel yol yapımı, su yapılarında anroşman ve diğer toprak işlerinde kullanılmıştır. Uzun

süredir devam eden başarılı deneyime bağlı olarak, çelik cüruf ürünleri Avrupa Atık Listesi ve Avrupa Birliği Atık Düzenlemesinden kaldırılmıştır [5]. Yüksek Fırın Cürufu dünyada olduğu gibi Türkiye’de de çimento sanayi, hazır beton gibi pek çok alanda kullanılmaktadır. Ancak entegre tesislerden elde edilen çelikhane cürufu ile ilgili kullanım ve çalışmalar ülkemizde sınırlıdır [40, 41]. ABD’de 2003-2009 yılları arasında çelikhane cürufunun kullanıldığı alanlar Çizelge 9 görülmektedir [10].

Çizelge 9. ABD’de çelikhane cürufunun kullanımı (Steel slag utilization in USA) (2003-2009)

Kullanıldığı Alanlar	Çelikhane cürufu Kullanımı, %						
	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Beton Asfalt	17,00	12,90	15,60	12,10	14,40	10,90	8,20
Yol üstyapı temeli	46,40	63,50	53,00	51,00	51,30	60,30	59,90
Dolgu	11,00	9,60	10,50	17,90	13,30	10,80	12,70

Çizelge 9 (Devam). ABD’de çelikhane cürufunun kullanımı (Steel slag utilization in USA) (2003-2009)

Klinker Hammaddesi	5,40	5,50	6,90	6,90	6,70	5,00	2,20
Balast, çatı malzemesi, mineral yünü v.b	2,50	2,90	2,30	0,80	2,30	0,50	0,50
Diğer belirtilmeyen alanlar	17,60	5,60	11,70	11,30	12,00	12,50	16,50
Toplam	99,90	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Dünyadaki uygulamalar açısından çelikhane cürufu birçok inşaat mühendisliği uygulamasında kullanılan bir malzemedir. Avrupa'da üretilen çelikhane cürufunun yalnızca % 13'ü nihai depolamaya gitmektedir. Avustralya'daki başlıca kullanım alanları ise yüzey kaplama, asfalt agregası, temel ve alttemel malzemesi, dolgu malzemesi, drenaj, kuşlama vb. uygulamalardır [8].

Yüksek fırın cürufu ile karşılaştırıldığında bazik oksijen fırın (BOF) cürufunun kullanımı Türkiye'de henüz yetersiz seviyededir ve bu durum Erdemir gibi bazı büyük çelik üreticilerini cüruf depolama sorunuyla karşı karşıya kalmalarına neden olmaktadır. Türkiye Demir Çelik Üreticileri Derneği verilerine göre, Türkiye'de üretilen çelikhane cürufunun sadece %40'ı geri dönüşüm malzemesi olarak kullanılmaktadır (bkz. Çizelge 1) [6].

3. ESNEK YOL ÜST YAPISI (FLEXIBLE PAVEMENT)

Yol gövdesi altyapı ve üstyapı olmak üzere iki kısımdan oluşur. Altyapı yarma ve dolgulardan oluşmaktadır. Üstyapı ise, trafik yüklerini zeminine dağıtan, kaplama, temel ve alttemel tabakalarından oluşan tabakalı bir sistemdir. Bir üstyapı yapılmadan önce altyapı, üstyapıya istenen destek sağlayacak şekilde, şartnamelere uygun olarak hazırlanır. Üstyapının performansı taban zemininin fiziksel özellikleri ve durumu ile doğrudan ilintilidir. Yol üstyapısı, trafik yüklerinin ve doğal şartların etkisi altındadır. Trafik yükleri, taşıtların hareketleri sırasında radyal çekme ve basınç gerilmeleri ile düşey basınç gerilmeleri oluşturur. Deformasyonların şiddeti ve mertebesi, dingil yüklerinin büyüklüğü ve tekrar sayısı ile doğrudan orantılıdır [42, 43].



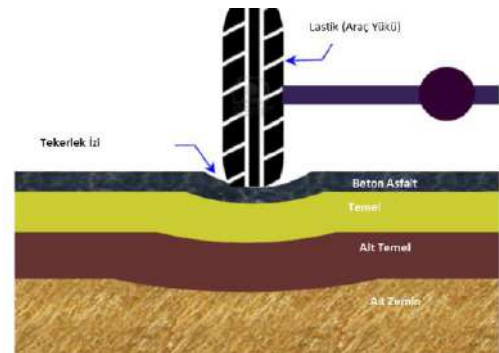
Şekil 2. Yolda oluşan tekerlek izi (Rutting in flexible pavement) [45, 46]

Yol üstyapı şartnamelerinde, elastik teoriyi esas alan esneklik modülü değeri dikkate alınarak üstyapılar projelendirilmektedir. Bu yöntemde malzemelerin doğrudan mukavemeti yerine tekrar eden yükler altında elastik modülü/resilient modül tayin edilmektedir. Üstyapı malzemeleri normal olarak elastik değildir ve her yük tekrarından sonra bir miktar plastik (kalıcı) deformasyon gösterirler. Bununla beraber, eğer trafik yükü malzemenin mukavemetine nazaran küçük ise,

Karayolu üst yapılarını üç temel kategoride toplamak mümkündür. Bunlar kullanılan üst yapı kaplama malzemesine bağlı olarak; asfalt kaplamalı esnek üst yapılar, beton kaplamalı rijit üst yapılar, kaplama tabakası olarak asfalt ve beton tabakasının birlikte kullanıldığı kompozit üst yapılarıdır. Bir esnek yol üst yapısı tipik olarak 2,5-25 cm kalınlığında asfalt karışım veya beton asfalt kaplama tabakası, 10-30 cm temel tabakası ve 10-50 cm kalınlığında alttemelden oluşur. Alt temel ise fiziksel/mechanik özellikleri iyileştirilmiş doğal zemin üzerinde yer alır. Her bir katmanın kalınlığı doğal zemin, iklim koşulları, kullanılan malzemelerin mühendislik özellikleri, dingil yükü ve tekrar sayısı ile yol proje ömrü gibi etkenlere bağlıdır [44].

Tüm dünyada ve ülkemizde yol üst yapılarının performans odaklı dizaynında, ASSHTO tarafından 1960'lı yıllarda geliştirilen ampirik yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemde performansı etkileyen faktörler; iklim şartları, kullanılan granüle malzemenin fiziksel özellikleri ile göreceli mekanik özelliklerinin esas alındığı CBR değerleri, bitümlü malzemenin stabilite değerlerini ölçmeye yönelik Marshall deneyi verileri, yeraltı suyunun durumu, alt taban malzemesinin indeks özellikleri ile diğer çevre şartları göz önüne alınarak değerlendirilmiştir. Kullanılan temel performans göstergeleri ise tekerlek izi değerleri ve çevre şartları ile dingil yükleri altında kaplama ve diğer üstyapı tabakalarında meydana gelen kırılmalar esas alınmıştır [45].

Esnek yol üst yapıları için en temel sorunlardan birincisi, dinamik trafik yükü kaynaklı, temel ve alttemel tabakalarında meydana gelen deformasyonların sebep olduğu tekerlek izidir (Şekil 2). Diğerleri ise yüzey çatlaklarıdır[46].



belirli miktarda yük tekrarından sonra malzeme elastik davranış göstermeye başlar [42].

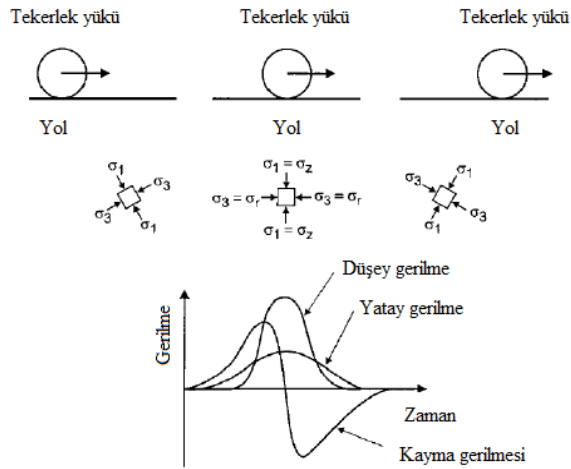
Doğrusal elastik davranan malzemelerde gerilme-şekil değiştirme ilişkisi Hooke Yasası gereği doğrusal kabul edilmektedir. Gerilme şekil değiştirme oranı doğrusal elastik aralıkta sabit olup malzemenin Young modülü (Elastik modül) olarak tanımlanır. Ancak doğadaki birçok malzemede olduğu gibi yolda kullanılan bağlayıcısız granüle malzemelerde oluşan deformasyonlar elastik ve plastik olmak üzere iki

kısımdan oluşmaktadır. Elastik deformasyonlar yük etkisi kalktıktan sonra geri döndürülebilir tersinir deformasyonlardır. Plastik deformasyonlar ise yük etkisi kalksa bile malzemede oluşan kalıcı deformasyonlardır.

3.1. Yol Üstyapısında Deformasyonlar (Deformations of Road Superstructure)

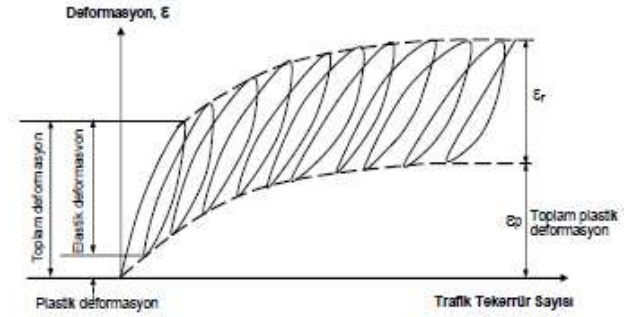
Yol yüzeyinde oluşan deformasyonlar; asfalt tabakası, granüle temel ve alttemel tabakaları ile doğal veya iyileştirilmiş zemin tabakalarında oluşan deformasyonların toplamıdır. Bu tabakalarda oluşan plastik deformasyonların toplamı asfalt tabakasının yüzeyine tekerlek izi olarak yansır.

Dinamik ve değişken tekerlek yükleri altında olan yol üst yapılarında oluşan yatay ve düşey gerilmeler ile kayma gerilmelerinin yönü ve büyüklüğü Şekil 3'te görüldüğü gibi sürekli değişir [47, 48]. Şekil 3'te granüle tabakada; düşey gerilmenin yatay gerilmeye daha düşük olduğu bölgede tekerlek geçişi sırasında yanıl genişleme oluşmakta, düşey gerilmenin yatay gerilmeye büyük olduğu bölgede ise basınç oluşmaktadır. Farklı dingil yükleri sırasında zeminde oluşan gerilme izleri sürekli değişkenlik göstermekte ve buda yolda en sık rastlanan iki durum olan tekerlek izi ve malzeme yorulmasından kaynaklı çatlakları tetiklemektedir [49]. Yolda oluşan hasarların doğru tahmini, ancak arazide oluşan yüklenme durumu ve gerçeğe en yakın malzeme bünye modeli ile mümkün olacaktır.



Şekil 3. Tekerek yükü altında oluşan gerilmeler (Stress distribution under a wheel) [48]

Granüle malzemelerde tekrarlı basınç gerilmelerinden oluşan deformasyonlar Şekil 4'te görüldüğü üzere elastik ve plastik olmak üzere iki bileşenden oluşur [42]. Elastik veya başka bir ifade ile rezilient deformasyonlar geri döndürülebilir deformasyonlar olup yük etkisi kalktığında deformasyonlar da ortadan kalkar. Plastik deformasyonlar ise yük etkisi kalksa bile deformasyonlar kalıcıdır ve geri döndürülemezdir.



Şekil 4. Tekrarlı yükler altında oluşan şekil değiştirmeler (Deformations under repetitive wheel load) [42]

Yüklemeye oluşan elastik deformasyon yük etkisi kalktıktan sonra tekrar sıfırlanır. Bu şekilde her bir yük tekrarı zamanla asfalt tabakasında yorulmaya neden olur ve sonuçta asfalt tabakasında çatlama ve kırılmalara neden olur. Tekrarlı trafik yükleri altında oluşan plastik deformasyonlar ise zamanla asfalt yüzeyinde tekerlek izi olarak adlandırılan çökmelere neden olur [46]

4. YÖNTEM (METHOD)

Yol üstyapılarının en yaygın kullanılanı esnek yol üst yapılarıdır. Esnek yol üst yapılarının yanı sıra portlant çimento esaslı rijit beton yol üst yapısı ve bu ikisinin karışımı olan kompozit yol üst yapıları kullanılmaktadır.

Esnek yol üstyapısının analiz ve dizaynı önceki bölümlerde de anlatıldığı üzere; yol testlerine dayalı ampirik dizayn, limit kayma dayanımına dayalı analiz, belli bir deformasyon seviyesi ile sınırlandırılmış limit deformasyon metodu, yol testleri veya performansına dayalı regresyon metodu, mekanistik-ampirik metot olarak sıralanabilir [44].

Günümüzde kullanılan yol analiz metotlarının çoğu ampirik veya yarı ampirik yöntemlerdir. Amerikan Devlet Karayolu ve Ulaştırma Ofisi (AASHTO) tarafından 1960'lı yıllardan itibaren geliştirilen ampirik yöntemler günümüze kadar dünyadaki pek çok ülkede küçük değişiklikler ile kullanılmaktaydı. Federal Karayolu İdaresi'nin (FHWA) sponsorluğunda 2004 yılında tamamlanan I-37A proje numaralı Ulusal İşbirliği Otoyol Araştırması Programı, Mekanik-Ampirik Karayolu Tasarımının (MEPDG) ilkelerini belirleyerek ampirik dizayndan mekanistik-ampirik dizayna geçişin başlangıcını oluşturmuştur [50].

Yol üst yapıları trafik yükleri ve doğal şartlardan kaynaklı yüklere maruz kalmaktadır. Trafik yükleri, aracın hareketi nedeniyle yol üstyapısı tabakalarında radyal çekme ve basınç gerilmelerine sebep olur. Trafik yüklerinden kaynaklı yol üst yapısındaki gerilme seviyesi ve dağılımı, dingil yüklerinin şiddeti ve tekrar sayısı ile doğrudan ilişkilidir. Trafik yüklerine ilave olarak, yol üstyapısının davranışı kullanılan malzemenin mukavemet ve deformasyon karakteristikleri, sıcaklık, nem, yeraltı suyuındaki değişim, don vb. çevresel koşullar ile ilgilidir.

Granüle malzemeler ve diğer zeminler belli bir birim deformasyon limitinden sonra lineer olmayan davranış sergilerler. Zeminlerin deformasyon modülleri zemindeki gerilme seviyesine bağlı olarak değişir. Ayrıca birçok araştırmacı, depremler ve benzeri tekrarlı dinamik yükler altındaki zeminlerin küçük gerinim seviyelerindeki deformasyon modüllerini geleneksel test yöntemlerinden elde edilen deformasyon modüllerine göre daha yüksek elde etmiştir.

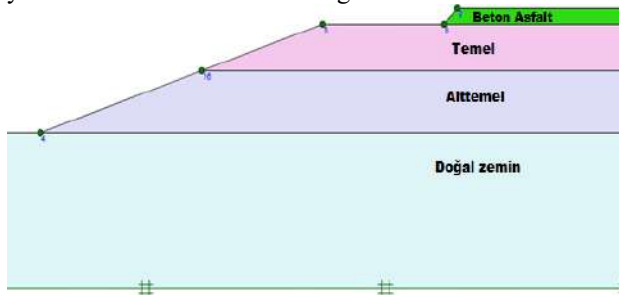
Günümüzde mevcut birçok bilgisayar programı yol esnek yol üstyapısının maruz kaldığı yükleri ve bu yükler altındaki deformasyon karakteristiklerini hesaplayabilecek kapasite ve özelliktedir. Dinamik yüklerin bilgisayar ortamında simülasyonu, yol yapısının farklı gerilme seviyelerindeki deformasyon karakteristikleri, farklı nem koşulları modellenile bilinmektedir.

Birçok araştırmacı tarafından ortaya konulduğu üzere zeminlerin tekrarlı dinamik yükler altındaki gerilme-gerinim davranışı statik yükleme koşullarından çok farklıdır. Zeminlerin tekrarlı yükler altındaki temel davranış karakteristikleri; gerilme seviyesine bağlı deformasyon modülü, yeniden yükleme durumundaki davranış farklılığı, histerik sönmülemekten kaynaklı enerji kaybı vb. özelliklerdir.

Yol üstyapısındaki ana problemlerden biri, farklı dingil yükleri ve frekanslardaki tekrarlı yüklemekten kaynaklı yoldan oluşan tekerlek izidir. Diğer taraftan tekrarlı tekerlek yükleri altındaki yol üstyapılarının tepkisini analiz etmede sonlu elemanlar analizi son zamanlarda çokça kullanılan bir yöntem olmuştur. Bu çalışmada da esnek yol üstyapısının deformasyon davranışını analiz etmede bu yöntem kullanılmıştır.

4.1. 2D Fiziksel ve Sayısal Model (2D Physical and Numerical Model)

Geleneksel esnek yol üstyapıları sıcak asfalt karışımından oluşan koruyucu üst tabaka (HMA) ve bu üst tabakayı destekleyen granüle temel ve alttemelden oluşan çok tabakalı sistemlerdir (Şekil 5). Bu üst yapı yeterli taşıma gücüne sahip bir zemin tabakası üzerine inşa edilir. Zemin mukavemetinin yeterli olması veya trafik yüklerinin düşük olması durumunda temel ve alttemel tabakası birleştirilerek tek tabaka halinde de olabilmektedir. HMA tabakasının temel amacı yol üstyapısını olumsuz dış faktörlerden korumak; yeterli drenaj, gürültü kontrolü, yeterli sürtünme sağlayarak gerekli sürüş konforu sağlamak; esnek tepki sayesinde yolun uzun ömürlü olmasını sağlamaktır.



Şekil 5. Tipik yol üst yapısı kesiti (Conventional road cross-section)

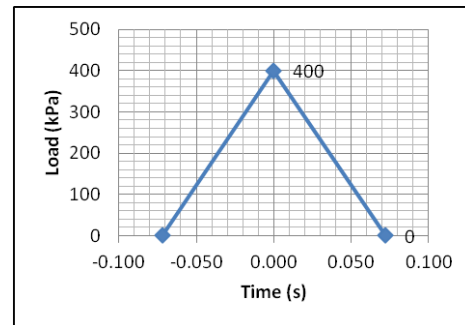
Yol üstyapısının herhangi bir noktasındaki gerilmenin aracın hızına ve elastik teoriden de bileneceği üzere noktanın derinliğine ve bağlı olacaktır. Basınç dağılımı ise haversine fonksiyon şeklindedir [44, 51]. Basitleştirilmiş yöntemle göre gerilme yoğunluğunun zamana göre dağılım fonksiyonu Eşitlik 1'de verilmiştir [44].

$$L(t) = q \sin^2\left(\frac{\pi}{2} + \frac{\pi t}{d}\right) \quad (1)$$

Yukarıdaki eşitlikte yer alan d basınç darbesinin süresi olup aracın hızına (s) ve lastik temas yarıçapına (a) bağlı olup Eşitlik 2'deki gibi ifade edilebilir. Eşitlikteki q ise $t=0$ anındaki maksimum yük yoğunluğudur ve haversine dağılıma göre $t=0$ anında önce ve sonra zamana bağlı olarak azalacaktır.

$$d = \frac{12a}{s} \quad (2)$$

Sayısal modelde haversin yükün temsil edilmesi için her yükleme adımı için en az altı alt adım gereklidir. Ancak dinlenme süresi olmayan üçgen yük darbesi için sadece iki alt adım yeterlidir. Daha düşük depolama kapasitesine ihtiyaç duyulduğundan ve daha az alt adım gerektirmesi nedeniyle hesaplama süresinin düşürülmesine fırsat verdiği için haversine yük yerine üçgen yük tercih edilmiştir. Şekil 6'da 400 kPa büyüklüğünde ve 0,144 saniyelik yükleme süresine sahip üçgen yük atımı görülmektedir.



Şekil 6. 400 kPa üçgen yük atımı (Triangular load distribution for 400 kPa)

Literatürdeki birçok çalışmada beton asfalt doğrusal elastik malzeme olarak modellenmiştir. Ancak Wang ve Al-Qadi; asfalt betonunun agrega, hava ve su içermesi nedeniyle zemin malzemesine benzer bir kompozisyona sahip olduğunu, ortalama sıcaklıklarda hem granüle özellikleri ve kohezif özellikleri olan Mohr-Coulomb malzeme modeli olarak modellenebileceğini belirtmişlerdir [52]. Analizlerde beton asfalt Mohr-Coulomb malzeme modeli kullanılarak modellenmiştir. Tan vd. göre asfalt betonunun içsel sürtünme açısı sıcaklıktan bağımsız olarak kullanılan agregalar arasındaki kenetlenme ve taneler arası sürtünmenin bir fonksiyonu iken kohezyon değeri kullanılan bitümün özelliklerine bağlı olup sıcaklık ile değişen değerlere sahiptir [53]. J. R. Mattos vd., asfalt betonu için yaptıkları üç eksenli deneylerde geleneksel bitüm ile hazırlanmış numuneler üzerinde 25 C° sıcaklıkta yapılan deneylerde

içsel sürtünme açısı 46° ve yaklaşık 500 kPa kohezyon değerlerini elde etmişlerdir [54].

Bu çalışma kapsamında analiz edilen yol üst yapısı; 10 cm kalınlığındaki asfalt kaplama tabakasının altında yer alan 30 cm kalınlığında granüle temel ve 40 cm kalınlığında alttemel tabakalarından oluşmaktadır. Taşıyıcı doğal zemin ise kil alınmıştır.

Kesit, iki boyutlu sonlu elemanlar kullanılarak analiz edilmiştir. Analizler aksisimetrik yöntem kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Model boyutları, "R" yükleme yarıçapı olmak üzere 200Rx200R alınmıştır.

Tekrarlı yük altındaki zeminlerin temel davranışı; gerilime seviyesine bağlı rijitlik, boşaltma-yeniden yükleme durumuna duyarlılık ve döngüsel yüklemdeki enerji kayıpları nedeniyle histerik sönümlenme tepkisidir. Bunlara ek olarak, çok küçük gerilme seviyelerinde tamamen elastik davranış sergilenirken, gerinim seviyesinin artmasıyla birlikte zeminlerde kalıcı plastik deformasyonların oluştuğu gözlenmektedir. Gerilme seviyesinin artmasıyla zeminlerin kayma deformasyon modülü azalır.

Granüle temel ve alttemel tabakaları ile doğal zemin için küçük gerinim seviyelerine bağlı pekleşen zemin modeli (Hardening soil with small strain-HSsmall) kullanılmıştır. Kayma dayanımı parametrelerine (c , ϕ , Ψ) ilave olarak sonlu elemanlar yazılımı Plaxis'te yer alan HSsmall zemin modeli temel deformasyon parametreleri devam eden eşitliklerde yer almaktadır.

Kayma modülü, eşik kayma birim deformasyon ve sekant kayma modülleri sırasıyla aşağıdaki eşitliklerde verilmiştir.

$$G_0 = G_0^{\text{ref}} \left(\frac{c' \cos \phi - \sigma_3' \sin \phi}{c' \cos \phi + p^{\text{ref}} \sin \phi} \right)^m \quad (3)$$

$$\gamma_{0.7} = \frac{1}{9G_0} \left[2c' (1 + 2 \cos \phi') + \sigma_1' (1 + k_0) \sin 2\phi' \right] \quad (4)$$

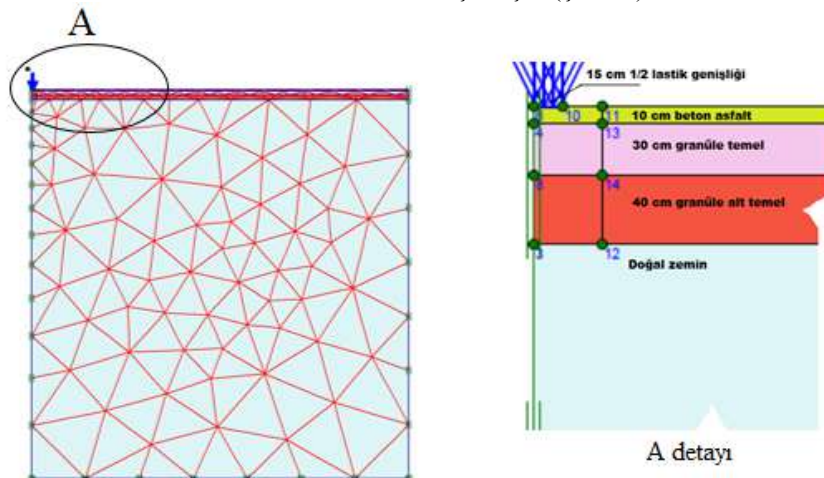
$$G_s = \frac{G_0}{1 + 0.385 \frac{\gamma}{\gamma_{0.7}}} \quad (5)$$

Burada; $G_{0\text{ref}}$ malzemenin 100 kPa referans basınç altında küçük birim deformasyonlardaki kayma gerilmesi, P_{ref} 100 kPa referans basınç, m gerilmeye bağlı rijitlik parametresi ve $\gamma_{0.7}$ ise 0,7 G_0 değerine karşılık gelen birim deformasyondur.

5. ANALİZLER (ANALYSES)

Çalışma kapsamında asfalt kaplama tabakasının kalınlığı 10 cm alınmıştır. Granüle temel ve alttemel tabakalarının kalınlığı ise sırasıyla 30 cm ve 40 cm alınmıştır. Taşıyıcı doğal zemin ise kil alınmıştır. Kesit, iki boyutlu sonlu elemanlar kullanılarak, Plaxis programı ile analiz edilmiştir. Analizler aksisimetrik gerçekleştirilmiştir. Model tabanında ve kenarlarında, dinamik yüklerden kaynaklı olası yansımalar nedeniyle oluşacak ilave yük ve deformasyonları engellemek için sayısal modelin sınırları teker basıncı noktasından yeterince uzak olacak şekilde seçilmiştir. Model boyutları, "R" yükleme yarıçapı olmak üzere 200Rx200R alınmıştır. Bu boyutlar literatürde tavsiye edilen ölçüler ile uyumludur. Duncan (1968), makul sonuçlar için aksisimetrik modelin genişliğinin 12R ve derinliğinin 50R alınmasını önermiştir [55]. Kim, yapmış olduğu parametrik çalışmada 20RX140R boyutlarının seçilmesi durumunda model sınırlarının analiz sonuçlarına etkisinin ihmal edilebileceğini göstermiştir [56].

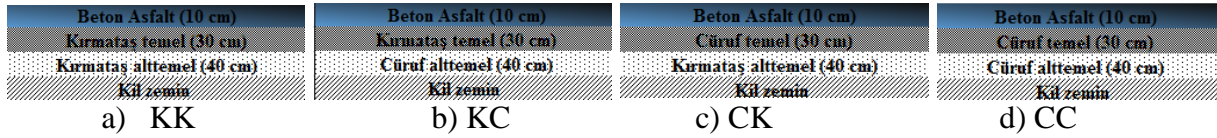
Tek lastik basıncı temas çapı 300 mm olarak modellenmiştir. Ancak iki boyutlu aksisimetrik analiz gerçekleştirildiği için hareketli yayılı yükün genişliği 150 mm alınmıştır. Temas basıncı 400 kPa olarak ve üçgen yük dağılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Model tabanında sabit, yanlarda ise yükleme yönünde serbest hareket edecek şekilde kayar mesnet kullanılmıştır. Model boyutları yatayda 30 m ve düşeyde ise 60 m seçilmiştir (Şekil 7).



Şekil 7. Aksisimetrik model (Axisymmetric model)

Analizlerde cüruf malzemesinin temel ya da alttemel tabakalarının hangisinde kullanılmasının en iyi sonucu vereceğini bulmak amacıyla dört farklı kesit analiz edilmiştir (Şekil 8). Cüruf sonuçlarının karşılaştırılması amacıyla birinci kesitte kırmataş temel ve kırmataş alttemelden (KK) oluşan kesit analiz edilmiştir. Analiz

edilen kesitler kırmataş temel-kırmataş alttemel (KK), kırmataş temel-cüruf alttemel (KC), cüruf temel-kırmataş alttemel (CK) ve cüruf temel-cüruf alttemelden oluşmaktadır. Kesitlerdeki asfalt kaplama tabakası ve kil zemin aynı seçilmiştir.



Şekil 8. Çalışmada kullanılan kesitler (Analyzed road cross-sections)

Çizelge 10’da analizlerde kullanılan malzemelere ait parametreler yer almaktadır. Asfalt betonu Mohr-Coloumb (MC); temel, alttemel ve doğal zemin ise HSsmall malzeme modeli kullanılarak modellenmiştir. Kireçtaşı parametreleri, mekanistik-ampirik yol tasarımının temel tabakası için rezilient modül tayini araştırma programı kapsamında kireç taşı üzerinde yapılmış olan rezonant kolon deneylerindeki değerlerden alınmıştır [57]. Cüruf maksimum kayma modülü için bu

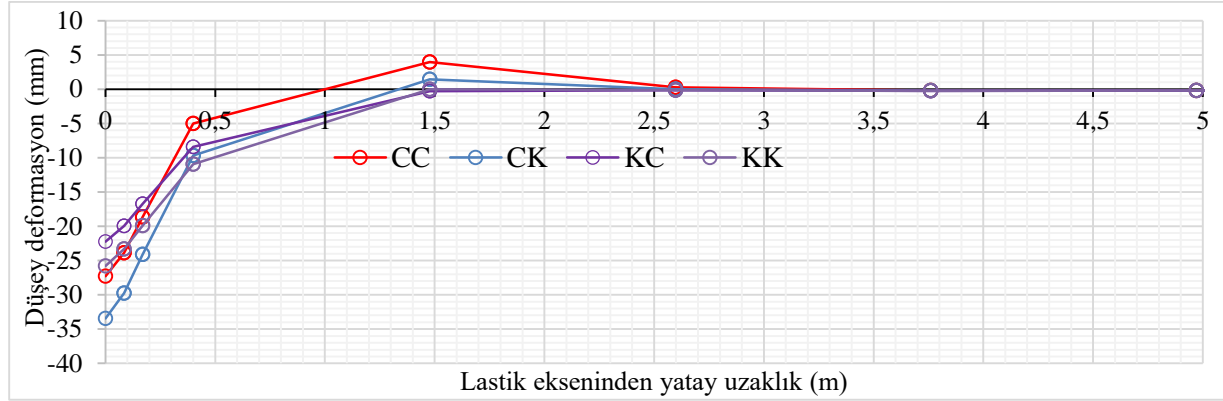
çalışma kapsamında farklı hücre basınçlarında rezonant kolon deneyleri yapılarak çevre basıncına bağlı maksimum kayma modülü değerleri tespit edilmiştir. Çizelge 10’da yer alan cüruf deformasyon parametreleri temel ve alttemel tabakalarında oluşan çevre basıncı esas alınarak rezonant kolon deneylerinden elde edilen değerlerdir. Dayanım parametreleri ise literatürdeki verilerden alınmıştır.

Çizelge 10. Analizlerde kullanılan malzemelere ait parametreler (Parameters of materials)

Malzeme Parametreleri	Beton Asfalt	Florida Kireç taşı Temel	Florida Kireç taşı Alttemel	Katı kil	Erdemir cüruf Temel	Erdemir cüruf Alttemel
Model	MC	HSsmall	HSsmall	HSsmall	HSsmall	HSsmall
E(MPa)	4500					
E_{50}^{ref} (MPa)		165	115	24	160	124
E_{ur}^{ref} (MPa)		495	345	72	485	372
G_0^{ref} (MPa)		185	128	55	180	138
γ_0		5×10^{-6}	5×10^{-6}	4.07×10^{-4}	2.18×10^{-4}	2.18×10^{-4}
ν	0,30	0,35	0,35	0,20	0,35	0,35
Kalınlık (m)	0,1	0,30	0,40	10,0	0,30	0,40
γ (kN/m ³)	24,00	21,33	20,77	18,00	23,11	22,47
C (kN/m ²)	500	40	40	100	47	45
ϕ (°)	46	40	35	10	47	45

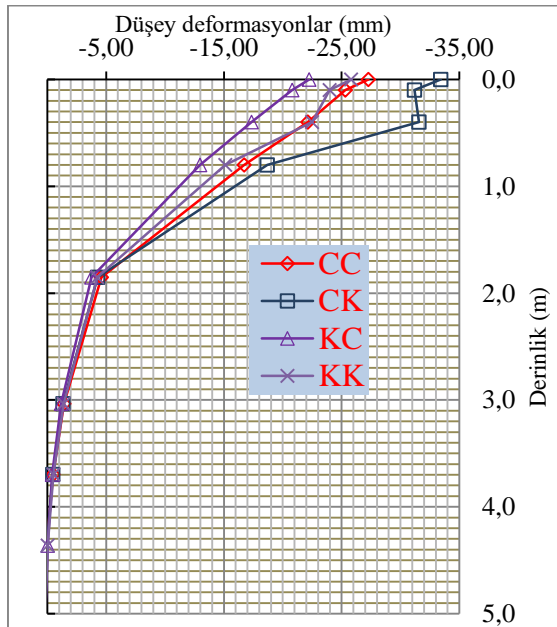
400 kPa lastik basıncı altında ve 20111 yükmeden sonra analiz edilen dört kesitte asfalt yüzeyinde oluşan deformasyonlar aşağıdaki Şekil 9’da yer almaktadır. Yatay eksen boyunca asfalt yüzeyinde oluşan deformasyonların grafikleri aynı eğilimdedir. Bütün kesitlerde maksimum oturma lastik orta noktasında oluşurken maksimum kabarmalar lastik orta noktasından itibaren 1,5 metre mesafede oluşmaktadır. Kabarmalar 1,5 metreden sonra azalmakta ve lastik orta noktasından itibaren yaklaşık 2,5 metrede sıfırlanmaktadır. Maksimum kabarma miktarı cüruf temel ve cüruf alttemelden (CC) oluşan kesitte meydana gelmekte ve kabarma miktarı 4 mm seviyesindedir. Maksimum oturma miktarı ise cüruf temel ve kırmataş alttemelden (CK) oluşan kesitte meydana gelmekte ve oturmalar 33 mm mertebesindedir. Tekrarlı yükleme altında en iyi

performansı ise kırmataş temel ve cüruf alttemelden (KC) oluşan kesiti göstermektedir. Bu kesitte kabarma hemen hemen hiç oluşmazken oturmalar 22 mm seviyesindedir. Çizelge 10’deki verilere göre temel tabakası için kireçtaşı ve alttemel tabakası için ise cüruf malzemesinin maksimum kayma deformasyon modülü değerinin daha yüksek olduğu görülecektir. Buda diğer faktörler faktörler aynı olduğunda granüle temel ve alttemel tabakalarında kayma modülü yüksek malzeme kullanılması durumunda tekrarlı trafik yükleri altında daha iyi bir performans elde edildiğini göstermektedir. CC ve KK kesitleri karşılaştırıldığında ise oturmalar aynı seviyede oluşurken CC kesitindeki kabarmalar KK kesitine göre daha fazladır.



Şekil 9. Asfalt yüzeyinde oluşan düşey deformasyonlar (Rutting on the asphalt surface)

Kesitlerde lastiğin tam altında derinlikle değişen düşey deformasyonlar ise Şekil 10'da yer almaktadır. Derinlik boyunca oluşan düşey deformasyonlarda yatay deformasyonlarda olduğu gibi benzer eğilimler ancak değişen büyüklüklerde dir. Maksimum düşey deformasyonlar asfalt yüzeyinden başlayarak azalmakta ve bütün kesitler için yaklaşık 4 metre derinlikte önemsiz mertebelere düşmektedir. Yaklaşık 2,0 metre derinlikte oluşan düşey deformasyonlar bütün kesitler için aynı seviyededir. Bu da seçilen kesitin etkisinin 2,0 metreden sonra önemli oranda azaldığını göstermektedir. CK kesitinde 10 cm ile 40 cm derinliği arasında birikimli düşey deformasyonlarda görülen küçük düşüşün tabakaların dinamik yük altında farklı titreşim özelliklerinden kaynaklanması muhtemeldir.



Şekil 10. Lastik orta noktasında derinlikle değişen düşey deformasyonlar (Vertical deformations through depth at the midpoint of the Wheel)

6. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS)

Çalışmada çelikhane cürufunun yol temel ve alttemel malzemesi olarak kullanılması için dört farklı yol kesiti sonlu elemanlar yöntemiyle ve aksisimetrik analiz gerçekleştirilerek araştırılmıştır. Kontrol amaçlı kırma taş temel ve alttemelden oluşan yol üst yapısı kesiti (KK) ile çelikhane cürufunun yol temel ve alttemel tabakalarında kullanılmasıyla oluşturulan üç farklı yol kesiti (KC, CK, CC) analiz edilmiştir.

Analizler sonucu oluşan düşey deformasyonların yatay ve düşey eksenindeki şekli her dört kesitte de benzer çıkmıştır. Ancak deformasyon miktarları farklı olmuştur. Asfalt yüzeyinde maksimum oturmalar lastik orta noktasında oluşurken, yatay ekseninde oturmalar kesite göre değişerek, yaklaşık 1,0 ile 1,5 metre civarında sıfırlanmıştır. 1,5 metre ile 2,5 metre arasında ise kabarmalar oluşmuştur. Kabarmalar 1,5 metreden sonra azalmakta ve lastik orta noktasından itibaren yaklaşık 2,5 metrede sıfırlanmaktadır.

Analiz edilen dört kesit karşılaştırıldığında tekrarlı yüklemeye altında en iyi performansı ise kırma taş temel ve cüruf alttemelden (KC) oluşan kesit vermiştir. Bu kesitte kabarma hemen hemen hiç oluşmazken oturmalar 22 mm seviyesindedir. Bu da çelikhane cürufu için en faydalı kullanımın alttemel tabakasında olduğunu göstermektedir. Kırma taş temel ve alttemelden oluşan yol kesiti (KK) için maksimum oturma 27 mm olarak gerçekleşmiştir. KK kesiti ile karşılaştırıldığında, KC kesitinde oturmalar %18 mertebesinde daha az elde edilmiştir. Çelikhane cürufu temel ve alttemelde birlikte kullanıldığında oluşan oturmalar ise KK kesiti ile aynıdır. Bu sonuçlar çelikhane cürufunun doğal agrega yerine yol üst yapısında kullanılabileceğini göstermektedir. Sadece alttemel tabakasında çelikhane cürufu kullanıldığında tekrarlı trafik yükleri altında hem yol performansı artmakta hem de doğal kaynaklardan tasarruf sağlanarak doğal kaynaklar korunmuş olacaktır. Ayrıca doğal kaynaklardan elde edilecek agrega için harcanacak olan enerjiden tasarruf sağlanarak küresel ısınmanın oluşması da belli miktarda engellenmiş olacaktır.

Çalışmada çelikhane cürufunun dayanım ve rijitlik parametreleri kullanılarak ve dinamik analiz gerçekleştirilmek suretiyle analiz yapılmış ve sonuçlar

doğal agrega ile karşılaştırılmıştır. Malzeme rijitlik ve dayanım parametrelerinin yanında yol performansını etkileyen diğer faktörler nem, yeraltı suyu, donma çözülme ve diğer iklim koşullarıdır. İlerideki çalışmalarda iklim faktörleri de göz önüne alınarak çalışmalar yapılabilir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Karatag, H., S. Fırat, and N.S. Işık., "Assessment of performance of steel slag used in road base by finite element analysis" *13th International Congress on Advances in Civil Engineering*, Çeşme-İzmir, 83870-83877, (2018).
- [2] Özgür Öztürk, M.Ç., Mesut Erkan, "Türkiye agrega sektör raporu", *Hazır Beton*, Kasım-Aralık:52-56, (2007).
- [3] Bilen, M., "Çelikhane curuflarından liç-karbonatlaştırma prosesi ile kalsiyum karbonat kazanılması", *Yüksek Lisans Tezi*, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (2010).
- [4] Horii, K.; Kato, T., Sugahara, K., Tsutsumi, N., Kitano, Y., "Overview of iron/steel slag application and development of new utilization technologies" *Nippon Steel and Sumitomo Metal Technical Report*, 109: 5-11, (2015).
- [5] Motz, H. and J., Geiseler, "Products of steel slags an opportunity to save natural resources", *Waste Management*, 21(3):285-293, (2001).
- [6] TÇÜD, "Demir Çelik Cüruf Raporu" *ÇŞB*, Ankara, (2015).
- [7] ASA, "A guide to the use of iron and steel slag in roads", *Australasian Slag Association Inc.*, NSW, (2002).
- [8] Euroslag, "Position paper on the status of ferrous slag", *The European Slag Association*, Duisburg, (2012).
- [9] İnternet: National Slag Association (NSA), "Common uses for slag", <http://www.nationalslag.org/common-uses-slag>, (2015).
- [10] İnternet: U.S. Geological Survey (USGS), "Iron and steel slag statistics and information", http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/iron_&_steel_slag/index.html#contacts, (2015).
- [11] Yildirim, I.Z., Prezzi, M., "Use of steel slag in subgrade applications" Final Report, INDOT Office of Research and Development, *FHWA/IN/JTRP-2009/32-SPR-3129*, Indiana, (2009).
- [12] Yoshida, N., Sugita, T., Miyahara, T. and Hirotsu, E., "Influence of hydraulicity on resilient modulus and poisson's ratio of hydraulic, graded iron and steel slag base-course material", *Advances in Transportation Geotechnics*, Nottingham, 779-784, (2008).
- [13] Fırat S., K., J.,N.Vural, İ. ve Yılmaz, G., "Increasing compaction properties of road subbase fill using waste materials of steel slag and fly ash", *International Conference and Exhibition on the Application of Efficient and Renewable Energy Technologies in Low Cost Buildings and Construction (RENEWBUILD)*, Ankara, (2013).
- [14] Aiban, S.A., "Utilization of steel slag aggregate for road bases", *Journal of Testing and Evaluation*, 34(1): 65-75, (2005).
- [15] Rohde, L., et al., "Electric arc furnace steel slag: base material for low-volume roads", *Transportation Research Record*, 1819 (1): 201-207, (2003).
- [16] Mymrin V.A., Ponte H.A., Ponte M.J.J.S., Maul, A.M., "Structure formation of slag-soil construction materials", *Materials and Structures*, 38(1): p. 107-113, (2005).
- [17] Behiry, A.E.A.M., "Evaluation of steel slag and crushed limestone mixtures as subbase material in flexible pavement", *Ain Shams Engineering Journal*, 4(1): 43-53, (2013).
- [18] Sas, W., Gluchowski, A.,Radziemska, M., Dzięcioł, J., Szymański, A., "Environmental and geotechnical assessment of the steel slags as a material for road structure", *Materials*, 8(8):4857-4875, (2015).
- [19] Hainin, M.R., Yusoff, N., Sabri, F., Aziz, A., Hameed A., Reshi, W., "Steel slag as an aggregate replacement in Malaysian hot mix asphalt", *ISRN Civil Engineering*, Article ID 459016: 1-5, (2012).
- [20] Hainin M.R., Rusbintardjo G., Aziz A., Hamim A. , Yusoff N., "Laboratory evaluation on steel slag as aggregate replacement in stone mastic asphalt mixtures", *Jurnal Teknologi*, 65(2):13-19, (2013).
- [21] Asi, I., Qasrawi, H., Shalabi F., Use of steel slag aggregate in asphalt concrete mixes. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 2007. 34(8): p. 902-911.
- [22] Alataş, T., E. Somunkıran, P. Ahmedzade, "Ereğli demir çelik fabrikası cürufunun asfalt betonunda agrega olarak kullanılması", *Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Der.*, 18(2): p. 225-234, (2006).
- [23] Yonar, F., "Elektrik ark ocağı çelikhane cürufunun karayolu esnek üstyapı tabakalarında kullanımının ve karışım performansının araştırılması", *Doktora Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, (2017).
- [24] Özüğurlu, B., "Karayolu esnek üstyapı binder tabakasında elektrik ark ocağı cürufunun yapay agrega olarak kullanımının incelenmesi", *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, (2015).
- [25] Hasançebioglu, Ö., "Elektrik ark ocağı cürufunun yapay agrega olarak karayolu inşaatı dolgu ve granüler tabakalarında kullanılabilirliğinin incelenmesi", *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, (2014).
- [26] Sönmez, B., Baş, E., Günay, E., Kara, M., "Erdemir çelikhane curuflarının asfalt betonu agregası ve demiryolu balast malzemesi olarak kullanılması imkanları", *II. International Iron and Steel Symposium*, Zonguldak, (2003).
- [27] Gür, S., Parlak, F., Şişman, E., Tombuloğlu, T., Sadık, A. S., Özdoğan, M. S., Erbay, Ş., "Çelikhane cürufunun beton yollarda temel malzemesi olarak kullanılması", *Geoteknik Sempozyumu*, Çukurova Üniversitesi, Adana, (2013).
- [28] Mutlugeldi, C., "Elektrik ark fırını cürufunun karayolu esnek üstyapı bitümlü temel tabakasında agrega olarak değerlendirilmesi", *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, (2015).
- [29] Somunkıran, E.T., "Ereğli demir çelik fabrikası cürufunun asfalt betonunda agrega olarak kullanılması", *Yüksek Lisans Tezi*, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, (2005).

- [30] İnternet: National Slag Association (NSA), "SLAG-A green product", <http://www.nationalslag.org/sites/nationalslag/files/documents/SLAG-A%20Green%20Product.pdf>.
- [31] Altan, E., "Çelikhane curufu içerisindeki hurdaların değerlendirilmesi", *I. Ulusal Demir-Çelik Sempozyumu ve Sergisi*, Zonguldak, (2001).
- [32] Oluwasolaa, E.A., Hainina, M.R., Aziza, M.M.A., "Characteristics and utilization of steel slag in road construction", *Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering)*, 70 (7): 117–123, (2014).
- [33] FHWA, "User guidelines for waste and byproduct materials in pavement construction: steel slug", *Federal Highway Administration*, (2012).
- [34] Das, B., Mohanty, J.K., Reddy, P.S.R., Ansari, M.I., "Characterisation and beneficiation studies of charge chrome slag", *Scandinavian journal of metallurgy*, 26(4): 153-157, (1997).
- [35] Zheng, L., Hai-Lin, Y., Wan-ping, W., Ping, C., "Dynamic stress and deformation of a layered road structure under vehicle traffic loads: experimental measurements and numerical calculations", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 39:100-112, (2012).
- [36] KGM, "yol alt yapısı, sanat yapıları, köprü ve tüneller, üst yapı ve çeşitli işler", *Karayolu Teknik Şartnamesi (KTS)*, Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara, (2013).
- [37] KGM, "bitümlü karışımlar laboratuvar çalışmaları", *KGM, Araştırma Geliştirme Dairesi Başkanlığı*, Ankara, (2012).
- [38] Moghaddam, M.K.M., "Elektrik ark fırını (eaf) cürufu katkısının zeminlerin mühendislik özellikleri üzerine etkisi", *Yüksek Lisans Tezi*, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, (2011).
- [39] Noureldin, A.S., McDaniel, R.S., "Evaluation of surface mixtures of steel slag and asphalt", *Transportation Research Record*, 1269:133-149, (1990).
- [40] Yılmaz, A., M. Karaşahin, "Mechanical properties of ferrochromium slag in granular layers of flexible pavements", *Materials and Structures*, 43(3): 309-317, (2010).
- [41] Yılmaz, A., İ. Süttaş, "Ferrokrom cürufunun yol temel malzemesi olarak kullanımı", *İMO Teknik Dergi*, 19 (93): 4455-4470, (2008).
- [42] Güngör, A.G., Sağlık, A., "Karayolları esnek üstyapılar projelendirme rehberi", K.T.A.D.B.Ü.Ş. Müdürlüğü, KGM, Ankara, (2008).
- [43] Olsson, J., Zeng, L.F., Wiberg, N.E., "Finite element analysis of road rutting", *European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering (ECCOMAS)*, Barcelona, 11-14, (2000).
- [44] Huang, Y.H., "Pavement analysis and design" 2th ed., *Pearson Prentice Hall*, NJ, (2004).
- [45] Haas, R., "Reinventing the (pavement management) wheel", *5th Annual Conference on Managing Pavements*, Seattle, (2001).
- [46] Rahman, M.S., "Characterising the deformation behaviour of unbound granular materials in pavement structures", *Ph.D. Thesis*, KTH Royal Institute of Technology, Division of Highway and Railway Engineering, Department of Civil and Architectural [Engineering], (2015).
- [47] Seyhan, Ü., Tutumluer, E., "Characterization of unisotropic granular layer behavior in flexible pavements", FAA Center of Excellence for Airport Technology, *Federal Aviation Administration, Report No.18*, Washington DC, (2002).
- [48] Seyhan, U., "Characterization of unisotropic granular layer behavior in flexible pavements", *Ph.D. Thesis*, University of Illinois, (2002).
- [49] Lekarp, F., Isacsson, U., Dawson, A., "State of the art. I: Resilient response of unbound aggregates", *Journal of Transportation Engineering*, 126(1): 66-75, (2000).
- [50] NCHRP, "Guide for mechanistic-empirical design of new and rehabilitated pavement structures: calibration of permanent deformation models for flexible pavements", *National Research Council*, Washington DC, (2004).
- [51] Barksdale, R.D., "Compressive stress pulse times in flexible pavements for use in dynamic testing", *Highway Research Record*, 345(4):32-44, (1971).
- [52] Wang, H., Al-Qadi, I.L., "Near-surface pavement failure under multiaxial stress state in thick asphalt pavement", *Transportation Research Record*, 2154(1): p. 91-99, (2010).
- [53] Tan, S., Low, B., Fwa, T., "Behavior of asphalt concrete mixtures in triaxial compression", *Journal of Testing and Evaluation*, 22(3): (195-203), (1994).
- [54] Mattos, J.R., Nunez, W.P., Ceratti, J.A., Zingano, A., Fedrigo, W., "Shear strength of hot-mix asphalt and its relation to near-surface pavement failure—a case study in Southern Brazil", *6th Eurasphalt & Eurobitume Congress*, Prague, (2016).
- [55] Duncan, J.M., Monismith, C.L., Wilson, E.L.; "Finite element analysis of pavements", *Highway Research Record*, 228:18-33, (1968).
- [56] Kim, M., "Three-dimensional finite element analysis of flexible pavements considering nonlinear pavement foundation behavior", *Ph.D. Thesis*, University of Illinois Urbana, Illinois, (2007).
- [57] Hiltunen, D.R., R. Roque, A. Ayithi, "Base Course Resilient Modulus for the Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide" University of Florida, *Department of Civil and Coastal Engineering*, Florida, (2011)



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

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



Determination of stress concentration factor (Kt) for a crankshaft under bending loading: An artificial neural networks approach

Eğilme kuvveti altındaki bir krank mili için gerilme yığılma faktörünün (Kt) belirlenmesi: bir yapay sinir ağı yaklaşımı

Yazar(lar) (Author(s)): Ihsan TOKTAS¹, Murat Tolga OZKAN², Fulya ERDEMİR³, Nurullah YUKSEL⁴

ORCID¹: 0000-0002-4371-1836

ORCID²: 0000-0001-7260-5082

ORCID³: 0000-0002-1383-6857

ORCID⁴: 0000-0003-4593-6892

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Toktas I., Ozkan M. T., Erdemir F. and Yuksel N., "Determination of stress concentration factor (Kt) for a crankshaft under bending loading: an artificial neural networks approach", *Politeknik Dergisi*, 23(3): 813-819, (2020).

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

DOI: 10.2339/politeknik.683270

Determination of Stress Concentration Factor (Kt) for a Crankshaft Under Bending Loading: An Artificial Neural Networks Approach

Highlights

- ❖ Stress concentration factor (Kt)
- ❖ Crank shaft
- ❖ Artificial neural networks (ANN)
- ❖ Bending Loading

Graphical Abstract

In this study contains stress concentration factor (Kt) for crankshafts under bending loading. Experimental results collected and an ANN model was developed.

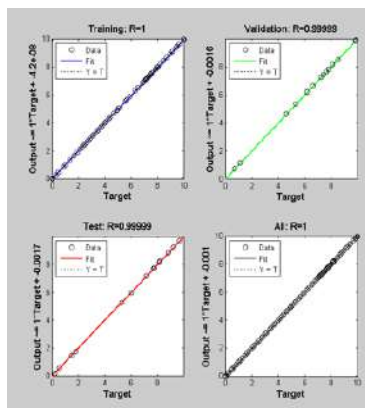


Figure. 3

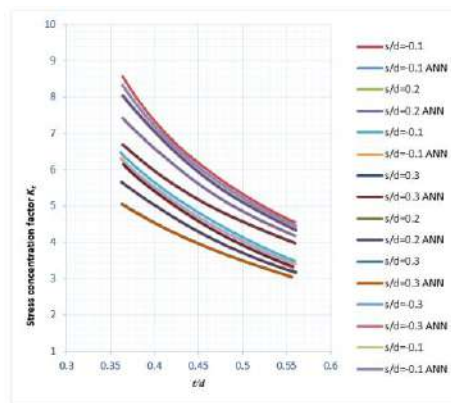


Figure . 5

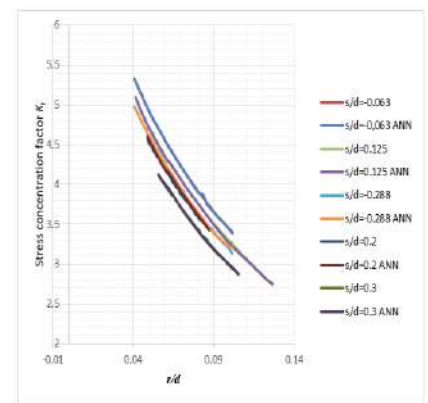


Figure. 6

Aim

This study is the determination of stress concentration factor (Kt) with artificial intelligence technique for crankshaft.

Design & Methodology

Experimental results were digitized and an ANN model was developed for the related problem.

Originality

In the study, a new method has been presented for the precise and direct determination of the stress concentration factor (Kt), which has been obtained by experimental studies before, without any digitization, determined by the graphic reading technique.

Findings

It is provided to determine the stress stress factor (Kt) easily for circular or square cross section springs.

Conclusion

Stress concentration factor (Kt) for crankshaft under bending loading is provided to be defined easily and quickly, without being dependent on any table or equation

Declaration of Ethical Standards

The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

Eğilme Kuvveti Altındaki Bir Krank Mili İçin Gerilme Yığılma Faktörünün (Kt) Belirlenmesi: Bir Yapay Sinir Ağı Yaklaşımı

Araştırma Makalesi / Research Article

Ihsan TOKTAS¹, Murat Tolga OZKAN², Fulya ERDEMİR^{3*}, Nurullah YUKSEL³

¹Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Ankara, Türkiye

²Teknoloji Fakültesi, Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye

³Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye

(Geliş/Received : 01.02.2020 ; Kabul/Accepted : 09.02.2020)

ÖZ

Krank milleri özellikle motorlarda kullanılır. Krank milleri genellikle eğilme ve burulma gerilmelerinden etkilenir. Bu yükleme durumları motor ve parçalarının tasarımı için önemlidir. Krank mili tasarımı, tasarım deneyimi ve mühendislik hesaplamaları gerektirir. Mühendislik hesaplaması yapıldığında, stres konsantrasyon faktörü devreye girer. Bu faktörler genellikle stres konsantrasyon faktörü grafiklerinden elde edilir. Grafiklerdeki gerçek stres konsantrasyon faktörünün okunması, yanlış değerlerden elde edilmesiyle sonuçlanabilir. Bu çalışma eski çalışmaların bir güncelleme çalışmasıdır. Yeni bilgisayar teknikleri kullanılarak stres konsantrasyon faktörü değerleri sayısal değerlere dönüştürülmüştür. Stres konsantrasyon faktörü değerleri bir veritabanında toplanmıştır. Yapay Sinir Ağı (YSA) Modeli veritabanı kullanılarak geliştirilmiştir. YSA modeli, zaman ekonomisi ve stres konsantrasyonu değerlerini elde etmede yüksek doğruluk sağlar.

Anahtar Kelimeler: Stres Konsantrasyon Faktörü (SKF), krank-mil tasarımı, Yapay Sinir Ağları (YSA).

Determination of Stress Concentration Factor (Kt) for a Crankshaft under Bending Loading: An Artificial Neural Networks Approach

ABSTRACT

Crankshafts are used in especially engines. Crankshafts are usually effected bending and torsional stress. These loading situations are important for design of engine and its parts. Crankshaft design requires design experience and engineering calculations. When the engineering calculation is performed, stress concentration factor is put into effect. These factors are usually obtained from Stress concentration factor Charts. Reading the real stress concentration factor from charts can be resulted in getting from false values. This study is an update work of old studies. Using the new computer techniques stress concentration factor values were converted into numerical values. Stress concentration factor values were collected in a database. Artificial Neural Network (ANN) Model was improved using the database. ANN model is gave to us time economy and high accuracy of obtaining the stress concentration values.

Keywords: Stress Concentration Factor (SCF), crankshaft design, Artificial Neural Network (ANN).

1. INTRODUCTION

Crankshaft is one of the critical components of an engine. This machine element is connected with the other components of engine. Crankshaft carries the connecting rod(s) and pistons. In generally engines have different number of cylinders and pistons for instance 1, 2, 3, 4, 6 or 8. Crankshafts design has eccentric shape. The crankshaft is subjected to bending and torsion during operation. The crankshaft design is performed according to bending and torsional stress. The crankshaft must be capable of withstanding the intermittent variable loads acting on them. During transfer of torque to the output shaft, the force deflects the crankshaft. This deflection occurs due to bending and twisting of the crankshaft.

Bending and torsional stresses can be achieved by using material with the correct physical properties and by minimizing stress concentration. The crankshaft is put in series to all the other components of the engine in the fault crankshaft analysis and the reliability of the whole system heavily depends on the reliability of the crankshaft. The crankshaft is a geometrically relatively complex component which is often obtained by machining a forged piece of steel or cast iron. Mechanical, thermo-mechanical or thermo-chemical surface treatments, such as shot peening, rolling, nitriding or case-hardening allow to increase the surface hardness and induce beneficial compressive residual stresses at the surface that prevent crack nucleation and propagation [1]. Arai and Peterson were researched to maximum stress in the fillet of pin and journal of

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

crankshafts in bending state and studied about the parameters of crankshaft design in guided by earlier works [2-4]. Staul and Pfender et al. made use of extensometers to determine stresses in crankshafts [5, 6]. Fessler & Sood utilized the technique of photo-elasticity [7]. The crankshaft is a critical component and any damage occurring to the crankshaft may put the mechanical system out of order. The numerical finite element simulation of crankshafts with multiple rods is often time consuming even quite accurate if the aim is to evaluate the stress-strain behavior at the notched area and verify the component. The development of a simplified numerical model would prove effective to reduce the time needed to reach a good approximation design of the crankshaft [8]. The design of a new crankshaft, or the upgrade of a crankshaft to higher power engines, is always a big challenge for the designer [9]. Recent years, some studies interested in crankshafts bending fatigue tests [10]. In this study contains stress concentration factors (K_t) for a crankshaft in bending loading state. This study is an updating study. Graphs by obtained Peterson and Arai was converted into numerical values. The charts data converted numerical data. An ANN model was developed in new format. With using the method, interval values can be obtained without perform any interpolation etc. with high reliability.

2. MATERIAL AND METHOD

Stability conditions of machine elements against stress in terms of stress concentration were examined in general. To what extent the machine parts can be challenged depends on the strength of the product, the design of the product and the material properties. Machine parts can be found under different difficulties according to work environments. The irregular form on the machine elements such as; the channels, grooves, radius etc is varied the magnitude of the stress. FEM, photoelastic, experimental, numerical, statistical, artificial intelligence techniques, etc. were used to investigate the stress conditions of the machine element in more detail. Previously, obtained from experimental and validated data tables are already available and are used in the design. The main problem is that there are no mathematical formulas of these tables. The user only obtains these values by reading the relevant table. Value reading from table is a very tedious and error-prone process. The values obtained vary from user to user. So, a new techniques is need to read each parametric value. New computer based techniques have been begun the investigate of the stress concentration in deeply. In the last century, computer graphical specification have been developed very impressive scale. Thus, graphical material can be converted into very sensitive numerical values. Converted numerical values were classified in an excell file according to their origin. A new ANN model was created in the sensitivity that the classical regression model can not reach. It is necessary to increase the degree

of equation to improve the sensitivity of the formula in the classical regression.

When degree of equation increases, calculation becomes quite complex to obtain a result by using these equations. Usage of the ANN method, the user don't need to use any formulae and calculator. Dertermination for the K_t , A software has been created in the Matlab editor. Arai was researched about fillets of the pin and journal of a series of crankshafts in bending [2]. Design parameters were determination to optimum with using experimental techniques.

The stress concentration factor is defined (eq. 1-7) as $\sigma_{max}/\sigma_{nom}$,

where

$$\sigma_{nom} = M(d/2)/I = M/(\frac{\pi d^3}{32}) \quad (1)$$

The most important design variables are web thickness ratio t/d , fillet radius r/d , web width ratio b/d and the crank "throw" as expressed by s/d (Figure 1). These parameters are effected the stress concentration factor.

An empirical formula was developed by Arai to cover the entire range of tests [11]. By using Eq. (2-7), stress concentration factor for crankshaft in bending loading was calculated. Abbraviations hasve been defined below:

$$K_t = 4.85 \times C_1 \times C_2 \times C_3 \times C_4 \times C_5 \quad (2)$$

Where

$$C_1 = 0.420 + 0.160\sqrt{[1/(r/d) - 6.864]} \quad (3)$$

$$C_2 = 1 + 81\{0.769 - [0.407 - (\frac{s}{d})]^2\}(\delta/r)(r/d)^2 \quad (4)$$

$$C_3 = 0.285[2.2 - (b/d)]^2 + 0.785 \quad (5)$$

$$C_4 = 0.444/(t/d)^{1.4} \quad (6)$$

$$C_5 = 1 - [(s/d) + 0.1]^2/[4(t/d) - 0.7] \quad (7)$$

M = bending moment (Nmm)

I = Moment of ineteria(mm⁴)

s = eccentricity lenght (mm)

b = crank shaft width dimension (mm)

d = smaller diameter of circular bar; smaller width of thin flat element (mm)

t = thickness of the crank (mm)

D = larger diameter of circular bar (mm)

r = fillet radius (mm)

δ = fillet lenght (mm)

σ_{nom} = nominal stress (N/mm²)

σ_{max} = maximum stress (N/mm²)

K_t = Stress concentration factor

C_1, C_2, C_3, C_4, C_5 = solution equation coefficient

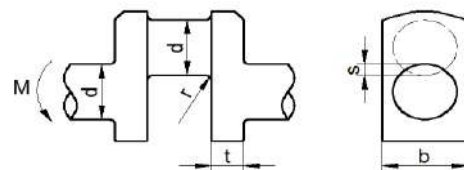


Fig. 1. Model of a crankshaft in bending loading

Table 1. Stress concentration factors K_t variable parameters for a crankshaft in bending loading

t/d	s/d	b/d	r/d	K _t
0.36	-0.1	1.33	0.0625	3
0.56	-0.3-0.1		0.1	8.5
	0.2			
	0.3			

2.1. Artificial Neural Network (ANN) Model

ANN is a subfield of Artificial Intelligence. ANN has a mathematical operational context in its back ground. ANN works with different learning algorithms. A neuron is the basic element of ANN. Neurons duties, shapes and size can be varried. Neurons activities is important. An ANN may be seen as a black box which contains hierarchical sets of neurons (e.g. processing elements) producing outputs for certain inputs. Each processing element consists of data collection, processing the data and sending the results to the relevant consequent element. The whole process may be viewed in terms of the inputs, weights, the summation function, the activation function and outputs (Figure 2) . A neural network usually consists of input layer, hidden layer(s), and output layer [12-17]. In this study contains determination of stress concentration factors (K_t) for a crankshaft in bending loading. For this aim; Peterson's stress concentration factor charts were investigated. These charts are drawn as a result of the experimental study and are not identified by a mathematical function. These charts are still used today to define the stress

concentration. It is necessary to read the data in these curves when defining the stress concentration for a particular problem. Value reading from table is a very tedious and error-prone process. The values obtained vary from user to user. A numerical data bank was created for these curves. An ANN database was created using obtained from graphs data and a new ANN model was developed. The data were obtained according to study parameters (t/d , s/d , b/d , r/d .and K_t (Table 1)) that has 3654 lines x 4 columns. Among them, 30% data have been randomly selected and used as the test data and other 70 % data were used training are determination of the K_t for a crankshaft in bending loading.

LM (Levenberg-Marquardt) algorithm and MLP (Multi Layer Perception) were used in the developed ANN model. The parameters, that were t/d , s/d , b/d , r/d , were used as input-layer and K_t were used as output-layer of the ANNs. In the ANN model, tansig, logsig and purelin transfer functions (f) have been used and expressed as follows (Eqs 8-11):

$$NET_i = \sum w_{ij} \cdot x_j + w_{bi} \tag{8}$$

$$a = \text{tansig}(n) = \frac{2}{(1+e^{-2n})} - 1 \tag{9}$$

$$a = \text{logsig}(n) = \frac{1}{(1+e^{-n})} \tag{10}$$

$$a = \text{purelin}(n) \tag{11}$$

n : Number of processing elements in the previous layer. where NET is the weighted sum of the input.

An ANN model was developed using Matlab NN tool. For this aim a new ANN code has been prepared and developed.

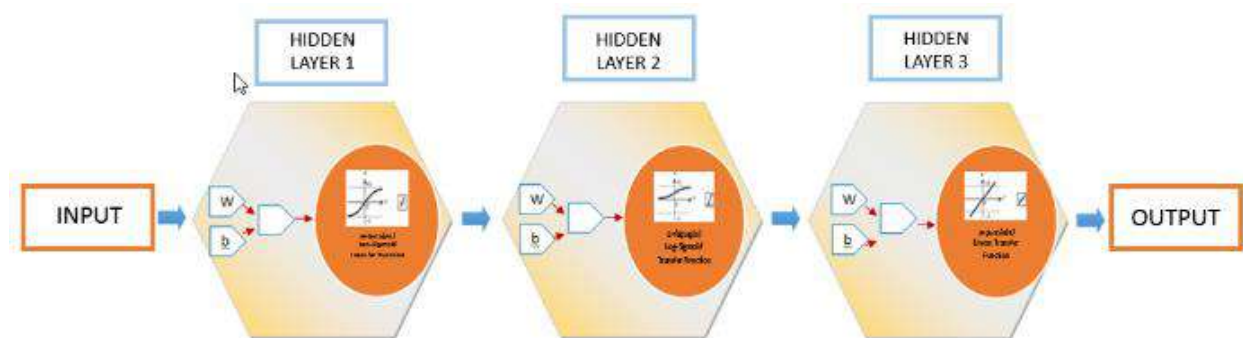
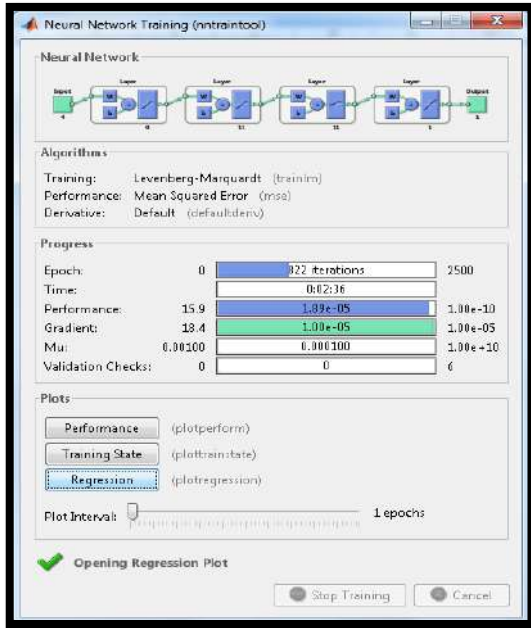
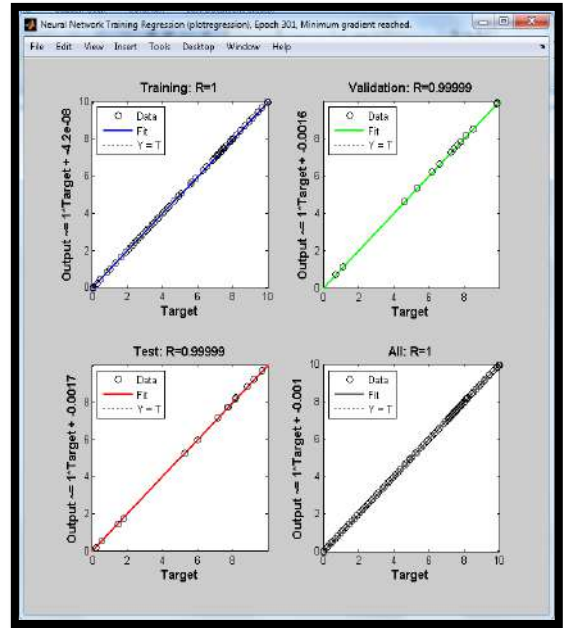


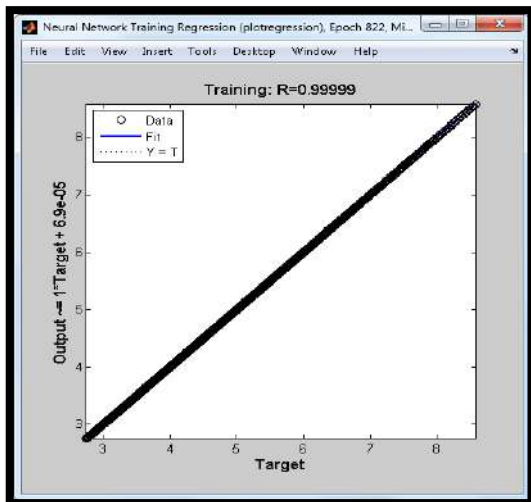
Fig. 2. Basic artificial neural network model



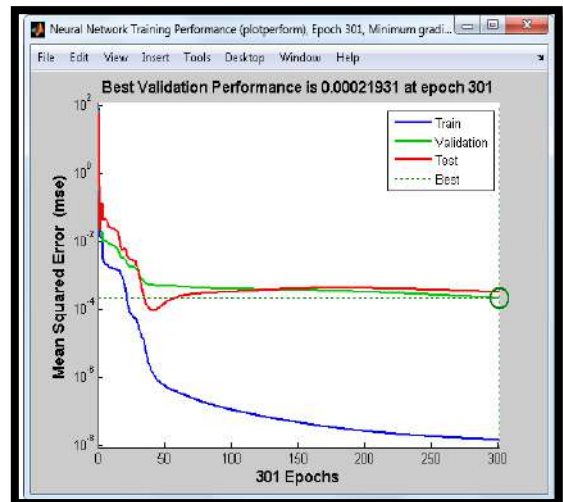
a) Improved an ANN Model using MATLAB



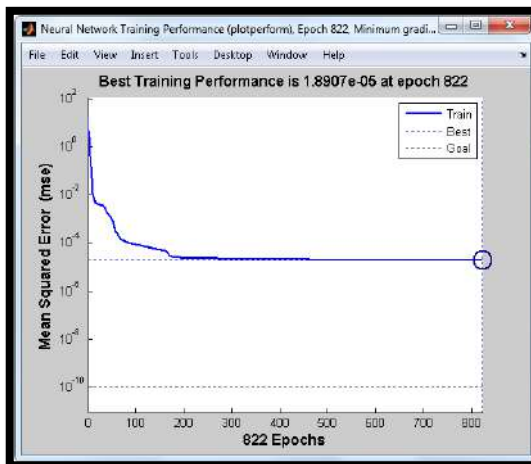
b) The ANN predictions; training, test and validation performance



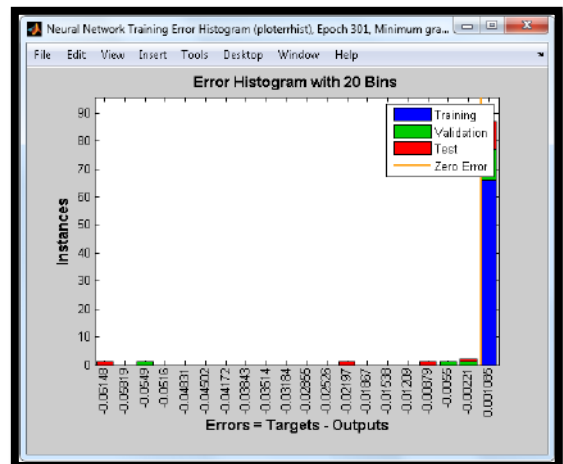
c) Training performance of ANN model



d) Validation performance of ANN



e) Training performance of ANN



f) Error Histogram of ANN

Fig. 3. Developing ANN model

Figure 3a shows Improved an ANN Model using MATLAB. Figure 3b shows The ANN predictions; training, test and validation performance. Figure 3c shows training performance of ANN model and Figure 3d shows Validation performance of ANN. Figure 3e shows Training performance of ANN and Figure 3f shows Error Histogram of ANN and These figures have been getting from prepared Matlab code. Training ANN model results were compared with the statistically (Table 2).

Table 2. Statistical Performance of training ANN model

Absolute Fraction of Variance (R ²)	Root Mean Square Error (RMSE)	Mean Error Percentage (MEP %)
0.999869	0.139119	0.610405

The back propagation learning algorithm has been used with Scaled Conjugate Gradient (SCG) learning algorithm and Levenberg-Marquardt (LM) learning algorithm versions at the training and testing stages of the Networks. The number of hidden layers and the number of neurons for each hidden layer were determined. Then, the number of iterations were entered by the user, and the training starts. The training continues either to the end of the iterations or reaching the target level of errors.

3. TESTING THE ACCURACY OF ANN MODELLING

In order to understand an ANN modelling is making good predictions, the test data which has never been presented to the network is used and the results are checked at this stage. The statistical methods of R2, RMSE and MEP values have been used for making comparisons [11-16].

The same data obtained from the regression analysis is used to determine the mentioned values.

These values are determined by the following Eqs (12-14):

$$RMSE = \left((1/p) \sum_j |t_j - o_j|^2 \right)^{1/2} \tag{12}$$

$$R^2 = 1 - \left(\frac{\sum_j (t_j - o_j)^2}{\sum_j (o_j)^2} \right) \tag{13}$$

$$MEP = \frac{\sum_j \left(\frac{t_j - o_j}{t_j} \times 100 \right)}{p} \tag{14}$$

Using the trial error method, the structure of the network (i.e. the number of neurons and hidden layers) is altered and the training operation is repeated. To be able to get accurate results we have used three hidden layers. Number of neuron in the hidden layer were changed (e.g. from 5 to 150) to determine the best network architecture.

4. RESULTS AND DISCUSSION

In this study, we have composed the chart data and network predicted output results t/d, s/d, b/d, r/d and Kt for the stress concentration factor parameters for statistical error analysing methods. As presented in Table 2, the statistical error levels for both training and testing data sets are evaluated. As the table illustrates the network with three hidden layers of [3+9+11+11+1] neurons at each layer has provided the best results (Figure 4). ANN model has been illustrated Figure 4. In this model, it is consist of 4 input layer(s) and with processing element at 3 hidden layer(s) and finally 1 output layer. In terms of the statistical error analysis methods, using Levenberg-Marquardt (LM) learning algorithm technique for Output.

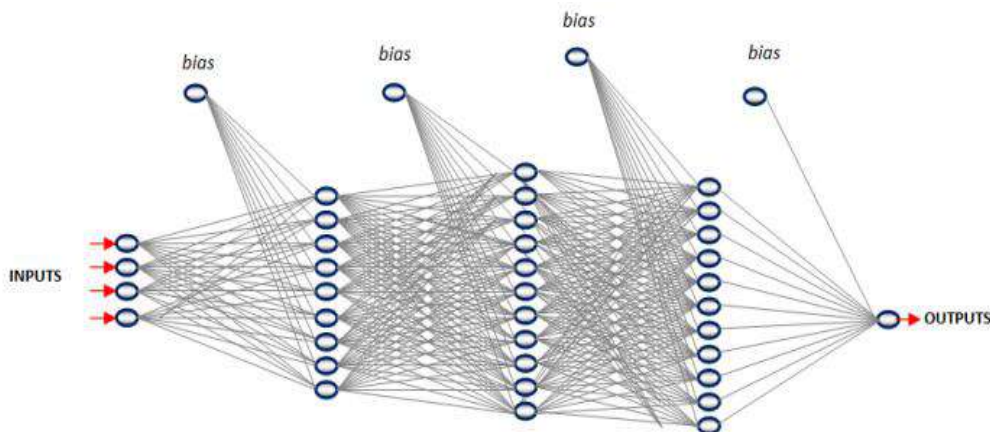


Fig. 4. ANN architecture with [3+9+11+11+1] processing elements at four hidden layers

Figure 5 shows *K_t* values was determined according to t/d, s/d. Figure 5 shows comparison of emprical values (chart values) and ANN model values. Figure 6 shows *K_t* values was determined according to s/d, r/d. Figure 6

shows comparison of emprical values (chart values) and ANN model values. Both ANN models results and emprical values were compatibled with graphical data.

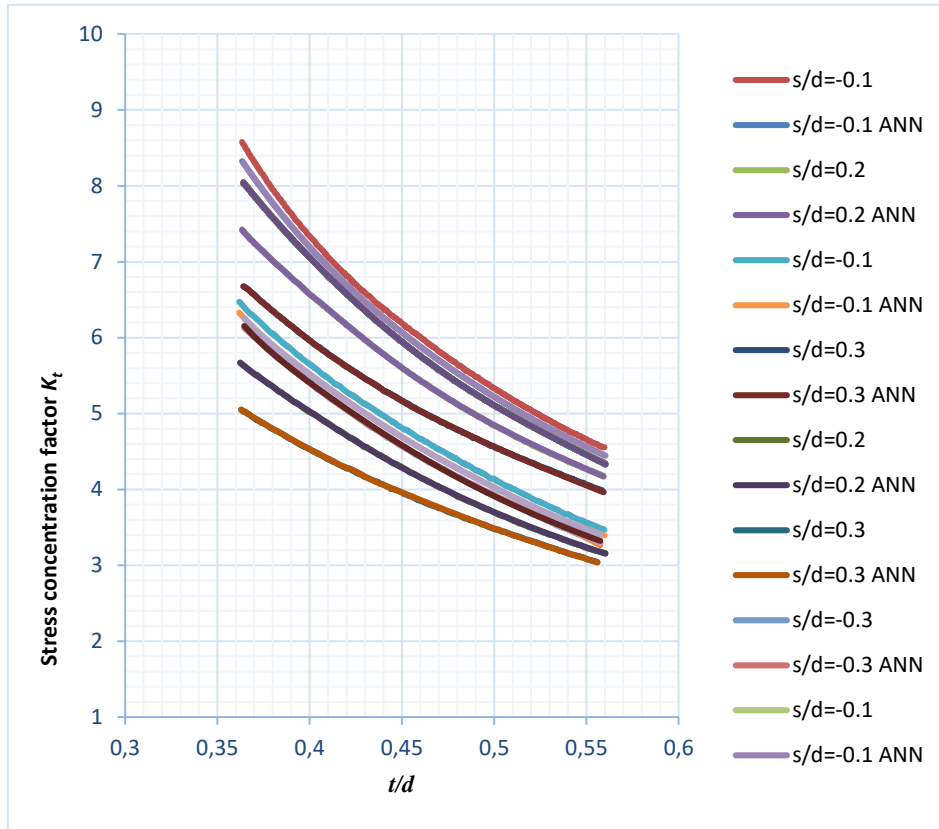


Fig. 5. Stress concentration factors K_t for a crankshaft in bending loading

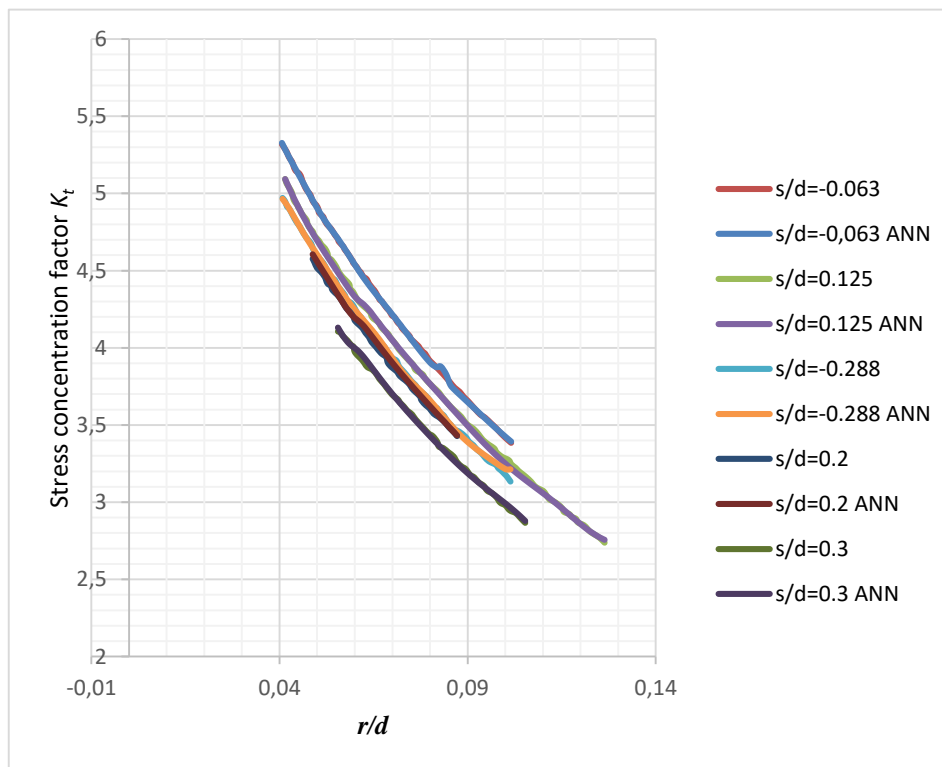


Fig. 6. Stress concentration factors K_t for a crankshaft in bending loading

5. CONCLUSION

In this study contains stress concentration factor determination using Peterson's Stress Concentration Factor charts and ANN modelling. Peterson's graphs have been accepted as scientifically valid, but a mathematical equation has not yet been transformed. Peterson's charts were drawn as a result of the experimental study and were not identified by a mathematical function. The values in these graphs can be defined only with the result of experimental studies. It is easier and more practical to determine these values using auxiliary software instead of using formulas. These charts are still used today to define the stress concentration factor. It is necessary to read the data in these curves when defining the stress concentration for a particular problem. These curves have been converted into numerical values with the help of highly sensitive computer software. An ANN database was created using these data. A new ANN model was developed using Matlab software. Different ANN models were tried and the best model was determined To determine the stress concentration factor according to different bending loading states in design of crankshaft was explored. The ANN model was provided high accuracy for prediction of stress concentration factor (K_t). This model has $R^2=0.999869$, $MEP\%=0.610405$ and $RMS=0.139119$. User can be read fault value that getting from chart. Using the ANN model these faults were eliminated. Easy and economical method was improved using An ANN model. This model was effective and usefull method. This method can be used with more reliability.

DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS

The authors of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

REFERENCES

- [1] Chien W.Y.; Pan J.; Close D. and Ho S. "Fatigue analysis of crankshaft sections under bending with consideration of residual stresses", *Int. J. Fatigue*, 27: 1-19, (2005).
- [2] Arai J," The bending stress concentration factor of solid crankshaft", *Bulletin of JSME*, 8: 322, (1965).
- [3] Peterson R. E, "Fatigue of shafts having keyways", *Proc. ASTM*. 32(2): 413, (1932).
- [4] Peterson R. E, "Methods of correlating data from fatigue tests of stress concentration specimens", *Stephen Timoshenko Anniversary Volume*, Macmillan, New York. pp.179, (1938).
- [5] Staul G, "Der Einfluß der form auf di Spannungen in Kurbelwellen", *Konstruktion*, 10: 2, (1958).
- [6] Pfender M, Amedick E. and Sonntag, "Einfluß der Formgebung auf die soannungsverteilung in kurbelkropfungen", *M.T.Z.*, 27: 225, (1966).
- [7] Fessler H. and Sood, V. K, "Stress distribution in some diesel engine crankshaft, Trans", *ASME Diesel and engine Power Division conference, Toronto, Paper*, 71: 1, (1971).
- [8] Baragetti S, "Design Criteria for High Power Engines Crankshafts the Open", *Mechanical Engineering Journal*, 9: 271-281, (2015).
- [9] Bargis E. Garro A. And Vullo V, "Crankshaft design and evaluation -Part 1 -Critical analysis and experimental evaluation of current methods, Part 2 -A modern design method: modal analysis -Part 3 -Modern design method: direct integration", *In: The international conference on reliability, stress analysis and failure prevention, Century 2 emerging technology conferences, San Francisco, California*, (1980).
- [10] Choi K.S. and Pan J. "Simulations of stress distributions in crankshaft sections under fillet rolling and bending fatigue tests", *Int. J. Fatigue*, 31: 544-557, (2009).
- [11] Pilkey, W. D, "Formulas for Stress, Strain, and Structural Matrices", *2nd ed.,Wiley, New York.*, (2005).
- [12] Ozkan M. T.; Toktas I, "Determination of the stress concentration factor (K_t) in a rectangular plate with a hole under tensile stress using different methods", *Materials Testing*, 58(10): 839-847, (2016).
- [13] Ozkan M. T, "Surface roughness during the turning process of a 50CrV4 (SAE6150) steel and ANN based modeling", *Materials Testing*, 57(10): 889-896, (2015).
- [14] Ozkan M. T.; Ulas H. B.; Bilgin M, "Experimental Design and Artificial Neural Network Model For Turning 50crv4 (Sae 6150) Alloy Using Coated Carbide/Cermet Cuting Tools", *Materiali In Tehnologije / Materials and Technology*, 48(2): 227-236, (2014).
- [15] Ozkan M.T., Erdemir F., "Determination of stress concentration factors for shafts under tension", *Materials Testing*, 62(4): 413-421, (2020).
- [16] Ozkan M. T," Experimental and artificial neural network study of heat formation values of drilling&boring operations on Al 7075 T6 workpiece", *Indian Journal of Engineering & Materials Science*, 20(4): 259-268, (2014).
- [17] Ozkan M. T, "Notch sensitivity factor calculationin the design of shafts using artificial neural network system", *Education Science and Technology Part A: Energy Science and Research*, 30(1): 621-630, (2012).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

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



Cilt kanseri görüntülerinde kıl temizliği ve lezyon bölütlemesinde yeni bir yaklaşım

A new approach to hair noise cleansing and lesion segmentation in images of skin cancer

Yazar(lar) (Author(s)): Cihan AKYEL¹, Nursal ARICI²

ORCID1: 0000-0003-1792-8254

ORCID2: 0000-0002-4505-1341

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Akyel C. ve Arıcı N., “Cilt kanseri görüntülerinde kıl temizliği ve lezyon bölütlemesinde yeni bir yaklaşım”, *Politeknik Dergisi*, 23(3): 821-828, (2020).

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

DOI: 10.2339/politeknik.645395

Cilt Kanseri Görüntülerinde Kıl Temizliği ve Lezyon Bölütlemesinde Yeni Bir Yaklaşım

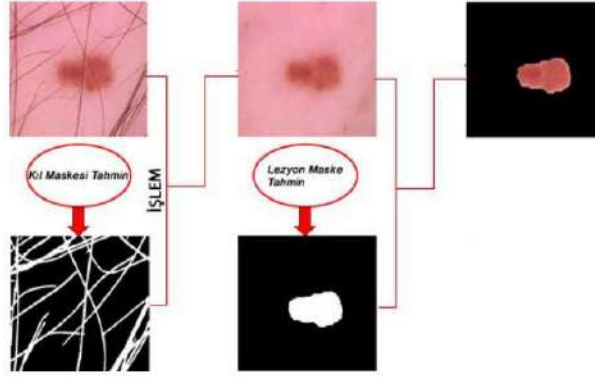
A New Approach to Hair Noise Cleansing and Lesion Segmentation in Images of Skin Cancer

Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Cilt Kanseri Türleri / Skin Cancer Types
- ❖ Cilt Kanseri Görüntülerinde Kıl Temizliği / Hair Noise Cleansing in Images of Skin Cancer
- ❖ Cilt Kanserinde Görüntülerinde Lezyon Bölütlemesi / Lesion Segmentation in Images of Skin Cancer
- ❖ Derin Öğrenme ve Görüntü İşleme Algoritmaları / Deep Learning and Image Processing Algorithms
- ❖ Kıl ve Lezyon Maskelerinin tahmin edilmesi / Predicting Hair and Lesion Masks

Grafik Özet (Graphical Abstract)

Çalışmada cilt kanseri lezyonlarındaki kıl vb gürültülerin temizlenmesi ve lezyonun bölütlenmesi, derin öğrenme ve görüntü işleme algoritmalarıyla oluşturulan maskeler ile yapılmaktadır.



Şekil. Algoritmanın genel gösterimi / **Figure.** General representation of the algorithm

Amaç (Aim)

Bu çalışmada; derin öğrenme ile elde edilen maskeler, görüntü işleme algoritmaları ile optimize edilerek lezyon maskelerinin daha doğru tahmin edilmesi amaçlanmıştır./In this study; masks obtained by deep learning are optimized with image processing algorithms and it is aimed to predict the lesion masks more accurately.

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

ISIC 2018'e ait 10015 adet görüntü ve 13000 adet görüntü ve maske içeren iki adet veri seti kullanılmıştır. Yöntem olarak Unet tabanlı derin öğrenme algoritması ve görüntü işleme algoritmaları kullanılmıştır./Two data sets containing 10015 images of ISIC 2018 and 13000 images and masks were used. As a method, Unet based deep learning algorithm and image processing algorithms were used.

Özgünlük (Originality)

Literatürden farklı olarak, kıl maskeleri oluşturulmuş ve derin öğrenme ile sistem eğitilmiştir. Kıl ve lezyon maskelerinin eğitim aşamalarında, görüntüler 16'lık dilimlere ayrılarak öğrenme başarısı artırılmıştır. / Unlike literature, hair masks have been created and the system has been trained with deep learning. During the training stages of hair and lesion masks, images are divided into 16 slices and learning success is increased.

Bulgular (Findings)

Kıl temizliği aşamasında %91.68, lezyon bölütlemesinde %94 doğrulama başarısı elde edilmiştir./ 91.68% validation accuracy was achieved in the hair removal stage and 94% in lesion segmentation.

Sonuç (Conclusion)

Çalışmada oluşturulan orjinal maskelerle, Unet algoritması kullanılarak sistem eğitilmiş ve bu sayede gürültülerin temizlenmesi ve lezyon bölütlenmenin daha yüksek başarı oranında gerçekleştiği görülmüştür./ In the study, with the original masks created, the system was trained using the Unet algorithm, and thus it was observed that the cleaning of the noises and the lesion segmentation was at a higher success rate.

Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

Cilt Kanseri Görüntülerinde Kıl Temizliği ve Lezyon Bölütlemesinde Yeni Bir Yaklaşım

Araştırma Makalesi / Research Article

Cihan AKYEL^{1*}, Nursal ARICI²

¹Bilişim Sistemleri Enstitüsü, Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü, Gazi Üniversitesi, Türkiye

²Teknoloji Fakültesi, Bilgisayar Müh. Bölümü, Gazi Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 11.11.2019 ; Kabul/Accepted : 22.01.2020)

ÖZ

Dünya Sağlık Örgütüne göre kanser 9.8 milyon ile dünyadaki ikinci en yüksek ölüm nedenidir. Kanser türleri arasında en sık rastlanılandan biri ise cilt kanseridir. Cilt kanserinde de, diğer kanser türlerinde olduğu gibi erken tanı tedavi sürecinde hayati öneme sahiptir. Günümüzde cilt kanseri tanısında geleneksel yöntemlerin yanı sıra bilgisayar teknolojisi temelli Görüntü İşleme, Yapay Zekâ, Derin Öğrenme, Yapay Sinir Ağları gibi yöntemler sıklıkla kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin en önemli avantajı, tanı sürecinde insan kaynaklı hataları barındırmamasıdır. Diğer yandan, en büyük sorunlardan birisi ise lezyondaki kıl temizliği ve lezyon bölütlemesinin doğru yapılamaması nedeniyle kanser tanısında yanlışlıklara yol açılmasıdır. Bu çalışma, cilt kanseri lezyonlarının kıl görüntülerinden temizlenmesi ve lezyon bölütlemesinde UNET tabanlı yeni bir yaklaşım sunmaktadır. Çalışma kapsamında International Skin Imaging Collaboration (ISIC)'e ait iki adet veri seti kullanılmıştır. Çalışma sonucunda kıl temizliğinde yaklaşık %92, lezyon bölütlemesinde yaklaşık %94 başarı oranı elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Derin öğrenme, kıl temizleme, cilt kanseri, unet.

A New Approach to Hair Noise Cleansing and Lesion Segmentation in Images of Skin Cancer

ABSTRACT

According to the World Health Organization, cancer is the second highest cause of death in the world with 9.8 million. One of the most common types of cancer is skin cancer. In skin cancer, as in other types of cancer, early diagnosis is vital in the treatment process. Today, in the diagnosis of skin cancer, besides traditional methods, computer technology based methods such as Image Processing, Artificial Intelligence, Deep Learning, Artificial Neural Networks are frequently used. The most important advantage of these methods is that they do not contain human errors during the diagnosis process. On the other hand, one of the biggest problems is the inaccuracy in the diagnosis of cancer due to the fact that the hair cleansing and lesion segmentation cannot be performed correctly. This study presents a new UNET-based approach to clearing skin cancer lesions from hair noises and lesion segmentation. Two data sets of International Skin Imaging Collaboration (ISIC) were used in the study. As a result of the study, a success rate of 92% in hair removal and approximately 94% in lesion segmentation was achieved.

Keywords: Deep learning, hair removal, skin cancer, unet.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kanser farklı organlardaki hücrelerin, kontrolsüz çoğalmasından oluşan bir hastalık olarak tanımlanmaktadır [1]. Kanser dünyadaki en yüksek ikinci ölüm sebebidir. 2018 yılında tahmini 9.8 milyon insan kanser nedeniyle hayatını kaybetmiştir [2].

Dünya'da en yaygın görülen kanser türlerinden birisi de cilt kanseridir. Melanoma cilt kanseri ise en ölümcül olanıdır. Cilt kanseriyle ilgili ölümlerin yaklaşık %75'i melanoma kaynaklıdır [3]. American Cancer Society'e göre 2019 yılında yaklaşık 96.480 yeni melanoma cilt kanseri vakası görülecek ve 7230 insan bu nedenle hayatını kaybedecektir. Cilt kanseri tedavisinde erken tanı çok önemlidir. Tanı erken konulup tedaviye başlanırsa, beş yıllık süreçte hayatta kalma oranı %92 olmaktadır [4]. Melanoma türü cilt kanserleri metastaz yaparak diğer dokulara yayılma eğilimindedirler.

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : cihan.akyel1@gazi.edu.tr

İnvazyon derinliği 2mm'den fazla melanoma tümörlerde metastaz olasılığı yüksektir. Bu sebepten bu durumlarda ölüm oranı artmaktadır [5].

Günümüzde cilt kanseri tanısında gözle muayene, dermaskopi ve cerrahi tabanlı geleneksel yöntemlerin yanında görüntü işleme ve derin öğrenme algoritmaları sıklıkla kullanılmaktadır. Özellikle görüntülerdeki görüntülerin temizlenmesinde görüntü işleme ve yapay sinir ağları gibi yöntemler kullanılmaktadır [6, 7]. Derin Öğrenme ve Görüntü İşleme algoritmaları geleneksel yöntemlere kıyasla, insan faktörünü bertaraf ettiği için daha güvenilir sonuçlar verebilmektedirler. Bu algoritmalarla, bir uzman kadar başarılı sonuçlar alınabilmekte ve insan hatası ortadan kaldırılabilir. 1997 yılında ABD'de bir grup araştırmacı tarafından bu duruma vurgu yapan bir araştırma yapılmıştır. Çalışmada cilt kanseri görüntülerini ve diğer pigmentli kanser lezyonlarını bölütlemek için bir görüntü işleme algoritması

geliştirilmiştir. 20 adet görüntü test edilmiş ve bölütleme (segmentasyon) sonuçlarının uzmanların elde ettiğiyle aynı olduğu görülmüştür [8].

Derin Öğrenme ve Görüntü İşleme ile cilt kanseri türünü tespit etmede, lezyonun kıl gibi gürültülerden temizlenmiş olması ve lezyonun doğru bölütlenmesi önemlidir. Kıl temizleme doğru yapılmadığında lezyonun doğru bölütlenmesi ve sınıflandırılmasında başarı oranı düşecektir. Literatürde incelendiğinde, kıl temizliği sorununa çözüm sunan ilk çalışmalardan biri 1997 yılında Lee ve arkadaşlarının kıl gürültüsünün temizliği için geliştirdiği, DullRazor algoritması olarak görülmektedir. Bu algoritma thresholding (eşikleme) ve morfolojik işlemler ile lezyonda kıl temizliği yapmaktadır. Dullrazor algoritması hızlı ve basit olmasından dolayı bu alandaki bilimsel çalışmalara katkı sağlamaya devam etmektedir [9].

Cilt kanserinin Derin Öğrenme ve Görüntü İşleme ile tanısında kıl temizliğinden sonra bir diğer önemli aşama lezyonun doğru bölütlenmesidir. Burada esas sorun optimal eşiklemede, her lezyon için geçerli bir eşikleme işleminin mümkün olmamasıdır. Eşikleme doğru olmadığında lezyonun alanlarının doğru belirlenip bölütlenmesi mümkün olmamaktadır. Bu konuda, Celebi ve arkadaşları lezyonun kenarlarını tespit etmek ve doğru bölütleme için denetimsiz hızlı ve başarılı bir algoritma sunmuşlardır [10].

Faisal ve arkadaşlarının çalışmasında YUV renk uzayı kullanılarak kıl temizliği ve bölütleme için yeni bir yaklaşım sunulmuştur. Bu çalışma eşikleme ve morfolojik işlemler ile YUV renk uzayı üzerine temellenmektedir. 235 görüntü kullanılan çalışmada %98'lik başarı sağlanmıştır. Görüntü sayısının az olması başarı oranı hakkında soru işaretleri oluşturmaktadır [3].

Literatür incelendiğinde kıl temizleme ve bölütleme çalışmalarında sadece görüntü işleme algoritmalarının yeterli olmadığı görülmektedir. Alom ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada bu durum görülmektedir. Çalışmada vnet tabanlı derin öğrenme ile bölütleme yapılmıştır. Bu çalışmada 0.8949 dice başarı değeri elde edilmiştir [11].

Bu çalışmada; mevcut yöntemlerin avantajları ve dezavantajları irdelenerek, kıl temizleme ve lezyon bölütlemesi için UNET ve görüntü işleme algoritmalarını temel alan yeni bir yaklaşım sunulmuştur. Derin öğrenme ile elde edilen maskeler, görüntü işleme algoritmaları ile optimize edilerek lezyon maskelerinin daha doğru tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Çalışma International Skin Imaging Collaboration (ISIC) 2018 veri setlerinde gerçekleştirilmiş olup, sonuçta, lezyon kıl temizliğinde %92, lezyon bölütlenmesinde %94'lük başarı elde edilmiştir [12].

Çalışmamızın bundan sonraki bölümleri şu şekilde ilerlemektedir. İkinci bölümde; Cilt kanseri ve türleri hakkında literatür bilgisine yer verilmekte, Üçüncü bölümde çalışma kapsamında kullanılan Materyal ve Yöntem, Dördüncü bölümde elde edilen bulgular ve beşinci bölümde sonuç ve tartışma yer almaktadır.

2. CİLT KANSERİ (SKIN CANCER)

Kanser çağımızın en ölümcül hastalıklarından biridir. Günümüzde kanser türleri arasında en yaygın olanlardan biri de cilt kanseridir [2].

2.1. Cilt Kanseri Türleri (Types of Skin Cancer)

Melanoma cilt kanserleri arasında en az görüleni olmakla birlikte en ölümcül olanıdır. Cilt kanseri üç sınıfa ayrılmaktadır [8].

2.3.1. Melanoma Dışı Cilt Kanseri (Non-Melanoma Skin Cancer)

Melanoma dışı kanserler genel olarak yayılma ve metastaz eğilimi göstermemektedirler. En sık görülen iki türü Bazal Hücreli Karsinom ve Skuamöz Hücreli Karsinom'dur [5].

2.3.1.1. Bazal Hücreli Karsinom (Basal Cell Carcinoma (BCC))

BCC yavaş ilerleyen ve çok yaygın görülen bir cilt kanseri türüdür. Yayılma eğilimi göstermezler. Genelde epiderminin altında görülmekle birlikte nadiren daha derinde kemiğe yakın yerlerde ortaya çıkabilmektedirler. Şekil 1'de BCC cilt kanserine ait örnek görüntüler yer almaktadır [8].

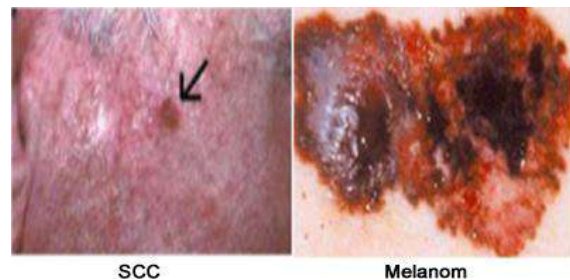


Şekil 1. BCC cilt kanseri örneği (BCC skin cancer example) [8]

2.3.1.2. Skuamöz Hücreli Karsinom

(Squamous Cell Carcinoma (SCC))

Lezyon pullu ve çıkıntılı bir yapıya sahiptir. SCC türü cilt kanserleri BCC'ye göre çok daha agresif şekilde yayılma eğilimindedirler. Lezyonlar üzerinde kanama görülebilir. SCC kanser türü yavaş gelişmesine rağmen tedavi edilmezse diğer dokulara yayılabilir [8].



Şekil 2. SCC ve melanoma cilt kanseri örneği (SCC and melanoma skin cancer example) [8]

2.3.2. Melanoma Cilt Kanseri (Melanoma Skin Cancer)

Melanoma, cilt kanserleri içinde en az görülen fakat en tehlikeli olanıdır. Tüm cilt kanserlerinin yaklaşık %5'ini oluştururlar [13]. Melanoma cilt kanserinin tedavisinde diğer kanser türlerinde olduğu gibi erken tanı çok önemlidir. Ülkemizde bu konuda atılan adımlara rağmen melanoma cilt kanserinde mortalite'nin yani cilt kanserine bağlı genel populasyon içindeki ölüm sayısını oranının arttığı görülmektedir [14].

Melanoma cilt kanserleri kan ve lenfatik sistemle diğer dokulara yayılabilirler. Bu sebeple melanoma cilt kanserinin erken teşhisi çok önemlidir. Şekil 2'de SCC ve melanoma cilt kanseri örneği görülmektedir. Melanoma SCC ve BCC'ye kıyasla çok hızlı yayılan bir cilt kanseri türüdür ve tedavi edilmezse ölümcül olabilir [15].

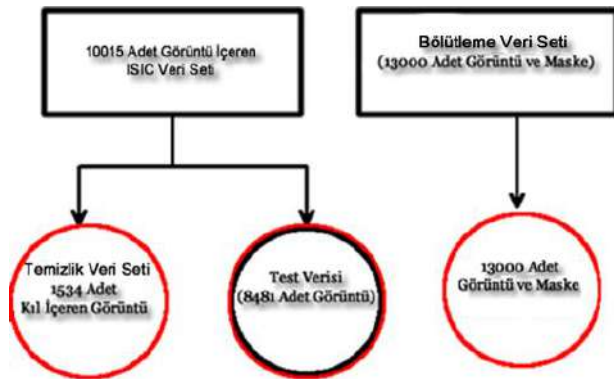
3. MATERYAL VE YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)

3.1. Materyal (Material)

Bu çalışmada ISIC challenge 2018'dan alınan iki adet ISIC veri seti kullanılmıştır [14]. Birinci veri setinde jpeg formatında lezyonları ve sınıflarını içeren 10015 adet RGB görüntü yer almaktadır. Bu veri setinden, kılı içeren 1534 tanesi rastgele seçilmiş ve kıl temizliği aşamasında kullanılmıştır. 1534 veri içeren bu veri grubu bundan sonra "Temizlik Veri Seti" olarak anılacaktır [16].

Lezyon bölütlemesi için ISIC challenge 2018'e ait 13000 adet png formatında RGB görüntü ve maske verisinden oluşan ikinci ISIC veri seti kullanılmıştır. Bu veri seti bundan sonra "Bölütleme Veri Seti" olarak anılacaktır [14].

Her iki aşamada da, öğrenme başarısını artırmak ve sistemin overfitting (ezberleme)'e düşmesini engellemek için veri setleri üzerinde 90 ve 180 derece döndürme ve yatay çevirme işlemleriyle veri artırma uygulanmıştır. Veri artırma ile veri sayısı, Temizlik Veri Seti'nde 4602'e, Bölütleme Veri Seti'nde ise 39000'e çıkarılmıştır. Şekil 3'te kullanılan veri setleri görülmektedir.



Şekil 3. Temizlik ve bölütleme veri setleri (Cleaning and segmentation data sets)

Çalışma kapsamında geliştirilen algoritma python dili kullanılarak, spyder yazılımı ile kodlanmıştır. Görüntü işleme aşamalarında fonksiyonların kolay kullanımından dolayı Matlab yazılımından faydalanılmıştır.

3.2. Yöntem (Method)

Bu çalışma; Kıl Temizleme ve Lezyon Bölütlemesi olmak üzere iki aşamadan oluşmaktadır. Her iki aşamada da veriler %80'i eğitim ve %20'si test kümesi olacak şekilde ayrılmıştır. Bu oranlar derin öğrenme çalışmalarında kullanılan kabul edilebilir değerlerdir. Bizim çalışmamızda sistem eğitim aşamasında bu oranlar ile eğitilmiş ve ezberleme durumu görülmemiştir. Bu sebeple eğitim ve test verisi için verilen oranlar kullanılmıştır.

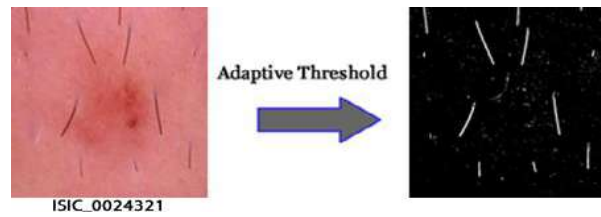
3.2.1. Birinci Aşama: Kıl Temizleme Aşaması

(First Stage: Hair Removal Stage)

Bu aşamada; Temizlik Veri Seti'ndeki görüntülere ait kıl maskeleri oluşturulmuş ve sistem bu görüntü ve maskelerle eğitilmiştir. Kıl Temizleme Algoritması takip eden adımları içermektedir.

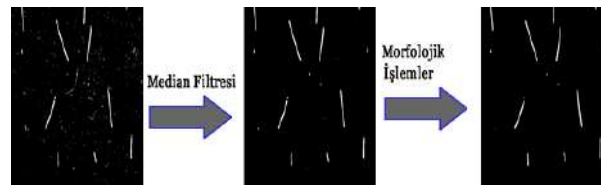
Adım 1: Temizlik Veri Seti gri seviyeli görüntülere çevrilmiştir. Görüntüler 128*128 şeklinde yeniden boyutlandırılmıştır.

Adım 2: Bu adımda adaptive threshold ile görüntüye ait kıl maskesi şekil 4'te görüldüğü gibi genel hatlarıyla çıkarılmıştır.



Şekil 4. Adaptive threshold işlemi (Adaptive threshold process)

Adım 3: Bu adımda medianfilter ile küçük kabarcık ve ince kıllar görüntüden temizlenmiştir. Daha sonra morfolojik işlemler (opening, closing) kıl maskesinin iç ve dışında kalan gürültülerin temizlenmesi için uygulanmıştır.



Şekil 5. Median filtresi ve morfolojik işlemler (Median filter and morphological processes)

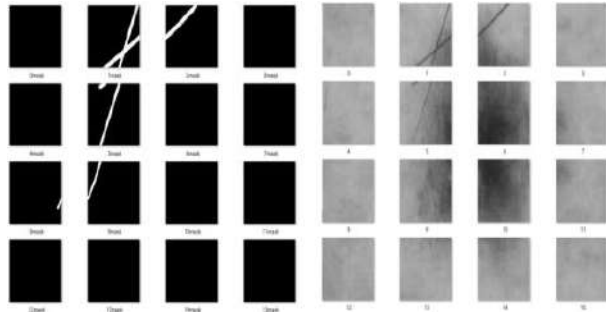
Adım 4: İlk üç adımda ortaya çıkan kıl maskeleri lezyondaki kıl gürültüsü incelenerek, adobefireworks

programı kullanılarak düzeltilmiştir. Şekil 6'da bu adım özetlenmektedir.



Şekil 6. Fireworks ile maske düzeltme (Mask correction with fireworks)

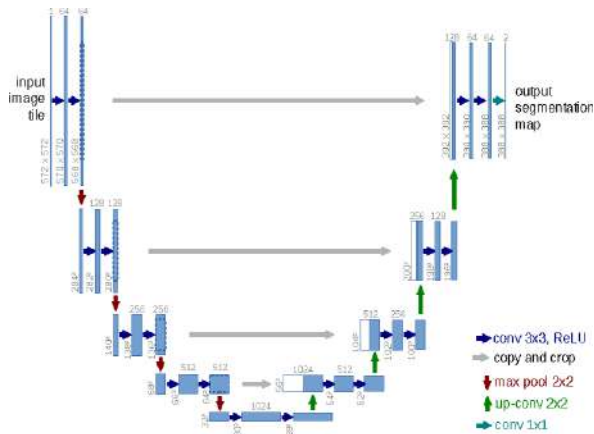
Adım 5: Bu adımda görüntüler ve oluşturulan kıl maskeleri 16'lık dilimlere ayrılmış ve 128*128 şeklinde yeniden boyutlandırılmıştır. Görüntüler, eğitime girecek verideki ayrıntı düzeyini artırmak için 16'lık dilimlere ayrılmış ve bu sayede başarı oranının %80'den %92'e yükseldiği görülmüştür. Şekil 7'de 16'lık dilimlere ayrılmış görüntü ve maske görülmektedir.



Şekil 7. Dilimli görüntü ve kıl maskesi (Sliced image and hair mask)

Adım 6: Bu adımda 1534 görüntü ve oluşturulan 1534 kıl maskesi, veri artırma ile 4602'şer adete çıkarılmıştır. Veri artırma 90 ve 180 derece açılı döndürme ve yatay çevirme kullanılarak yapılmış ve görüntüler kaydedilmiştir.

Adım 7: Unet algoritması ile 4602 adet görüntü girdi, 4602 kıl maskesi çıktı olarak alınmış ve sistem 1500 epoch eğitilmiştir. Şekil 8'de Unet algoritmasının genel görünümü görülmektedir.



Şekil 8. Unet mimarisi (Unet architecture) [17]

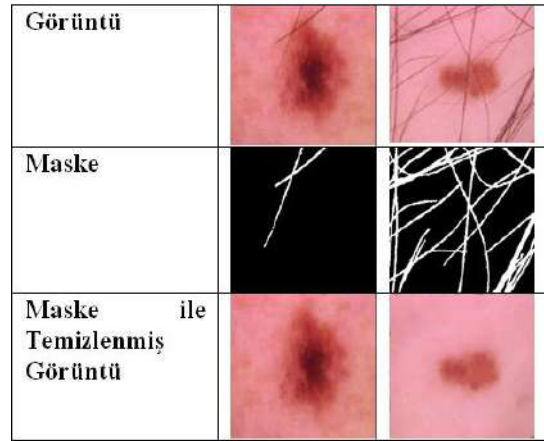
Aktivasyon fonksiyonu relu, optimizör ise adadelta olarak belirlenmiştir. Çıkış fonksiyonu olarak sigmoid kullanılmıştır. VGG16 Imagenet ağırlıkları kullanılmıştır. Kernel boyutu 3*3 olarak belirlenmiştir. Unet için dice_coef ve mean_squared_error_dice_loss kullanılmıştır. Kullanılan parametreler ve elde edilen başarı sonuçları Çizelge 1'de görülmektedir.

Çizelge 1. Unet için kullanılan parametreler (Parameters used for unet)

Parametre	Değer
Batch size (Parti Boyutu)	5
Subdivisions (Alt Bölümler)	16
Learning rate (Öğrenme Katsayısı)	0.1
Epoch sayısı	1500
Boyut	128x128x16
Optimizör (En İyi Yönlendirici)	Adadelta
Training Accuracy (Eğitim Başarısı)	%88.580
Training Loss (Eğitim Kaybı)	%12.765
Validation Accuracy (Doğrulama Başarısı)	%91.680
Validation Loss (Doğrulama Kaybı)	%11.56

1500 epoch'tan sonra doğrulama kaybı değerinde kayda değer bir düşüş görülmediği için eğitim sonlandırılmıştır.

Adım 8: Test verisi üzerinde oluşturulan modelin denenmesi. Şekil 9'da test verisi kullanılarak tahmin edilen örnek maske ve temizlenmiş görüntüler görülmektedir. Maskeleme işleminde maskeler bitmap formatında kaydedilmiştir. Görüntüdeki kıl gürültüsü, tahmin edilen maske ve inpaint fonksiyonu temizlenmiştir.



Şekil 9. Test verisi sonuçları (Results of test data)

3.2.2. İkinci Aşama: Lezyon Bölütlemesi (Stage Two: Lesion Segmentation)

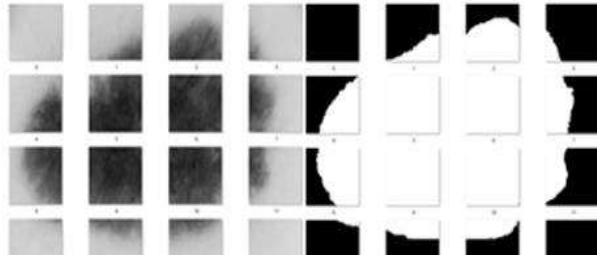
Bu aşamada 13000 adet görüntü ve maskelerinden oluşan Bölütleme Veri Seti kullanılarak, sistem Unet algoritması ile eğitilmiştir. Eğitim sonucunda yaklaşık %94'lük eğitim başarı oranı elde edilmiştir. Veri seti içerisindeki kıl, bant ve kabarcık gibi gürültüler de yer almaktadır. Bu veriler eğitimin farklı ve gürültü içeren görüntüleri de içermesi amacıyla, veri setinden çıkarılmamışlardır.

Görüntü ve maske verileri 16'lık dilimlere ayrılmıştır. Bu yöntemle eğitime alınacak görüntü verilerindeki ayrıntı düzeyi artırılarak başarı oranları yükseltilmiştir.

Giriş bölümünde belirtildiği gibi sadece görüntü işleme algoritmaları ile yapılan lezyon bölütlemesi, lezyonun doğru bölütlenmesinde yeterli olmamaktadır. Bu çalışmada lezyon bölütlemesi derin öğrenme ile yapılmış sonuçlar görüntü işleme algoritmaları ile optimize edilmiştir. Lezyon Bölütleme Algoritması aşağıdaki adımları içermektedir.

Adım 1: Görüntü ve maskeler Şekil 10'daki gibi 16'lık dilimlere ayrılmıştır.

Adım 2: Bu adımda görüntü ve maskeler 128*128 şeklinde yeniden boyutlandırılmıştır. 3000 epoch çalıştırılmıştır.

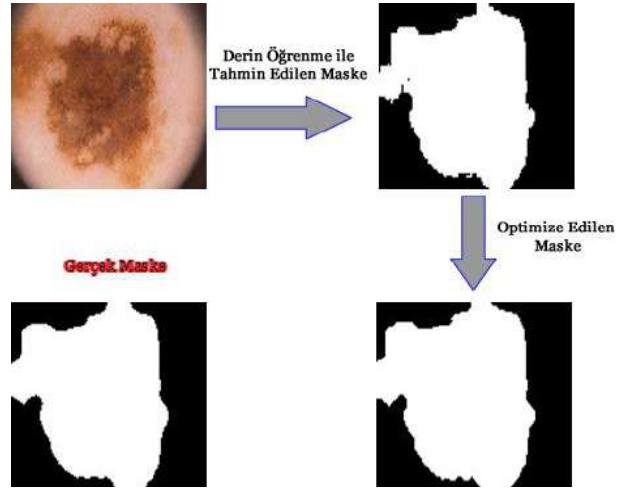


Şekil 10. Dilimli görüntü ve bölütleme maskesi (Sliced image and segmentation mask)

Adım 3: Sistem Çizelge 2'de görülen parametrelerle 3000 epoch koşturulmuştur. 3000 epoch'tan sonra doğrulama kaybı değerinde kayda değer bir düşüş görülmediği için eğitim sonlandırılmıştır.

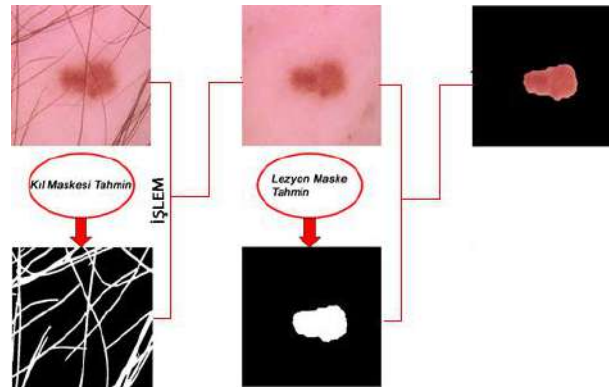
Çizelge 2. İkinci aşama başarı sonuçları (Results of second stage)

Adım 4. Bölütleme sonuçlarının Morfolojik işlemler (medianfilter, opening, closing, dilate) ile gürültülerden temizlenmesi: Bu aşamada tahmin edilen maske, görüntü işleme ile optimize edilmiştir. Matlab yazılımı kullanılarak önce medianfilter ile maske üzerinde gürültü temizliği yapılmıştır. Daha sonra morfolojik işlemlerden opening (açma) ve closing (kapama), imopen ve imclose fonksiyonları ile uygulanarak sırasıyla bölütlemenin iç ve dışında kalan gürültüler temizlenmiştir. İmdilate fonksiyonu ile önceki işlemlerden dolayı oluşan alan küçülmeleri düzeltilmiştir. Şekil 11'de bu durum görülmektedir.



Şekil 11. Maske optimizasyonu (Mask optimization)

Adım 5. Modelin Bölütleme Veri Seti'nin Test Kümesi ile test edilmesi: Algoritmanın tüm aşamalarını içeren genel çalışma şekli şekil 12'de ifade edilmektedir.



Şekil 12. Algoritmanın genel gösterimi (General representation of the algorithm)

Parametre	Değer
Batch size (Parti Boyutu)	5
Subdivisions (Alt Bölümler)	16
Learning rate (Öğrenme Katsayısı)	0.1
Epoch sayısı	1500
Boyut	128x128x16
Optimizier (En İyileyici)	Adadelta
Training Accuracy (Eğitim Başarısı)	%92.60
Training Loss(Eğitim Kaybı)	%10.22
ValidationAccuracy (Doğrulama Başarısı)	%94.100
ValidationLoss (Doğrulama Kaybı)	%7.15

4. BULGULAR (RESULTS)

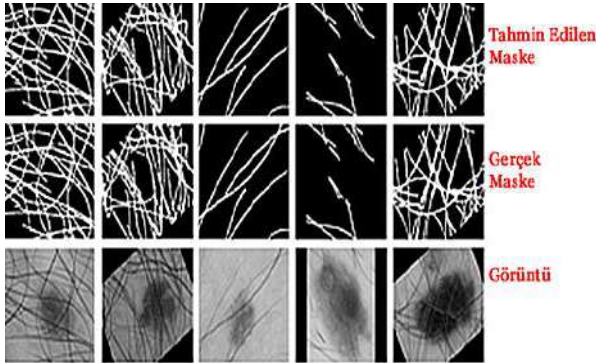
Bu çalışmada Kıl Temizliği için Unet algoritmasının belirtilen parametrelerle koşturulmasıyla yaklaşık %92'lik doğrulama başarı oranı elde edilmiştir. Algoritma 1500 epoch çalıştırılmıştır. Sonuçlar Çizelge 3'te görülmektedir.

Eğitim aşamasında algoritma 1500 epoch çalıştırılmıştır. 1500 epoch'tan sonra doğrulama kayıp oranında belirgin bir düşüş görülmediği için bu epoch sayısında eğitim sonlandırılmıştır.

Şekil 13'de gerçek maske, eğitilen model ile tahmin edilen maske ve görüntü verileri görülmektedir.

Çizelge 3. Algoritma Sonuçları (Results of Algorithm)

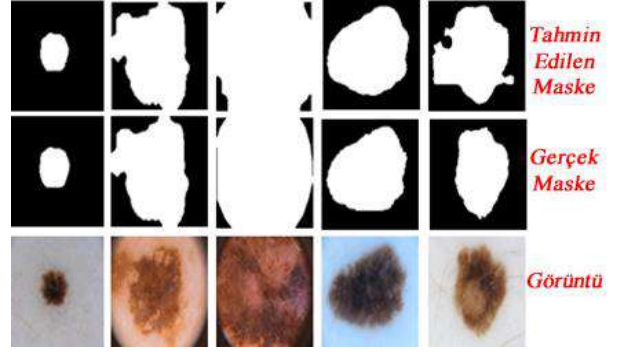
	Kıl Temizliği		Bölütleme	
Veri Seti	4602		39000	
Başarı Oranı(%)	Val_Acc	Val_Loss	Val_Acc	Val_Loss
	91.68	11.56	94.10	7.15



Şekil 13. Kıl temizleme test sonuçları
(Hair removal test results)

Bölütleme aşamasında, belirtilen parametrelerle sistem 3000 epoch çalıştırılmıştır. Bölütleme sonuçları lezyon bölütleme başlığında belirtildiği gibi görüntü işleme algoritması ile görüntülerden temizlenmiştir.

Şekil 14'de gerçek maske, algoritma modeliyle tahmin edilen maske ve görüntü verileri sunulmaktadır.



Şekil 14. Bölütleme test sonuçları (Segmentation test results)

5. SONUÇ VE TARTIŞMA (CONCLUSION AND DISCUSSION)

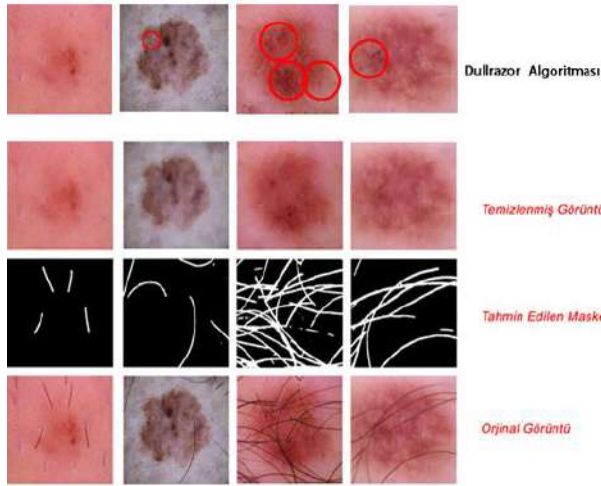
Literatür araştırmasında kıl temizliğinde, birçok çalışmada eşikleme ve görüntü işleme algoritmalarının kullanıldığı görülmüştür. Bu çalışmalarda karşılaşılan genel sorun kılmaskesinin doğru şekilde tahmin edilememesi ve kıl temizliği sonucunda veri kaybının oluşmasıdır. Bu duruma örnek oluşturan bir durum Kassam'ın çalışmasında görülmektedir.

Bu çalışmada Dullrazor algoritmasının kıl temizliğinde yetersiz kaldığı şekil 15'te görülmektedir.



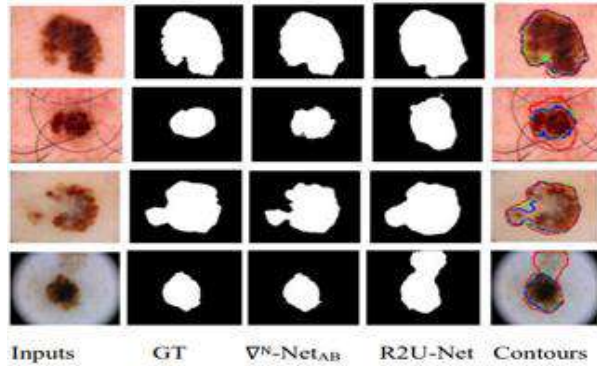
Şekil 15. Dullrazor algoritması (Dullrazor algoritim) [8]

Bizim çalışmamızda kıl maskelerinin görüntü işleme ile çıkarılması yerine; oluşturulan orjinal maskelerle, Unet algoritması kullanılarak sistem eğitilmiş ve DullRazor algoritmasına göre daha başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Maskenin daha doğru tahmin edilmesiyle birlikte görüntü üzerindeki veri kaybı en aza indirgenmiştir. Şekil 16'da çalışmadaki bazı sonuçlar görülmektedir.

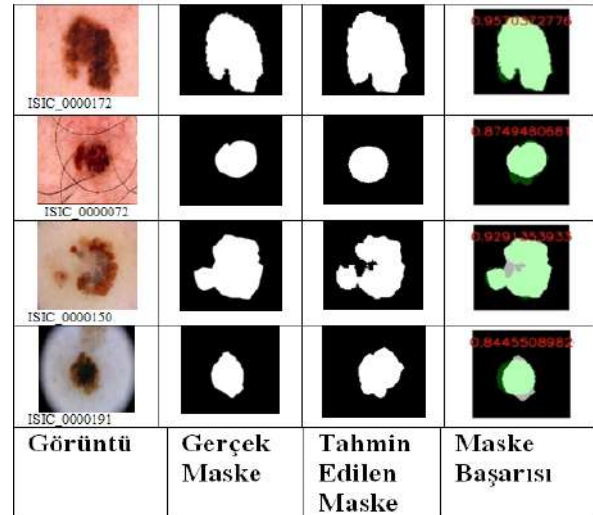


Şekil 16. Kıl temizleme aşaması algoritma sonuçları (Hair removal stage algorithm results)

Literatürde bölütleme alanında derin öğrenme ve görüntü işleme algoritmalarını kullanan birçok çalışma mevcuttur. Bu çalışmalardan biri olan Alom ve arkadaşlarının çalışmasında gerçek ve tahmin edilen bölütleme arasındaki fark Şekil 17’de görülmektedir. Burada VN-NetAB algoritmasının daha başarılı sonuçlar elde ettiği görülmektedir. Şekil 18’de aynı verilerle algoritmamızın koşturulmasıyla elde edilen sonuçlar görülmektedir. Genel olarak VN-NetAB algoritmasına yakın sonuçlar elde edilebilmiştir.



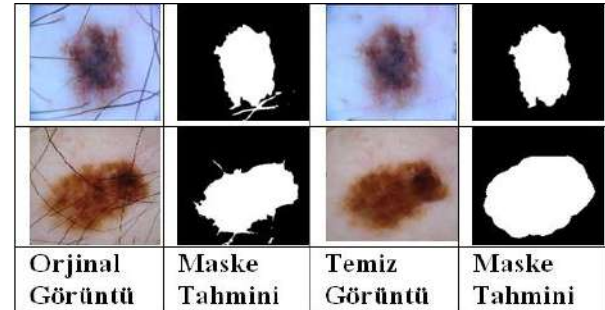
Şekil 17. Gerçek ve tahmin edilen maske farkı örneği (Example of real and predicted mask difference) [11]



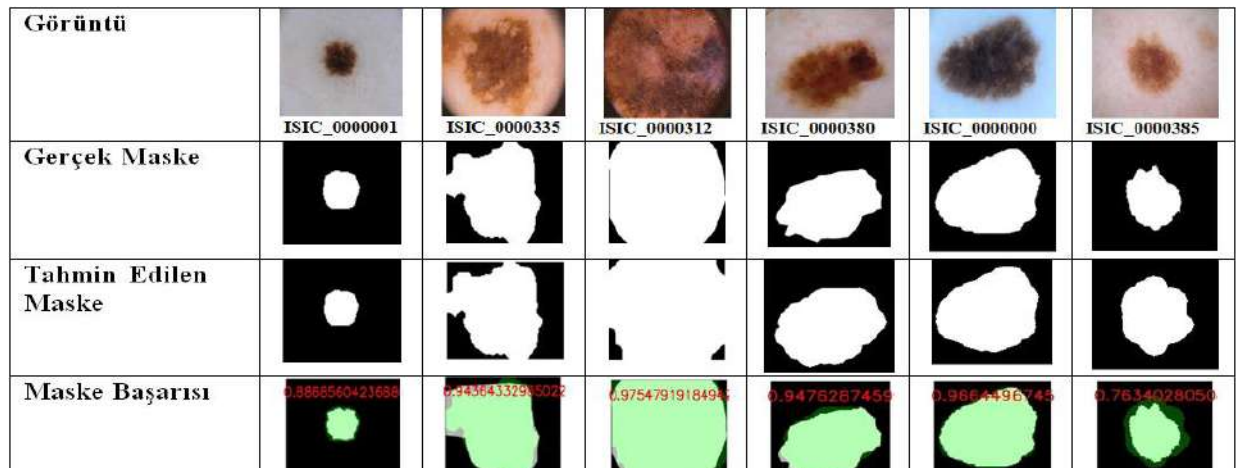
Şekil 18. Bölütleme aşaması maske farkları (Segmentation stage mask differences)

Bizim çalışmamızda lezyon ve zemin arasındaki renk histogramı yakın olduğunda ve kıl vb. gürültü fazlalığında bölütleme sonuçlarının düştüğü görülmüştür. Test görüntülerindeki kıl gürültüsü “Kıl Temizleme Aşaması”nda eğitilen model ile temizlenerek bölütleme tahmini işlemine alınmıştır.

Şekil 19’da kıl temizliği yapılmadan model ile maske tahmini yapıldığında başarının düştüğü görülmektedir. Şekil 20’de çalışma kapsamında yapılan bölütleme ve gerçek maske farkları görülmektedir.



Şekil 19. Kıl gürültüsünün bölütlemeye etkisi (The Effect of hair noise on segmentation)



Şekil 20. Bölütleme aşaması algoritma sonuçları (Segmentation stage algorithm results)

Genel olarak, çalışma kapsamında oluşturulan algoritmanın yüksek doğruluk oranında lezyon sınırlarını tahmin ettiği görülmüştür. Çalışma kapsamında mevcut literatürden farklı olarak; lezyon bölütlemeye görüntü ve maskeler 16'lık dilimlere ayrılmış ve Unet tabanlı algoritma ile eğitilmiştir. Daha sonra elde edilen sonuçlar görüntü işleme algoritmaları ile optimize edilmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Baykara, O., "Kanser Tedavisinde Güncel Yaklaşımlar", *Balikesir Sağlık Bilimleri Dergisi*, 5(3): 154-165, (2016).
- [2] "Cancer", <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cancer>, Erişim (5.11. 2019).
- [3] Faisal, Z., Abbadi, N., "New Segmentation Method for Skin Cancer Lesions", *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 12(21): 5598-5602 (2017).
- [4] Ünver, H. M., Ayan, E., "Skin Lesion Segmentation in Dermoscopic Images with Combination of YOLO and GrabCut Algorithm", *Diagnostics*, 9(72): 1-21, (2019).
- [5] Güngör, K. H., "Metastaz Yapmamış Melanoma Ve Melanoma Dışı Deri Kanseri İçin Geliştirilmiş Olan Deri Kanseri İlişkili Yaşam Kalitesi Ölçeğinin (Dkykö) Türkçe Geçerlilik Ve Güvenilirliğinin Araştırılması", *Tıpta Uzmanlık Tezi*, Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi, Ankara, (2016).
- [6] Demirci, M., Yabanova, İ., "Model Tabanlı Tasarım Metotları Kullanılarak Gerçek Zamanlı Bir Görüntü İşleme Sisteminin Tasarımı ve Gerçeklemesi", *Politeknik Dergisi*, 22(4): 827-838, (2019).
- [7]. Sağroğlu, Ş., Beşdok, E., "A Novel Approach for Image Denoising Based on Artificial Neural Networks", *Politeknik Dergisi*, 15(2): 71-86, (2012).
- [8]. Kassam, A., "Segmentation Of Skin Cancer By Using Image Processing Techniques", *Master Thesis*, Yıldız Technical University Department Of Computer Engineering, İstanbul, (2016).
- [9]. Lee, T., Ng V., Gallagher R., Coldman A., McLean D., "Dullrazor: A Software Approach to Hair Removal from Images", *Computers in biology and medicine*, 27(6):533-543, (1997).
- [10] Celebi, E.C., Aslandoğan, A.A., Stoecker WV, Iyatomi H, Oka H, Chen X., "Unsupervised Border Detection in Dermoscopy Images", *Skin Research and Technology*, 13(4): 454- 462, (2007).
- [11] Alom, M., Aspiras, T., Taha, T., Vijayan, K., "Skin Cancer Segmentation and Classification with NABLA-N and Inception Recurrent Residual Convolutional Networks", <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1904/1904.11126.pdf>, Erişim (5.11. 2019).
- [12] ISIC 2018: Skin Lesion Analysis Towards Melanoma Detection", <https://challenge2018.isic-archive.com/>, Erişim (15.10.2019).
- [13] L'opez, A., "Skin Lesion Detection From Dermoscopic Images Using Convolutional Neural Networks", *A Degree Thesis*, Faculty of the Escola Tècnica d'Enginyeria de Telecomunicació de Barcelona Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, (2017).
- [14] Sümen, A., "Denizcilik Lisesi Öğrencilerine Cilt Kanseri Konusunda Verilen Eğitimin Bilgi Ve Davranışlarına Etkisi", *Yüksek Lisans Tezi*, Akdeniz Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Antalya, (2014).
- [15] Kızılbey, K., Akdeste, Z., "Melanoma Cancer", *Journal of Engineering and Natural Sciences*, 31(4): 555-569, (2013).
- [16] "Task 3: Lesion Diagnosis: Training", <https://challenge2018.isic-archive.com/task3/training/>, Erişim (18.10. 2019).
- [17] "U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation", <https://arxiv.org/pdf/1505.04597.pdf>, Erişim (18.10. 2019).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

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



QSTE420TM çeliğinin TIG kaynak yöntemiyle kaynak edilmesinde ilave metal tel çapının metalurjik ve mekanik özelliklere etkisinin belirlenmesi

Determination of the effect of additional metal wire diameter on metallurgical and mechanical properties in TIG welding of QSTE 420TM steel

Yazar(lar) (Author(s)): Mustafa HARMAN¹, Hakan ADA², Cemil ÇETİNKAYA³

ORCID¹: 0000-0001-6045-0570

ORCID²: 0000-0002-0412-5789

ORCID³: 0000-0002-0298-1143

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Harman M., Ada H. ve Çetinkaya C., "QSTE420TM çeliğinin TIG kaynak yöntemiyle kaynak edilmesinde ilave metal tel çapının metalurjik ve mekanik özelliklere etkisinin belirlenmesi", *Politeknik Dergisi*, 23(3): 829-839, (2020).

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

DOI: 10.2339/politeknik.620390

QSTE420TM Çeliğinin TIG Kaynak Yöntemiyle Kaynak Edilmesinde İlave Metal Tel Çapının Metalurjik ve Mekanik Özelliklere Etkisinin Belirlenmesi

Determination of the Effect of Additional Metal Wire Diameter on Metallurgical and Mechanical Properties in TIG Welding of QSTE 420TM Steel

Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ QSTE420TM TIG / QSTE420TM TIG.
- ❖ Isı girdisi / Heat Input.
- ❖ İlave tel çapı / Additional Wire Diameter.
- ❖ Mikro yapı / Micro Structure.
- ❖ Kaynak hızı / Weld Speed.

Grafik Özet (Graphical Abstract)

QSTE 420TM malzeme, Tungsten Inert Gaz Kaynağı yönteminde 1,6 mm ve 2,0 mm çapında ilave metal tel kullanılarak kaynaklanabilirlik testlerine tabi tutulmuştur. TIG'de farklı ilave tel çapları kullanılarak yüksek ısı girdisinin mekanik ve metalurjik özelliklere olan olumsuz etkileri incelenmiştir.

Çizelge. Deneylere göre kaynak parametreleri / Chart. Welding parameters according to the experiments

Grup-Deney No	Kalınlık	Paso no	Dolgu metal	Dolgu tel çapı	Akım ve kutuplama	Konyucu Gaz (EN ISO 14175)	Tel besleme -m/dk	Akım şiddeti (Amp.)	Gerilim (Volt)	Kaynak hızı (mm/sn.)	Isı girdisi kJ/mm	
											Tek paso	Ort. Paso
1	2,5	1	TG-102	2,0	DC (-)	II (%100Ar)	0,45	150	126,6	7,5	1,77	1,77
		2		2,0	DC (-)	II (%100Ar)	0,50	150	126,6	7,5	1,77	
2	2,5	1	ER 70 S-2	1,6	DC (-)	II (%100Ar)	0,60	150	126,6	10,8	1,23	1,23
		2		1,6	DC (-)	II (%100Ar)	0,65	150	126,6	10,8	1,23	

Amaç (Aim)

QSTE420TM'nin TIG kaynağında farklı ısı girdilerinin kaynaklanabilirliğe etkisini incelemek. / To examine the effect of different heat inputs on weldability of TIG welding of QSTE420TM.

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Tungsten Asal Gaz kaynak yöntemi / Tungsten Inert Gas welding method.

Özgünlük (Originality)

Bulgular standart deneysel verilerle ispatlıdır. / The findings are evidenced by standard experimental data.

Bulgular (Findings)

Tahribatlı ve tahribatsız deneyler içermektedir. / It includes destructive and non-destructive experiments.

Sonuç (Conclusion)

1.6 mm ilave tel çapı TIG'te en iyi sonucu vermiştir. / 1.6 mm additional wire diameter worked best in TIG.

Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

QSTE420TM Çeliğinin TIG Kaynak Yöntemiyle Kaynak Edilmesinde İlave Metal Tel Çapının Metalurjik ve Mekanik Özelliklere Etkisinin Belirlenmesi

Araştırma Makalesi / Research Article

Mustafa HARMAN¹, Hakan ADA^{2*}, Cemil ÇETİNKAYA³

¹Çankırı Makina ve Kimya Endüstrisi Kurumu, Türkiye

²Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Makine Müh. Bölümü, Kastamonu Üniversitesi, Türkiye

³Teknoloji Fakültesi, Metalürji ve Malzeme Müh. Bölümü, Gazi Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 16.09.2019; Kabul/Accepted : 14.11.2019)

ÖZ

Bu çalışmada; savunma sanayi, otomotiv sanayi, petrol iletim hatları gibi sektörlerde yaygın olarak kullanılan ince taneli ve mikro alaşımlı yapıya sahip QSTE 420TM kalitesindeki çelik sac plaka malzeme, Tungsten Inert Gaz Kaynağı yönteminde 1,6 mm ve 2,0 mm çapında ilave metal tel kullanılarak ayrı ayrı birleştirilmiştir. Farklı çaplardaki dolgu tellerine farklı ısı girdileri uygulanmıştır. Böylece kaynak bölgesi (ana malzeme, ısının tesiri altındaki bölge ve kaynak metali) üzerinde meydana gelen mekanik ve metalürjik değişiklikler, çekme, eğme, çentik - darbe, sertlik testleri ve makrografik, mikrografik muayeneler yapılarak incelenmiştir. Gerçekleştirilen testler sonucunda; 1,6 mm ilave telin, kaynaklı birleştirmenin kendinden beklenen mekanik ve metalürjik özellikleri sağladığı gözlenmiştir. % 44 daha yüksek ısı girdisinin uygulandığı 2,0 mm ilave tel ile yapılan kaynaklı birleştirmelere ait çekme testlerinde ise kaynak metalinden kopma gerçekleşmiştir. Bu sonuçlarla QSTE420TM gibi malzemelerde yüksek ısı girdisinin mekanik ve metalürjik özelliklere olan olumsuz etkileri de incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: QSTE420TM, TIG, ısı girdisi, ilave tel çapı, mikro yapı, kaynak hızı.

Determination of the Effect of Additional Metal Wire Diameter on Metallurgical and Mechanical Properties in TIG Welding of QSTE 420TM Steel

ABSTRACT

In this study; QSTE 420TM quality steel sheet plate material, which is widely used in sectors such as defense industry, automotive industry, oil transmission lines, has fine-grained and micro-alloy structure are combined separately. Different heat inputs are applied to the filler wires of different diameters. Thus, mechanical and metallurgical changes occurring on the welded area (base material, heat affected zone and weld metal) were examined by tensile, bending, notch - impact, hardness tests and macrographic and micrographic examinations. As a result of the tests performed; It has been observed that the 1.6 mm additional wire provides the mechanical and metallurgical properties expected of the welded joint. In the tensile tests of welded joints made with 2.0 mm additional wire with 44% higher heat input, breakage from weld metal was realized. With these results, negative effects of high heat input on mechanical and metallurgical properties of materials such as QSTE420TM were also investigated.

Keywords: QSTE420TM, TIG, Heat input, Additional wire diameter, micro structure, weld speed.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Daha hafif ve daha dayanıklı savunma sanayi ürünleri ve konstrüksiyonların üretilmesi için yüksek mekanik özelliklerde; şekil verilebilirlik, hafiflik, kolay kaynaklanabilirlik gibi özelliklere sahip malzemelere ihtiyaç duyulmuştur.

Bu mekanik özelliklere dayalı gereksinimleri karşılayabilen ince taneli yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çelikler (YMDA) mühendislik çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır [1]. YMDA çeliklerinin, akma mukavemeti 360 N/mm²'den fazla olup,

günümüzde ekonomik açıdan kullanımı gittikçe yaygınlaşmaktadır. YMDA çeliği, ince cidar kalınlığı hafiflik ve şekillendirilebilme kabiliyeti sayesinde bilinen yapı çeliklerinin yerini almıştır. Çekme kancaları, endüstriyel silolar, araç koltuğu bileşenlerinin yapımında kullanılan, hafifliğin ve dayanıklılığın ön planda olduğu otomobil sektöründe geniş kullanım alanına sahip, YMDA çelikleri savunma sanayi, taşımacılık ve gemicilik sektörü ile köprü gibi önemli yapılarda da tercih edilmektedir[2]. ABD'de yapı çeliklerinin dayanımının yetersizliği sebebiyle geliştirilen ve 70'li yıllardan sonra hız kazanan mikro alaşımlama çalışmaları ile geliştirilen YMDA çeliklerine; aşınmaya, korozyona,

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta: mustafa.harman18@gmail.com

darbeye dayanıklılık gibi çok geniş özellikler kazandırılmıştır [3].

YMDA çelikleri standartlarda ve piyasada ihtiyaç duyulan akma mukavemetine göre 1- Normalizasyon haddelenmiş çelikler (S420N, S460N), 2- Termo mekanik şekillendirilmiş çelikler (S420M, S460M), 3- Su verilmiş ve temperlenmiş (ıslah edilmiş) ince taneli yapı çelikleri (S460Q, S690Q, S960Q) şeklinde üretilmektedir[4].

QSTE420TM çeliği YMDA çelik grubundan olup, bileşiminde bulunan tane inceltici elementler (V, Ti, Nb) sayesinde yüksek dayanım kazanmış bir malzemedir [3,32]. Şekil 1.a'da QSTE420TM çeliğinde tane içi ve tane sınırlarında çok küçük boyutlarda bulunan karbürler, nitrürler ve karbonitrürler 1100°C'ye kadar çözeltiye geçmeden, tane büyümesine engel olacak şekilde tane içi ve tane sınırlarında çökelmek suretiyle mukavemeti yüksek tok bir malzeme grubunun ortaya çıkmasını sağlarlar [5].

YMDA çeliklerinde; yeni faz ve yeni tanelere sahip yapılar, heterojen çekirdeklenme noktaları olan tane içi ve tane sınırlarında bulunan mikro karbürler üzerinde daha kolay ortaya çıkmaktadır [6].

Bu mikro karbürler, çeliklerde bulunma şekillerine göre literatürde 5 sınıfa (M_2C , M_3C , M_7C_3 , $M_{23}C_6$, MC) ayrılarak incelenir [7]. Karbürlerin ergime sıcaklığının farklı olması nedeniyle bazıları temperleme sıcaklığında çözülürken, bazıları ise östenitleme süresince bile çözülmeden kalabilmektedir [8].

Şekil 1.b'de verilen S315MC kalitesinde YMDA çeliğine ait detaylı SEM fotoğrafında; tane sınırlarında, aşırı doymuş östenitin ferrite dönüşümü sonrası östenitten dışarı atılan fazla karbürlerin tane sınırlarında kümelendiği (aglomerasyon) görülmektedir [2, 9].

Tane sınırı karbürleri, topaklanmış (aglomera) karbürler ve büyük noktasal karbürlerin maruz kaldığı östenitleme sıcaklığı ve zamanı artıkça östenit içinde daha ince

tane sınırlarında biraraya gelerek kümelenmektedir [2,6,9,10].

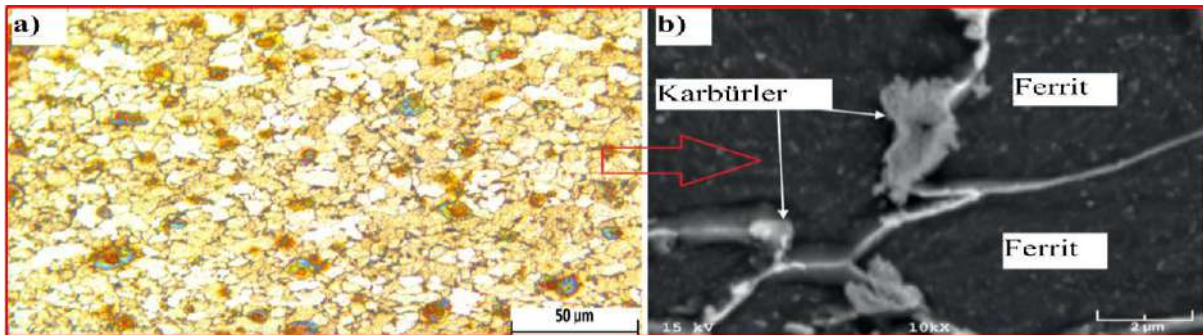
Günümüzde kaynak işlemlerinin hâlâ çoğunlukla elle veya kısmen mekanize şekilde uygulanması nedeniyle ürünlerin kalitesi, bir başka imalat yönteminde olmadığı kadar kaynakçıya ve onun maharetine bağlıdır. Kazanılan bilgi, beceri ve ustalığın devamlı olarak yapılan işin kalitesine yansıtılabilmesi gerekmektedir. Her ne kadar bu yetenekler kaynakçı sınavları ile sürekli kontrol altında olsa dahi kaynaklı imalatta sabit ve süreklilik arz eden sonuçlara ulaşmak mümkün olmamaktadır. Yani kaynaklı imalatta insan faktörü minimum seviyeye indirilmeye çalışılsa da (Robotik TIG kaynağı) manuel yöntemler daha çok tercih edilmektedir [11].

TIG Kaynak yöntemi esas itibariyle boru hattı, kazan, kap, reaktör, makine, havacılık ve uzay sanayinde yüksek kalite gerektiren kök dikişleri ile ince levhaların kaynak dikişleri için tercih edilmektedir[28].

Akım şiddeti, gerilim, tel besleme hızı, ilave dolgu metali çapı, koruyucu gaz türü, malzeme kalınlığı, kaynak hızı, tungsten elektrod çapı, kaynak ağız hazırlığı, akım türü ve ısı girdisi TIG kaynak yönteminde kaynak dikişinin kalitesini etkileyen parametrelerdir. TIG kaynağı ekonomik olarak 0,2-6 mm arası kalınlığa sahip tüm metallerde tüm pozisyonlarda uygulanabilir[28].

Manuel olarak uygulanan TIG kaynağında çoğunlukla 1 m uzunluğunda 1-3,2 mm çapında kaynak çubukları dolgu malzemesi olarak kullanılır. Mekanize kaynak yöntemlerinde ise 0,8-1,6 mm çap aralığında sonsuz (süreklili) teller kullanılır [28].

Daha önceki yapılan çalışmalarda akım ve gerilim şiddeti sabit tutulduğunda ilave dolgu metali çapı artırıldığında kaynak kep genişliğinin arttığı ancak nüfuziyet derinliği ve metal yığıma oranının ise arttığı tespit edilmiştir[38]. İnce tel çaplarındaki akım yoğunluğunun kalın tellere göre daha yüksek olması durumunda dikişin penetrasyon derinliğini arttığı görülmüştür[28]. Ancak arkın



Şekil 1. a) QSTE420TM çeliği mikro yapısı, b) YMDA çeliği detaylı SEM fotoğrafı [2] (a) Micro structure of QSTE420TM steel, b) Detailed SEM photograph of YMDA steel)

dağılımlı karbürler elde edilmekte ve bu karbürler hızlı soğumanın ardından östenitin dönüştüğü faz içinde çökelmektedirler. Östenitin çözebileceği kadar karbürü bünyesinde çözüldürdükten sonra, çözünme durmakta ve bu sefer doymuş östenit içindeki fazla karbürler, yüksek sıcaklıkta uzun bekleme süresi boyunca östenit

kararlılığı açısından her ilave telin taşıyabileceği akım yoğunluğu da tel çapına göre farklılık oluşturmaktadır. Tel çapına göre aşırı yüksek akım yoğunluğu arka kararsız yaparken, aynı akım şiddetinde tel çapı arttırıldığında ise akım şiddeti tel çapına oranla düşük kalmakta ve arkın patlama, sıçrama, yapışma yaptığı

görülmüştür. Literatürde daha önceden yapılan deneylerde mekanize yöntemlerde aynı akım şiddetinde küçük tel çapında sağlanan metal yığıma oranının, kalın tel çapındaki metal yığıma oranına ulaşabilmesi için tel sürme hızında artırılması gerektiği sonucuna varılmıştır[28,38].

Bu çalışmada ise akım ve gerilim şiddeti sabit, kaynak hızı farklı olacak şekilde normal ark geçiş türünde farklı ilave tel çaplarına bağlı olarak ana malzeme üzerinde ortaya çıkan ısı girdisinin etkileri mekanik ve metalürjik açıdan incelenmiştir. Ayrıca yüksek akım şiddetinin neden olduğu yüksek ısı girdisine bağlı ortaya çıkan çarpılmalar, ana malzeme dayanım değerinin düşmesi ve metal yığıma oranının gereksiz yere yüksek uygulanması sebebiyle ürünün kullanılmayarak hurdaya ayrılması engellenerek, en uygun tel çapı ve kaynak hızında verimlilik ve karlılık arttırılmak suretiyle maliyetlerin düşürülmesi sağlanmıştır.

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

2.1. Materyal (Material)

Bu çalışmada QSTE420TM çeliği TIG kaynak yöntemi kullanılarak, 2,5 mm kalınlığında plakalar 1,6 mm ve 2,0

kurallardan faydalanılmıştır. Kaynaklı birleştirmelerden alınan numuneler tahribatlı muayenelerden çıkan sonuçlar ile birlikte değerlendirilerek ilave metal teli çapının kaynak metaline ve ana malzemeye olan etkileri detaylı incelenmiştir [14].Çalışmada kullanılan QSTE420TM çeliğinin kimyasal ve mekanik özellikleri Çizelge 1’de verilmiştir.

QSTE420TM malzeme genel olarak savunma sanayi ve makine imalat sektöründe kullanılmakta olup ince plakaların TIG kaynağı uygulamalarında veya kalın kesitlerin kök kaynağı uygulamaları için 2,5 mm kesit kalınlık çalışmamızda tercih edilmiştir.

Çizelge 1’de özellikleri verilen QSTE420TM çeliği TIG kaynak yöntemiyle DC (-) akım tipinde, 5,5 lt/dk. gaz debisi bulunan % 100 Argon gazı koruması altında, 9,5 mm seramik gaz nozulu çapında ve 1,6 mm çapında

ZrO₂ karakterli tungsten elektrod kullanılarak birleştirme işlemleri gerçekleştirilmiştir. TIG kaynağında ilave tel olarak AWS/ASME SFA-5.18 TG-102 ve AWS/ASME SFA-5.18 70S-2 teli kullanılmıştır. Kaynaklı birleştirme işlemlerinde kullanılan TG-102 ve 70S-2 ilave telin kimyasal ve mekanik özellikleri Çizelge 2 ve 3’te verilmiştir. TIG kaynağında her iki birleştirmede de II

Çizelge 1. QSTE420TM malzeme kimyasal kompozisyonu ve mekanik özellikleri (Chemical composition and mechanical properties of QSTE420TM material)

Kimyasal kompozisyon								
% ... Bileşim değerleri	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
	0,0659	0,0165	1,33	0,0167	0,0056	0,0403	0,0041	0,0334
	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	W	Pb
	0,0298	0,0112	0,0204	0,0392	0,0146	0,0052	<0,0050	0,0015
	Sn	As	Zr	Bi	Ca	Ce	Sb	Se
	0,0109	<0,0010	0,0012	0,004	0,0006	0,0042	<0,0010	<0,0020
	Ta	B	Zn	La	N	Fe	Te	Ceş
	<0,0070	0,00087	0,0028	<0,00030	0,0056	98,3	<0,0010	0,301
	Mekanik özellikler							
Akma Mukavemeti (MPa)			Kopma Mukavemeti (MPa)			Minimum Toplam Uzama (%)		Darbe Enerjisi (0 °C) Ortalama (Joule)
≥420			480-620			19		202

mm çapındaki ilave teller ile iki farklı ısı girdisi [29], aynı kodlu koruyucu saf Argon gazı (%99,998 Ar) koruyucu gaz ve paso sıralamasında yapılan kaynaklı kullanılmıştır.

Çizelge 2. AWS/ASME SFA-5.18 TG-102 kodlu dolgu teli kimyasal kompozisyonu ve mekanik özellikleri (Chemical composition and mechanical properties of AWS/ASME SFA-5.18 TG-102 filler wire)

Kimyasal kompozisyon					
Element (%)	C	Mn	Si	Zr	Ti
	0,05	1,2	0,7	0,06	0,1
Mekanik özellikler					
Test Şekli	Koruyucu Gaz	Akma Dayanımı (N/mm ²)	Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Uzama A5 (%)	Çentik Darbe Dayanımı ISO-V (J)
Kaynak sonrası	II	> 490	> 570	> 24	-30°C → 60

birleştirmelerin mekanik ve metalürjik özelliklerinin belirlenmesi için uluslararası standartlarca belirlenmiş

Çizelge 3. AWS/ASME SFA-5.18 70S-2 kodlu dolgu teli kimyasal kompozisyonu ve mekanik özellikleri (Chemical composition and mechanical properties of AWS/ASME SFA-5.18 70S-2 filler wire)

Kimyasal kompozisyon						
Element (%)	C	Mn	Si	Zr	Ti	Al
	0,05	1,1	0,55	0,07	0,12	0,11
Mekanik özellikler						
Test Şekli	Koruyucu Gaz	Akma Dayanımı (N/mm ²)	Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Uzama A5 (%)	Çentik Darbe Dayanımı ISO-V (J)	
Kaynak Sonrası	II	> 400	> 480	> 22	-30°C → 47	

2.2. Metod (Method)

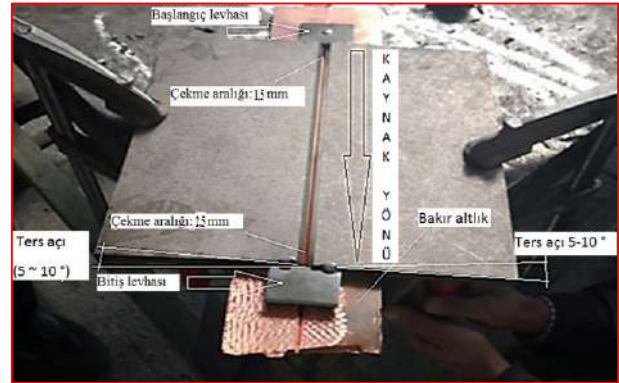
Deneysel çalışmalarda; kaynaklı imalatta birleştirme metodu olarak endüstriyel uygulamalarda ince plakaların birleştirilmesinde en çok tercih edilen yöntemlerden biri olan TIG kaynak yöntemi uygulanmıştır. Kaynak işlemleri Makina ve Kimya Endüstrisi (MKE) fabrikalarında bulunan Oerlikon marka ADW 360 model TIG kaynak makinesi ile gerçekleştirilmiştir.

2,5 mm kalınlığındaki QSTE420TM ana malzemeden üretilen plakalar 150 x 350 mm ölçülerinde kesilerek kaynak işlemine hazırlanmıştır. Kaynak ağız hazırlığında kaynak kök yüksekliği ve geometrisi kaynağın kalitesini etkilemektedir. Talaşlı imalat yöntemleri ile açılan kaynak ağızlarında kalan çapak veya keskin uç, köşe, kenar gibi yapıların alınması veya bunlara pah kırılması, radius çekilmesi gerekmektedir. Kesit kalınlığının incelendiği ve kaynak ısısının tahliye edilemediği bu yapılar kaynak ısısı altında ergimek yerine yanmaktadır ve bu yanma esnasında kaynak metalinden çıkamayan oksit kalıntıları kaynaklı ürünün dayanımını düşürmektedir [15]. Bu gerekçelerle kaynak ağız hazırlığı Şekil 2.b’de görülen ölçüler dahilinde yapılmış ve kaynak operasyonu esnasında endüstriyel tip fırçalar ve temizlik ekipmanları kullanılmıştır.

Kaynaklı birleştirme aşamasında; QSTE420TM çeliği için TS EN 10025-6+A1 [16] standardına göre metalürjik özellikler ve SEW 088:1993 [17] standardında göre bilimsel veriler ile kaynaklanabilirlik tavsiyeleri referans olarak alınmıştır. Kaynak esnasında TS EN ISO 15614-1 [18], kaynak prosedürü deneyi kuralları ile TS EN 9606-1 [19] kaynakçı yeterlilik sınavı kapsamında yapılan birleştirmelerde kaynak işlemi esnasında bir noktada kaynağa ara verilip tekrar devam edilmiştir. Çizelge 4’teki kaynak parametreleri EN ISO 14731’e [20] uygun şekilde hazırlanmış ve bu parametrelere göre uluslararası kaynak mühendisi gözetim ve denetiminde kaynak işlemi gerçekleştirilmiştir. Birleştirme işlemlerinde kullanılan

kaynak parçası ölçüleri, kaynak ağız geometrisi ve paso sıralaması ise her bir kaynak metodu için ayrı ayrı Şekil 2’de verilmiştir. Çizelge 4’te ısı girdisi hesaplanırken η : Verimlilik faktörü katsayısı 0,7 olarak kabul edilmiştir. Hesaplamalarda Akım şiddeti birimi Amper (I), Gerilim şiddeti birimi Volt (V), kaynak hızı (V :), Isı girdisi (Q: kJ/mm) alınarak $Q=(I \times V) \div (1000 \times V)$ formülü kullanılmıştır.

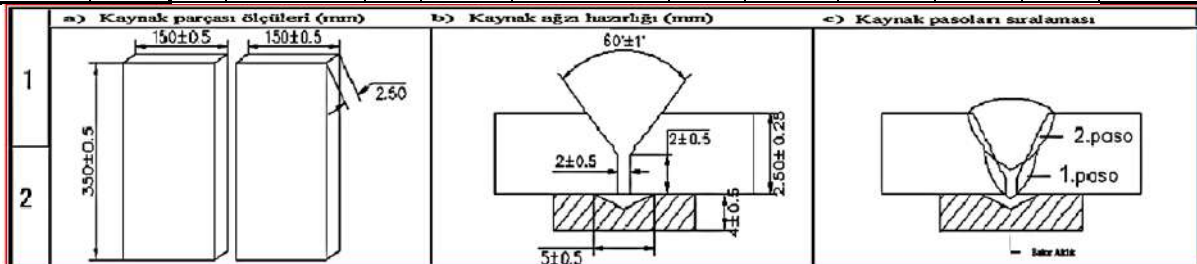
Test parçaları TS EN ISO 15614-1 [18] standardına uyularak 150 x 350 mm ölçülerinde, kaynak ağız kesimi esnasında ısıdan etkilenmiş bölge oluşturmayan su jeti ile kesme yöntemi kullanılarak kesildikten sonra talaşlı imalatta 30° kaynak ağızı açılmış ve Şekil 2.a ve b’de verilen ölçülere işlenmiştir. Kaynaklı birleştirme işlemlerinde Bkz. Şekil 2.c’de ki paso sıralamasına uygun kaynak işlemine geçebilmek için, test plakaları işkenceler yardımıyla ve 4 mm kalınlıkta bakır altlıkla kök tarafı desteklenmiş biçimde Şekil 3’te gösterilen şekilde sabitlenerek Çizelge 4’te belirlenen kaynak parametreleri uygulanacak şekilde kaynak operasyonu gerçekleştirilmiştir.



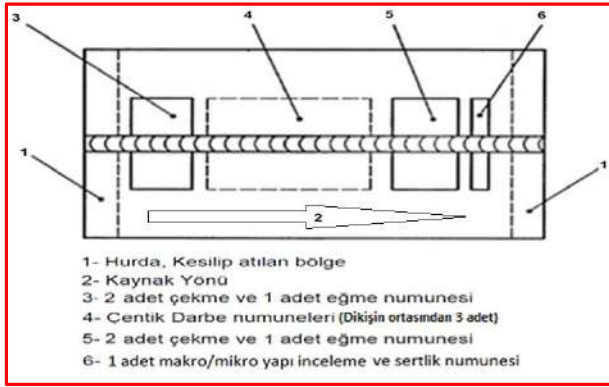
Şekil 3. Kaynak işlemi için hazırlanan test parçaları (Test parts prepared for welding process)

Çizelge 4. Deneylere göre kaynak parametreleri (Welding parameters according to the experiments)

Grup-Deney No	Kalınlık	Paso no	Dolgu metali	Dolgu teli çapı	Akım ve kutuplama	Koruyucu Gaz (EN ISO 14175)	Tel besleme -m/dk.	Akım şiddeti (Amp)	Gerilim (Volt)	Kaynak hızı (mm/sn.)	Isı girdisi kJ/mm	
											Tek paso	Ort. Paso
1	2,5	1	TG-102	2,0	DC (-)	II (%100Ar)	0,45	150	126,6	7,5	1,77	1,77
		2		2,0	DC (-)		0,50				7,5	
2		1	ER 70 S-2	1,6	DC (-)	II (%100Ar)	0,60	150	126,6	10,8	1,23	1,23



Şekil 2. a. Kaynak parçası ölçüleri, b. Ağız ağız hazırlığı, c. Kaynak pasoları sıralaması (a.Dimension of weld piece, b.Joint design c.Sequence of passes)

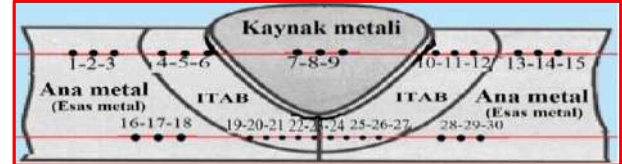


Şekil 4. Test numunelerinin plakadan çıkarılan yerleri (Test specimens removed from the plate) [18]

Kaynaklı birleştirme operasyonlarında pasolararası maksimum sıcaklık 200°C olacak şekilde uygulanmıştır. TIG kaynağında ilave metal ve ısı kaynağı (Ark) birbirinden ayrı olduğundan dikiş başlangıcında soğuk birleşme hatalarına rastlanmadığından dikiş kalitesi yüksektir. Standartlara uygun ölçülerde işaretlenen test parçalarından Şekil 4'te gösterilen bölgelerden 4'er adet çekme numunesi, 3'er adet çentik darbe numunesi, 2'şer adet eğme numunesi ve 1'er adet sertlik ve makro-mikro yapı inceleme numunesi olmak üzere 20 adet numune su jeti ile kesilerek çıkarılmıştır [18,21]. Makro yapı, mikro yapı ve mikrosertlik incelemeleri numune hazırlama işlemleri Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Laboratuvarlarında, yapısal inceleme işlemleri ile makrosertlik, çekme, çentik - darbe, eğme testleri ise MKE labratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

Birleştirmelerin makrosertlik davranışlarını kontrol etmek, makro ve mikro yapı analizlerini yapmak için kaynaklı plakalardan metalografik test numuneleri alınmıştır. Alınan numuneler, TS EN ISO 17639 [22] standardı ve metalografik numune hazırlama kurallarına uygun olarak sırasıyla 200, 400, 600, 800 ve 1200 gritlik zımparalarla zımparalanmış, daha sonra ise sırayla 6, 3 ve 1 µm'lik keçe ve uygun solüsyonlar ile parlatılmıştır. Parlatma işleminden sonra numuneler % 5 Nital (5 ml HNO₃, 95 ml Etil alkol) çözeltisiyle dağlanmış. Dağlanan numunelerin makro – mikro yapı analizleri ve makrosertlik test işlemleri, Qness makro – mikro sertlik ölçme ve makro – mikro yapı görüntü alma cihazında gerçekleştirilmiştir. Sertlik uygulamaları TS EN ISO 9015-2011 [23] standardına göre 10 kg'lık yük ile Vickers cinsinden ölçümlerle belirlenmiştir. Şekil 5'te

şematik görüntüsü verilen bölgelerde kep ve kök yüzeylerinin 2 mm kadar altından 3 tane ana malzemeden, 3 tane ITAB'dan, 3 tane de kaynak metalinden olmak üzere simetrik olarak toplamda 30 noktadan Vickers (HV₁₀) makro sertlik ölçümü yapılmıştır. Sertlik ölçümleri, cihazda bulunan 10 kg'lık yük uygulayan taban alanı kare şeklinde olan ve karşılıklı yüzeyleri arasında 136° açı bulunan düzgün piramit şeklindeki elmas batıcı uç kullanılarak yapılmıştır [23].



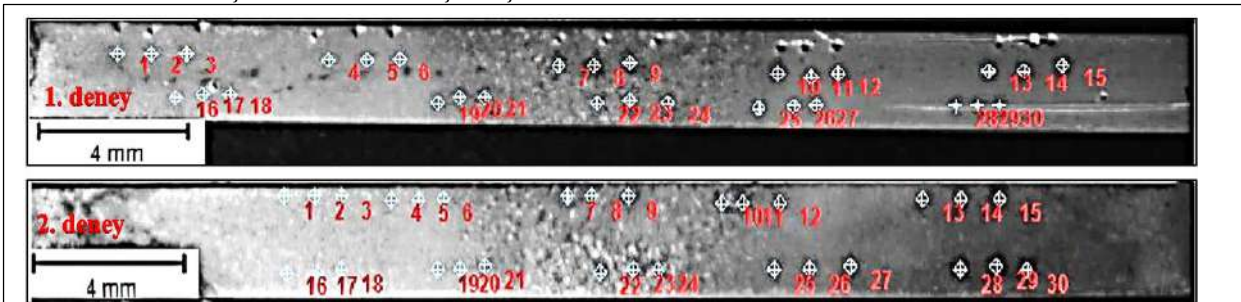
Şekil 5. Sertlik ölçüm bölgelerinin şematik örneği (Schematic illustration of hardness measurement zones)

Çekme numuneleri TS EN 4136 [24] standardına göre hazırlanarak 150 kN çekme kapasiteli Instron marka çekme cihazında test edilmiştir. Deneysel maksimum akma, çekme mukavemeti ve % uzama değerlerine bakılarak, ortalama değerler belirlenmiştir. Eğme testlerinde, TS EN ISO 5173:2010/A1 [25] standardı kurallarına göre hazırlanan 240 mm uzunluğundaki numuneler yine aynı cihazda 16 mm çapında eğme mandreli kullanılarak, 73,5 mm mesnet merkezleri arası açıklıkta, 5 mm/dk deformasyon hızında, 180° açığa kadar kök eğme (root bend) ve kep eğme (face bend) gerçekleştirilmiştir.

Çentik - darbe testleri için numunelere TS EN ISO 9016:2012 [26] standardına göre 2 mm derinlikli 45° açılı, 0,25 mm V çentik açıldıktan sonra sıvı azot banyosu içerisinde 0 °C sıcaklıkta 2 dakika kadar bekletildikten sonra, numunenin ısınmasına zaman bırakmadan teste başlanmıştır [28]. Çentik darbe testlerinde 300 joule enerji ölçebilen çarpma hızı 5.5 m/s olan Galdabini marka cihaz kullanılmıştır.

3. DENEYSEL BULGULAR (EXPERIMENTAL FINDINGS)

TS EN ISO 17639 [22] standart metalografik numune hazırlama kurallarına uygun olarak hazırlanan ve kaynak test plakalarından Şekil 3'te 6 numara ile gösterilen alandan çıkarılan numuneler, makro yapı, mikro yapı ve makro sertlik incelemelerine tabi tutulmuştur. Makrosertlik ölçümlerini de ifade eden makroyapı gö-



Şekil 6. Kaynaklı birleştirmelerin makrografi görüntüleri (Macrographic images of welded joints)

rüntüleri Şekil 6’da verilmiştir. Makro yapı fotoğraflarında homojen ve ince tane yapılı ana malzeme, geçiş bölgesinin karakteristik özelliklerini gösteren ITAB ve sütünsal tane yapısına sahip kaynak metali bölgeler görülmektedir.

Her iki deneye ait fotoğrafta 2 pasonun yer aldığı 2 dikiş katmanı ve son pasoda (2. Paso) kaynak kep yüzeyine doğru yönelmiş tane yapısı görülmektedir

1. deneyde kullanılan ilave telin çapının 2 mm olması dolayısıyla kaynak dikişinde 1 mm’ye uygulanan ısı girdisi Deney 2’de uygulananın 1,44 katına ($1,771 \div 1,232$) çıkmaktadır. Buna bağlı olarak 1.deneyde ortalama ITAB genişliği yaklaşık 18 mm iken 2.deneyde 12 mm’dir. Her iki makro yapıda bulunan ITAB genişliklerinin ısı girdisi (kJ/mm) ile orantılı olarak aşağıdan yukarı doğru genişlediği görülmektedir.

Aynı iki ana metalin veya farklı metallerin kaynaklandığı durumlarda ilave metal kullanılarak yapılan katılaşma türlerinden “epitaksiyel olmayan katılaşma” yani homojen veya heterojen olarak ayrılmaktadır [27,33].

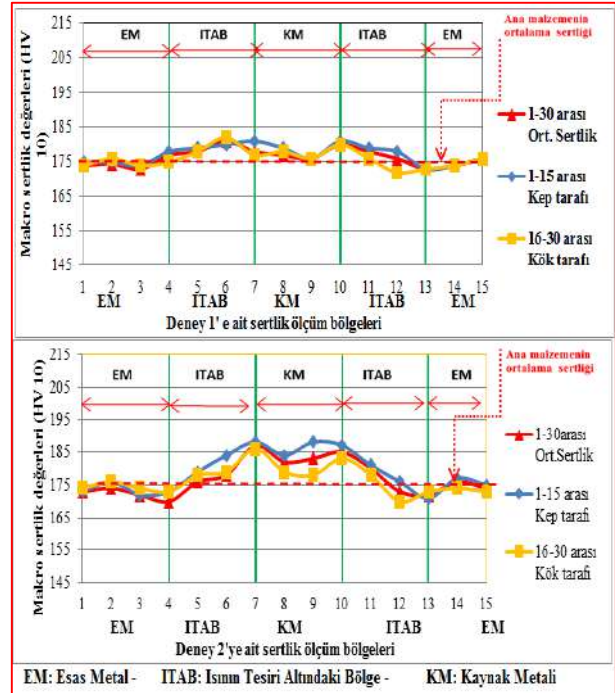
Bu durumda ergime çizgisinde (Bkz. Şekil 8-9’da kaynak bölgesi şematik resminde turuncu renkli 2 numaralı bölge) heterojen bölgelerde ana metalle ilave metalin taneleri etkileşmekte, rastgele yönelme ile karşılaştıkları ana metal tanesinin spesifik büyüme yönü oryantasyonuna uyum sağlayarak epitaksiyel olmayan bir katılaşma oluşturmaktadır.

Makro yapı fotoğraflarında meydana gelen kaynak metalindeki katılaşmalar ve ITAB’da soğuma esnasında meydana gelen faz dönüşümleri farklı sertlik ölçüm bölgelerini (Bkz.Şekil 5) oluşturmuştur. Şekil 5’te görülen ana metal ITAB ve kaynak metali bölgelerinden 3’er adet olmak üzere, kep ve kök yüzeyinin 2 mm kadar derinliğinde bir hat üzerinde toplamda 30 noktadan yapılan makro sertlik değerlerine ait sertlik profili grafikleri Şekil 7’de verilmiştir.

Şekil 7’de her iki deneyde de ana malzeme (EM – esas metal) sertliği ortalama 175 Vickers olarak ölçülmüştür. Farklı çaplardaki kaynak tellerine uygulanan ısı girdilerinin farklılık göstermesi nedeniyle her iki deney için kaynak bölgelerinde (EM, ITAB, KM) farklı sertlik değerleri oluştuğu Şekil 7’de görülmektedir. 1. deneyde kaynak metalinde (KM) kırmızı tonda gösterilen ortalama sertlik 180 Vickers civarında iken, 2. Deneyde yine kırmızı tonda gösterilen ortalama sertlik profili 185 Vickers çizgisine yakındır.

Her iki deneydede en yüksek sertlik değerleri ITAB ile ergime çizgisi sınırında oluşmaktadır. Östenitin karbonca en zengin olduğu bu noktada gerçekleşen faz dönüşümü sert ve kırılğan martenzit fazının oluşmasını sağlayamaya yetecek kadar hızlıdır. Yüksek soğuma hızı sonucunda çok dar bir alanda sertlik maksimumdur.

Literatürde bilinen faz dönüşüm diyagramlarında martenzit oluşumu için gerekli soğuma hızına östenitin karbonca zengin olduğu fazlarda daha kolay ulaşılmaktadır[30].



Şekil 7. Vickers sertlik profillerine ait grafikler (Charts of the Vickers hardness profiles)

Bu noktadan sonra hem kaynak metali hem de ITAB yönünde sertlik azalmaktadır. ITAB’ta sertlik düşüşü ve oluşan fazlar sürekli soğuma diyagramlarında gösterilmektedir. Ancak literatürde kaynak metalinde meydana gelen sertleşme ve katılaşma döküm yapısındaki katılaşma koşullarına göre değerlendirildiği bilinmektedir [31]. İlave telin kimyasal bileşiminde bulunan karbon eşdeğerinin kaynak metalinin katılaşma hızını artırıcı yönde etkilediği düşünülmektedir.

Literatürde, TSTE 420 çeliği kullanılarak Smitweld TCS 1405 simulator’ünde ITAB’da maksimum sertliğin 780°C’de elde edildiği görülmüştür [12,13]. Ayrıca API-5L X65 ve S460G2+M malzemeleri kullanılarak çok uzun boruların arasında her iki parçaya da temas ederek ergime sıcaklığına erişen dolgu malzemesi kullanılarak gerçekleştirilen yeni sürtünme kaynağı çeşidine ait çalışmada incelenmiş sertlik profilinde de en düşük sertlik değerlerinin ince taneli ITAB bölgesinde elde edildiği ve ayrıca aynı çalışmada en yüksek sertlik değerinin ergime çizgisinin hemen yanında elde edildiği bilinmektedir [34]. Bu çalışmada da en düşük sertlik değeri ITAB’ın ana malzemeden daha ince tane yapısındaki kısmında oluşmuştur.

1.deneyde kaynak metalinde yavaş soğuma sonucu tane irileşmesi ile sertlik değerleri azalmıştır. Yüksek ısı girdisinin gösterdiği etki ITAB genişlemesine paralel şekilde sertlik profilini de aşağı çekmiştir. Ayrıca plaka kalınlığının 2,5 mm olması da ısının kaynak bölgesinden kaçış hızını düşürmüştür.

Şekil 8-9’da deney numunelerinin kaynak bölgelerine ait öleşekli mikroyapı fotoğrafları verilmiştir.

Şekil 8.a'da östenitleme sıcaklığında uzun süre kalan östenit taneleri büyüyerek mikroyapıya sığmayan östenitin tane sınırından katılaştıran polimorfik ferritler (F) oluşturmuştur. Kaynak bölgesinden beklenen ideal yapı ise kaynak bölgesinin hızlı ısınıp hızlı soğuması sonucu ince yapılı östenit taneleri içinden heterojen katılaştırmış idiomorf ferrit oluşumudur. Tanelerin yukarı yönde yönlendiği

Literatürde yapılan çalışmalarda; soğuma hızı düşmesine bağlı olarak Widmanstatten Ferrit plakaları (W) ve beynitik (B) yapılar görülmektedir [35,36]. Ayrıca aynı çalışmalarda mikro granüler perlit yapıları (G.P) mikro alaşım elementi karbürlerinde (K) olduğu gibi ferrit matrisi içinde dağıldığı görülmüştür [37].

Şekil 8.a'da Widmanstatten Ferrit plakaları (W), beynitik (B) yapılar ve mikro granüler perlit yapıları (G.P) ve mikro alaşım elementi karbürleri (K) ferrit matrisi içinde dağınık halde görülmektedir.

Şekil 8.b'de görülen mikroyapı ağırlıklı olarak ince taneli perlit (İ.P) ve ferritten (F) oluşmuştur. Östenitleme sıcaklığının yüksekliğinin etkisiyle ferritik matris içinde tane sınırlarında çökelen V, Nb ve Ti elementlerine ait mikro nitrür ve mikro karbürler (K) östenit-ferrit dönüşümü sonrası yeniden kristalleşmeyi geciktirmiş ve böylece yapının tamamında tanelerin büyümesini engelleyecek şekilde çökelmiştir.

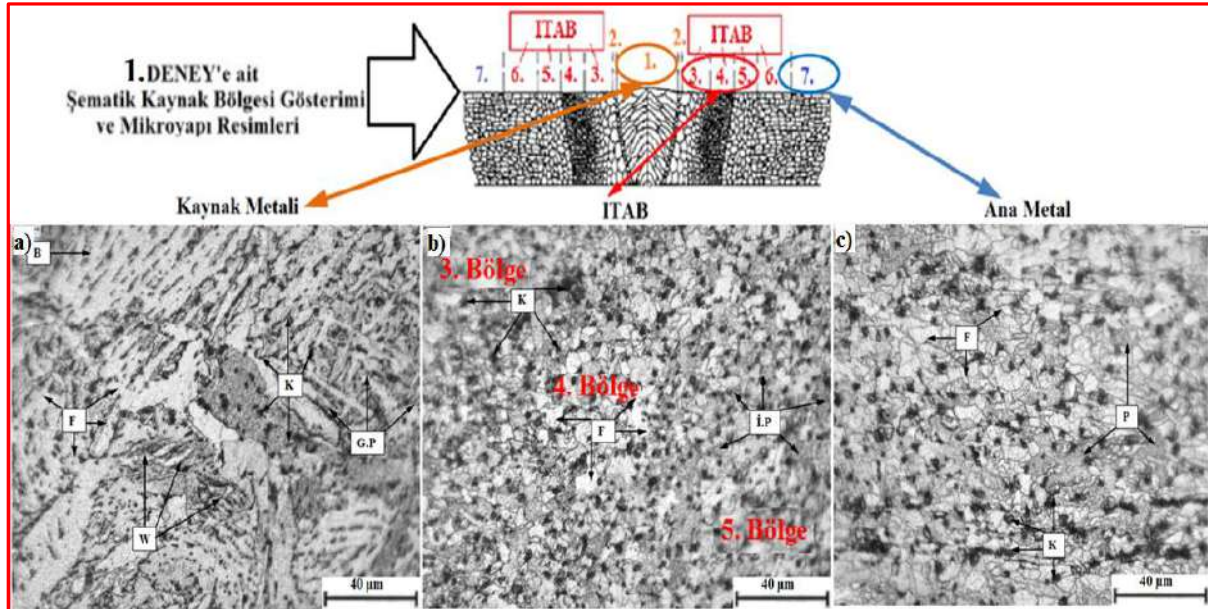
Şekil 8.c'de perlit (P) ve ferritten (F) oluşan daha homojen tane yapısı görülmektedir. C ile bileşik oluşturan Mn, Si, Al gibi elementlerden oluşan karbürlerde (K) görülmektedir. Sağdan sola doğru gidildikçe ergiyen kaynak metalinin verdiği ısının

etkisiyle taneler haddelenmiş şerit formundan çıkarak yuvarlak forma dönüşmüştür.

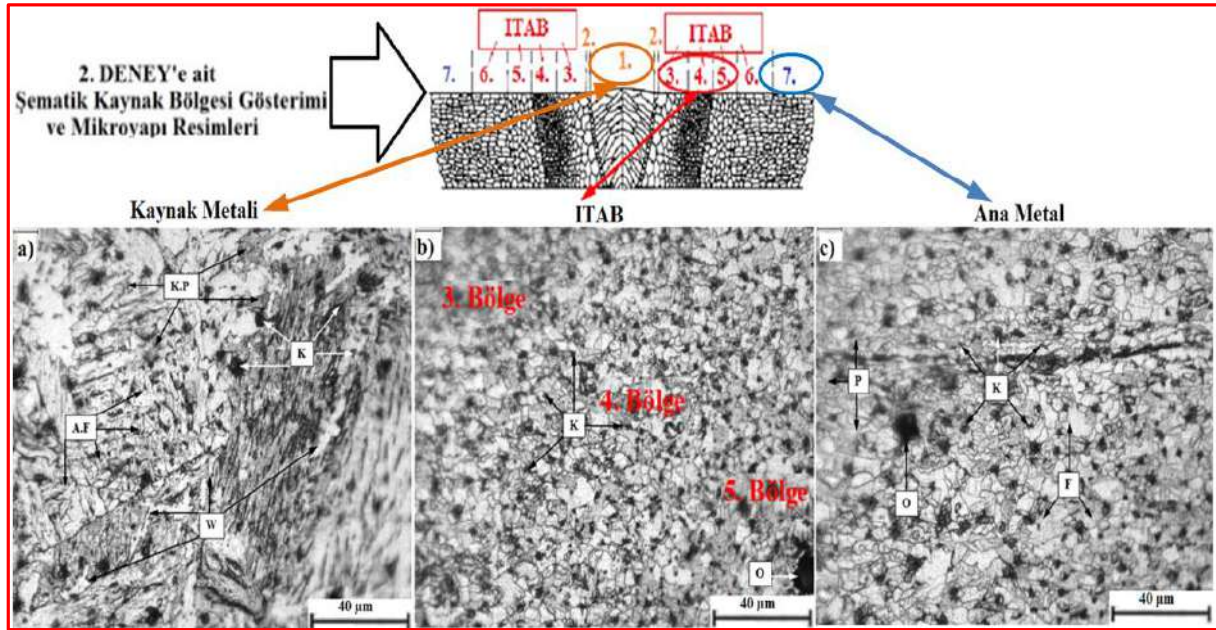
Şekil 9.a' da incelenen kaynak metalinde mikroyapıya sığmayan oldukça büyük, kaba taneli yapı içerisinde Şekil 8.a'daki resme kıyasla daha az yoğunlukta Widmanstatten Ferrit (W), asiküler ferrit (A.F) ve kaba perlitten (K.P) oluşan, yüzeye doğru yönelmiş tane yapısı görülmektedir. Küçük açılı taneler büyük açılı tane sınırlarını oluşturacak şekilde bir araya gelerek dendritik yönlü katılma oluşturmuştur. Sıcaklığın ve yönelme baskı kuvvetinin etki sonucu mikro karbürler şekil değiştirerek, çizgisel karbür (K) formuna dönüşmüştür.

Şekil 9.b'de ITAB'da temperleme ısı etkisinin taneleri daha da küçülttüğü ve tane sınırlarına olan karbon difüzyonunun hızlanması sonucu V, Nb, Ti gibi elementler ile oluşturulan nitrür, karbür ve karbo nitrür (K) yapılarının yoğun bir şekilde tane sınırlarında çökeldiği görülmüştür. Aynı mikroyapıda 10 µm'ye yakın büyüklükte oksit (O) inklüzyonu da farkedilmektedir.

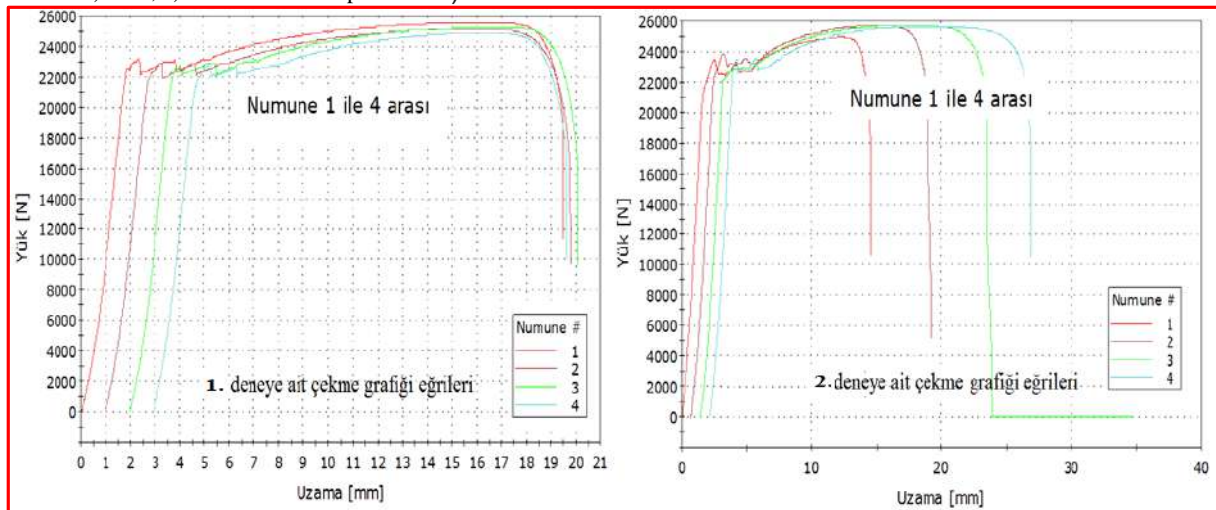
Şekil 9.c'deki Ana metal mikro yapısında ısı girdisinin etkisiyle homojen tane yapısı değişime uğramıştır. Fotoğrafta Ferrit (F) yoğunluklu, perlitik (P) yapı ile birlikte Mn, Si, Al gibi elementlerin O ile bileşik oluşturduğu düşünülen 10 µm boyutunda inklüzyon (O) tespit edilmiştir. Soldan sağa doğru ana malzeme tarafına yaklaşıldıkça ısı etkisinin azalmasıyla ferrit ve perlit tanelerinin ince uzun, yassı (Haddelenmiş form) hale geldiği tane şekillerinden farkedilmektedir.



Şekil 8. Deneysel 1'e ait a- Ana metal, b- ITAB, c- Kaynak metalinin mikroyapı fotoğrafları (Micro structure photos a) Base metal, b) HAZ, c) Weld metal of experiment 1)



Şekil 9. Deneysel 2'ye ait a- Ana metal, b- ITAB, c- Kaynak metali mikro yapı fotoğrafları (Micro structure photos a) Base metal, b) HAZ, c) Weld metal of experiment 2)



Şekil 10. Gerilme-uzama eğrileri (Stress Elongation Curves)

Kaynaklı birleştirmelerin çekme deneyi sonuçlar grafiği Şekil 10'da, test sonuçları ise Çizelge 5'te verilmiştir.

Çizelge 5. Çekme testi sonuçları (Tensile test results)

Deney no	Akma muk.	Çekme muk.	Uzama	Kesit Alanı	Son boy	Kopma bölgesi
	[MPa]	[MPa]	[%]	[mm ²]	mm	
1.1	483,6	539,9	17,2	47,4	105,5	Kaynak metali
1.2	476,1	535,8	16,9	47,0	105,3	
1.3	482,2	539,8	15,8	46,9	104,2	
1.4	472,3	530,7	14,7	47,0	103,2	
Ort.	478,6	536,6	16,1	47,1	104,5	
2.1	469,0	531,0	11,8	47,0	100,7	Ana malzeme
2.2	478,0	539,3	17,1	47,8	105,4	
2.3	466,5	536,5	20,2	48,0	108,2	
2.4	486,7	534,7	22,2	48,0	110,0	
Ort.	475	535,4	19,8	47,7	106,1	

Ortalama değerlerden % 30'dan fazla sapma gösteren 2.1 numaralı numuneden ölçülen % 11,8 süneklik değerinin "duraklama noktasına" denk gelmiş olabileceği nedeniyle sonuçların doğruluğunu değiştireceği düşünülerek 2.1 numaralı numunenin sonuçları ortalamaya dahil edilmemiştir.

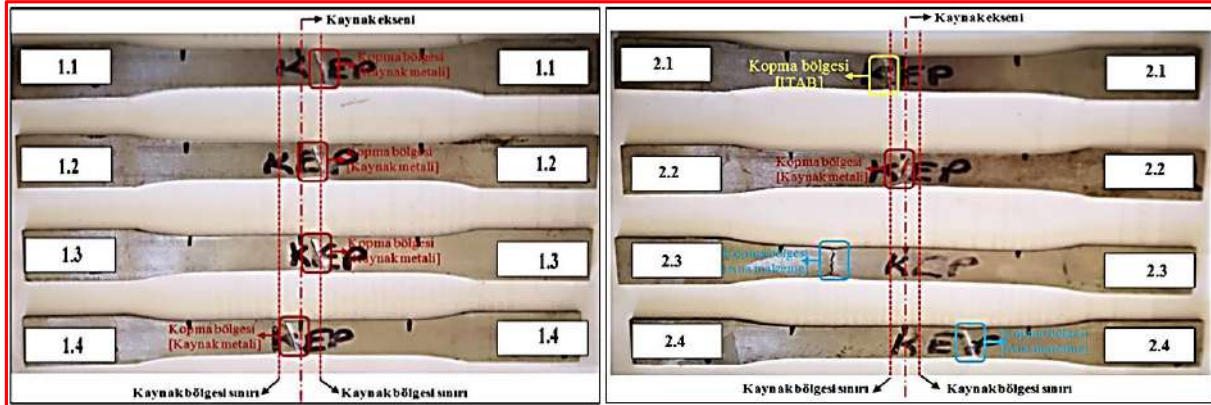
1 ve 2 numaralı birleştirmelerden ayrı ayrı alınan 4 numuneye ait çekme testi sonrası görüntüleri ise Şekil 11'de verilmiştir. Ana malzemenin TS EN 10025-6+A1 standardına göre katalog değerleri incelendiğinde 420 MPa minimum akma mukavemeti, 550 MPa (480 – 620 MPa arası) çekme mukavemeti, % uzama değeri ise minimum % 19 olarak verilmektedir [16]. Şekil 11 ve Çizelge 5'ten görüleceği üzere; 1. Deneyde numunelerin tamamının kaynak metalinden koptuğu, 2. Deneyde ise numunelerin çoğunluğunun ana malzemeden koptuğu tespit edilmiştir. 1. deney için yapılan çekme testlerinde; akma mukavemeti 478,6 MPa, maksimum çekme mukavemeti 536,6 MPa, yüzde uzama değeri ise % 16,1 olarak tespit edilmiştir. 2. Deneyden elde edilen sonuçlarda ise akma mukavemetinin 475 MPa, maksimum çekme mukavemetinin 535,4 MPa, yüzde uzama değerinin ise % 19,8 olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar; statik zorlamalarda 2. Deneyde kaynak

bölgesinin dayanımının ana metale göre daha iyi durumda olduğunu göstermektedir. Kaynaklı test parçalarına ait gerçekleşen deneylerin dikişlerinde ilave dolgu metali beslemesi esnasında duraklama yapıp tekrar kaynağa devam edildiğinden, 4 numuneden birinin, duraklama yapılan bu noktaya denk gelmiş olabileceği ve genelde bu tür noktalarda birleşme hatası olma ihtimali bulunduğundan, 1'er adet numunenin ITAB'dan kopmasına izin verilmektedir [19]. 2. Deneyde numunelerden ölçülen akma ve çekme mukavemeti değerleri ana malzemenin limit değerlerini karşılamıştır

180° bükme işleminin kusursuz bir şekilde gerçekleştiği görülmektedir.



Şekil 12. Eğme numuneleri (Bending test samples)



Şekil 11. Çekme testi numuneleri (Tensile test sample)

Çizelge 6. Çentik darbe testi sonuçları (Notch impact test results)

Grup adı		Tungsten inert gaz kaynağı (TIG)						
Deney no		1			2			
Numune		1.1	1.2	1.3	4.1	4.2	4.3	
Kınlama enerjileri (Joule) 0°C	Kaynak Metali	Tek	181	165	170	188	192	175
		Ort.	172			185		
	ITAB	Tek	170	154	180	161	175	186
		Ort.	168			174		

Çizelge 6'da 0°C'de uygulanan çentik darbe testinden elde edilen sonuçlar yorumlandığında; her iki deneyde de tokluk değerleri birbirine yakın çıkmış olsa da ısı girdisinin arttığı 1. deneyden alınan tokluk enerjilerinin 2. deneyden düşük olduğu görülmüştür. 1.deneyde ısı girdisinin yükselmesi ile tokluk enerjisi hem kaynak metalinde hem de ITAB'da tane irileşmesine bağlı olarak azalmıştır.

Kılavuzlu bükme testlerine (eğme testi) ait sonuçlar ise Çizelge 7'de verilmektedir.

Çizelge 7. Eğme testi sonuçları (Bending test results)

Deney no	Mesnetler arası mesafe	Mandrel	Numune genişliği	Numune kalınlığı	Kök Yüzeyi Eğme		Kep Yüzeyi Eğme	
					Eğme açısı	Sonuç	Eğme açısı	Sonuç
1	73,5	16	10	2,5	180°	Hatasız	180°	Hatasız
Hatasız						180°	Hatasız	

Çizelge 7'de verilen eğme testi sonuçları ile Şekil 12'de verilen eğilmiş numune görüntülerine bakıldığında kaynaklı birleşmelerde herhangi bir hatanın olmadığı,

4. SONUÇLAR (RESULTS)

TIG kaynak yönteminde farklı ilave tel çapına bağlı olarak elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir.

- ✓ İlave tel çapının artması ile artan ısı girdisi hem ITAB'da hem de kaynak metali bölgesinde tokluk enerjisini düşürmüştür.
- ✓ İlave metalde tel çapı farklılığına bağlı olarak yüksek ısı girdisi uygulanması durumunda sert fazlar ve gevrekleşme sonucu akma mukavemeti artarken süneklik azalmış ve kaynak metalinden kopmalar görülmüştür.
- ✓ Makroyapı bakımından yapılan incelemelerde artan ısı girdisinin daha geniş ITAB oluşturduğu ve bu genişliğinde ısı girdisi ile orantılı olduğu görülmüştür. İnce plakalarda ısının kalınlık yönünde dağılmayıp, plaka yüzeyi boyunca distorsiyon oluşturacak şekilde dağıldığı görülmüştür.
- ✓ Yüksek ısı girdisinde kaynak metalinde görülen karbür çökeltilerinin, iri östenit fazından dönüşen büyümüş ferrit ağırlıklı fazların tane sınırlarında iğneleme etkisi yapmadığı ve kaynak metalinde çözünmeleriyle mekanik özellikler düşmüştür.

5. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada QSTE420TM yüksek mukavemetli ve düşük alaşımli ince taneli yapı çeliğinin TIG kaynak yönteminde ilave metal tel çapı farklılığına bağlı olarak

ortaya çıkan farklı ısı girdisi değerlerinin mekanik ve metalürjik özelliklere olan etkileri incelenmiş ve savunma sanayinde kullanılan ince plaka malzemelerin (2 - 5 mm) TIG kaynağı ile birleştirilebilmesinde 1.6 mm tel çapının daha uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.tatasteleurope.com%2Fstatic_files%2FDownload%2FGeneral%2520Industry%2520Strip%2FStrip%2520Products%2FEnglish%2FTata%2520Steel%2520-%2520YMPRESS%2520S420MC%2520-%2520data%2520sheet.pdf&date=2019-03-0
- [2] Aktarer, S.M., Küçükömeroğlu, T., “The microstructure and mechanical properties of FSPed HSLA steel”, *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 75(2): 55-60, (2016).
- [3] Taş, Z., “Yüksek dayanımlı düşük alaşımlı çeliklerde metalürjik mukavemet artırma”, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 28(2): 97-101, (2012).
- [4] <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.e-mep.com%2Fwp-content%2Fuploads%2F2017%2F02%2FY%C3%BCksek-Mukavemetli-D%C3%BCC%C5%9F%C3%BCk-Ala%C5%9F%C4%B1ml%C4%B1-Celiklerin-Kaynagi-Ozlem-Karaman.pdf&date=2019-03-04>
- [5] Kurt, H., “Yüksek Mukavemetli Yapı Çeliklerinde Kaynaklı Bölgenin Mekanik ve Mikro yapı Özelliklerinin İncelenmesi”, *Yüksek Lisans Tezi*, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2014).
- [6] Yalçın, M. “İnce Taneli Yüksek Mukavemetli Yapı Çeliklerinde Kaynaklı Bölgenin Mekanik ve Mikro yapı Özelliklerinin İncelenmesi”. *Yüksek Lisans Tezi*, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metal Eğitimi Ana Bilim Dalı, (2008).
- [7] <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.steeldata.info%2Fcarbides%2Fdemo%2Flist%2Fmc.html&date=2019-02-04>
- [8] N. Mebarki, N. Lamesle, P. Delagnes, D. Levaillant, C. Delmas, F., “Relationship Between Microstructure and Mechanical Properties Of A 5%Cr Hotwork Tool Steel”, *6th International Tooling Conference*, France, 737-754.
- [9] J.G.Silva, F., Santos, J., Gouveia, R., “Dissolution Of Grain Boundary Carbides By The Effect Of Solution Annealing Heat Treatment and Aging Treatment On Heat-Resistant Cast Steel”, *Hk30. Metals*, 7(251): 1-12, (2017).
- [10] Kendirci, M. F., “İnce Taneli Yüksek Mukavemetli Yapı Çeliklerinde Kaynaklı Bölgelerin Isıl İşlem Mekanik ve Mikro yapı Özelliklerinin İncelenmesi”, *Yüksek Lisans Tezi*, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metal Eğitimi Ana Bilim Dalı, (2008).
- [11] Dündar, B., “Tozaltı Kaynak Yönteminde Altlık Olarak Kullanılan Kaynak Yöntemlerinden Kaynak Yeterliliklerinin Ve Maliyetlerinin Karşılaştırılması”, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2010).
- [12] Dunder, M., Vuherer, T., Samardžić, I., “Weldability of Microalloyed High Strength Steels TStE 420 and S960 QL”, *Metalurgija*, 53(3): 335-338, (2014).
- [13] Samardžić, I., Čikić, A., Dunder, M., “Accelerated Weldability Investigation Of Tste 420 Steel By Weld Thermal Cycle Simulation”, *Metalurgija*, 52(4): 461-464, (2013).
- [14] Savaşkan, T., “Malzeme Bilimi ve Malzeme Muayenesi”, *Celpler Matbaacılık*, 347-350 Trabzon, (2015).
- [15] Komaç, E., “Teknik Eğitim El kitabı”, *Askaynak*, 6-8, Kocaeli, (2009).
- [16] TS EN 10025-6+A1, “Sıcak Haddelenmiş Yapı Çelikleri - Bölüm 6: Suverilmiş ve Temperlenmiş Durumdaki Yüksek Akma Dayanımlı Yapı Çeliklerinden İmal Edilmiş Yassı Mamullerin Teknik Teslim Şartları”, (2013).
- [17] SEW088:1993, “Weldable Fine Grained Steels; Guidelines For Processing, Particular For Fusion Welding”, (1993).
- [18] TS EN 15614-1, “Metalik Malzemeler İçin Kaynak Prosedürlerinin Şartnamesi ve Vasıflandırılması - Kaynak Prosedürü Deneyi - Bölüm 1: Çeliklerin Gaz ve Ark Kaynağı”, (2017).
- [19] TS EN 9606-1, “Kaynakçıların Yeterlilik Sınavı-Ergitme Kaynağı - Bölüm 1: Çelikler”, (2017).
- [20] TS EN 14731, “Kaynak koordinasyonu - Görevler ve sorumluluklar”, (2010).
- [21] Akkurt, A., “Su jeti ile kesme sistemleri ve uygulama alanlarının değerlendirilmesi”, *Politeknik Dergisi*, 7(2): 129-139, (2004).
- [22] TS EN 17639, “Metalik Malzemelerdeki Kaynaklarda Tahribatlı Muayene - Kaynakların Makroskopik ve Mikroskopik Muayenesi”, (2014).
- [23] TS EN 9015-1, “Metalik Malzemelerdeki Kaynaklar Üzerinde Tahribatlı Deneyler-Sertlik Deneyi-Bölüm 1: Ark Kaynaklı Birleştirmelerde Sertlik Deneyi”, (2011).
- [24] TS EN 4136, “Metalik Malzemelerin Kaynakları Üzerinde Tahribatlı Deneyler-Enine Çekme Deneyi”, (2013).
- [25] TS EN 5173:2010/A1, “Metalik Malzemelerde Kaynak Dikişleri Üzerinde Tahribatlı Muayeneler- Eğme Deneyleri”, (2012).
- [26] TS EN 9016:2012, “Metalik Malzemelerde Kaynaklar Üzerinde Tahribatlı Deneyler - Vurma Deneyleri”, (2012).
- [27] <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fnptel.ac.in%2Fcourses%2F112101005%2Fmodules%2Flec4-3%2F1.3.html&date=2019-02-21>
- [28] Elektronik Kitap, “Uluslararası Kaynak Mühendisliği Eğitim Notları”, *O.D.T.Ü K.T.M.-GSI-SLV-TR*, Ankara, (2013).
- [29] Popović, O., Prokić, C., Burzić, R.M., Milutinović, Z., “The Effect of Heat Input on the Weld Metal Toughness of Surface Welded Joint”, *14th International Research/Expert Conference*, Mediterranean Cruise, 61-64, (2010).
- [30] D. Callister, W., G. Rethwisch, D., “Malzeme bilimi ve mühendisliği 8. basımdan çeviri”, *Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık Tic.Ltd.Şti*, Ankara, 343-390, (2014).
- [31] Kang, B.Y., Kim, H.J., Hwang, S.K., “Effect of Mn and Ni on the Variation of the Microstructure and Mechanical Properties of Low-carbon Weld Metals”, *ISIJ International*, 40(12): 1237-1245, (2000).

- [32] Zhang, Z., Farrar, R.A., “Influence of Mn and Ni on the Microstructure and Toughness of C-Mn-Ni Weld Metals”, *Welding Research Supplement*, 183-196, (1997).
- [33] Tüzünalp, K.K., “Yönlü Katılma” *Basılmamış Ders Notları*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Teknoloji Fakültesi, Ankara, (2017).
- [34] Faes, K., Maas, F., De Waele, W., De Baets, P., Verstraete, M., Delbaere, D., Van Der Donckt, E., “Weldability Of Micro-Alloyed High-Strength Pipeline Steels Using A New Friction Welding Variant”, *The 2nd South -East European IIW International Congress*, Bulgaria, (2010).
- [35] <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fdocplayer.biz.tr%2F13903329-Mikroyapisal-goruntuleme-ve-tani.html&date=2019-02-08>.
- [36] Dong, H., Hao, X., Deng, D., “Effect of Welding Heat Input on Microstructure and Mechanical Properties of HSLA Steel Joint”, *Springer Science+Business Media*, 3: 138-146, (2014),
- [37] Kalkan, İ., “Yüksek mukavemetli çeliklerde çok pasolu kaynağının mekanik ve mikroyapı özelliklerine etkisi”, *Yüksek Lisans Tezi*, Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İmalat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 2018.
- [38] Duren S. “The Procedure Handbook of Arc Welding”, *The James F.Lincoln Arc Welding*, 14, 6.3-2.



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

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



GaSe kristali içerisindeki katkılandırma atomlarının doğrusal olmayan soğurma, ultrahızlı dinamikler ve ikinci harmonik üretimi davranışlarına etkisi

Influence of doping atoms on nonlinear absorption, ultrafast dynamics and SHG behaviors in GaSe crystals

Yazar(lar) (Author(s)): Ahmet KARATAY

ORCID: 0000-0001-9373-801X

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Karatay A., “GaSe kristali içerisindeki katkılandırma atomlarının doğrusal olmayan soğurma, ultrahızlı dinamikler ve ikinci harmonik üretimi davranışlarına etkisi”, *Politeknik Dergisi*, 23(3): 841-848, (2020).

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

DOI: 10.2339/politeknik.664348

GaSe Kristali İçerisindeki Katkılandırma Atomlarının Doğrusal Olmayan Soğurma, Ultrahızlı Dinamikler ve İkinci Harmonik Üretimi Davranışlarına Etkisi

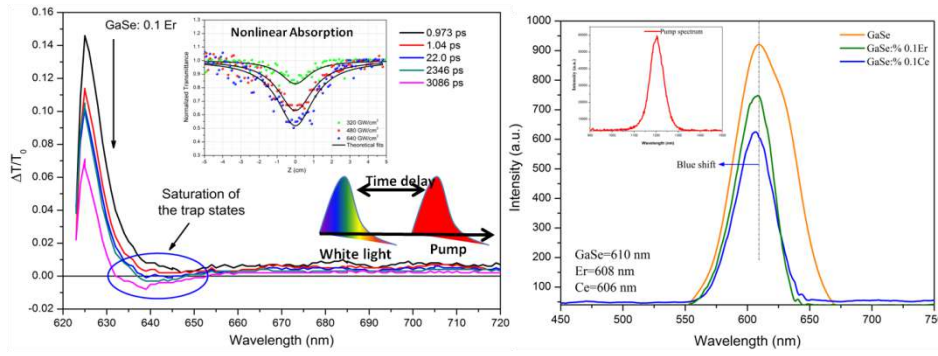
Influence of Doping Atoms on Nonlinear Absorption, Ultrafast Dynamics and SHG behaviors in GaSe Crystals

Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Doğrusal olmayan soğurmanın kontrolü / Controlling of nonlinear absorption)
- ❖ İkinci harmonik üretim sinyallerinin spektral kaymaları. / The spectral shifting of SHG signals)
- ❖ Kusur seviyeleri ve taşıyıcı dinamiklerinin kontrolü / Controlling of defect states and carrier dynamics)

Grafik Özet (Graphical Abstract)

Kristallerin doğrusal olmayan soğurma özellikleri, frekans çevrimi ve ultrahızlı yük transfer dinamikleri araştırılmıştır. (Nonlinear absorption, frequency conversion and ultrafast charge transfer dynamics of the crystals were investigated.)



Şekil. Ultrahızlı pompa gözlem spektroskopisi, Z-tarama ve ikinci harmonik üretimi davranışları /Figure. Ultrafast pump probe spectroscopy, Z-scan and SHG behaviours.

Amaç (Aim)

Katkılama atomlarının doğrusal olmayan soğurma, yük taşıyıcı dinamikleri ve ikinci harmonik üretimi özelliklerine etkisinin araştırılması. / Investigation of the effect of doping atoms on nonlinear absorption, charge carrier dynamics and SHG properties.

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Z-tarama ve pompa gözlem spektroskopisi teknikleri optik ölçümler için kullanılmıştır. / Z-scan and ultrafast pump probe spectroscopy techniques were used for the optical measurements.

Özgünlük (Originality)

Ce ve Er katkılandırılmış GaSe kristallerinin doğrusal olmayan optik özelliklerini sistematik olarak inceleyen ilk çalışmadır. / This is the first report that investigate the nonlinear optical properties of Ce and Er doped GaSe crystals systematically.

Bulgular (Findings)

Doğrusal olmayan soğurma katsayıları ve bant aralık değerleri katkılandırma ile artmaktadır. / Nonlinear absorption coefficients and bandgap values increased with doping atoms.

Sonuç (Conclusion)

Kristallerin doğrusal olmayan soğurma özellikleri, frekans çevrimi ve ultrahızlı yük transfer dinamikleri kristal içerisine yapılan katkılandırma atomları ile kontrol edilebilmektedir. (Nonlinear absorption, frequency conversion and ultrafast charge transfer dynamics of the crystals can be controlled by doping atoms in crystals.)

Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

GaSe Kristali İçerisindeki Katkılandırma Atomlarının Doğrusal Olmayan Soğurma, Ultrahızlı Dinamikler ve İkinci Harmonik Üretimi Davranışlarına Etkisi

Araştırma Makalesi / Research Article

Ahmet KARATAY*

Ankara Üniversitesi, Mühendisli Fakültesi, Fizik Mühendisliği Bölümü, 06100 Ankara, Türkiye

(Geliş/Received : 24.12.2019 ; Kabul/Accepted : 13.03.2020)

ÖZ

Bu çalışmada dikey Bridgman-Stockbarger yöntemi kullanılarak saf GaSe, %0,1 Ce ve %0,1 Er katkılandırılmış GaSe kristalleri büyütülmüştür. Açık yarık Z-tarama ve ultrahızlı pompa-gözlem spektroskopisi teknikleri kullanılarak büyütülen kristallerin doğrusal olmayan soğurma özellikleri ve ultrahızlı yük transfer dinamikleri araştırılmıştır. Çalışılan tüm kristaller, 1200 nm dalgaboyunda ve 100 fs atma süresinde doğrusal olmayan soğurma davranışları göstermiştir. Doğrusal olmayan soğurma katsayıları %0,1 Ce ve %0,1 Er katkılandırma atomları ile artmaktadır. Bu durum aynı zamanda katkılandırma atomları ile serbest taşıyıcı yoğunluklarının artmasına ve uyarılmış durum soğurmalarının meydana gelmesine neden olmaktadır. Kristallerin ikinci harmonik üretim sinyalleri fiber optik spektrometre yardımı ile ölçülmüştür. Katkılandırılmış GaSe kristallerinin ikinci harmonik üretim sinyalleri saf GaSe kristaline göre spektrumun mavi bölgesine kaymıştır. Ultrahızlı pompa-gözlem deney sonuçlarına göre saf GaSe kristali sürekli uyarılmış durum soğurmaları gösteriyorken, Ce ve Er katkılandırılmış olan kristallerde 2 nanosaniye zaman gecikmesinden sonra iletim bandının hemen altına karşılık gelen dalga boylarında (630 nm-650 nm) doyum sinyalleri gözlenmiştir. Doyum sinyalleri, katkılandırma atomları ile kristal içerisinde oluşan kusur seviyelerinin iletim bandının hemen altına yerleştiğini göstermektedir. Deney sonuçlarına göre, kristallerin doğrusal olmayan soğurma özellikleri, frekans çevrimi ve ultrahızlı yük transfer dinamikleri kristal içerisine yapılan katkılandırma atomları ile kontrol edilebilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Doğrusal olmayan soğurma, Z-tarama yöntemi, ultrahızlı spektroskopisi, yarıiletken kristal.

Influence of Doping Atoms on Nonlinear Absorption, Ultrafast Dynamics and SHG Behaviors in GaSe Crystals

ABSTRACT

In this study, undoped GaSe, 0.1%Er and 0.1%Ce doped GaSe crystals were grown by using vertical Bridgman-Stockbarger technique. The nonlinear absorption properties and ultrafast charge transfer dynamics of all grown crystals were investigated by using open aperture Z-scan and ultrafast pump-probe spectroscopy techniques. The studied crystals showed nonlinear absorption at 1200nm wavelength with 100fs pulse duration. Nonlinear absorption coefficients increase with 0.1%Er and 0.1%Ce doping atoms. This behavior also leads to increasing of the free carrier densities with doping atoms and occurring of the excited states absorption. Second harmonic generation signals of the crystals were measured by fiber optic spectrometer. Second harmonic generation signals of the doped GaSe crystals shifted blue region of the spectrum as compared to the undoped GaSe crystal. According to ultrafast pump-probe experimental results, the undoped GaSe crystal indicates continuous excited state absorption signal while the doped GaSe crystals indicate saturable absorption behaviors after 2ns time delay between 630nm-650nm region corresponding to bottom of the conduction band. The saturable absorption signals indicate that the defect states which are occurred with doping atoms in crystal are localized under the conduction band. In conclusion of the experimental results, nonlinear absorption properties, frequency conversion and ultrafast charge transfer dynamics of the crystals can be controlled by doping atoms in crystals.

Keywords: Nonlinear absorption, Z-scan technique, ultrafast spectroscopy, semiconductor crystal.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

III-VI grubu atomlarından elde edilen GaSe yarıiletken külçe kristalinin ikinci derece doğrusal olmayan özellikleri (second order nonlinearity) [1], yüksek hasar eşik değeri (high damage threshold) [2, 3], geniş spektral aralıkta yüksek geçirgenliğe sahip olması (0.65-18 μm)

[4, 5] ve yüksek çift kırıcılık özellikleri [6] dolayı bu kristal üzerine ilgi oldukça fazladır. Teknolojik uygulamalar için gözlenen bu özelliklerin kontrol edilebilmesi çok önemlidir. Bunlara ek olarak GaSe kristali özellikle doğrusal olmayan kristal (nonlinear crystal) olarak bilinir ve ikinci dereceden doğrusal olmayan optik katsayısı (second order optical nonlinear coefficient) bu alanda yaygın olarak kullanılan diğer doğrusal olmayan optik kristallerden daha büyüktür [7,

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : akaratay@eng.ankara.edu.tr

8]. Bu nedenle GaSe kristali ikinci harmonik üretimi (second harmonic generation) ve frekans çevrimi (frequency conversion) gibi uygulama alanları için çok uygun malzemelerdir [9, 10]. Saf GaSe kristali için frekans değiştirme çalışması ilk olarak Abdullaev G. B. ve arkadaşları tarafından yapılmıştır [11].

GaSe tek kristali Se-Ga-Ga-Se şeklinde tek atomik katmanlardan oluşacak şekilde anizotropik yapıda oluşmaktadır. Katman içindeki bağlar kovalent bağ iken katmanlar arası bağlar zayıf Van der Waals kuvvetleri ile bağlıdır. Bu özellik c ekseninde kristalin çok kolay bir şekilde kesilmesine olanak sağlamaktadır. Kristal içerisine farklı atomlar veya farklı konsantrasyonlarda katkılandırılmalar yapılarak kristalin doğrusal ve doğrusal olmayan optik özellikleri ve dolayısıyla optik kalitesi değiştirilebilir. Doğrusal olmayan optik özelliklerin de katkılandırma atomları ile kontrol edilebilmesi optik anahtarlama, optik sınırlama ve ikinci harmonik üretiminde de bant aralıklarının kontrol edilebilmesi gibi uygulama alanları için olanak sağlayacaktır. Bu doğrusal ve doğrusal olmayan optik özellikler kontrol edilerek farklı eşik değerlerinde optik anahtarlama ve sınırlama yapmak mümkün olacak ve ikinci harmonik üretiminden elde edilen dalga boyunun ayarlanabilmesine olanak sağlayacaktır. Bu optik özelliklerin kontrol edilebilmesine ek olarak katkılandırma işlemi, kristalin fiziksel özelliklerinin (sertlik, dayanıklılık gibi) yanında bu çalışmada da var olan frekans çevrim özelliklerinin artması üzerine de etkisi bulunmaktadır [3, 12]. Katkılandırma oranı ile kristallerin kırıcılık [13] (refractivity) ve faz eşleme [14] (phase matching) durumları kontrol edilebilmektedir. Sahip olduğu fiziksel ve doğrusal olmayan optik özellikleri geliştirmek amacıyla, GaSe kristalinin içerisine katkılandırma yapılabilecek atomlar oldukça sınırlıdır [14-24].

Doğrusal olmayan soğurma (nonlinear absorption) artan şiddete bağlı olarak iki gruba ayrılabilir. Birincisi, doyurulabilir soğurma (saturable absorption-SA) olarak adlandırılan artan şiddetle geçirgenliğin artması olayıdır. İkincisi ise artan şiddete bağlı olarak geçirgenlik azalır ve bu durum iki foton soğuma (two photon absorption - TPA, çoklu foton soğurma (multi photon absorption-MPA) ve ters doyurulabilir soğurma (reverse saturable absorption-RSA) olarak adlandırılmaktadır. İki foton soğurma ve iki foton soğurma ile doyum durumları saf ve karışım halindeki yarıiletken kristaller için yoğun olarak araştırılmıştır [25, 26]. Doğrusal olmayan soğurma optik sınırlama, Q-anahtarlama ve mod kilitleme gibi uygulama alanlarından dolayı oldukça ilgi çekmektedir [27-30]. Önceki çalışmalarda GaSe kristalinde doğrusal olmayan optik özelliklerin Ge ve Sn katkılama ile kontrol edilebildiği ortaya konulmuştur [15, 16]. Benzer şekilde GaSe ve boron katkılı GaSe kristallerinde doğrusal olmayan soğurma ve ikinci harmonik üretimi (second harmonic generation-SHG) 1200 nm dalga boyunda incelenmiştir [24]. Bu çalışmalar kristal yapılarında boron katkısının ve boron katkılama oranının değiştirilmesiyle doğrusal olmayan soğurma ve ikinci harmonik üretim özelliklerinin değiştiğini

göstermektedir. Bu çalışmalara ek olarak Ce atomu genelde lüminesans [31-34], fosforesans [35], antibakteriyel [36] ve ışıldama (scintillation) özellikleri [37, 38] üzerine yapılan çalışmalarda kristal içerisine katkılandırılmıştır. Er, Nd, Dy ve Pr gibi yine nadir toprak elementlerinin de GaSe kristal içerisine katkılandırılarak farklı türde katıhal lazer kaynakları ile ikinci harmonik üretimi ve doğrusal olmayan soğurmalar üzerine çalışmalar yapılmıştır [39-42].

Literatürde nadir toprak elementlerinden olan Ce ve Er katkılandırılmış GaSe kristallerinin femtosaniye atma süreli lazer sistemleri ile ikinci harmonik üretimi ve doğrusal olmayan soğurma özellikleri üzerine çalışmaları bulunmamaktadır. Bu çalışmada, Ce ve Er katkılandırılmış GaSe kristalleri ile saf GaSe kristalinin femtosaniye atma süreli lazer kaynağı ile 1200 nm’de iki foton soğurma ve frekans dönüştürme özellikleri araştırılmıştır. Katkılandırma atomlarının frekans çevrim dalgaboyları ve iki foton soğurma katsayıları üzerine etkileri incelenmiştir. Doğrusal olmayan soğurma ve frekans dönüştürme özelliklerine etki eden mekanizmaların araştırılması amacıyla ultrahızlı pompa-gözlem spektroskopisi deneyleri yapılmıştır.

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

Saf ve nadir toprak elementleri ile katkılandırılmış GaSe (%0.1 Er, %0.1 Ce) kristalleri dikey Bridgman-Stockbarger yöntemi ile büyütülmüştür. Safsızlık içermeyecek şekilde kristal büyütme işlemi oldukça zor bir işlemdir. Fakat, dikey Bridgman-Stockbarger yöntemi safsızlık derecesi yüksek ve istenilen düzeyde katkılandırma yapılabilmesine olanak sağlayan, çok yaygın bir kullanıma sahip olan ve zor olmayan kristal büyütme yöntemidir. Karbon kaplı silika tüp 10-4 torr vakum altında kristal büyütme işleminde kullanılmıştır. Kristallerin ilk çekirdeklenmesi huni biçimindeki vakumlanmış cam içerisinde Bridgman fırını kullanılarak yapılmaktadır. Daha sonra huni şeklindeki cam içerisine konulmuş olan bileşikler Bridgman fırını içerisinde kontrollü bir şekilde ısıtılıp sonra soğutulularak tek kristal elde edilmektedir. Başlangıç karışımı 100 °C/saat ısıtma hızı ile 600 °C’ye kadar ısıtılmış ve bu sıcaklık değerinde 4 saat bekletilmiştir. Daha sonra karışım 1100 °C’ye kadar 50 °C/saat ısıtma hızı ile ısıtılarak bu sıcaklık değerinde 12 saat süreyle bekletilmiştir ve son olarak yavaş bir şekilde oda sıcaklığına ulaşana kadar sistem soğutulmuştur. Ampuller daha sonra Bridgman fırını içerisinde dikey konuma getirilerek sıcaklık 1020 °C olacak şekilde arttırılmıştır. Erime işleminin tamamlanmasından sonra fırın 2 mm/saat hızında dikey olarak kalibre edilmiş sıcaklık değişimi bölgesinde tüm malzeme katı hale gelene kadar hareket ettirilerek çalışılan kristal yapılar elde edilmiştir. Elde edilen külçe kristal parlak kırmızı renkte ve katmanlı yapıda elde edilmiştir. Doğrusal ve doğrusal olmayan optik özellikleri çalışılacak olan saf ve Ce, Er katkılandırılmış GaSe kristalleri eşit kalınlıklarda kesilmiştir. Kalınlıklar

taramalı elektron mikroskobu (Zeiss EVO 40) kullanılarak 100 µm olarak belirlenmiştir. Çalışılan malzemelerin doğrusal soğurma spektrumları mor ötesi ve görünür bölge (UV-Vis) soğurma spektrometresi kullanılarak alınmıştır (Shimadzu UV-1800). Yasak enerji bant aralıkları doğrusal soğurma spektrumları kullanılarak hesaplanmıştır.

Doğrusal olmayan optik özelliklerin araştırılmasında bilimsel literatürde yaygın olarak kullanılan Z-tarama yöntemi kullanılmıştır [43]. Z-tarama deneyleri için 100 fs atma süreli, 1 kHz frekanslı ve 1200 nm dalga boyulu femtosaniye lazer sistemi kullanılmıştır. 20 cm uzunluğunda bir mercekle yardımcıyla femtosaniye atma süreli lazer demeti malzeme üzerine odaklanmıştır. Daha sonra malzeme hareket edebilen bir düzence üzerine yerleştirilmiş ve bilgisayar kontrollü olarak çok hassas bir şekilde hareket ettirilmesi sağlanmıştır. Doğrusal hareket düzeneği ile hassas ve küçük adımlarla malzemenin odak etrafında farklı noktalara getirilerek malzeme üzerine düşen ışık şiddeti değişkenlik göstermektedir. Bu şekilde malzeme üzerine düşen ışığın şiddeti kontrol edilerek farklı şiddetlerde malzemenin şiddete bağlı geçirgenlik ölçümleri femtosaniye lazer sistemi ile ölçülmüştür. Odak noktasında ışık demetinin yarı çapı 60 µm olarak hesaplanmıştır. Malzemeden geçen ışınlar silikon dedektör ve analog-dijital dönüştürücü yardımıyla algılanıp ölçülmüştür. Bütün veriler Labview yardımıyla yazılan bir program aracılığıyla toplanmıştır. Farklı enerji değerlerinde ölçüm alabilmek için optik filtreler kullanılarak lazer ışınının güç değerleri ayarlanmıştır. İkinci harmonik üretimi sinyalleri fiber optik spektrometre (Ocean Optics, USB4000-VIS-NIR) yardımıyla gözlenmiştir. Çalışılan kristallerin doğrusal olmayan soğurma mekanizmaları ve ultrahızlı dinamiklerinin araştırılması için ultrahızlı pompa-gözlem spektroskopisi tekniği kullanılmıştır. Bu teknik kullanılarak alınan ölçümlerde Ti:sapphire lazer yükselteci ve optiksel parametrik yükselteç sistemleri kullanılarak, 100 fs atma süreli lazer demeti kullanılmıştır. Ultrahızlı pompa-gözlem deneylerinde uyarma dalgaboyu, kristallerin yasak enerji bant aralıkları düşünülerek 620 nm olarak seçilmiş ve gözlem ışını olarak beyaz ışık kullanılmıştır.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

3.1 Doğrusal Optik Özellikler (Linear Optical Properties)

Oda sıcaklığında saf ve %0.1 Er, %0.1 Ce nadir toprak elementleri ile katkılandırılmış GaSe kristallerinin doğrusal soğurma spektrumları Şekil 1'de verilmiştir. Er ve Ce katkılandırılmış kristallerin serbest ekziton soğurma pikleri grafikte açıkça görülebilmektedir. Soğurma kenarları hemen hemen aynı civarlarda olsa da Ce ve Er katkılandırılmış olan kristallerde hafif bir şekilde kırmızıya kayma görülmektedir. Çünkü kristal içerisine farklı atom katkılandırma işlemi iletim bandının hemen alt kısımlarına yakın bölgede kusur seviyeleri oluşturmaktadır. Benzer özellikler bor katkılandırılmış

InSe ve GaSe kristallerinde de gözlenmiştir [24, 44]. Kristallerin soğurma kenarları, $(\alpha_{hv})^{1/2}$ değerlerinin (hv) değerlerine göre oluşturulan grafikleri kullanılarak araştırılmıştır. Bantlar arası soğurma teorisine göre α soğurma katsayısının hv foton enerjisine göre değişim ifadesi Eşitlik 1'de verildiği gibidir [45].

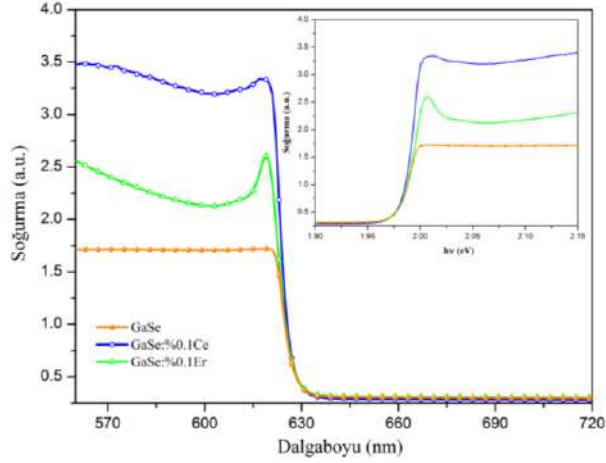
$$\alpha_{hv} = A(hv - E_g)^n \quad (1)$$

Yukarıda verilen denklemde A bir sabit, α doğrusal soğurma katsayısını, E_g yasak enerji bant aralığını ve hv de malzeme üzerine gelen ışının enerjisini ifade etmektedir. Bu ifadedeki n değerleri geçiş tiplerine göre 1/2, 2, 3/2 ve 3 olarak alınmaktadır. Bu değerler sırasıyla izinli direk, izinli direk olmayan, izinsiz direk ve izinsiz direk olmayan geçişlere karşılık gelmektedir. Çalışılan kristallerin bant aralıkları denklem 1 yardımıyla hesaplanarak GaSe, GaSe:%0.1Ce ve GaSe:%0.1Er kristalleri için sırasıyla 1.94 eV, 1.96 eV ve 1.96 eV olarak hesaplanmıştır. Yasak enerji bant aralık değerleri ± 0.01 eV değerinin altında hata payları ile hesaplanmıştır. Bulunan yasak enerji bant aralık değerleri daha önce GaSe kristali içerisine Al, Te gibi farklı atomlar ve nadir toprak elementlerinin

Çizelge 1. Ce ve Er katkılandırılmış GaSe ve saf GaSe kristallerinin 1200 nm dalgaboylu femtosaniye lazer ile aynı şiddet değerlerinde elde edilen doğrusal olmayan soğurma katsayıları (480 GW/cm²). (Nonlinear absorption coefficients obtained by fs laser at the same intensities with 1200 nm wavelength for undoped and Ce and Er doped GaSe crystals(480 GW/cm²))

Materyal	α_0 (cm ⁻¹)	β (cm/W)	ω_0 (µm)
GaSe	27.3	1.69×10^{-10}	~ 60
GaSe:Ce (0.1%)	25.9	4.78×10^{-10}	
GaSe:Er (0.1%)	28.4	4.95×10^{-10}	

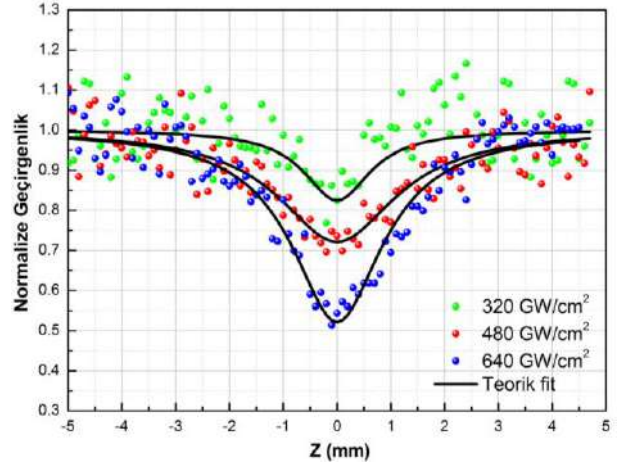
katkılandırılması ile yapılan çalışmalar ile uyumludur [4, 39-42, 46]. Kristal yapısına dışarıdan farklı çaplara sahip atomların katkılandırılması ile yasak enerji bant aralıklarının az miktar maviye kaydığı görülmektedir. Katkılandırma yapılan kristallerde soğurma bandının kenarının maviye doğru kayması katkılandırma atomları ve ekziton seviyelerinden kaynaklandığı yaygın olarak bilinmektedir. Katkılandırma yapılan GaSe kristallerinde soğurma bandı kenarının hafif bir şekilde maviye kayması örgü parametrelerinin artmasına atfedilmektedir[23, 42]. Çalışılan kristallerde katkılandırma için kullanılan Ce ve Er nadir toprak elementleri Ga atomlarının yerini almaktadır. Ga³⁺, Ce³⁺ ve Er³⁺ iyonlarının atomik yarıçapları sırasıyla 0.76 Å, 1.15 Å ve 1.03 Å olduğu düşünüldüğünde katkılandırma atomları ile kristal örgü parametrelerinde genişlemeler olacak ve bu durum bant kenarının bir miktar genişlemesine neden olacaktır.



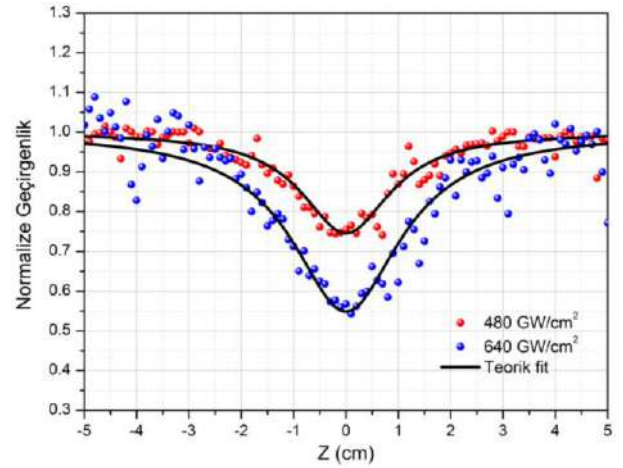
Şekil 1. Saf GaSe, %0,1 Ce ve %0,1 Er ile katkılandırılmış GaSe kristallerinin doğrusal soğurma spektrumları (Linear absorption spectra of undoped, %0,1 Ce and %0,1 Er doped GaSe crystals)

3.2 Doğrusal Olmayan Optik Özellikler (Nonlinear Optical Properties)

Saf ve Ce ve Er katkılandırılmış (GaSe:%0.1Ce, GaSe:%0.1Er) GaSe kristallerinin doğrusal olmayan soğurma özellikleri için açık yarık Z-tarama yöntemi kullanılmıştır. Bunun yanında frekans çevrimi uygulama alanlarındaki özelliklerinin incelenmesi için malzemelerin ikinci harmonik üretim deneyleri yapılmıştır. Bu iki deney sistemi için 1200 nm dalgaboyu ve 1 kHz frekans değerine sahip femtosaniye lazer sistemi kullanılmıştır. Femtosaniye lazer sistemi ile çalışmanın bazı önemli avantajları bulunmaktadır. Örneğin bu lazer sistemi ile çok düşük enerjili (birkaç nano joule) tek bir atma ile çok yüksek şiddetler elde etmek mümkündür. Atma süresinin 50 fs gibi çok kısa sürelerde olması bu imkanı sağlamaktadır. Bu durumda ısı etkisi ihmal edilebilecek kadar az olmakta ve iki foton soğurma ile uyarılmış serbest taşıyıcı soğurması (free carrier absorption) artmaktadır [47]. Kullanılan lazer dalga boyunun enerjisi (1200 nm, $h\nu=1.034$ eV) çalışılan kristallerin yasak enerji bant aralıklarının yarısından daha fazladır. Bu uyarma saf GaSe kristalinde iki foton soğurmasına neden olur. Ce ve Er katkılandırılmış kristallerde ise iki foton soğurması ile uyarılmış durum soğurmalarına (excited state absorption-ESA) neden olmaktadır. Bu iki soğurma mekanizması nadir toprak elementleri ile katkılandırılmış olan kristallerde doğrusal olmayan soğurmaya etki etmektedir. Kristallerin, şiddete bağlı olarak 1200 nm ve 100 fs atma süreli lazer demeti ile alınmış doğrusal olmayan soğurma ölçüm sonuçları Şekil 2-4'te verilmiştir. Doğrusal olmayan soğurma katsayıları, açık yarık Z-tarama fit edilmiştir [48]. Çalışılan kristaller için elde edilen doğrusal olmayan soğurma katsayı değerleri Çizelge 1' de verilmiştir.



Şekil 2. GaSe kristalinin 1200 nm dalgaboylu femtosaniye lazer ile farklı şiddet değerlerindeki açık yarık Z-tarama grafikleri (Open aperture Z-scan traces of GaSe crystal at 1200 nm wavelength with different input intensities)



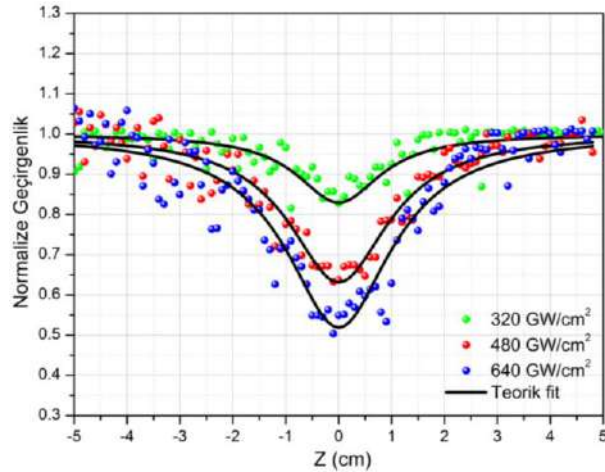
Şekil 3. GaSe:%0.1Ce kristalinin 1200 nm dalgaboylu femtosaniye lazer ile farklı şiddet değerlerindeki açık yarık Z-tarama grafikleri (Open aperture Z-scan traces of GaSe:%0.1Ce crystal at 1200 nm wavelength with different input intensities)

İki foton ve uyarılmış durum soğurmalarının varlığında doğrusal olmayan etkiler Eşitlik 2'deki gibi tanımlanmaktadır.

$$\alpha(I) = \alpha_0 + \beta I \quad (2)$$

Burada α_0 doğrusal soğurma katsayısını ve β ise doğrusal olmayan soğurma katsayısını ifade etmektedir. Geçirgenlik T aşağıdaki Eşitlik 3'te ki gibi verilebilir [43].

$$T(z, S=1) = \frac{1}{\sqrt{\pi q_0(z, 0)}} \int_{-\infty}^{\infty} \ln[1 + q_0(z, 0)e^{-\tau^2}] d\tau, \quad (3)$$



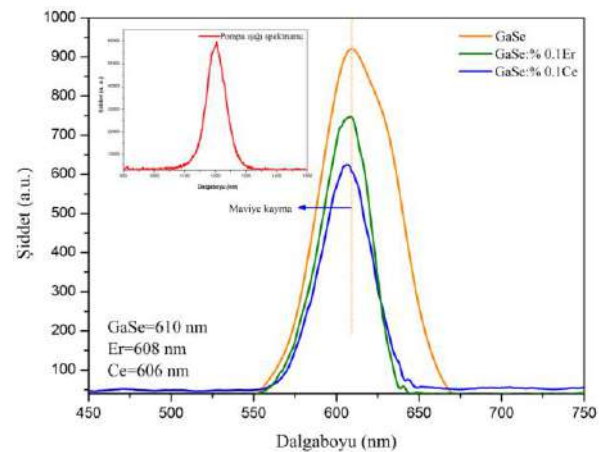
Şekil 4. GaSe:%0.1Er kristalinin 1200 nm dalgaboylu femtosaniye lazer ile farklı şiddet değerlerindeki açık yarık Z-tarama grafikleri (Open aperture Z-scan traces of GaSe:%0.1 Er crystal at 1200 nm wavelength with different input intensities)

Burada $q_0(z, 0) = \beta I_0 L_{eff} / (1 + z^2 / z_0^2)$, z malzemenin odak uzaklığına göre konumu, $z_0 = k \omega_0^2 / 2$, Rayleigh aralığını, ω_0 odak noktasındaki ışın demetinin yarıçapını, I_0 gelen ışının odak noktasındaki ($z=0$) şiddetini, $L_{eff} = [1 - \exp(-\alpha_0 L)] / \alpha_0$ ifadesi malzemenin etkin kalınlığını ve L 'de malzemenin kalınlığını ifade etmektedir.

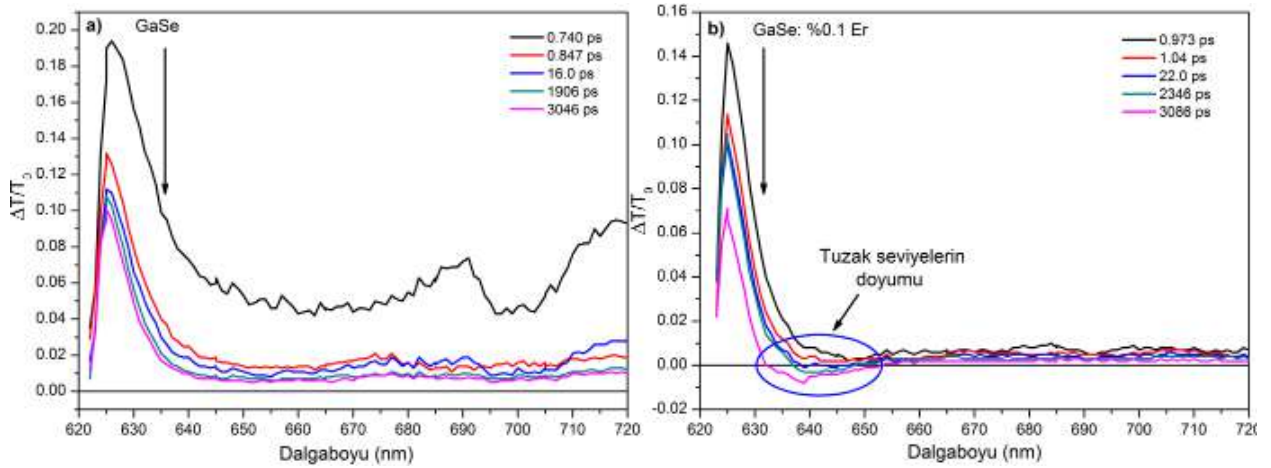
Malzemelerin 1200 nm dalgaboyunda femtosaniye atma süresine sahip ışınım altında ve aynı şiddet değerlerinde doğrusal olmayan soğurma katsayıları Çizelge 1'de verilmektedir. %0,1 Ce ve %0,1 Er katkılandırılmış olan kristallerin doğrusal olmayan soğurma özellikleri saf GaSe kristaline göre daha fazla olduğu görülmektedir. Burada katkılandırma ile oluşan kusur seviyelerinden daha üst seviyelere gerçekleşen uyarılmış durum soğurmalarının da doğrusal olmayan soğurmaya katkı sağlamasından dolayı GaSe:%0.1Ce, GaSe:%0.1Er kristallerinin doğrusal olmayan soğurma katsayıları GaSe kristaline göre artmaktadır. Literatürde yapılan çalışmalarda GaSe kristalleri için iki foton soğurma katsayıları 1064 nm dalga boyunda 10^{-9} - 10^{-7} cm/W mertebelerinde bulunmuştur [2, 49-52]. Literatürde Sn ve Ge katkılandırılmış GaSe kristalleri için doğrusal olmayan soğurma katsayıları sırasıyla 10^{-7} cm/W ve 10^{-8} cm/W civarlarında nanosaniye ve pikosaniye atma süreli lazer ışınımı altında bulunmuştur [15, 16]. Daha önce yapılan çalışmalarda uyarma dalga boyunun yasak enerji bant aralığı değerine yaklaşması durumunda doğrusal olmayan soğurma katsayılarının arttığı gözlenmiştir [47, 53]. Femtosaniye zaman ölçeğinde üçüncü dereceden doğrusal olmayan etkiler üzerine daha çok elektron bulutunun etkisi fazla olurken, nanosaniye ve daha uzun atma sürelerinde ise serbest taşıyıcı soğurması etkin olmaktadır [54]. Bu yüzden bu çalışmada femtosaniye açık yarık Z-tarama deneylerinden saf GaSe ve katkılandırılmış GaSe:%0.1Ce, GaSe:%0.1Er kristalleri

için elde edilen doğrusal olmayan soğurma katsayıları bilimsel literatürde bulunan nanosaniye atma süreli lazer ile yapılan Sn ve Ge katkılandırılmış GaSe kristallerinden daha küçüktür [15, 16]. Femtosaniye açık yarık Z-tarama deneyleri sonuçlarına göre doğrusal olmayan soğurmalarındaki azalmanın nedeni, ısısal etkinin az olması, uyarma dalgaboyu enerjisinin az olması (1200 nm) ve taşıyıcı dinamiklerinin farklı atma sürelerindeki davranışlarının değişiminden kaynaklanabilir [55]. Buna ek olarak çalışılan tüm kristallerin doğrusal olmayan soğurma özellikleri Şekil 2-4'te görüldüğü gibi gelen ışının şiddete bağlı olarak artmaktadır.

Doğrusal olmayan soğurma özelliklerine ek olarak çalışılan bütün kristaller 600 nm civarlarında ikinci harmonik sinyalleri üretmektedirler. Spektrometre yardımıyla elde edilen ikinci harmonik sinyalleri Şekil 5'te verilmektedir. Şekil 5'te açıkça görüleceği gibi ikinci harmonik sinyalleri Ce ve Er katkılandırılmış kristallerde az miktarda maviye kayma olarak gözlenmektedir. Ekziton ve katkılandırmadan dolayı iletim bandının altında oluşan kusur seviyelerinin kırmızıya kayma şeklinde beklentinin aksine, ikinci harmonik sinyallerindeki maviye kayma durumu katkılandırma sonucunda yasak enerji bant aralıklarının arttığını göstermektedir. Benzer davranışlar metal katkılandırılmış ZnO, Zn(SO₄)₃ ve KTiOPO₄ tek kristali çalışmalarında da gözlenmiştir [56-58]. Bu çalışmalarda bu durum iletim bandının alt seviyelerini dolduran verici elektronlar tarafından daha düşük enerjilere geçişlerin engellenmesi şeklinde açıklanmıştır. İkinci harmonik sinyallerin kristale katkılandırma yaparak dalga boylarının kontrol edilebilmesi durumu yarıiletken lazerlerde frekans çevriminin ayarlanabilmesine olanak sağlamaktadır [59].



Şekil 5. Saf GaSe, %0,1 Ce ve %0,1 Er ile katkılandırılmış GaSe kristallerinden 1200 nm dalgaboylu femtosaniye lazer kaynağı ile ikinci harmonik üretim sinyallerinin spektrumları (Second harmonic generation signals of undoped, %0,1 Ce and %0,1 Er doped GaSe crystals at 1200 nm wavelength with fs laser)



Şekil 6. (a) GaSe, (b) GaSe:0.1%Er kristallerinin 620 nm uyarma dalga boyu ile zamana bağlı ultrahızlı pompa-gözlem spektrumları (Time dependent ultrafast transient absorption spectra of (a) GaSe, (b) GaSe:0.1%Er crystals at 620 nm excitation wavelength)

3.3 Ultrahızlı Pompa Gözlem Spektroskopisi (Ultrafast Pump-Probe Spectroscopy)

Elektronik ve optoelektronik uygulamalar için yarıiletkenlerde yük transferlerinin açıklanması oldukça önemlidir. Çalışılan kristallerde katkılandırma etkisinin ve serbest taşıyıcı ömürlerinin doğrusal olmayan soğurma mekanizmalarına etkisini anlayabilmek için 620 nm uyarma dalga boyunda ultrahızlı pompa gözlem spektroskopisi deneyleri yapılmıştır. Saf GaSe ve %0,1 Ce ve %0,1 Er katkılandırılmış GaSe kristallerinin 620 nm uyarma dalgaboyu için zamana bağlı ultrahızlı pompa gözlem spektroskopisi sonuçları Şekil 6'da verilmiştir. Ultrahızlı pompa gözlem spektroskopisi deney sonuçlarına göre, saf GaSe kristali için sürekli uyarılmış durum soğurması gözlenirken, Ce ve Er katkılandırılmış GaSe kristallerinde belirgin farklılıkta bir karakteristik davranış gözlenmiştir (Şekil 6b). %0,1 Ce ve %0,1 Er katkılandırılmış olan kristallerde 630 nm-650 nm dalgaboyu aralığında 2 ns zaman gecikmesinden sonra doyum sinyali gözlenmiştir. Gözlenen doyum sinyali, katkılandırma ile iletim bandının hemen altında oluşması öngörülen kusur seviyelerinin var olduğunu kanıtlamaktadır. Saf GaSe kristalinde uyarılmış durum soğurma sinyalleri çok uzun ömürlere sahiptir. Bu uzun ömür, bilimsel literatürde In₂Se₃ kristalinde Auger etkisi ile açıklanmıştır ve şekilde bu çalışmada da ekziton içeren Auger etkisinden dolayı olduğu düşünülmektedir [60]. Ultrahızlı pompa gözlem spektroskopisi deney sonuçlarına göre, %0,1 Ce ve %0,1 Er katkılandırmalarının GaSe yarıiletken kristallerinin doğrusal olmayan soğurmaları üzerine çok önemli etkisinin olduğu görülmektedir.

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Saf GaSe, %0,1 Ce ve %0,1 Er ile katkılandırılmış GaSe kristallerinin doğrusal olmayan soğurma özellikleri ve ultrahızlı yük transfer dinamikleri, açık yarık Z-tarama ve ultrahızlı pompa-gözlem spektroskopisi teknikleri

kullanılarak araştırılmıştır. Çalışılan bütün kristallerin femtosaniye lazer kaynağı ile 100 fs atma süresinde ve 1200 nm dalgaboyunda elde edilen doğrusal olmayan soğurma katsayıları, gelen ışık şiddetine bağlı olarak arttığı gözlenmiştir. Aynı zamanda, GaSe kristaline farklı atomların katkılandırılması ile doğrusal olmayan soğurma katsayıları da artış göstermiştir. Çalışılan bütün kristaller ikinci harmonik üretimi özellikleri göstermektedir ve ikinci harmonik pik dalga boylarının katkılandırma atomları ile spektrumun mavi bölgesine kaydığı gözlenmiştir. Katkılandırma atomlarının ultrahızlı dinamiklere etkisinin araştırılması amacıyla ultrahızlı pompa-gözlem deneyleri yapılmıştır. Saf GaSe kristalinde sürekli uyarılmış durum soğurması gözlenirken, Ce ve Er katkılandırılmış olan GaSe kristallerinde 630 nm civarında doyum sinyali gözlenmiştir. Doyum sinyalleri, iletim bandının hemen altına yerleşmiş olan kusur seviyelerinin var olduğunu göstermektedir. Açık yarık Z-tarama ve ultrahızlı pompa-gözlem spektroskopisi deney sonuçları doğrusal olmayan soğurma özelliklerinin ve kristal içerisinde ultrahızlı yük transfer dinamiklerinin katkılandırma atomları ile kontrol edilebileceğini göstermiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Dmitriev V.G., Gurzadyan G.G. and Nikogosyan D.N., "*Handbook for Nonlinear Optical Crystals*", Third edition ed., Springer, Berlin, (1999).
- [2] Vodopyanov K. L., Mirov S. B., Voevoolin V. G. and Schunemann P. G., "Two-photon absorption in GaSe and CdGeAs₂", *Opt Commun*, 155: 47-50, (1998).
- [3] Guo J., Li D.J., Xie J.J., Zhang L.M., Feng Z.S., Andreev Y.M., Kokh K.A., Lanski G.V., Potekaev A. I., Shaiduko A.V. and Svetlichnyi V.A., "Limiting pump intensity for sulfur-doped gallium selenide crystals", *Laser Phys Lett*, 11:1-6, (2014).
- [4] Guo J., Xie J.J., Li D.A.J., Yang G.L., Chen F., Wang C.R., Zhang L.M., Andreev Y.M., Kokh K.A., Lanski G.V. and Svetlichnyi V.A., "Doped GaSe crystals for

- laser frequency conversion", *Light-Sci Appl*, 4: 1-12, (2015).
- [5] Chen C.W., Tang T.T., Lin S.H., Huang J.Y., Chang C.S., Chung P.K., Yen S.T. and Pan C.L., "Optical properties and potential applications of epsilon-GaSe at terahertz frequencies", *J Opt Soc Am B*, 26: 58-65, (2009).
- [6] Nazarov M.M., Shkurinov A.P., Angeluts A.A. and Sapozhnikov D.A., "On the Choice of Nonlinear Optical and Semiconductor Converters of Femtosecond Laser Pulses into Terahertz Range", *Radiophys Quant El*, 52: 536-545, (2009).
- [7] Segura A., Bouvier J., Andres M.V., Manjon F.J. and Munoz V., "Strong optical nonlinearities in gallium and indium selenides related to inter-valence-band transitions induced by light pulses", *Phys Rev B*, 56: 4075-4084, (1997).
- [8] Allakhverdiev K.R., Yetis M.O., Ozbek S., Baykara T. K. and Salaev E.Y., "Effective nonlinear GaSe crystal. Optical properties and applications", *Laser Phys*, 19: 1092-1104, (2009).
- [9] Fernelius N.C., "Properties of Gallium Selenide Single-Crystal", *Prog Cryst Growth Ch*, 28: 275-353, (1994).
- [10] Singh N.B., Suhre D.R., Balakrishna V., Marable M., Meyer R., Fernelius N., Hopkins F.K. and Zelmon D., "Far-infrared conversion materials: Gallium selenide for far-infrared conversion applications", *Prog Cryst Growth Ch*, 37: 47-102, (1998).
- [11] Abdullaev G.B., Kulevskii L.A., Nikles P.V., Prokhorov A.M., Savelev A.D., Salaev E.Y. and Smirnov V.V., "Emission of Difference Frequency from Ga Se Crystal with Continuous Tuning over Range of 560-1050 Cm⁻¹", *Kvantovaya Elektron*, 3: 163-167, (1976).
- [12] Allakhverdiev K.R., Guliev R.I., Salaev E.Y. and Smirnov V.V., "An Investigation of Linear and Non-Linear Optical-Properties of Gasxse1-X Crystals", *Kvantovaya Elektron*, 9: 1483-1485, (1982).
- [13] Huang J.G., Huang Z.M., Tong J.C., Ouyang C., Chu J. H., Andreev Y., Kokh K., Lanskii G. and Shaiduko A., "Intensive terahertz emission from GaSe0.91S0.09 under collinear difference frequency generation", *Appl Phys Lett*, 103: 081104, (2013).
- [14] Zhang H.Z., Kang Z.H., Jiang Y., Gao J.Y., Wu F.G., Feng Z.S., Andreev Y.M., Lanskii G.V., Morozov A.N., Sachkova E.I. and Sarkisov S.Y., "SHG phase matching in GaSe and mixed GaSe1-xSx, x <= 0.412, crystals at room temperature", *Opt Express*, 16: 9951-9957, (2008).
- [15] Yuksek M., Elmali A., Karabulut M. and Mamedov G.M., "Switching from negative to positive nonlinear absorption in p type 0.5 at% Sn doped GaSe semiconductor crystal", *Opt Mater*, 31: 1663-1666, (2009).
- [16] Yuksek M., Elmali A., Karabulut M. and Mamedov G.M., "Nonlinear absorption in undoped and Ge doped layered GaSe semiconductor crystals", *Appl Phys B-Lasers*, 98: 77-81, (2010).
- [17] Singh N.B., Suhre D.R., Rosch W., Meyer R., Marable M., Fernelius N.C., Hopkins F.K., Zelmon D.E. and Narayanan R., "Modified GaSe crystals for mid-IR applications", *J Cryst Growth*, 198, 588-592, (1999).
- [18] Das S., Ghosh C., Voevodina O.G., Andreev Y.M. and Sarkisov S.Y., "Modified GaSe crystal as a parametric frequency converter", *Appl Phys B-Lasers*, 82: 43-46, (2006).
- [19] Zhang Y.F., Wang R., Kang Z.H., Qu L.L., Jiang Y., Gao J.Y., Andreev Y.M., Lanskii G.V., Kokh K.A., Morozov A.N., Shaiduko A.V. and Zuev V.V., "AgGaS2- and Al-doped GaSe Crystals for IR Applications", *Opt Commun*, 284: 1677-1681, (2011).
- [20] Abidinov A.S., Babaeva R.F., Ragimova N.A., Rzaev R.M. and Amirova S.I., "Effects of temperature and rare-earth doping on the transport properties of GaSe crystals", *Inorg Mater*, 50: 334-338, (2014).
- [21] Kim C.D., Jang K.W. and Lee Y.I., "Optical properties of Tm-doped GaSe single crystals", *Solid State Commun*, 130: 701-704, (2004).
- [22] Tagiyev B.G., M. R.S., Aydayev F.S. and Abbasova T.M., "Mechanism of current passage and excitation of electroluminescence in GaSe:Er monocystals", *Semicond. Phys. Quant. Electron. Optoelectron*, 5: 261-263, (2002).
- [23] Feng Z.S., Guo J., Xie J.J., Zhang L.M., Gao J.Y., Andreev Y.M., Izaak T.I., Kokh K.A., Lanskii G.V., Shaiduko A.V., Shabalina A.V. and Svetlichnyi V.A., "GaSe:Er3+ crystals for SHG in the infrared spectral range", *Opt Commun*, 318: 205-211, (2014).
- [24] Karatay A., Yuksek M., Ertap H., Mak A.K., Karabulut M. and Elmali A., "Influence of boron concentration on nonlinear absorption and ultrafast dynamics in GaSe crystals", *Opt Mater*, 60: 74-80, (2016).
- [25] Nathan V., Guenther A.H. and Mitra S.S., "Review of Multiphoton Absorption in Crystalline Solids", *J Opt Soc Am B*, 2: 294-316, (1985).
- [26] Lee C.C. and Fan H.Y., "2-Photon Absorption with Exciton Effect for Degenerate Valence Bands", *Phys Rev B*, 9: 3502-3516, (1974).
- [27] Fan Y.X., He J.L., Wang Y.G., Liu S., Wang H.T. and Ma X.Y., "2-ps passively mode-locked Nd : YVO4 laser using an output-coupling-type semiconductor saturable absorber mirror", *Appl Phys Lett*, 86: 10, (2005).
- [28] He J.L., Fan Y.X., Du J., Wang Y.G., Liu S., Wang H. T., Zhang L.H. and Hang Y., "4-ps passively mode-locked Nd : Gd0.5Y0.5VO4 laser with a semiconductor saturable-absorber mirror", *Opt Lett*, 29: 2803-2805, (2004).
- [29] He G.S., Markowicz P.P., Lin T.C. and Prasad P.N., "Observation of stimulated emission by direct three-photon excitation", *Nature*, 415: 767-770, (2002).
- [30] Maciel G.S., Rakov N., de Araujo C.B., Lipovskii A.A. and Tagantsev D.K., "Optical limiting behavior of a glass-ceramic containing sodium niobate crystallites", *Appl Phys Lett*, 79: 584-586, (2001).
- [31] Wu Y.T., Ding D.Z., Pan S.K., Yang F. and Ren G.H., "Crystal growth and luminescence properties of Lu0.8Sc0.2BO3 scintillators doped with different Ce concentrations", *Mater Sci Eng B-Adv*, 176: 889-893, (2011).
- [32] Shi Q., Wang C.Z., Li S.H., Wang Q.R., Zhang B.Y., Wang W.J., Zhang J.Y. and Zhu H.L., "Enhancing blue luminescence from Ce-doped ZnO nanophosphor by Li doping", *Nanoscale Res Lett*, 9: 1-7, (2014).
- [33] Ogorodnikov I.N. and Pustovarov V.A., "Luminescence of Li6Gd(BO3)3 crystals upon ultraviolet and inner-shell excitations", *J Lumin*, 134: 113-125, (2013).

- [34] Bangaru S., Saradha K. and Muralidharan G., "Luminescent Properties of Cerium Doped Potassium Iodide Single Crystals in Response to gamma-irradiation", *J Fluoresc*, 25: 641-646, (2015).
- [35] Kitaura M., Sato A., Kamada K., Ohnishi A. and Sasaki M., "Phosphorescence of Ce-doped Gd₃Al₂Ga₃O₁₂ crystals studied using luminescence spectroscopy", *J Appl Phys*, 115, (2014).
- [36] Jan T., Iqbal J., Mansoor Q., Ismail M., Naqvi M.S.H., Gul A., Naqvi S.F.U. and Abbas F., "Synthesis, physical properties and antibacterial activity of Ce doped CuO: a novel nanomaterial", *J Phys D Appl Phys*, 47, (2014).
- [37] Gerasymov I., Sidletskiy O., Neicheva S., Grinyov B., Baumer V., Galenin E., Katrunov K., Tkachenko S., Voloshina O. and Zhukov A., "Growth of bulk gadolinium pyrosilicate single crystals for scintillators", *J Cryst Growth*, 318: 805-808, (2011).
- [38] Kramer K.W., Dorenbos P., Gudel H.U. and Van Eijk C.W.E., "Development and characterization of highly efficient new cerium doped rare earth halide scintillator materials", *J Mater Chem*, 16: 2773-2780, (2006).
- [39] Ertap H., Yuksek M., Karatay A., Elmali A. and Karabulut M., "Linear and nonlinear absorption, SHG and photobleaching behaviors of Dy doped GaSe single crystal", *Chinese J Phys*, 59: 465-472 (2019).
- [40] Karatay A., Yuksek M., Ertap H., Elmali A. and Karabulut M., "Enhancing the blue shift of SHG signal in GaSe:B/Ce crystal", *Opt Laser Technol.*, 99: 392-395, (2018).
- [41] Ertap H., "Nonlinear absorption, SHG behavior and carrier dynamics of Nd and Pr doped GaSe single crystals", *Opt Mater*. 83: 99-103, (2018).
- [42] Yuksek M.; Karatay, A.; Ertap, H.; Elmali, A.; Karabulut, M., "Frequency conversion, nonlinear absorption and carrier dynamics of GaSe:B/Er crystals", *Opt Mater*. 66: 137-141, (2017).
- [43] Sheikbaha M., Said A.A., Wei T.H., Hagan D.J. and Vanstryland E.W., "Sensitive Measurement of Optical Nonlinearities Using a Single Beam", *Ieee J Quantum Elect*, 26: 760-769, (1990).
- [44] Bacioglu A., Ertap H., Karabulut M. and Mamedov G.M., "Sub-bandgap analysis of boron doped In Se single crystals by constant photocurrent method", *Opt Mater*, 37: 70-73, (2014).
- [45] Pankove J.I., "*Optical Process in Semiconductors*", Dover Publications: New York, (1971).
- [46] Hsu Y.K., Chen C.W., Huang J.Y. and Pan C.L., "Erbium doped GaSe crystal for mid-IR applications", *Opt Express*, 14: 5484-5491, (2006).
- [47] Dabbicco M. and Brambilla M., "Dispersion of the two-photon absorption coefficient in ZnSe", *Solid State Commun*, 114: 515-519, (2000).
- [48] Shah J., "*Ultrafast Spectroscopy of Semiconductors and Semiconductor Nanostructures*", Springer: Berlin, (1999).
- [49] Kulibekov A.M., Allakhverdiev K., Guseinova D.A., Salaev E.Y. and Baran O., "Optical absorption in GaSe under high-density ultrashort laser pulses", *Opt Commun*, 239: 193-198, (2004).
- [50] Adduci F., Catalano I. M., Cingolani A. and Minafra A., "Direct and Indirect 2-Photon Processes in Layered Semiconductors", *Phys Rev B*, 15: 926-931, (1977).
- [51] Allakhverdiev K.R., Baykara T., Joosten S., Gunay E., Kaya A.A., Kulibekov A., Seilmeier A. and Salaev E.Y., "Anisotropy of two-photon absorption in gallium selenide at 1064 nm", *Opt Commun*, 261: 60-64, (2006).
- [52] Allakhverdiev K.R., "Two-photon absorption in layered TlGaSe₂, TlInS₂, TlGaS₂ and GaSe crystals", *Solid State Commun*, 111: 253-257, (1999).
- [53] Imangholi B., Hasselbeck M.P. and Sheik-Bahae M., "Absorption spectra of wide-gap semiconductors in their transparency region", *Opt Commun*, 227: 337-341, (2003).
- [54] Walter E.B., "*Ultrashort Processes in Condensed Matter*", Springer: New York, (1993).
- [55] Vanstryland E.W., Sheikbaha M., Said A.A., Hagan D.J. and Soileau M.J., "Characterization of Nonlinear-Optical Materials", *Laser-Induced Damage in Optical Materials*, 2114: 444-468, (1994).
- [56] Cheng L.T., Cheng L.K., Harlow R.L. and Bierlein J.D., "Blue-Light Generation Using Bulk Single-Crystals of Niobium-Doped KTiOPO₄", *Appl Phys Lett*, 64: 155-157, (1994).
- [57] Joseph D.P. and V.C., "Bandgap Engineering in ZnO By Doping with 3d Transition Metal Ions", *Journal of Atomic, Molecular, and Optical Physics*, 2011: 1-7, (2011).
- [58] Kushwaha S.K., Maurya K.K., Haranath D. and Bhagavannarayana G., "The effect of Cr³⁺ doping on the crystalline perfection and optical properties of zinc tris(thiourea)sulfate, a nonlinear optical material", *J Appl Crystallogr*, 44: 1054-1061, (2011).
- [59] Nikogosyan D.N., "*Nonlinear Optical Crystals: a Complete Survey*", Springer: USA, (2005).
- [60] Tao X., Mafi E. and Gu Y., "Ultrafast carrier dynamics in single-crystal In₂Se₃ thin layers", *Appl Phys Lett*, 103: 193115, (2013).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

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



A numerical study on performance improvement in boiling heat transfer via dichloromethane-based nanofluid utilization

Diklorometan esaslı nanoakışkan kullanımıyla kaynama ısı transferinde performans iyileştirme üzerine sayısal bir çalışma

Yazar(lar) (Author(s)): Erdem ÇİFTÇİ¹ , Adnan SÖZEN²

ORCID¹: 0000-0003-2493-5962

ORCID²: 0000-0002-8373-2674

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Çiftçi E. and Sözen A., “A numerical study on performance improvement in boiling heat transfer via dichloromethane-based nanofluid utilization”, *Politeknik Dergisi*, 23(3): 849-857, (2020).

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

DOI: 10.2339/politeknik.697085

A Numerical Study on Performance Improvement in Boiling Heat Transfer via Dichloromethane-Based Nanofluid Utilization

Highlights

- ❖ Boiling heat transfer characteristics of hexagonal boron nitride nanoparticles containing dichloromethane nanofluid (h-BN/DCM) were numerically investigated.
- ❖ Vapor volume fractions, velocity & temperature contours and velocity vectors were illustrated both for base fluid and nanofluid suspension.
- ❖ Nanoparticle addition into the base fluid enhanced the heat transfer characteristics under pool boiling conditions.

Graphical Abstract

A series of numerical simulation was carried out for determining the pool boiling heat transfer properties of solvent-based nanofluid (h-BN/DCM) solution.

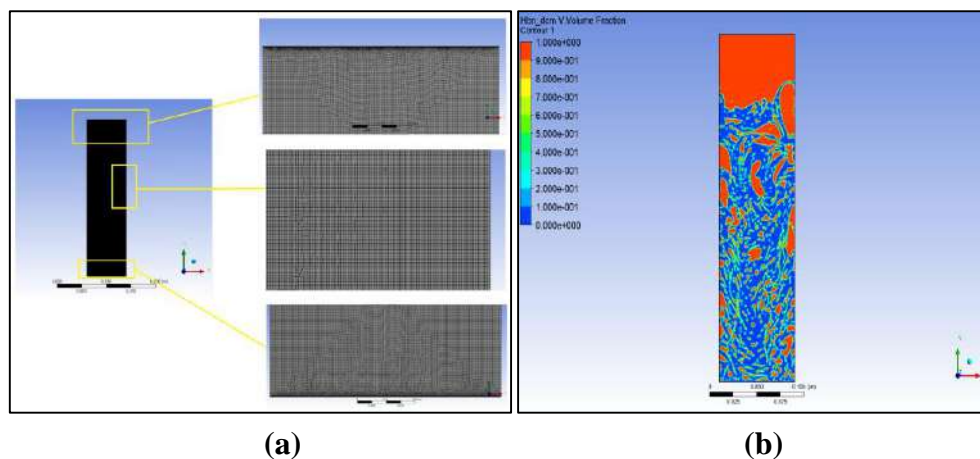


Figure. The generated mesh model (a) and vapor volume fractions at the end of the analysis

Aim

Numerically specify the pool boiling heat transfer characteristics of h-BN/DCM nanofluid.

Design & Methodology

ANSYS Fluent was used in numerical simulations. Nanoparticle concentration and heat flux were 1.0% and 200 W/m², respectively.

Originality

A solvent-based nanofluid was analyzed, heat transfer and fluid flow characteristics were determined.

Findings

The beginning time of the boiling for the base fluid (DCM) and nanofluid solution (h-BN/DCM) were observed as 230 s and 215 s, respectively.

Conclusion

Nanoparticle addition into the base fluid enhanced the heat transfer characteristics under pool boiling conditions.

Declaration of Ethical Standards

The authors of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

Diklorometan Esaslı Nanoakışkan Kullanımıyla Kaynama Isı Transferinde Performans İyileştirme Üzerine Sayısal Bir Çalışma

Araştırma Makalesi / Research Article

Erdem ÇİFTÇİ*, Adnan SÖZEN

Gazi University, Faculty of Technology, Department of Energy Systems Engineering, Ankara, Turkey

(Geliş/Received : 02.09.2019 ; Kabul/Accepted : 24.12.2019)

ÖZ

Nanoakışkanlar koloidal süspansiyonlardır ve ısıtmadan soğutmaya kadar birçok ısı transfer uygulamasında sıklıkla kullanılmaktadır. Bu çalışmada temel akışkan içerisine nanoparçacık ilavesinin havuz kaynama ısı transferi üzerindeki etkisini sayısal olarak belirlemek amacıyla nanoparçacık ve temel akışkan malzemeleri olarak sırasıyla hekzagonal bor nitür ve diklorometan kullanılarak bir dizi sayısal analiz gerçekleştirilmiştir. Nanoakışkan çözeltisi, hekzagonal bor nitür nanoparçacıklarının diklorometan ile hacimce %1.0 oranında karıştırılmasıyla hazırlanmış ve sistemin çalışması esnasında nanoparçacıkların topaklanmasını önlemek için bu çözeltiye Sodyum Dodesil Benzen Sülfonat ilave edilmiştir. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yaklaşımının kullanıldığı bu çalışmada, sayısal analizler için ANSYS Fluent yazılımı kullanılmıştır. Karşılaştırma yapabilmek için, hem diklorometan hem de hekzagonal bor nitür nanoparçacıkları içeren diklorometan (nanoakışkan) çözeltileri için analizler yapılmıştır. Her iş akışkanı için buhar hacim fraksiyonları, hız vektörleri ve hız konturları belirlenerek elde edilen sonuçlar irdelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Havuz kaynama, nanoakışkan, hekzagonal bor nitür, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği.

A Numerical Study on Performance Improvement in Boiling Heat Transfer via Dichloromethane-Based Nanofluid Utilization

ABSTRACT

Nanofluids are colloidal suspensions and have been utilized frequently in heat transfer implementations ranging from heating to cooling. In this study, for numerically specifying the influence of nanoparticle addition inside the base fluid on pool boiling heat transfer, a series of numerical analyses were performed by using hexagonal boron nitride and dichloromethane as nanoparticle and base fluid material, respectively. The nanofluid solution was prepared by doping hexagonal boron nitride nanoparticles into the dichloromethane at the rate of 1.0% (vol.) and Sodium Dodecyl Benzene Sulfonate was added into this solution to prevent nanoparticle compilation during operation. Computational Fluid Dynamics (CFD) approach was preferred and ANSYS Fluent software was used for numerical analysis. In order to be able to make comparison, analysis was performed both dichloromethane and hexagonal boron nitride nanoparticles containing dichloromethane, i.e. nanofluid, solutions. Vapour volume fractions, velocity vectors, and contours for each working fluid were determined and discussed.

Keywords: Pool boiling, nanofluid, hexagonal boron nitride, Computational Fluid Dynamics.

1. INTRODUCTION

Increasing energy demand and environmental pollution, together with developing technology, have caused to emerge new technologies for the development of energy systems. Nanoparticle technology, which includes the production and characterization processes of nanoparticles used in many different areas varying from thin-film layers to fuel cells, has also great importance on that development. Through this technology, more efficient and faster heat transfer can be realized by preparing nanoparticle-containing working fluids. These nanoparticle-containing colloidal solutions are generally

called as nanofluid. It is a known fact that liquids have lower thermal conductivity than solids and this has led to the emergence of nanofluids [1]. Nanofluids generally consist of three main components as follows: a nanoscale form of a material (metal oxides, ceramics, etc.), i.e. nanoparticles, a base fluid (deionized water, ethylene glycol, etc.), and a surfactant (such as SDBS (Sodium Dodecyl Benzene Sulfonate)). Nanofluid solutions are obtained by mixing these three basic components in certain proportions.

Convective heat transfer taking place at solid-liquid interface is called boiling. The boiling process in which high heat fluxes have emerged is largely faced in many heat transfer processes like nuclear plants and HVAC systems. For improving the heat transfer performance in

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

boiling, in general, following two methods can be used both separately and/or at the same time: Modifications in surface roughness of the heater, which led bubble formation and its departure to vary, and enhancement of wetting capability of the working fluid by using hydrophilicity or hydrophobicity properties of a material [2]. Besides, the thermophysical properties of the working fluid have a great influence on boiling heat transfer performance as well. Hence, the more the thermophysical properties of the working fluid are enhanced, the higher the thermal performance.

Numerical analysis has been widely used for describing the details that cannot be obtained by experiments like velocity and temperature distributions in fluid flow, heat and mass transfer problems faced in engineering systems. It also helps reducing the number of tests in experimental work. Hence, as can be estimated, boiling phenomena was investigated with a numerical analysis approach by many researchers as well. Ham and Cho (2016) numerically investigated the influence of volume concentration and size of the nanoparticle on nanofluid boiling, by using the HFP (heat flux partitioning) model consisting of evaporation, quenching, and natural convection mechanisms, together with variations in contact angle. They used alumina nanofluid with varying concentrations, light transmission, and dispersion stability characteristics in the analysis. They specified the bubble departure diameter, departure frequency and density of the nucleate site. They also considered the influence of contact angle in their numerical models for the exact estimation of the boiling phenomenon. As nanoparticle size, they used nanoparticles in 25 nm, 50 nm, and 75 nm size. They compared to their numerical analysis results with varying experimental and numerical analysis results. They reported that the frequency of bubble departure declined and the bubble departure diameter increased at higher nanofluid concentration. Moreover, they observed that surface wettability for all nanoparticle sizes increased with the increase of the nanofluid concentration and slightly increased with the increase of nanoparticle size [3]. Ebrahimian and Ansarifard (2016) investigated numerically the nanofluid utilization as a coolant in a nuclear reactor. They used low concentration alumina nanoparticles containing nanofluid ranging from 0.001% to 0.05% in their analysis. The sizes of the nanoparticles they used were 10 nm, 20 nm, 50 nm, 70 nm, and 100 nm. They simulated the fuel assembly in a hot channel by using the Computational Fluid Dynamics approach. To provide such thermophysical properties of the nanofluid as density, specific heat, viscosity and thermal conductivity for boundary conditions of their numerical simulations, they employed theoretically derived equations. They investigated the influence of nanoparticles on the heat transfer coefficient with the alterations of volume concentration and nanoparticle size. They concluded that the temperature of the fuel centre utilizing nanofluid was declined, because of the fact that nanoparticle size became smaller and the volume fraction was increased.

They observed a remarkable increment in the convection heat transfer coefficient because nanoparticle size became smaller and the volume fraction was increased [4]. Shoghl et al. (2014) performed a numerical study on bubble dynamics in pool boiling of nanofluid with coated and Sodium Dodecyl Sulfonate (SDS) solution with different nanoparticles for mathematical modeling of bubbles in the boiling of deionized water. They also experimentally investigated the shapes, numbers, contact angle of bubbles, and verified them by findings obtained from the numerical analysis. They obtained extensive changes in bubble dynamics and surface wettability by a porous layer of nanoparticles and SDS solution. They illustrated that the growth time of bubbles altered by the presence of porous layers and SDS surfactant solution, which resulted from a change in surface tension force [5].

Hexagonal boron nitride ($h-BN$) is a white, non-toxic and slippery material, and is of 2.27 g/cm³ density. Its crystal structure is similar to graphite; nevertheless, the main difference from graphite is high electrical resistance and colour. It does not react chemically, and has resistance to very high temperature values. In addition to being stable against thermal shocks, it has high thermal conductivity, superior electrical insulation as well as copper and superior lubrication specifications. Furthermore, dichloromethane is a synthetic chemical substance that is not found in nature. It is colourless, has a soft, sweet smell and is liquid at room temperature. Its boiling temperature, specific heat capacity, and thermal conductivity values are 40°C, 1.188 J/g°C, and 0.1392 W/mK at 20°C, respectively. It is extensively used in industry as a paint remover, as a solvent in aerosols, as a propellant and drug production. Besides, it is very volatile and insoluble in water.

In this study, heat and fluid flow characteristics of hexagonal boron nitride ($h-BN$) nanoparticles containing working fluid under pool boiling conditions were analysed numerically. Analysis were also performed for base fluid (dichloromethane, DCM) to illustrate the effects of nanoparticle addition inside base fluid on pool boiling heat transfer performance. It was assumed in the numerical analysis as a boundary condition that nanofluid solution was prepared by mixing $h-BN$ nanoparticles at the rate of 1.0% (vol.) and SDS at the rate of 0.2% (vol.) with dichloromethane. In order to show off the evaporation-condensation process step-by-step, the transient solution method was used. When taking into account the studies above, it was seen that mostly deionized water was employed as a base fluid in the preparation of nanofluid solutions. In a similar way, metallic materials were preferred by them as nanoparticle material. The novelty of this study is that the boiling heat transfer characteristics of $h-BN/DCM$ nanofluid has not been numerically investigated before.

2. NUMERICAL ANALYSIS

There are 3 analysing methods for the solution of the engineering problems, namely; experimental, numerical

and theoretical solutions. Numerical analysis is one of the mostly-employed solution methods of them for solution of fluid flow, heat and mass transfer problems due to the fact that it is a cheap, easily applicable most of the time and the results obtained from the numerical analysis provides a better understanding and elaborately illustrates the flow characteristics, temperature and pressure distributions that cannot be attained in experiments [6-8]. ANSYS Fluent software (18.2 ed.) was used for numerical simulation of evaporation-condensation phenomena during boiling processes. At first, a 2D model was generated in DesignModeler module of the software as a rectangular boiling area. The generated 2D model had 80 mm in width and 300 mm in height. It contained 2 principle sections as an evaporator for heat intake and condenser for heat dissipation processes, respectively. The meshing step of the generated model (Figure 1) was realized in the MESH sub-program in ANSYS software by using quadrilateral mesh structure and considering the precedent studies of ref. [9-12]. The generated mesh model contained 107254 nodes and 106107 elements. This model was decided after mesh independency pre-study was conducted. In

this pre-study, 5 different mesh models were generated and alterations in important mesh parameters, together with vapour temperature (T_v), the average temperature beneath the condenser section, were monitored. The obtained results were presented in Table 1. As can be seen in Table 1, the MS₅ mesh structure was the most appropriate one, hence all analysis was fulfilled by considering MS₅ mesh model.

Simulations were performed in transient and multiphase flow conditions considering the gravity as 9.81 m/s^2 on $-y$ direction. Volume-of-fluid (VOF) multiphase analysis model was employed for simulating the evaporation-condensation phenomena. As an initial condition, it was assumed that there was no vapor in the system, and thereby vapor volume fraction was entered as 0 (zero) onto the software (Table 2). Moreover, the thermophysical properties of both DCM and h-BN/DCM nanofluid were set onto the program since there were no properties of each fluid in the Fluent database (Table 3). The provided thermophysical properties in Table 3 were obtained from the data sheet of dichloromethane and experimental measurements [11].

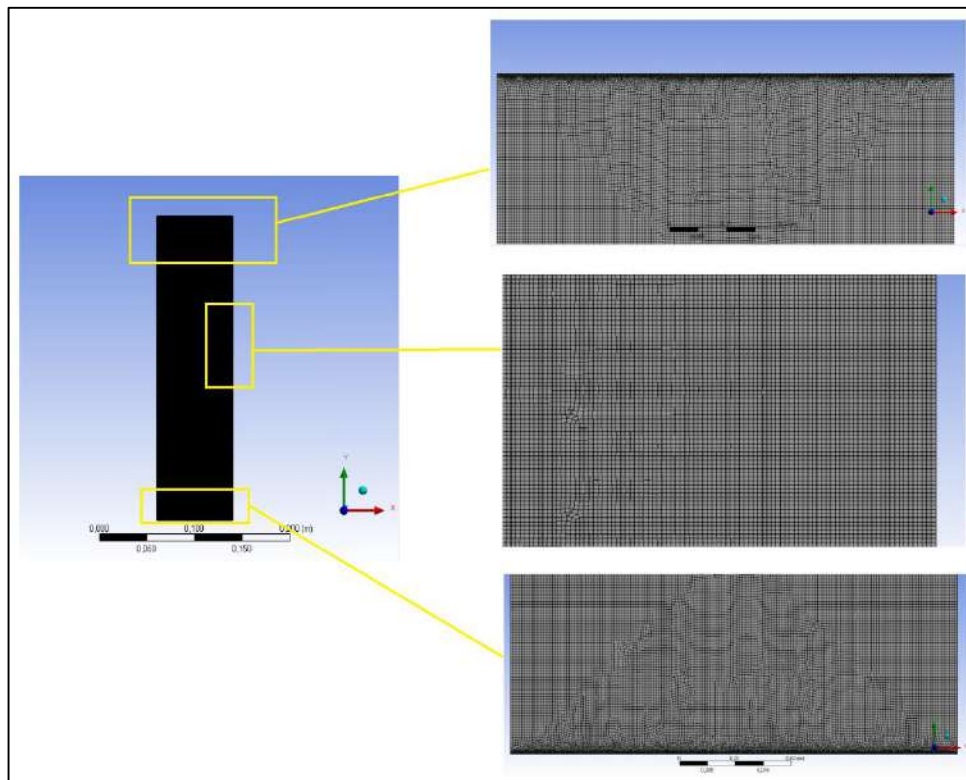


Figure 1. Details of the generated mesh model

Table 1. Obtained results from the pre-study (Mesh independency)

Mesh Metrics / Mesh Structures	MS ₁	MS ₂	MS ₃	MS ₄	MS ₅
The number of elements	12450	25100	51204	81750	106107
The number of nodes	11280	26400	56300	82104	107254
Maximum skewness	5e-04	4e-04	5.5e-05	3e-06	6e-06
Element quality (ave.)	0.889	0.895	0.912	0.949	0.974
T_v temperature (K)	313.38	312.85	313.55	313.35	313.72

Table 2. The models/properties employed in the analysis

Model	Submodel / Description
Multiphase	Volume-of-Fluid
Energy	On (Activated)
Viscous	k-ε RNG, Enhanced wall treatment, Thermal effects
Surface tension	On (0.028 N/m)

Table 3. Thermophysical properties of DCM and h-BN/DCM working fluids

Thermophysical property	DCM		h-BN / DCM	
	Liquid phase	Vapor phase	Liquid phase	Vapor phase
Density(kg/m ³)	1330	2.93	1330	2.93
Specific heat capacity (j/kgK)	1.188	615	1.188	617
Thermal conductivity (W/mK)	0.1392	0.1392	0.1596	0.1596
Viscosity (kg/ms)	0.000413	0.000413	0.00051	0.00051
Molar weight (kg/kmol)	84.93			
Standard state enthalpy (j/kgmol)	-9.552826e+07			
Reference temperature (K)	298			

As is known to all, governing equations are discretized and solved for a definite domain in numerical analysis. These equations can be summarized as follows [12, 14]:

The mass conservation is:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\alpha_q \rho_q) + \nabla \cdot (\alpha_q \rho_q \vec{v}_q) = \sum_{p=1}^n (\dot{m}_{pq} - \dot{m}_{qp}) + S_q \quad (1)$$

where \vec{v}_q , α_q , \dot{m}_{pq} , \dot{m}_{qp} and S_q stand for velocity of phase q, the volume fraction of phase q, mass transfer between p and q phases, mass transfer between q and p phases and the source term, respectively.

Momentum equation based on the volume fraction of all actual phases by the properties of μ and ρ :

$$\frac{\partial}{\partial t}(\alpha_q \rho_q \vec{v}_q) + \nabla \cdot (\alpha_q \rho_q \vec{v}_q \vec{v}_q) = -\alpha_q \nabla p + \nabla \cdot \bar{\tau}_q + \alpha_q \rho_q \vec{g} + \sum_{p=1}^n (\vec{R}_{pq} + \dot{m}_{pq} \vec{v}_{pq} - \dot{m}_{qp} \vec{v}_{qp}) + (\vec{F}_q + \vec{F}_{lift,q} + \vec{F}_{wl,q} + \vec{F}_{vm,q} + \vec{F}_{td,q}) \quad (2)$$

In Eq.(2), \vec{F}_q stands for external body force, $\vec{F}_{lift,q}$ denotes the lift force, $\vec{F}_{wl,q}$ corresponds to lubricant force of wall, $\vec{F}_{vm,q}$ is virtual mass force, $\vec{F}_{td,q}$ is turbulent dispersion force, \vec{R}_{pq} denotes the interaction force between the phases, \vec{v}_{pq} represents interphase velocity, and $\bar{\tau}_q$ denotes stress-strain tensor of q phase expressed as:

$$\bar{\tau}_q = \alpha_q \mu_q (\nabla \vec{v}_q + \nabla \vec{v}_q^T) + \alpha_q \left(\lambda_q - \frac{2}{3} \mu_q \right) \cdot \nabla \vec{v}_q \bar{I} \quad (3)$$

where λ_q and μ_q are bulk and shear viscosity of phase q, respectively.

Energy equation shared between the phases is:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\alpha_q \rho_q h_q) + \nabla \cdot (\alpha_q \rho_q \vec{u}_q h_q) = \alpha_q \frac{dp_q}{dt} + \bar{\tau}_q \cdot \nabla \cdot \vec{u}_q$$

$$-\nabla \cdot \vec{q}_q + S_q + \sum_{p=1}^n (Q_{pq} + \dot{m}_{pq} h_{pq} - \dot{m}_{qp} h_{qp}) \quad (4)$$

In Eq. (4), h_q corresponds to specific enthalpy for phase q, \vec{q}_q represents the heat flux, S_q is the source term constituting enthalpy, Q_{pq} denotes the intensity of heat transfer between the phases p and q, and h_{pq} stands for the interphase enthalpy.

The VOF model includes both energy(E) and temperature(T) as mass average parameters and therefore it is expressed as follows:

$$E = \frac{\sum_{q=1}^n \alpha_q \rho_q E_q}{\sum_{q=1}^n \alpha_q \rho_q} \quad (5)$$

where E_q is based on the specific heat of that phase for each phase and common temperature. For the phases, density (ρ) and k_{eff} , i.e. effective thermal conductivity is mutual. The source term, S_h , contains radiation and other kinds of heat sources.

Concerning the volume fraction, the following equation is utilized:

$$\frac{1}{\rho_q} \left[\frac{\partial}{\partial t}(\alpha_q \rho_q) + \nabla \cdot (\alpha_q \rho_q \vec{v}_q) \right] = S_{\alpha_q} + \sum_{p=1}^n (\dot{m}_{pq} - \dot{m}_{qp}) \quad (6)$$

In Eq. (6), \dot{m}_{qp} is the mass transfer from phase q to phase p, and \dot{m}_{pq} denotes the mass transfer from phase p to phase q.

In the volume-of-fluid model, the governing equation for diffusion is;

$$\frac{\partial}{\partial t}(\alpha_q \rho_q) + \nabla \cdot (\alpha_q \rho_q \vec{v}_q) = \nabla \cdot (\gamma_q \nabla \alpha_q) + \sum_{p=1}^n (\dot{m}_{pq} - \dot{m}_{qp}) + S_q \quad (7)$$

where γ_q and $\nabla \cdot (\gamma_q \nabla \alpha_q)$ denote the diffusion coefficient in phase q and turbulent dispersion term, respectively.

As specified earlier, k-ε RNG turbulent model with thermal effects and enhanced wall treatment was used for the solution of the problem. Equations for k-ε turbulent model can be written as:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho_m k) + \nabla(\rho_m k \vec{v}_m) = \nabla(\alpha_k \mu_m \nabla k) + G_{k,m} - \rho_m \varepsilon + S_{k,m} \tag{8}$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho_m \varepsilon) + \nabla(\rho_m \varepsilon \vec{v}_m) = \nabla(\alpha_\varepsilon \mu_m \nabla \varepsilon) + \frac{\varepsilon}{k} (C_{1\varepsilon} G_{k,m} - C_{2\varepsilon} \rho_m \varepsilon) - R_\varepsilon + S_{\varepsilon,m} \tag{9}$$

$$\mu_m = \alpha_p \mu_p + \alpha_q \mu_q \tag{10}$$

where \vec{v}_m represents mixture velocity, ρ_m stands for the density of the mixture, μ_m denotes viscosity of the mixture, $S_{\varepsilon,m}$ and $S_{k,m}$ represents the source terms, α_k and α_ε denote inverse effective Prandtl numbers, R is the Reynolds number, $C_{1\varepsilon}$ and $C_{2\varepsilon}$ are constant factors as $C_{1\varepsilon}=1.42$ and $C_{2\varepsilon}=1.68$, and $G_{k,m}$ presents turbulent kinetic energy generation.

As working fluid in numerical analysis, dichloromethane(DCM) and $h - BN/DCM$ nanofluids were used. During all simulations, a nanofluid solution was taken into consideration as a homogenous mixture. The evaporation-condensation mechanism was also activated for visualization of boiling mode. Numerical simulations were conducted for 200 W/m^2 heat flux and 1.0% (vol.) nanoparticle concentration. The time step size and the number of iterations were specified as 0.005 s and 5000, respectively.

3. RESULTS & DISCUSSION

3.1. Results for Dichloromethane Fluid

In order to compare the effects of nanoparticle addition inside the base fluid on heat transfer characteristics of boiling, numerical simulations were initially performed for dichloromethane. Vapor volume fractions were obtained for different time-step sizes. Temperature distribution, velocity contour and velocity vectors at the end of the analysis were also investigated. The obtained vapor volume fraction at the end of the numerical simulation was illustrated in Figure 2. As can be clearly seen in this figure that $\frac{1}{4}$ of the overall volume was covered by dichloromethane’s vapor. It was also obvious that boiling bubbles was dissipated after generated on the heater surface.

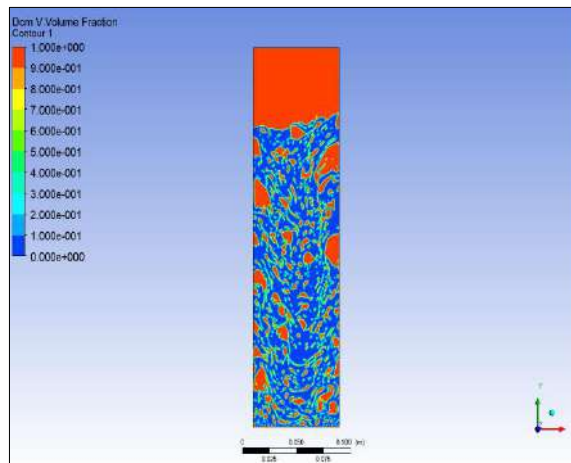


Figure 2. Volume fractions at the end of the analysis

Vapor volume fractions in varying time steps were also investigated to determine the beginning time of the boiling process (Figure 3). As regards the obtained illustrations, it was understood that the boiling process started at about 230 seconds time step when dichloromethane was used as a working fluid. Figure 3 also depicted that a continuous phase change cycle, i.e. evaporation-condensation, can be achieved in numerical analysis because of the temperature difference between the condenser and the heater sections.

Temperature distribution along the model was presented in Figure 4. A stratified temperature distribution was monitored inside the model. It was thought that this was because of the continuously-realized evaporation and condensation processes. As expected, the minimum and maximum temperature values were monitored in upper and inner areas, respectively.

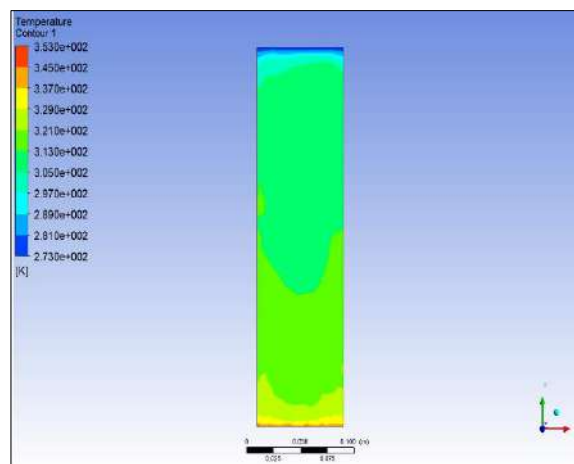


Figure 4. Temperature contour for dichloromethane

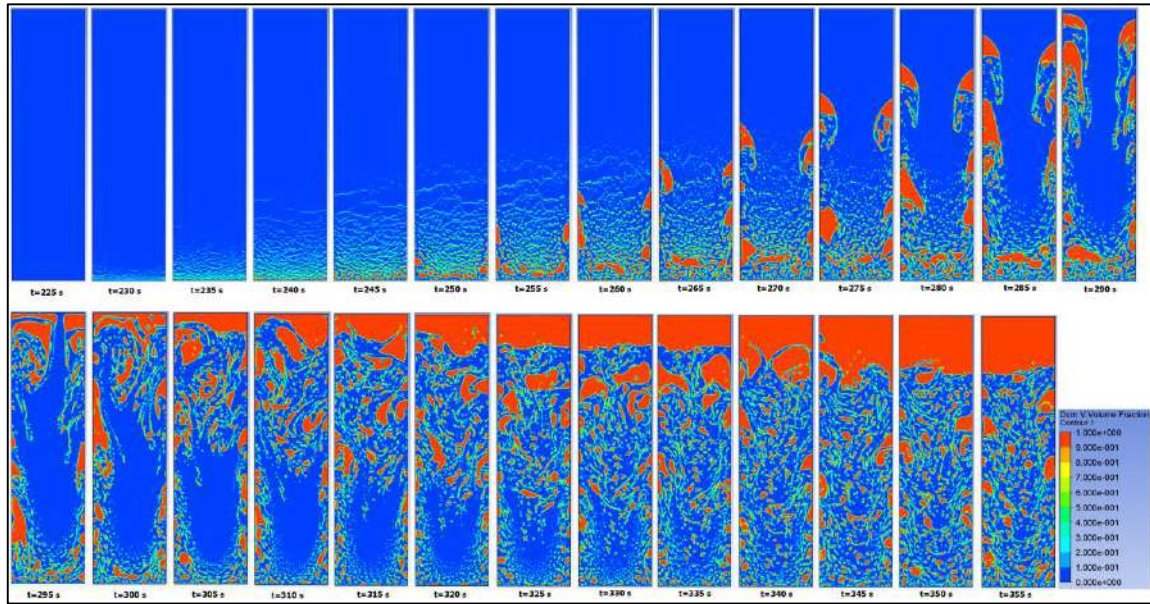


Figure 3. Vapor volume fractions at varying time steps for dichloromethane

Velocity changes in fluid motions were investigated for visualization of fluid flow inside the designed model for the boiling process. Velocity contours and velocity vectors were provided in Figure 5 and Figure 6, respectively. Data both in contour and vectors showed that a fluid flow cycle from the walls to the central range was formed during the boiling process. Heated and thereby evaporating fluids raised to the upwards and dissipated the heat they had, and when they reached the condenser area, they were condensed and poured back downwards, especially on the central range. The mentioned process could be seen readily not just in Figure 5, but also in Figure 6.

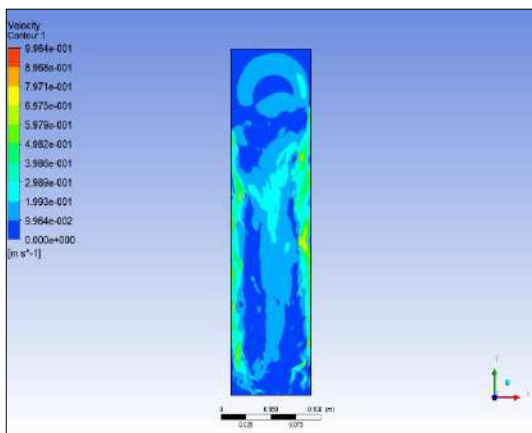


Figure 5. Velocity contour for dichloromethane

3.2. Results for *h-BN/DCM* Nanofluid

The numerical analysis results for hexagonal boron nitride nanoparticles containing dichloromethane nanofluid (*h – BN/DCM*) were presented in this section. The attained vapor volume fraction at the end of the numerical simulation was illustrated in Figure 7. Similarly, vapor volume fractions for *h – BN/DCM*

nanofluid were obtained for different time-step sizes. Temperature distribution, velocity contour and velocity vectors at the end of the analysis were also studied. Vapor volume fractions in varying time steps for nanofluid solutions were illustrated in Figure 8. It was obvious in Figure 8 that the boiling process started at roughly 215 seconds time step, which was nearly 230 seconds time step for dichloromethane when dichloromethane nanofluid was utilized as a working fluid. This finding illustrated that nanoparticle addition inside the base fluid improved the thermal characteristics of the base fluid, and thereby, declined the boiling point. This case also meant that the needed energy amount for boiling could be decreased by nanofluid utilization. When a time step size of 245 seconds was considered for each working fluid, the number of vapor areas were much higher for nanofluid solution than dichloromethane. Another point was that, in the same case, nanofluid solution embarked upon to rise around the wall, whereas no ascent was observed when dichloromethane was used as a working fluid.

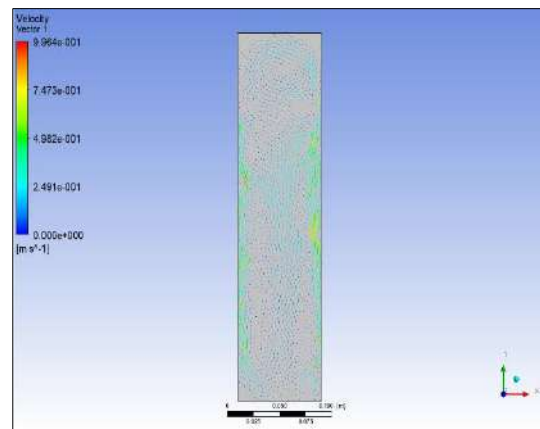


Figure 6. Velocity vectors for dichloromethane

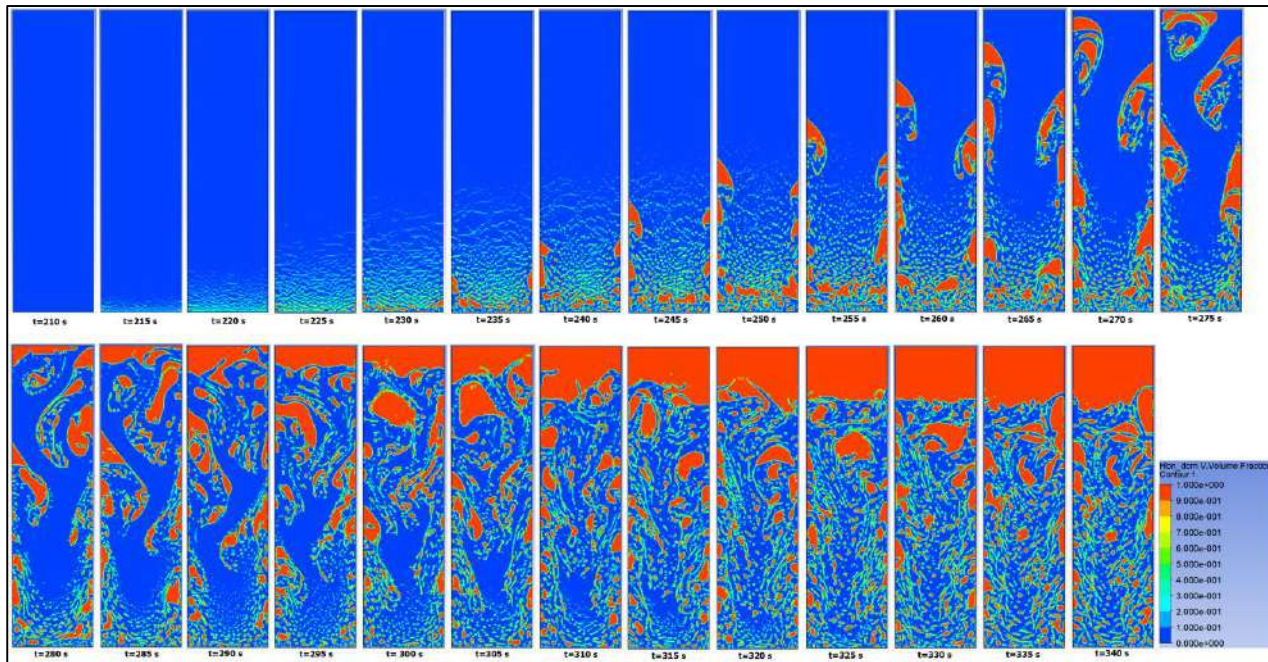


Figure 8. Vapor volume fractions at varying time steps for *h-BN/DCM* nanofluid

In a similar way, when 275 seconds time step size for nanofluid solution was taken into account, a big vapor area beneath the condenser section was stood out, although there was a similar, but a smaller formation could be monitored for 290 seconds time step size. As far as all these findings were considered, it was contemplated that nanoparticles not only positively affect the heat transfer characteristics but also formations of the bubble nucleation.

Temperature distribution along the model was illustrated in Figure 9 for the nanofluid solution. A similar trend was observed in temperature distribution; however, the average temperature was lower around the condenser section than that of dichloromethane, which meant that heat transfer realized in a shorter time compared to the same result with dichloromethane. As a result, the favourable influence of nanoparticles, as in vapor fraction figures, on heat transfer characteristics was observed. In addition, it was contemplated that this was because nanoparticles formed some additional areas in which heat transfer occurs within the base fluid. The velocity contour and velocity vector for nanofluid solution were illustrated in Figure 10 and Figure 11, respectively. It was showed off that fluid flow was realized in walls of the model noticeably. This figure also displayed that fluid flow fields were larger when hexagonal boron nitride nanoparticles—including working fluid was utilized in place of dichloromethane. Moreover, the fluid flow characteristics seen in Figure 11 revealed the continuous cycle in the evaporation-condensation process was taken place.

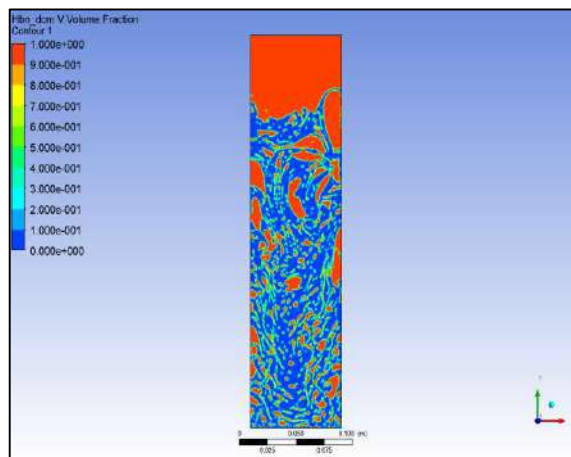


Figure 7. Volume fractions for *h-BN/DCM* nanofluid at the end of the analysis

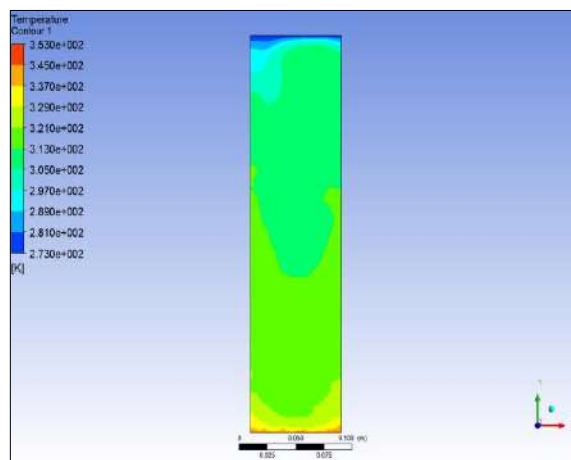


Figure 9. Temperature contour for *h-BN/DCM* nanofluid

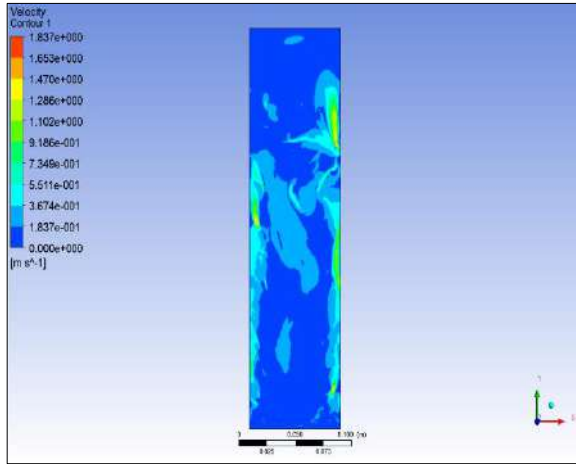


Figure 10. Velocity contour for h -BN/DCM nanofluid

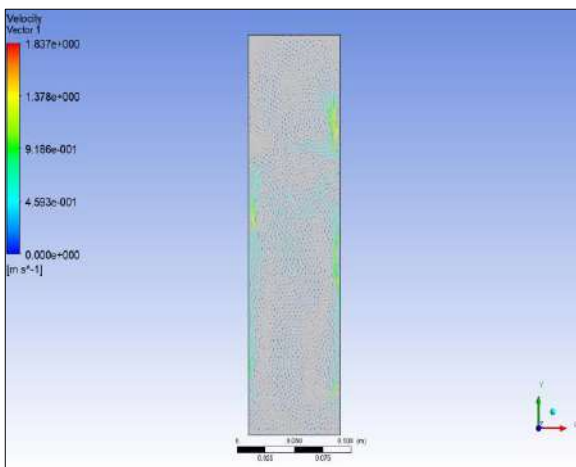


Figure 11. Velocity vectors for h -BN/DCM nanofluid

As to comparing our results to the relevant studies in literature, it was observed that investigators reported similar results. To illustrate; Ebrahimian and Ansarifar (2016) investigated the thermal-hydraulic influences of nanofluid as coolant in a nuclear reactor with annular fuel. Their numerical analysis results showed that the heat transfer coefficient, i.e., heat transfer rate could be enhanced by nanoparticle utilization [4]. Mohammed et al., (2018) exhibited in their study that increasing nanoparticle concentration from 0% to 1% led vapor volume fraction and heat transfer coefficient to increase. They utilized ANSYS Fluent 15.0 and Volume-of-Fluid (VOF) model when obtaining these results [15]. In a similar manner, Sato and Niceno, (2018) performed lots of numerical simulations for analysing both nucleate and film boiling modes under saturated conditions and determination of temperature distributions. They figured concluded that the overall heat transfer coefficient could be estimated via the CFD approach [16].

4. CONCLUSIONS

A series of numerical analyses were carried out to specify the effects of nanoparticle addition inside the base fluid on heat transfer characteristics in boiling processes. Dichloromethane based nanofluid solution that includes hexagonal boron nitride nanoparticles at a rate of 1.0% (vol.) were employed in the analysis. Nanofluid solution was taken into consideration as a homogenous mixture

during all analysis. Numerical simulations were conducted for 200 W/m^2 heat flux. The time step size and the number of iterations were specified as 0.005 s and 5000, respectively. The important findings of this numerical study were as follows:

- Vapor volume fractions of each working fluid were obtained and compared to each other. It was reported that nanoparticle addition inside the base fluid enhanced the heat transfer characteristics.
- Temperature distributions were examined for dichloromethane and h -BN/DCM nanofluid and it was seen that nanoparticles improved the heat transfer, especially in the condenser section.
- Fluid flow characteristics for both dichloromethane and h -BN/DCM nanofluid were revealed by velocity vectors and velocity contours.
- When nanoparticle-containing dichloromethane fluid was employed as a working fluid, the average temperature beneath the condenser section was lowered, which displayed that heat transfer happened swiftly, compared to dichloromethane.

NOMENCLATURE

v	<i>Vapour</i>
$vol.$	<i>Volumetric concentration</i>
T	<i>Temperature [K]</i>
CFD	<i>Computational Fluid Dynamics</i>
DCM	<i>Dichloromethane</i>
h -BN	<i>Hexagonal Boron Nitride</i>
MS	<i>Mesh Structure</i>
$SDBS$	<i>Sodium Dodecyl Benzene Sulfonate</i>
VOF	<i>Volume-of-Fluid</i>

REFERENCES

- [1] Sözen, A., Menlik, T., Gürü, M., Irmak, A. F., Kılıç, F. and Aktaş, M., "Utilization of fly ash nanofluids in two-phase closed thermosyphon for enhancing heat transfer", *Experimental Heat Transfer*, 29(3): 337–354, (2016).
- [2] Ham, J., Kim, H., Shin, Y. and Cho, H., "Experimental investigation of pool boiling characteristics in Al_2O_3 nanofluid according to surface roughness and concentration", *International Journal of Thermal Sciences*, 114: 86-97, (2017).
- [3] Ham, J. and Cho, H., "Theoretical analysis of pool boiling characteristics of Al_2O_3 nanofluid according to volume concentration and nanoparticle size", *Applied Thermal Engineering*, 108: 158-171, (2016).
- [4] Ebrahimian, M. and Ansarifar, G. R., "Investigation of the nano fluid effects on heat transfer characteristics in nuclear reactors with dual cooled annular fuel using

- CFD (Computational Fluid Dynamics) modelling”, *Energy*, 98: 1-14, (2016).
- [5] Shoghl, S. N., Bahrami, M. and Moraveji, M. K. “Experimental investigation and CFD modeling of the dynamics of bubbles in nanofluid pool boiling”, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 58: 12-24, (2014).
- [6] Afshari, F., Zavaragh, H.G. and Di Nicola, G. “Numerical analysis of ball-type turbulators in tube heat exchangers with computational fluid dynamic simulations”, *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16(7): 3771-3780, (2018).
- [7] Khanlari, A., Sözen, A. and Variyenli, H.İ., “Simulation and experimental analysis of heat transfer characteristics in the plate type heat exchangers using TiO₂/water nanofluid”, *International Journal of Numerical Methods for Heat & Fluid Flow*, 29(4): 1343-1362, (2019).
- [8] Khanlari, A., Sözen, A., Variyenli, H. İ. and Gürü, M., “Comparison between heat transfer characteristics of TiO₂/deionized water and kaolin/deionized water nanofluids in the plate heat exchanger”, *Heat Transfer Research*, 50(5): 435-450, (2018).
- [9] Sosnowski, M., Krzywanski, J., and Gnatowska, R., “Polyhedral meshing as an innovative approach to computational domain discretization of a cyclone in a fluidized bed CLC unit” in *EPJS Web of Conferences*, 14: 01027, (2017).
- [10] Sosnowski, M., Krzywanski, J., Grabowska, K., and Gnatowska, R., “Polyhedral meshing in numerical analysis of conjugate heat transfer” in *EPJ Web of Conferences*, 180: 02096, (2017).
- [11] http://www.matweb.com/search/datasheet_print.aspx?matguid=ce197b29a2644022be281b606729a1e7
- [12] Sözen A., Gürü, M., Khanlari, A. and Çiftçi, E., “Experimental and numerical study on enhancement of heat transfer characteristics of a heat pipe utilizing aqueous clinoptilolite nanofluid”, *Applied Thermal Engineering*, 160: 114001, (2019).
- [13] Su, J., Gu, Z., Chen, C., and Xu, X.Y., “A two layer mesh method for discrete element simulation of gas particle systems with arbitrarily polyhedral mesh”, *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 103(10): 759-780, (2015).
- [14] Ansys, “ANSYS Fluent theory guide”, Canonsburg: ANSYS Inc., (2017).
- [15] Mohammed, H.I., Giddings, D. and Walker, G.S., “CFD simulation of a concentrated salt nanofluid flow boiling in a rectangular tube”, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 125: 218-228, (2018).
- [16] Sato, Y. and Niceno, B., “Pool boiling simulation using an interface tracking method: from nucleate boiling to film boiling regime through critical heat flux”, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 125: 876-890, (2018).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

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



Equi-depth histogram construction methodology for big data tools

Büyük veri araçları için eş derinlikli histogram oluşturma metodolojisi

Yazar(lar) (Author(s)): Tolga BUYUKTANIR¹, Ahmet Ercan TOPCU²

ORCID¹: 0000-0001-5317-0028

ORCID²: 0000-0003-1929-5358

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Büyüktanır T. ve Topcu A. E., "Equi-depth histogram construction methodology for big data tools", *Politeknik Dergisi*, 23(3): 859-865, (2020).

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

DOI: 10.2339/politeknik.620198

Equi-Depth Histogram Construction Methodology for Big Data Tools

Highlights

- ❖ Equi-depth histogram construction with quality guarantees for big data
- ❖ Creating histograms and eliminating the complex implementation
- ❖ Applying new techniques to create histograms using big data
- ❖ The capability of writing multiple jobs including histogram construction using Apache Pig

Graphical Abstract

The system provides the capability of writing multiple jobs using Apache Pig and eliminates the complex implementation of Map-Reduce jobs by creating histograms.

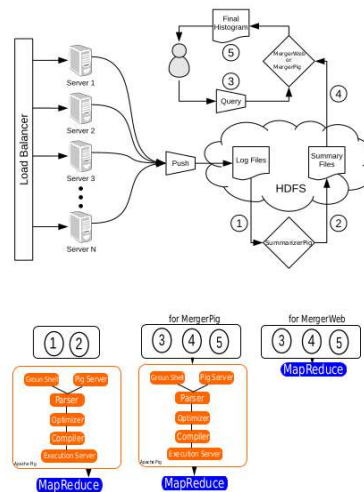


Figure. Flowchart of demonstrations

Aim

To build a fast and effective equi-depth histogram with quality guarantees for big data.

Design & Methodology

Approximate equi-depth histogram construction for big data and provide easy execution of data processing and data management.

Originality

Contribute the error-guaranteed equi-depth histogram construction method for big data tools by facilitating high-level languages.

Findings

A successful model is established to provide an easy execution of data processing and to create the histogram of unstructured big data.

Conclusion

The system provides the capability of writing multiple jobs using Apache Pig, and programmers can make use of the advantages of Apache Pig to create histograms and eliminate the complex implementation of Map-Reduce jobs.

Declaration of Ethical Standards

The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

Equi-Depth Histogram Construction Methodology for Big Data Tools

Araştırma Makalesi / Research Article

Tolga BUYUKTANIR^{1,3*}, Ahmet Ercan TOPCU^{2,3}

¹Idea Technology Solutions, R&D Center, Turkey

²College of Engineering and Technology, American University of the Middle East, Kuwait

³Faculty of Engineering and Natural Sciences Department of Computer Engineering, Ankara Yildirim Beyazıt University, Turkey

(Geliş/Received : 13.09.2019 ; Kabul/Accepted : 01.04.2020)

ABSTRACT

In recent decades, countless data sources such as social media, machines, and networks are constantly pushing data into the digital world. The size of the data has been growing exponentially. To understand the statistical information of data query optimization, equi-depth histograms are essential. In this paper, we present approximate equi-depth histogram construction for big data using both Apache Pig Scripts and Java Web Interface interacting with Apache Hadoop. We use equi-depth histogram construction with quality guarantees for big data approaches and implement them with Apache Hadoop Map-Reduce and Apache Pig user-defined functions. We introduce a prototype implementation of the construction of the approximate equi-depth histogram from the Java Server Face page using Apache Hadoop jobs and the Hadoop Distributed Files System, and we evaluate these methods using the demonstration. We explain Apache Pig Scripts techniques to create equi-depth histograms using big data. The results indicate that our system provides the capability of writing multiple jobs using Apache Pig, and programmers can make use of the advantages of Apache Pig to create histograms and eliminate the complex implementation of Map-Reduce jobs.

Keywords: Approximate histogram, merging histograms, big data, log files, hadoop distributed file system.

Büyük Veri Araçları için Eş-Derinlikli Histogram Oluşturma Metodolojisi

ÖZ

Son yıllarda, verileri sürekli olarak dijital dünyaya aktaran ağlar, makineler ve sosyal medya gibi bir çok data kaynağı vardır. Bu kaynaklardan üretilen datanın boyutu eksponansiyel olarak artmaktadır. Hali hazırda elde bulunan datanın istatistik bilgisi anlamak ve sorgu optimizasyonu sağlamak için eş-derinlikli histogram vazgeçilmez bir araçtır. Bu makalede, büyük veriler için hem Apache Pig betiklerini hem de Apache Hadoop ile etkileşimli Java Web Arayüzü kullanılarak yaklaşık eş-derinlikli histogram oluşturulması gösterilmektedir. Büyük veriler için, kalite garantisıyla birlikte, eş-derinlikli histogram oluşturma metodları kullanılmakta, bu metodların teknik yönlerden deneysel sunumları ortaya konulmakta ve yine bu metodlar Apache Hadoop Map-Reduce ve Apache Pig User Defined Functions ile uygulanmaktadır. Arka planda Apache Hadoop Map-Reduce işleri (Apache Hadoop Map-Reduce jobs) ve Hadoop Distributed Files System kullanılarak Java Server Face sayfasından kalitesi garantilenmiş eş-derinlikli histogram oluşturulmasının prototip uygulaması ve bu uygulamaların kullanılmasıyla metodların değerlendirilmesi sunulmaktadır. Ayrıca büyük verileri kullanarak eş-derinlikli histogram oluşturmak için Apache Pig betiklerinin teknikleri izah edilmiştir. Sonuçlar gösteriyor ki; sistemimiz Apache Pig kullanılarak, histogram kullanımını da gerektiren çoklu iş yazma yeteneğini basit bir şekilde sağlamaktadır. Programcılar, histogram oluşturmak ve Map-Reduce işlerinin karmaşık uygulamalarından kaçınmak için Apache Pig'in avantajlarından faydalanabilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Yaklaşık histogram, histogram birleştirme, büyük veri, log dosyaları, hadoop distributed file system.

1. INTRODUCTION

The size of generated and stored data in industry is of terabytes or even petabytes and is growing bigger every day [1-3]. These data are obtained from machines (logs), social media, and medical and wearable devices. The processing of data and the deriving of meaningful results are crucial to improve the decision-making skills of the data owner. This means that there is a clear need for efficiently handling obtained datasets. There are several tools and technologies to meet this need, and almost all of them are based on the Map-Reduce paradigm, which is a type of distributed computing that splits input data

into chunks and processes them independently. Apache Hadoop is the most popular big data tool that comes with the Map-Reduce framework and a distributed system called the Hadoop Distributed File System (HDFS). Apache Hadoop [5, 6] has standard methods to process enormous datasets in industry and academia [3, 7-11]. Other reasons for its popularity are its ease of use, open-source nature, failover, high performance, scalability, and reliability. Many researchers and academics have focused on improving Hadoop's Map-Reduce job performance in different high-level languages [3, 8, 11, 12], together with query optimization and indexing techniques [7, 13-18] and join algorithms and data structures [9, 19, 20]. In today's business environment,

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta : tolga.buyuktanir@ideateknoloji.com.tr

where needs and desires change rapidly, it is necessary to get results quickly from big data for big data analytics [9]. To obtain fast results from large datasets, sampling from datasets or computing previous results provides approximate results within the predefined rate of accuracy. These are the most efficient ways to solve problems. For example, consider big companies such as Google, Yahoo, or Wikipedia. The Google web engine processes over 40000 search queries every second on average, which translates to 3.5 billion searches per day [21]. The Yahoo website has one billion active users per month on average, which translates to nearly 40000 requests per second [22]. Wikipedia has a maximum of 30000 requests per second. Therefore, there are different data with different data sources, and they require different algorithmic approaches that take into consideration performance and accuracy criteria.

Histogram construction is one way to obtain statistical information from data, as histograms give information about data distribution and represent a summary of all of the data. Moreover, a histogram provides quick query optimization, approximate results, distribution fitting, and parallel data partitioning [23]. The most used histogram type is the equi-depth histogram, also known as a height-balanced histogram. In an equi-depth histogram generated by β buckets of data chunks containing N elements, every bucket contains N/β elements. Yildiz et al. [4] proposed a histogram merging algorithm with quality guarantees. According to the algorithm, they merged pre-calculated equi-depth histograms of partitioned data with user-specified error bounds. More specifically, pre-computed equi-depth histograms of data with T buckets are merged to build a β -buckets histogram with the desired error bound and quality guarantees. Apache Hadoop is an easily scalable distributed tool, but the solution to a big data problem requires multiple skills and tasks, and it may be necessary to write more than one Hadoop Map-Reduce job. This may be troublesome. Instead of writing multiple jobs, it makes sense to use a high-level language such as Apache Pig, which is an SQL-like scripting language [12, 24], which translates scripts into optimized sequences of Map-Reduce jobs. It also saves time for developers in terms of writing a lot of code and the trouble of Hadoop tuning. In this paper, we apply the histogram construction method proposed in [4] to Apache Pig and explain how to use the implementation of it in Hadoop Map-Reduce in web applications. Accordingly, we present two demonstrations. The first one is a web interface that merges equi-depth histograms and builds a new one using Apache Hadoop Map-Reduce jobs. The purpose of this first application is to show that the quality-guaranteed histogram generation method can be used in web tools. Moreover, it facilitates the connection of big data and enterprise applications. The second application is written in Pig Latin with the same goals because of its ease of use. In the second application, the quality-guaranteed

approximate histogram generation method is presented as a contribution to the Apache Pig tool. The purpose of this application is to show that this generation method is easily implemented for big data applications by taking advantage of Apache Pig.

The rest of this paper is organized as follows: In Section 2, we define the histogram construction problem for big data. We explain our demonstrations with implementation details and give future works in Section 3, followed by conclusions in Section 4.

2. PROBLEM DEFINITION

Machine-generated data, also known as logs, are automatically produced by machines. To be informed of machine activity, logs are traditionally stored daily in W3C format [25]. When we consider the web servers of big systems, all servers write requests and responses data to log files. Some engineers may need to analyze these. For example, business intelligence specialists derive intelligence (top-rated pages, top users, gender of top users, time spent online). To respond to user demands, companies need to develop log management and analytical tools. A medium-sized Internet business may have thousands of web servers logging all activity. Moreover, there are ETL processes incrementally collecting, cleaning, and storing the logs in big data storage. The quantity of data to the ETL and to be analyzed is enormous and rapidly growing. Therefore, it is important to get as accurate intelligence from it as possible. In this regard, the equi-depth histogram is a quick and reliable way to understand data statistics. In this paper, we create two applications to create an on-demand equi-depth histogram of desired data within a time interval. Daily logs are kept on web servers. At the end of the day, all logs of this day are pushed to the HDFS. As soon as new log files are available in the HDFS, an exact or daily equi-depth histogram is constructed with the Summarizer and stored in the HDFS. If a user wants to construct an approximate equi-depth histogram of any time interval, such as the last week, Merger gets daily equi-depth histograms in a time interval as input, merges them, and creates an approximate equi-depth histogram with quality guarantees. A more detailed problem definition is available in [4].

3. OVERVIEW OF DEMONSTRATIONS

In this section, we will explain our demonstrations with implementation details. We have two demonstrations. One of them consists of two Pig Latin scripts, which are called SummarizerPig and MergerPig, respectively. SummarizerPig runs offline and is used to construct an exact equi-depth histogram of new data coming to the HDFS with a number of buckets pre-specified by the user. The output of SummarizerPig, which can be called the summary, is also stored in the HDFS. The other

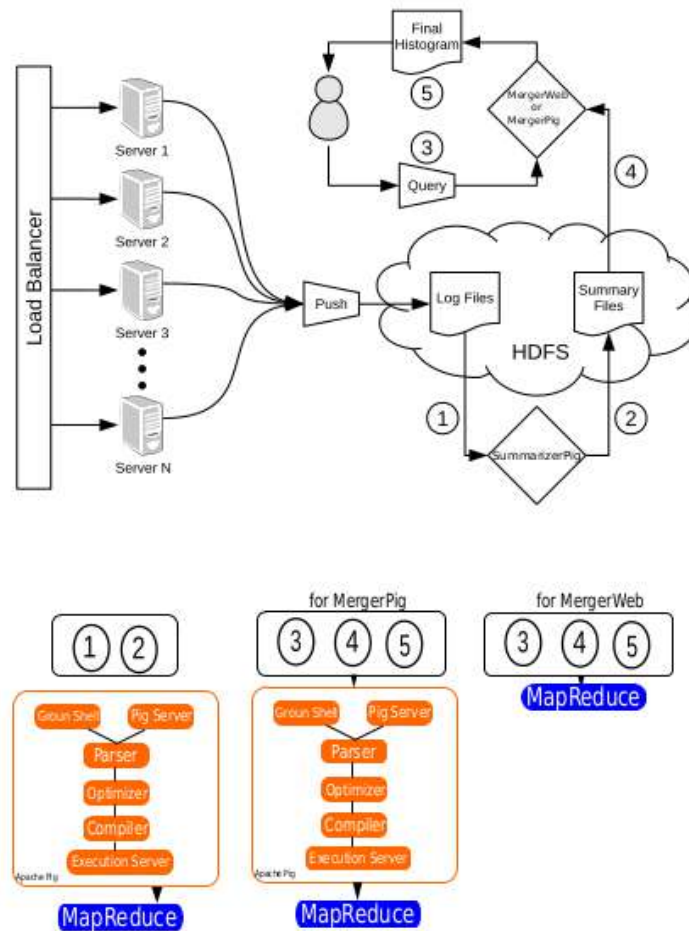


Figure 1. Flowchart of demonstrations.

script, MergerPig, runs online with the desired query request by the user. It merges SummarizerPig’s desired outputs considering a specified query and builds the final approximate equi-depth histogram. The second demonstration is used for the same goals as MergerPig, but there are minor differences. We call this application MergerWeb because a Map-Reduce job works in the background of the Java Server Face (JSF) web page. In MergerWeb, the user prepares a query and sends it to the Map-Reduce job. The job gets inputs, which are summaries from the HDFS according to the query, and builds an approximate equi-depth histogram as MergerPig. This scenario is explained in Figure 1. In Figure 2, an overview of the demonstration processing is given. The online and offline parts can be seen on the right side of the figure. Raw data, summary files, and final approximate histograms constructed according to user demands stored in the HDFS are displayed on the left of the figure. When new data are pushed to the HDFS, SummarizerPig works, constructing its summary and storing it in the HDFS again. The constructed T-buckets equi-depth histogram is the exact histogram. Whenever a user requests an equi-depth histogram of desired data partitions, MergerPig gets summaries of related data partitions, computes the approximate β -buckets equi-depth histogram, and saves the output, which is the final

merged histogram, to the HDFS. In this research, we have two Hadoop Map-Reduce job alternatives of SummarizerPig and MergerPig. The first job can be used instead of SummarizerPig, which works offline. The second job, which is an alternative of MergerPig, works on demand. In our work, we provide a web application to get queries from the user and run the Map-Reduce jobs using this query. As a result, it merges exact histograms and builds an approximate equi-depth histogram.

3.1. Bucket Number Calculations

In this research, we demonstrate the quality-guaranteed approximate equi-depth histogram construction by merging exact equi-depth histograms. The bucket number of the exact equi-depth histogram T is defined by the user. The bucket number of the approximate histogram β is constructed by merging exact histograms. This is also determined by the user. However, there is a relationship between T and β for the quality guarantee. The relationship between T and β is shown in Equation 1.

$$e_{max} < 2\beta / T \leq \text{tolerable percentage error} \quad (1)$$

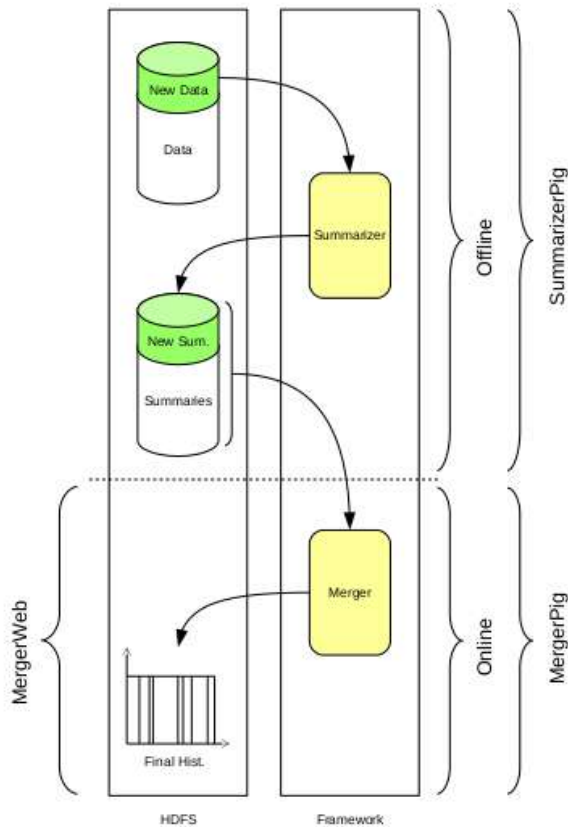


Figure 2. Overview of demonstrations.

For example, we assume that we have 10% tolerable error using Equation 1. We calculate the relationship between T and β as follows:

$$e_{max} < \frac{2\beta}{T} \leq 0.1$$

$$20\beta \leq T$$

As a result, the required bucket size of exact histograms T should be at least 20 times more than the required bucket size of approximate histogram β. The Oracle database uses the number 254 as a histogram bucket size [26], so in this study, we also use 254. The T values are shown in Table 1 according to the desired β and the tolerable maximum percentage error using Equation 1.

Table 1. Sample β and T values according to the tolerable maximum percentage error rate.

e_{max} (%)	β	T
5	10	400
5	254	10160
10	5	100
10	254	5080
20	254	2540

3.2. Demonstration Examples

We now present our applications using hourly page view statistics data of Wikipedia in this section. We also tested our application on skewed data produced by the Gumbel

distribution, and we described the operational logic of the demonstrations in Section 2. Here we explain our demonstration examples. In Table 2 and Table 3, the first application scripts are displayed. We implement the HistogramSummarizer user-defined function (UDF) and register it in line 1 of Table 2 to create an exact equi-depth histogram. The number of buckets shown as ‘T’ is defined in line 2 of Table 2. In the other part of the script, data are loaded, the histogram is generated, and the daily histogram is stored in the HDFS under the ‘Summaries’ directory.

MergerPig 2 merges the desired daily exact equi-depth histograms. To use this method in Apache Pig, we write another UDF registered in 1 of Table 3. As we can see in this script, the number of buckets of the approximate histogram is defined in line 2 of Table 3. The merged histogram data of the desired time interval (time interval is a week in the following example) are loaded in line 3 of the following table. In the rest of the script, the approximate equi-depth histogram is built and stored in the HDFS.

Table 2. Script of SummarizerPig.

```

register HistogramSummarize.jar;
define Hist HistogramSummarize('254');
A = load 'pagestat/20160101' using PigStorage(' ')
as (lang:chararray,url:chararray,req:long,byte:long);
B = foreach A generate byte as (byte:long);
C = group B all;
D = foreach C {
sorted = order B by byte;
generate Hist(sorted);
};
store D into 'Summaries/20160101';
    
```

Table 3. Script of MergerPig.

```

register HistogramEstimate.jar;
define Hist HistogramEstimate('254');
A = load 'Summaries/2016010[1-7]/*' as
(B: bag {T:
tuple(bound:long,numberOfTuple:long)});
B = foreach A generate flatten(B);
C = group B all;
D = foreach C{
sorted = order B by bound;
generate Hist(sorted);
};
store D into output;
    
```

We implement two Hadoop Map-Reduce jobs for the second demonstration. The first job constructs the exact equi-depth histogram as SummarizerPig. However, we

do not present it in Figure 2 because SummarizerPig has enough working logic to construct an exact equi-depth histogram. The second job works as MergerPig. The required command to run this job is shown in Table 4.

Table 4. Command of Hadoop histogram merger.

```
hadoop jar HistogramEstimate.jar
edu.tou.HistogramEstimate
$numberOfBuckets($\beta$)
$startdate $enddate $$Summaries $output
```

uncompressed 60 GB and consists of language, pagename, pageviews, and pagesize columns. It includes the first 6 days of January 2016 and approximately 952686335 tuples. We operate pagesize for histogram constructions.

In order to obtain the comparison results, we run SummarizerPig and SummarizerWeb for the data of each day and we construct daily exact histograms. The Hadoop History Server was run at the same time while running the tests. In Figure 5, we display elapsed times (taken from the History Server) to construct a daily exact equi-depth histogram with SummarizerPig (blue line) and Apache Hadoop Summarizer (orange line). After

Figure 3. MergerWeb form.

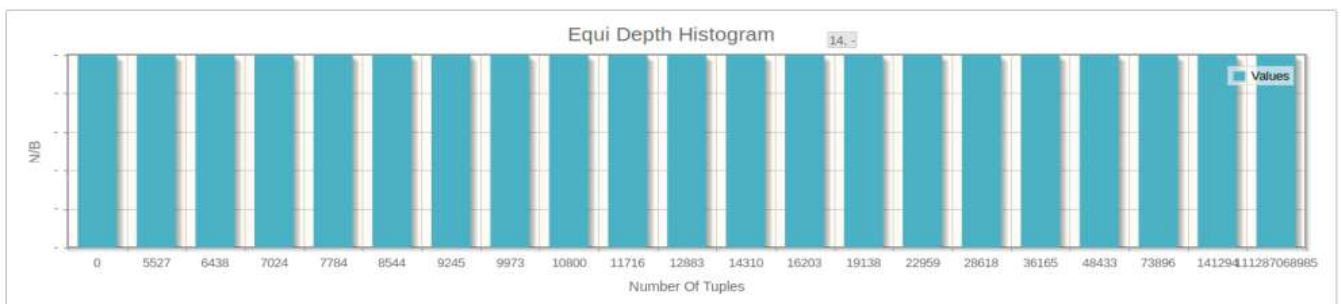


Figure 4. Equi-depth histogram constructed by MergerWeb.

We only use this job in MergerWeb, which is written in the JSF and Maven frameworks. The user interface is shown in Figure 3. In order to use this application, input fields, which are the number of buckets (β), start date, end date, input files path, and output file path, must be filled in, and then the ‘Merge’ button is clicked. As the job is finished, the constructed approximate equi-depth histogram of the time interval is obtained as demonstrated as Figure 4.

3.3. Comparison of Demonstrations

In this section, we present the comparison results of applications implemented with Apache Pig UDFs and Apache Hadoop Map-Reduce. For the testing, we created a Hadoop ecosystem with 2 machines running on DigitalOcean standard droplets. One of them has 8 GB memory, 4 vCPUs, and 160 GB SSD. We composed a master and slave on it. The other machine, which is a slave, has 4 GB memory, 2 vCPUs, and 80 GB SSD. We utilized Hadoop 2.7 and Apache Pig 0.16.0 for our experiments. We used 6 days of data from the hourly page view statistics dataset of Wikipedia, which is an

daily histograms are obtained, MergerWeb and MergerPig are run to create an approximate histogram of one-day, two-day, three-day etc. intervals. One-day histogram merging may be confusing, which is related to the number of buckets. There is no merging, but the bucket number is reduced. In Figure 6, a chart of elapsed time is provided to compare MergerWeb (orange line) and MergerPig (blue line).

The graphs depicted in Figure 5 show that Apache Hadoop Map-Reduce is nearly 2.5 times faster than Apache Pig when exact histogram constructions are considered. If the number of daily equi-depth histograms to be merged is increased, the difference between the elapsed times for MergerWeb and MergerPig increases.

The results presented here are not different from other big data problems implemented in Apache Pig and Apache Hadoop. Figures 5 and 6 illustrate the characteristics of Apache Hadoop Map-Reduce and Apache Pig. When comparing Apache Hadoop and Apache Pig, Apache Hadoop is more efficient. However, Apache Pig requires less effort when developing software.

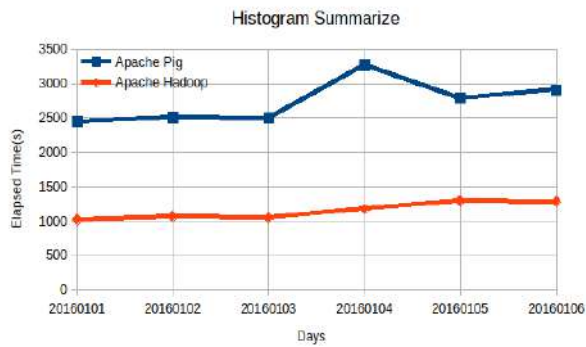


Figure 5. Comparison of the histogram summarization jobs.

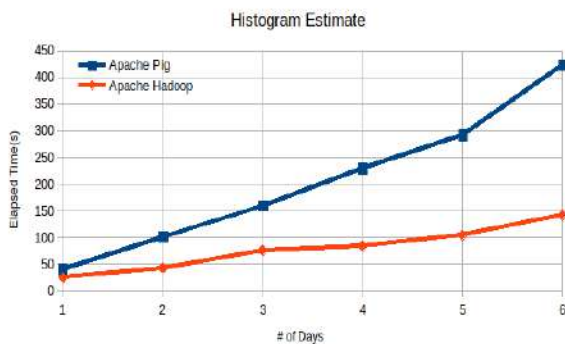


Figure 6. Comparison of the histogram estimation jobs.

3.4. Future Works

We have presented our implementations for Apache Pig and Apache Hadoop with demonstrations in this paper. However, this method can also be implemented in other big data ecosystem tools such as Apache Spark and Apache Hive with UDFs.

4. CONCLUSION

In this paper, we have implemented a novel approximate equi-depth histogram method on Apache Pig using Apache Pig UDFs and have developed a web interface to create approximate histograms using Hadoop Map-Reduce jobs, which is also an implementation of this method on the back-end. The proposed method is more accurate and faster than the tuple-level sampling method. We have shown that the advantages of Hadoop jobs, i.e. Hadoop Map-Reduce, and the quality-guaranteed equi-depth histogram construction method can be used in web applications with our demonstration of MergerWeb. By utilizing the extensibility property of Apache Pig, we showed that our Apache Pig Scripts (SummarizerPig and MergerPig) can be used to construct exact and quality-guaranteed equi-depth histograms. Although Apache Hadoop is an easily scalable distributed big data tool, the solutions of big data problems usually require multiple skills and tasks, such as creating multiple jobs. Instead of these job operations, using high-level languages such as Apache Pig allows for the easy execution of big data processing and data management for unstructured data models. Hence, programmers have advantages in using

Apache Pig to create histograms that eliminate the need for the implementation of Map-Reduce jobs. Consequently, the same approximate histogram construction method has been implemented in a web interface using Apache Hadoop Map-Reduce in the background and has also been implemented in Apache Pig with UDFs. It was found that the method implemented in Apache Hadoop Map-Reduce yields faster results than the method implemented in Apache Pig UDFs.

REFERENCES

- [1] Logothetis D., Olston C., Reed B., Webb K. C., and Yocum K. , "Stateful bulk processing for incremental analytics", *In Proceedings of the 1st ACM symposium on Cloud computing*, 51-62, (2010).
- [2] Thusoo A., Shao Z., Anthony S., Borthakur D., Jain N., Sen Sarma J., ... and Liu H. , "Data warehousing and analytics infrastructure at facebook", *In Proceedings of the 2010 ACM SIGMOD International Conference on Management of data*, 1013-1020, (2010).
- [3] Thusoo A., Sarma J. S., Jain N., Shao Z., Chakka P., Zhang N., ... and Murthy R. , "Hive-a petabyte scale data warehouse using hadoop", *In 2010 IEEE 26th international conference on data engineering (ICDE 2010)*, 996-1005, (2010).
- [4] Yıldız B., Büyüktanır T., and Emekci F. , "Equi-depth histogram construction for big data with quality guarantees", *arXiv preprint arXiv:1606.05633*, (2016).
- [5] <https://hadoop.apache.org>, "A. S. Foundation Apache Hadoop", (2008).
- [6] Dean J., and Ghemawat S., "MapReduce: a flexible data processing tool", *Communications of the ACM*, 53(1): 72-77, (2010).
- [7] Dittrich J., Quiané-Ruiz J. A., Jindal A., Kargin Y., Setty V., and Schad J., , "Hadoop++: Making a yellow elephant run like a cheetah (without it even noticing)", *Proceedings of the VLDB Endowment*, 3(1-2): 515-529, (2010).
- [8] Gates A. F., Natkovich O., Chopra S., Kamath P., Narayanamurthy S. M., Olston C., ... and Srivastava U., "Building a high-level dataflow system on top of Map-Reduce: the Pig experience", *Proceedings of the VLDB Endowment*, 2(2): 1414-1425, (2009).
- [9] Jindal A., Quiané-Ruiz J. A., and Dittrich J. , "Trojan data layouts: right shoes for a running elephant", *In Proceedings of the 2nd ACM Symposium on Cloud Computing*, 1-14, (2011).
- [10] Zaharia M., Konwinski A., Joseph A. D., Katz R. H., and Stoica I., "Improving MapReduce performance in heterogeneous environments", *In OsdI*, 8(4): 7, (2008).
- [11] Isard M., Budi M., Yu Y., Birrell A., and Fetterly D., "Dryad: distributed data-parallel programs from sequential building blocks", *In Proceedings of the 2nd ACM SIGOPS/EuroSys European Conference on Computer Systems 2007*, 59-72, (2007).
- [12] Schumacher A., Pireddu L., Niemenmaa M., Kallio A., Korpeläinen E., Zanetti G., and Heljanko K., "SeqPig: simple and scalable scripting for large sequencing data sets in Hadoop", *Bioinformatics*, 30(1): 119-120, (2014).

- [13] Wu S., Li F., Mehrotra S., and Ooi B. C., "Query optimization for massively parallel data processing", *In Proceedings of the 2nd ACM Symposium on Cloud Computing*, 1-13, (2011).
- [14] Babu S., "Towards automatic optimization of MapReduce programs", *In Proceedings of the 1st ACM symposium on Cloud computing*, 137-142, (2010).
- [15] Herodotou H., and Babu S., "Profiling, what-if analysis, and cost-based optimization of mapreduce programs", *Proceedings of the VLDB Endowment*, 4(11): 1111-1122, (2011).
- [16] Jahani E., Cafarella M. J., and Ré C., "Automatic optimization for MapReduce programs", *arXiv preprint arXiv:1104.3217*, (2011).
- [17] Jiang D., Ooi B. C., Shi L., and Wu S., "The performance of mapreduce: An in-depth study", *Proceedings of the VLDB Endowment*, 3(1-2): 472-483, (2010).
- [18] Dittrich J., Quiané-Ruiz J. A., Richter S., Schuh S., Jindal A., and Schad J., "Only aggressive elephants are fast elephants", *arXiv preprint arXiv:1208.0287*, (2012).
- [19] Floratou A., Patel J., Shekita E., and Tata S., "Column-oriented storage techniques for MapReduce", *arXiv preprint arXiv:1105.4252*, (2011).
- [20] Lin Y., Agrawal D., Chen C., Ooi B. C., and Wu S., "Llama: leveraging columnar storage for scalable join processing in the MapReduce framework", *In Proceedings of the 2011 ACM SIGMOD International Conference on Management of data*, 961-972, (2011).
- [21] <http://www.internetlivestats.com/google-search-statistics>, Google search statistics.
- [22] <https://advertising.yahoo.com/yahoo-sites/Homepage/index.htm>, Yahoo advertising.
- [23] Ioannidis Y., "The history of histograms (abridged)", *In Proceedings 2003 VLDB Conference*, 19-30, (2003).
- [24] Olston C., Reed B., Srivastava U., Kumar R., and Tomkins A., "Pig latin: a not-so-foreign language for data processing", *In Proceedings of the 2008 ACM SIGMOD international conference on Management of data*, 1099-1110, (2008).
- [25] Hallam-Baker P. M., "Extended log file format", *WWW Journal*, (1996).
- [26] https://docs.oracle.com/database/121/TGSQL/tgsql_hist_o.htm#TGSQL380, Oracle Database Histograms.



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

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



Mapping of Turkey's district heating/cooling requirements

Yazar(lar) (Author(s)): Adnan SÖZEN¹, Tayfun MENLİK², Amjad ANVARI-MOGHADDAM³

ORCID¹: 0000-0002-8373-2674

ORCID²: 0000-0003-0970-6600

ORCID³: 0000-0002-5505-3252

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Sözen A., Menlik T. and Anvari-Moghaddam A., "Mapping of Turkey's district heating/cooling requirements", *Journal of Polytechnic*, 23(3): 867-878, (2020).

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

DOI: 10.2339/politeknik.699047

Mapping of Turkey's District Heating/Cooling Requirements

Highlights

- ❖ The regional residence heating/cooling loads were determined in order to develop technology for regional heating/cooling systems in Turkey.
- ❖ Heating/cooling loads of the residences were made separately for each province according to the heating regions determined in accordance with TS 825.
- ❖ Fuel and electricity consumption, population, number of residences and meteorological data were used as the basis for determining the heating/cooling loads.

Graphical Abstract

Regional residence heating/cooling loads were specified to develop a technology for regional heating/cooling systems in Turkey.

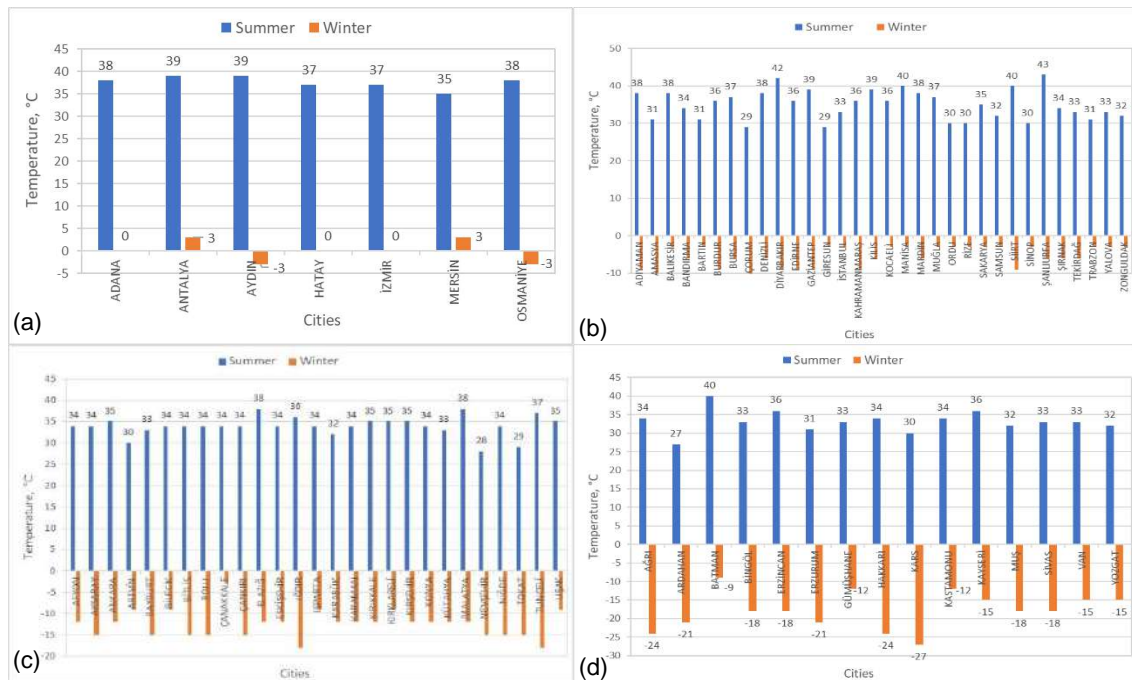


Figure. Average outdoor temperatures of cities used for heat loss and heat gain calculations in (a) Zone 1, (b) Zone 2, (c) Zone 3 and (d) Zone 4

Aim

The aim of this study is to develop a technology for regional heating/cooling systems in Turkey.

Design & Methodology

Fuel and electricity consumption, population, number of residences and meteorological data were used as the basis for determining the heating/cooling loads.

Originality

Using the data obtained, an important source data was obtained to investigate the possibility of using alternative energy sources for each region or even every province.

Findings

The population and the number of houses have a direct effect on the heating need, while the population and the number of houses do not have a direct effect on the cooling need.

Conclusion

The second heating zone had 55% of the total heating need and the first zone had 68% of the total cooling need. The number of population and residences had effects on the heat loads, while and the average daily temperatures and CDD had effects on the cooling loads.

Declaration of Ethical Standards

The authors of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

Mapping of Turkey's District Heating/Cooling Requirements

Araştırma Makalesi / Research Article

Adnan SÖZEN^{1*}, Tayfun MENLİK¹, Amjad ANVARI-MOGHADDAM²

¹Gazi University, Technology Faculty, Energy Systems Engineering, 06500, Ankara, Turkey

²Aalborg University, Department of Energy Technology, Aalborg, Denmark

(Geliş/Received : 05.03.2020 ; Kabul/Accepted : 23.03.2020)

ABSTRACT

One of the most important parameters of energy efficiency is to determine the heating and cooling requirements of the buildings and to develop the appropriate heating/cooling technology. In this study, the regional residence heating/cooling loads were determined in order to develop technology for regional heating/cooling systems in Turkey. Heating/cooling loads of the residences were made separately for each province according to the heating regions determined in accordance with TS 825. Fuel and electricity consumption, population, number of residences and meteorological data were used as the basis for determining the heating/cooling loads. Using the data obtained, an important source data was obtained to investigate the possibility of using alternative energy sources for each region or even every province.

Keywords: Heating, cooling, energy.

1. INTRODUCTION

Population growth in the world, rapid development and growth in industrialization increase the need for energy. However, the increase in energy demand does not parallel the energy supply. World energy council have declared that primary energy consumption can increase of 50% between 1990-2050; also stated that it could increase 275% at the highest growth rates [1]. In order to meet the energy increase, countries have been conducting studies on rehabilitation and more efficient use of existing resources, in addition to researching new resources. New sources research is to create new fossil and renewable energy sources in addition to existing sources. Regarding the correct and more efficient use of existing resources and systems, it is to determine resource, capacity and system suitability and increase their efficiency.

The most effective method of energy efficiency and saving is possible with the conservation of energy [2]. In about 35% of the total energy consumed in residences in Turkey and 65% of the energy consumed is used for heating the residence [3]. When comparing these rates to the EU countries, it is clear that energy rate used in residences in Turkey is high; in case of withdrawal of the EU levels of energy consumption in residential rates in Turkey, nearly 30 - 40% savings will be achieved [4]. In evaluations made to reduce energy consumption in residences, the following titles come to the fore [5]:

- Reduction of heating and cooling loads.
- Efficient use of systems.
- Using electricity-efficient and efficient devices.
- Renewable energy use.

Energy requirements and fuel consumption values required for heating the residences can be determined

considering the architectural design, material properties, meteorological data and population [6].

The most important parameters for determining the ideal heating systems to be used in residences are residential heating-cooling loads, primary energy sources in the region where the residence is located and the first source factors of these fuels. It is not possible to determine the heating-cooling loads of the residences by measuring directly. Fuel and electricity consumption in the residences are the climate zones, climate conditions and some statistical data.

There are many studies on determination of energy need, reduction of energy consumption, etc. in the literature. Liu et al. used the machine learning method, which is a promising technique for many practical applications and is rarely used in this field in estimating building energy consumption. They determined the energy consumption estimates via machine learning method by using hourly, daily and annual inputs for residential, commercial, government and educational buildings [7].

Aydın and Bıyıkoglu, determined the optimum thickness according to the heating load in Turkey. In that study, building heat load was determined according to TS 825 standard [8]. Yua et al. developed a building energy demand prediction model based on decision tree method in their studies. To demonstrate the applicability of the developed method, they used building energy usage intensity levels to estimate residential building energy performance indexes. In practice, energy demands were determined using different types of fuel. It was determined that the developed method made an estimate of 93% for education data and 92% for test data [9]. Lombard et al. examined the studies on energy consumption in buildings in detail and analysed the current information on energy consumption in buildings and especially HVAC systems in their review studies. In that study, the necessary general information, especially

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

the commercial and office buildings, main building types and comparisons between different countries were made [10]. Erturk et al. examined the global warming effects of residential heating energy and emission changes in Düzce province. In that study, using the meteorological data of the last 30 years, different indoor temperatures (18-28 ° C) were taken as reference, and the changes in energy demand for the Heating Degree Numbers and the temperatures above and below the reference temperatures were determined proportionally [11].

2.1. Meteorological Data

As a vast country, with area of 783.562 km², there are several climates as warm, temperate and terrestrial are available in Turkey. There are 4 heating zones in Turkey by TS 825 [12]. The heating zones by TS 825 are given in Figure 1.

The harshness of a climate is characterized by precision in degrees-days. Different climatic conditions in different regions significantly affect the need for heating or

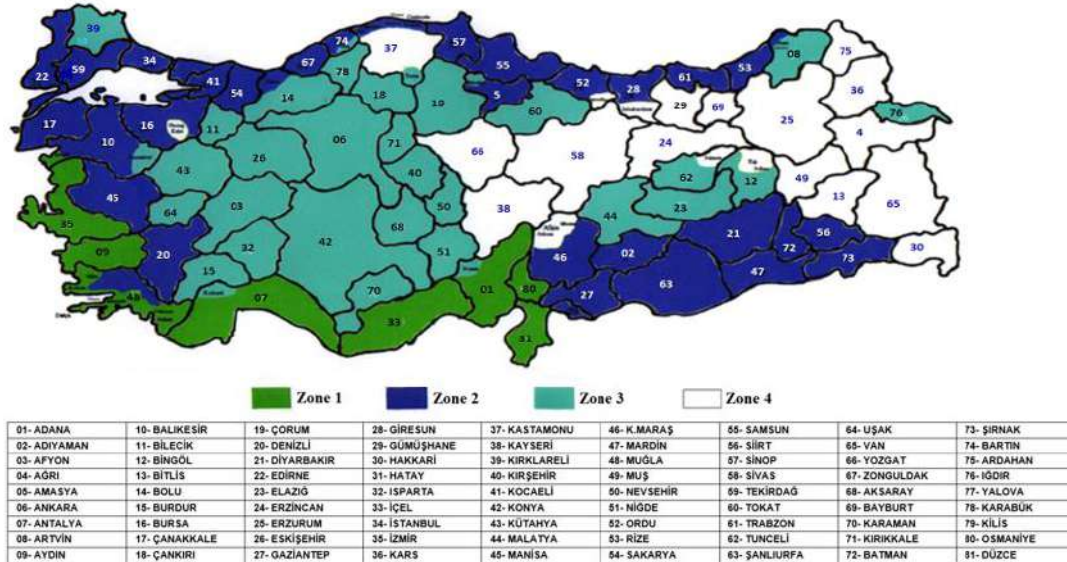


Figure 1. Provinces by heating zones [12]

In this study, regional heating and cooling systems as a basis for analysing expected residential heating and cooling loads in Turkey were determined. Heating-cooling loads of the houses were specified for each province according to the heating zones determined in accordance with TS 825. Fuel and electricity consumption, population, number of residences and meteorological data, which were the basis for determining the residential heating-cooling loads, were provided for each province.

2. PARAMETERS USED IN DETERMINATION OF HEATING-COOLING LOADS

It is not possible to determine the heating-cooling loads of the residences with a direct measurement. Therefore, some statistical data were used to determine the heating-cooling loads. Statistical information required for determining Turkey's annual ambient heating and cooling necessities have been constituted with appropriate assumptions providing by relevant institutions, standards, projects, etc. Some statistics used are as follows:

- Meteorological data
- Demography information
- The number of house
- Energy consumption statistics for different fuel types

cooling energy. All over the world, degree-day zones (zones) are determined by using degree-day numbers especially for heating, cooling and thermal insulation applications.

Many countries use different definitions for the calculation of the day degree. In order to create a comparable and common use, the following method is used for calculating the Heating Degree-Day numbers (HDD) and the Cooling Degree-Day numbers (CDD) [13] (The Statistical Office of the European Community (Eurostat) proposes the same method for calculating the HDD and CDD):

$$\text{HDD} = (18 \text{ }^{\circ}\text{C} - T_m) \times d \quad (\text{If } T_m \leq 15 \text{ }^{\circ}\text{C}) \quad (\text{heating threshold} = 15 \text{ }^{\circ}\text{C}) \quad (1)$$

$$\text{HDD} = 0 \quad (\text{If } T_m > 15 \text{ }^{\circ}\text{C})$$

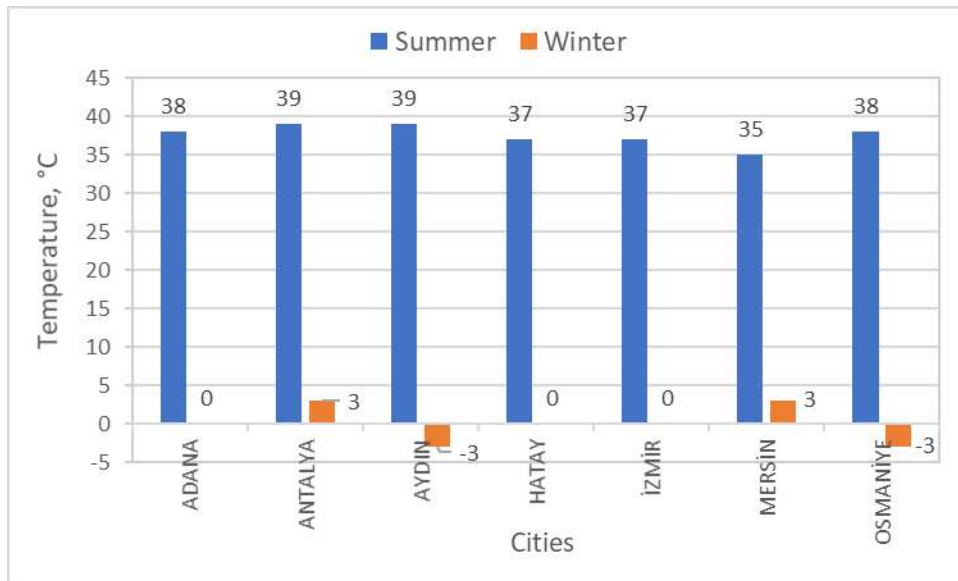
$$\text{CDD} = (22 \text{ }^{\circ}\text{C} - T_m) \times d \quad (\text{If } T_m > 22 \text{ }^{\circ}\text{C}) \quad (\text{cooling threshold} = 22 \text{ }^{\circ}\text{C}) \quad (2)$$

$$\text{CDD} = 0 \quad (\text{If } T_m \leq 22 \text{ }^{\circ}\text{C})$$

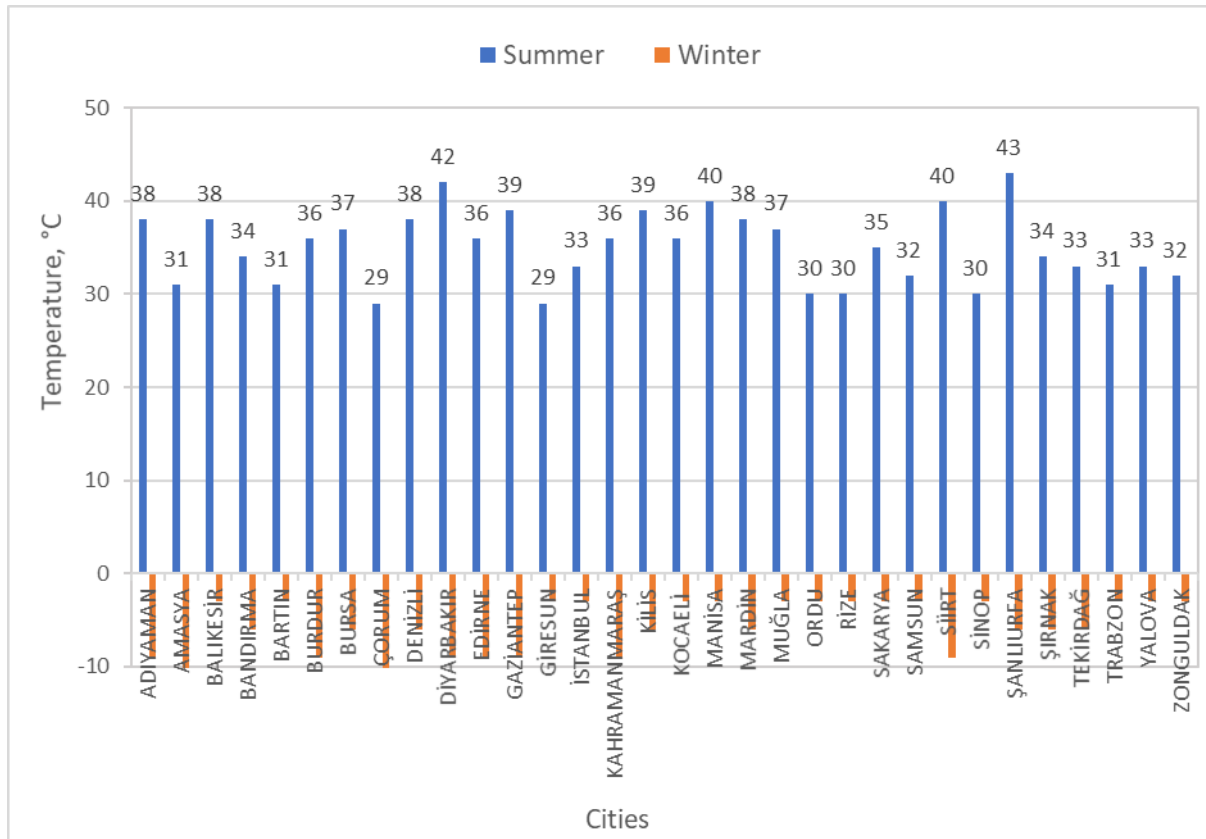
T_m : daily average temperature (°C)

d : numbers of days

For the cities in heating zones, the average outdoor air temperatures taken into account in determining the HDD and CDD (Figure 2) are given below [13].



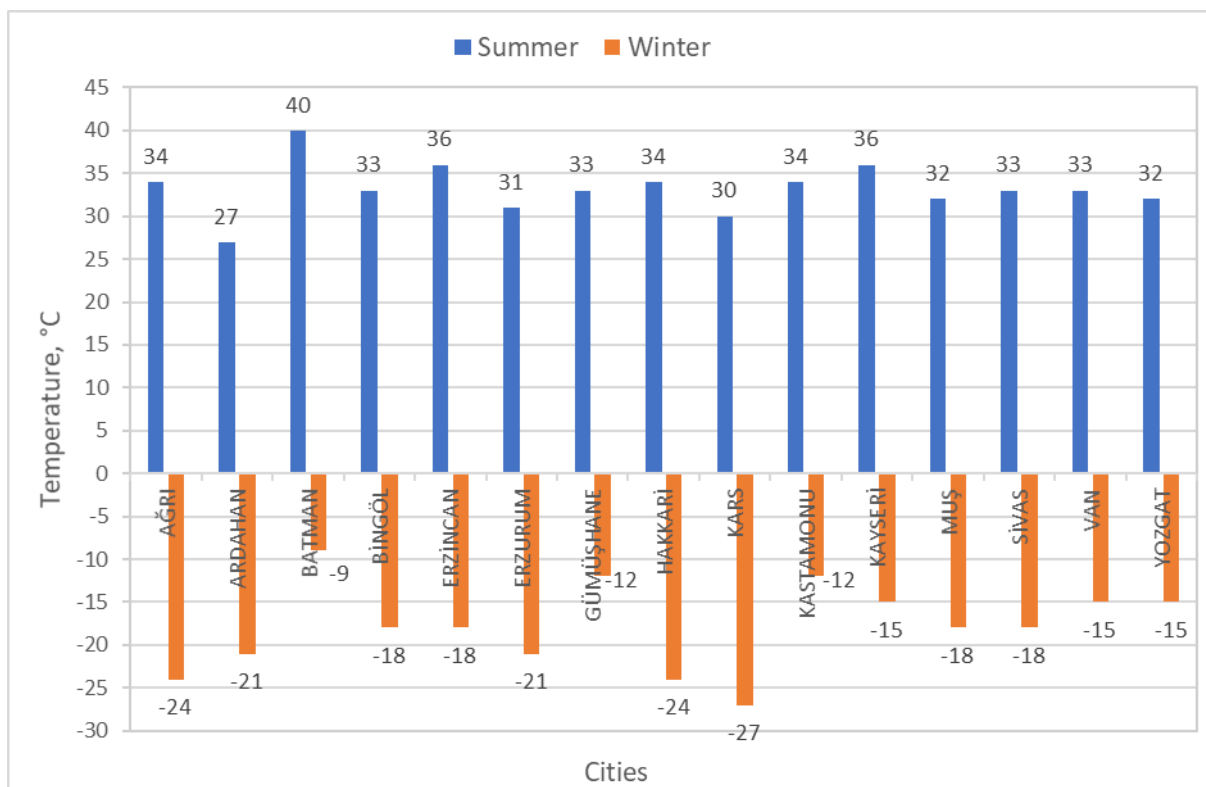
(Zone 1)



(Zone 2)



(Zone 3)

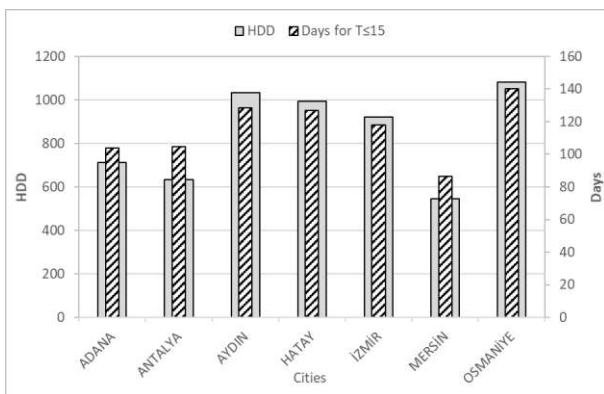


(Zone 4)

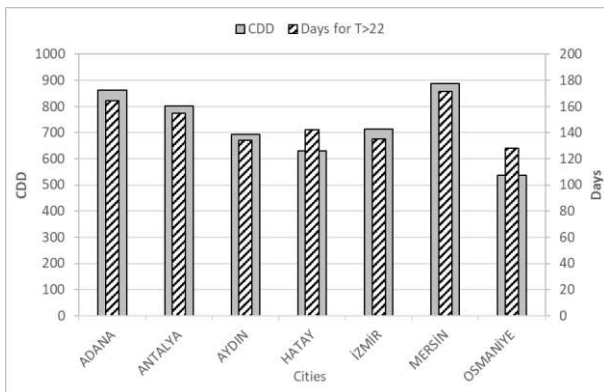
Figure 2. Average outdoor temperatures of cities used for heat loss and heat gain calculations in Zones

It is seen in Figure 2 that the warmest average daily temperatures occur in the second heating shade and the coldest average daily temperatures occur in the fourth heating zone. While the average hottest days are similar in all regions, the coldest days are seen in the second, third and fourth regions. Temperatures below zero in the first region are only seen in two provinces.

The average HDD and CDD values were taken from the Turkish State Meteorological Service (MGM) [11] (MGM uses the same method for calculating HDD and CDD). The following figures give the heating and cooling degree days by the cities of zones in Turkey [13].

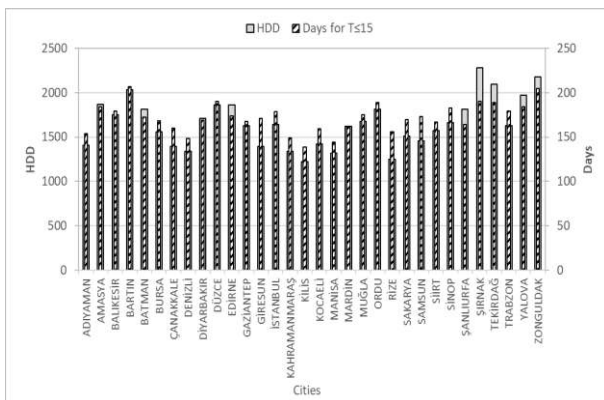


(a)

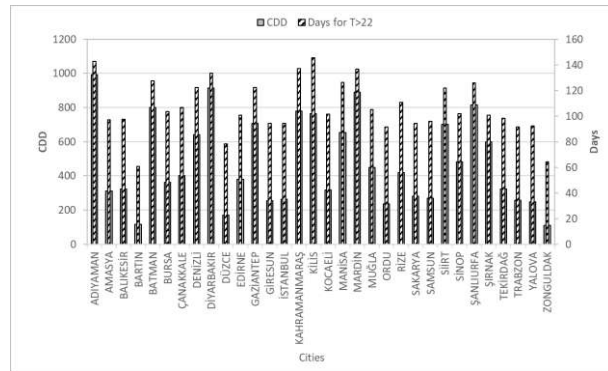


(b)

Figure 3. Heating Degree-Day numbers (a) and Cooling Degree-Day numbers (b) of cities in Zone 1

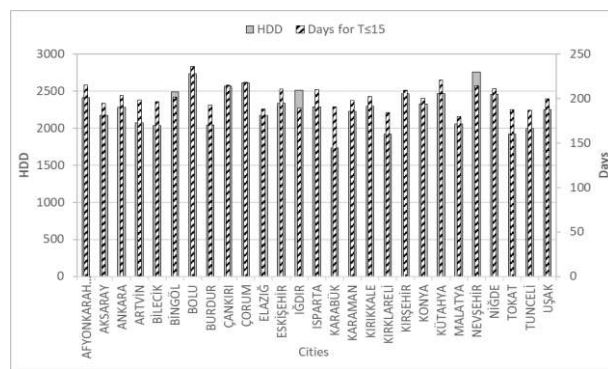


(a)

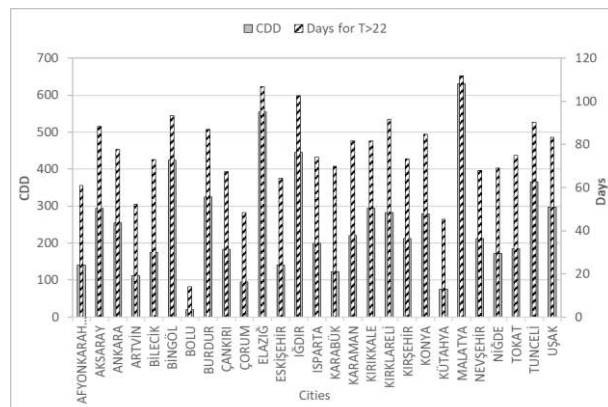


(b)

Figure 4. Heating Degree-Day numbers (a) and Cooling Degree-Day numbers (b) of cities in Zone 2

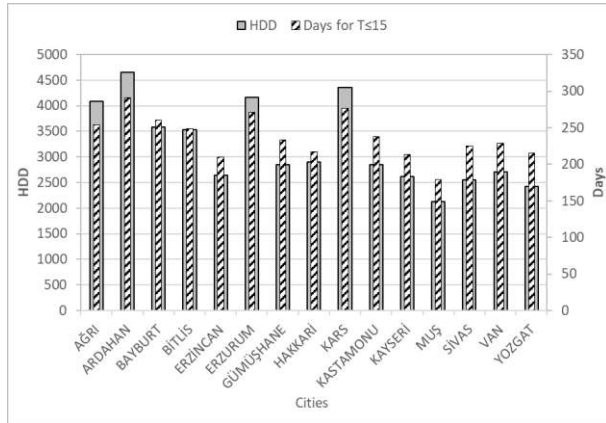


(a)

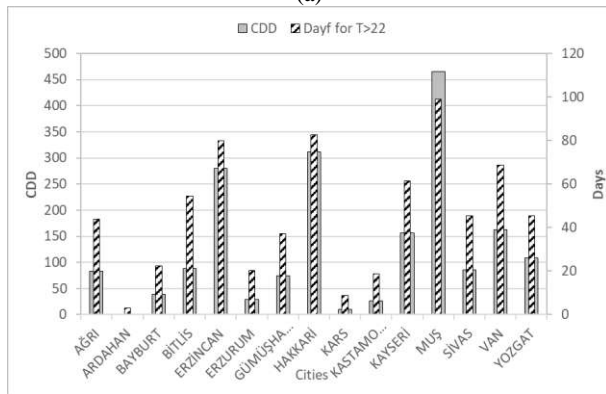


(b)

Figure 5. Heating Degree-Day numbers (a) and Cooling Degree-Day numbers (b) of cities in Zone 3



(a)



(b)

Figure 6. Heating Degree-Day numbers (a) and Cooling Degree-Day numbers (b) of cities in Zone 4

2.2. Demography

One of the parameters in determining residential heating cooling loads is population. Population of Turkey is about 83 million in 2019 [14]. Turkey's population density maps according to the climate zones was given in Figure 7.

Since the heating-cooling loads in the residences were made according to the heating zones determined in accordance with TS 825 (TS 825 Thermal insulation requirements for buildings (Turkish Standard)) standard, the population amounts for the provinces in the heating zones were given in Figure 8 to Figure 11.

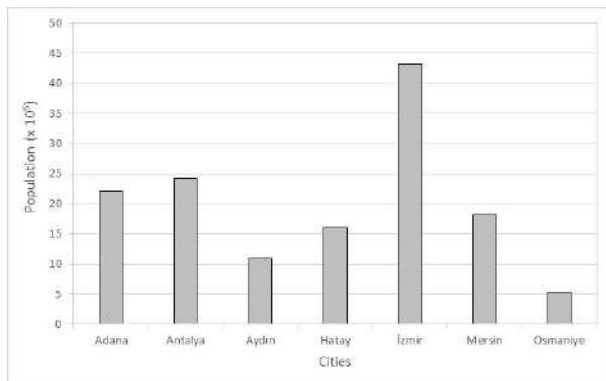


Figure 8. The population of cities in Zone 1 [14]

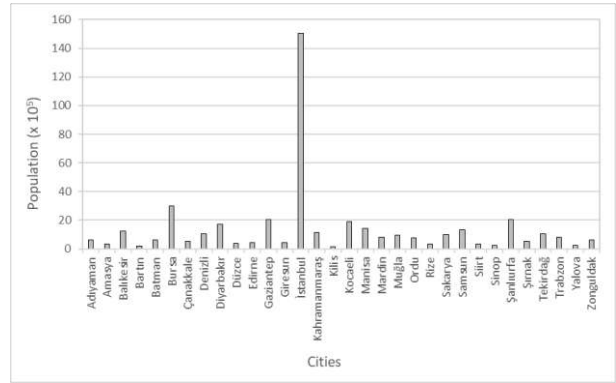


Figure 9. The population of cities in Zone 2 [14]

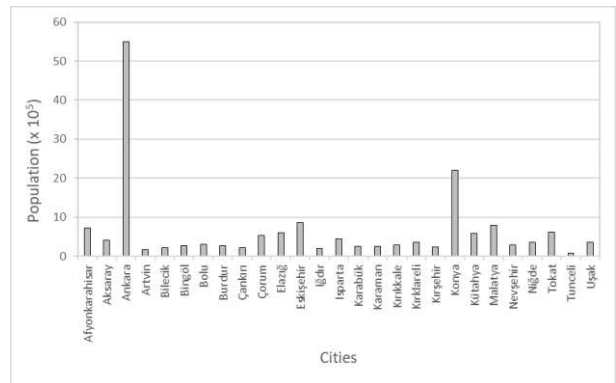


Figure 10. The population of cities in Zone 3 [14]

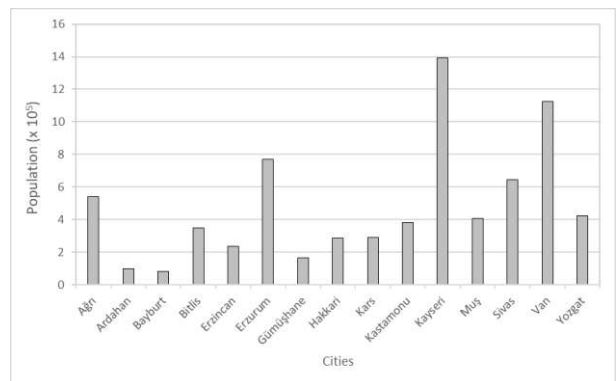


Figure 11. The population of cities in Zone 4 [14]

2.3. The number of house

In calculation of heating zones and total heating-cooling loads, the number of residences should be known. In this study, the residences were not separated according to their types, but were evaluated according to the number of households. The number of residences for provinces in the heating zones [16] were given in Figure 12 to Figure 15.

were taken into account.

The coverage ratio of the Turkey’s total heat requirement was provided by the heating demand of the fuel in Figure 16. Natural gas, solid fuel (wood and coal) and electricity, which are used mostly, were taken into consideration, while other types of fuel and energy consumed at low rates were ignored. In Figure 16, the number of houses taken into account in determination of heat requirement in Turkey and the number of electrically-heating houses is given. In Figure 17, the number of residences heated by electricity were given.

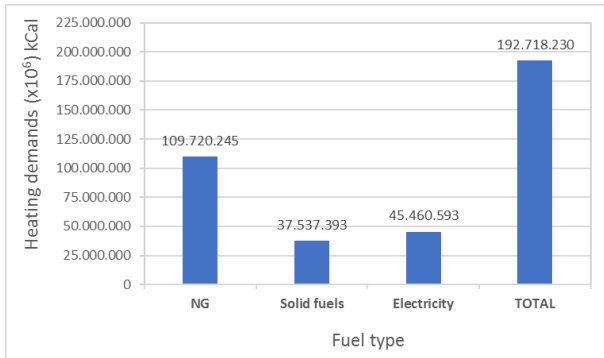


Figure 16. The types of fuels used to meet heating demands and the average annual total heating demands in Turkey

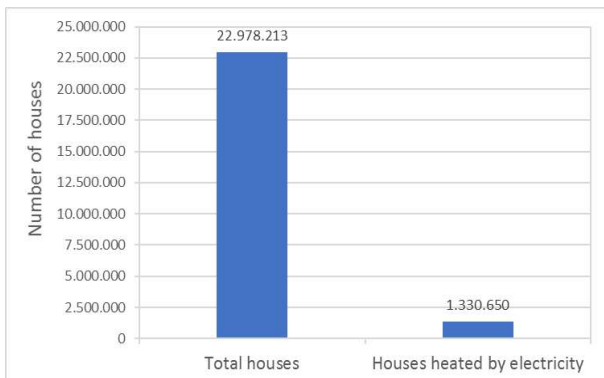
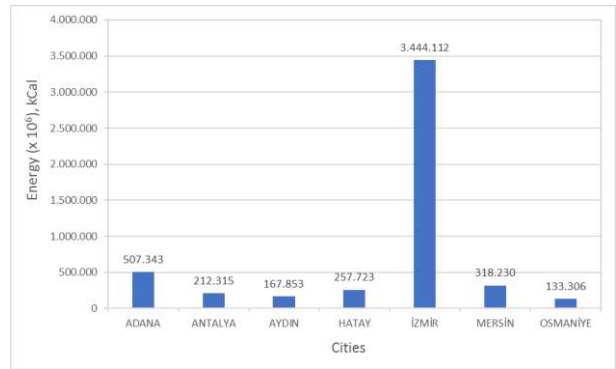
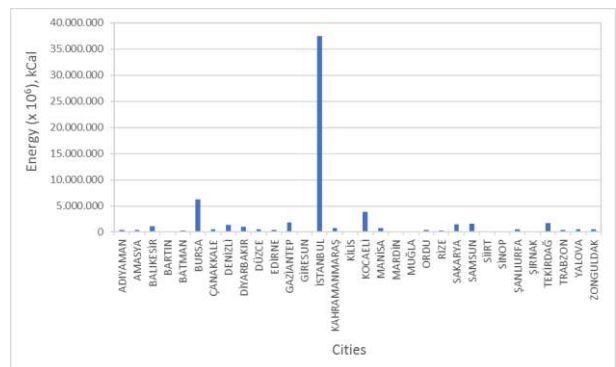


Figure 17. The total number of houses and number of houses heated by electricity

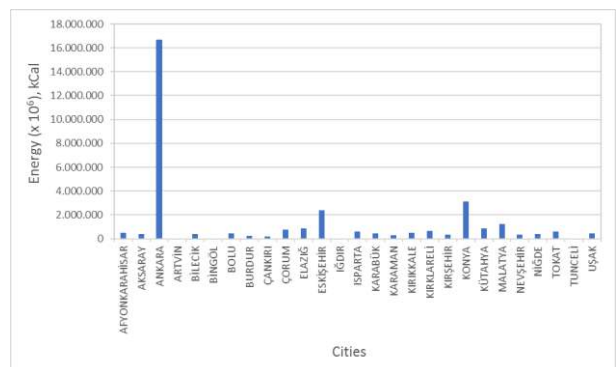
Consumptions according to these energy sources are obtained from the reports of the relevant ministries and statistical information (natural gas [17-19], solid fuels [20-22], electricity [23-25]). For the provinces in heating zones, the compensation ratio of the heating requirement to the fuel in the current situation (Figure 18 - Figure 20) were given below.



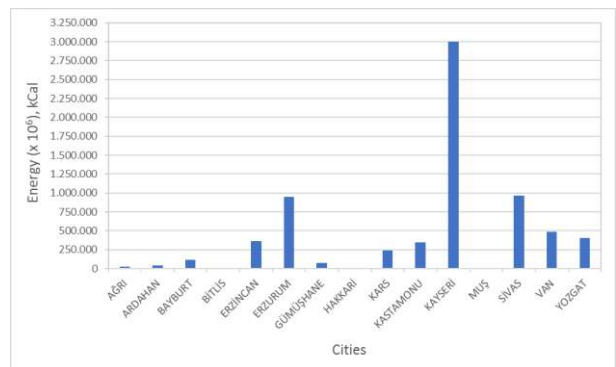
(Zone 1)



(Zone 2)

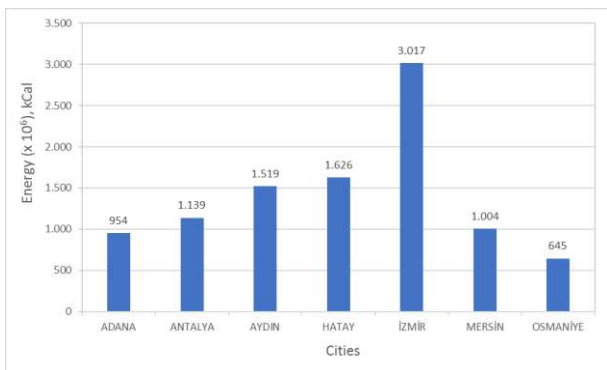


(Zone 3)

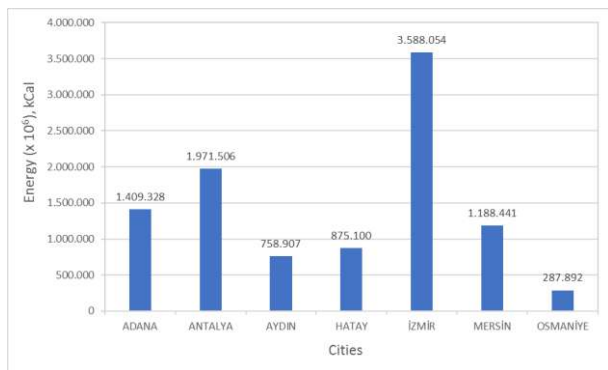


(Zone 4)

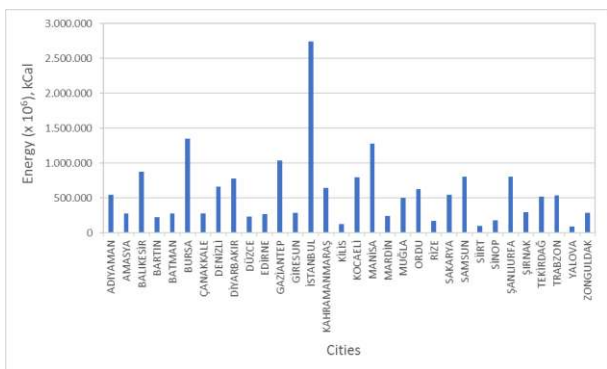
Figure 18. Energy from natural gas in cities in Zones



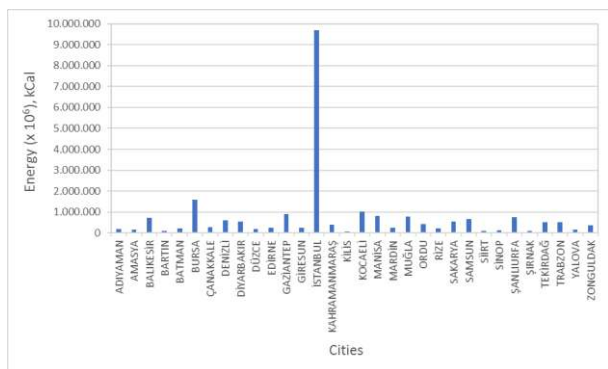
(Zone 1)



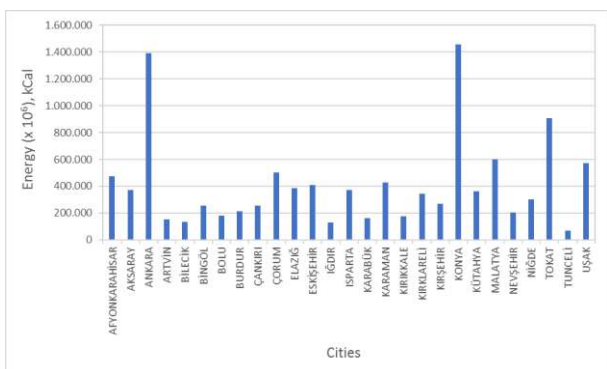
(Zone 1)



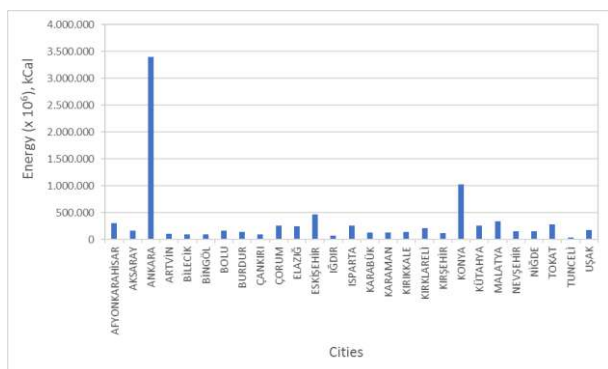
(Zone 2)



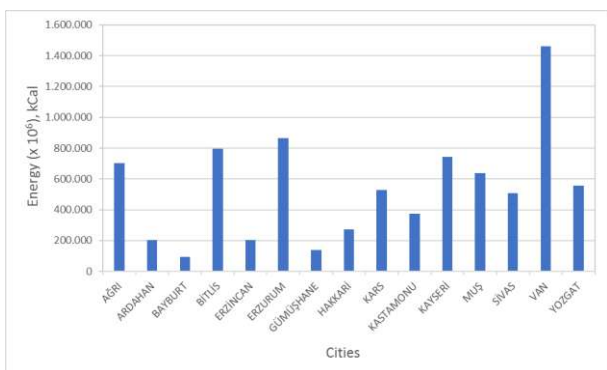
(Zone 2)



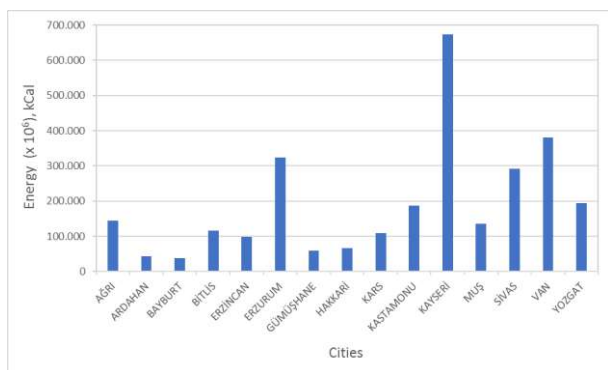
(Zone 3)



(Zone 3)



(Zone 4)



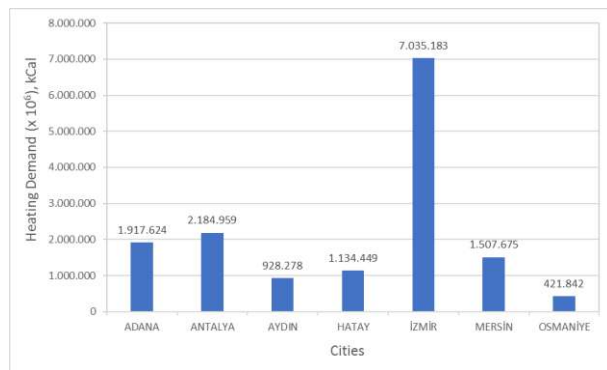
(Zone 4)

Figure 19. Energy from solid fuels in cities in Heating Zones

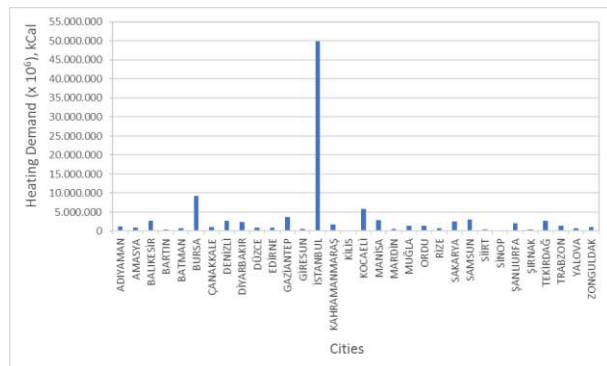
Figure 20. Energy from electricity in cities in Heating Zones

As it can be understood from Figure 18-20, heating needs have substantially been met from natural gas in all heating zones. Solid fuel and electricity follow the natural gas. Electrical energy is most commonly used in the first heating zone, where daily average temperatures are high and the number of HDDs is low. In other warming areas where the opposite situation is dominant, natural gas and solid fuel are used more, respectively.

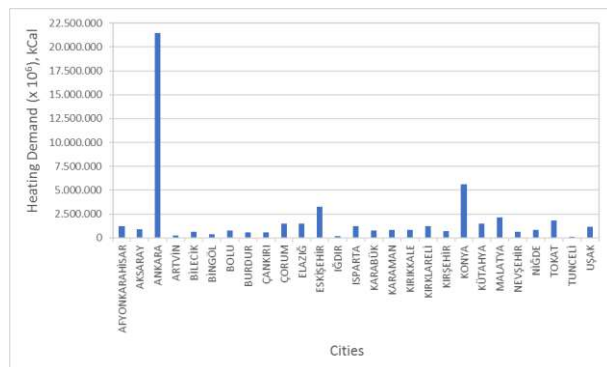
It is not possible to determine the heating demands of the residences. Heating demands of buildings can be determined using different methods. In this study, the heating demands of the residences were determined by considering the parameters above. The heating requirement in heating zones was given below in Figure 21.



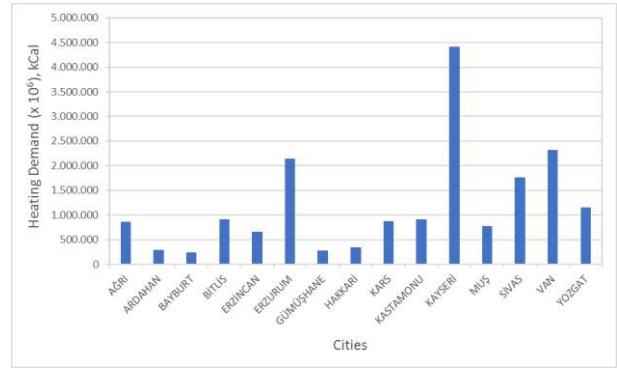
(Zone 1)



(Zone 2)



(Zone 3)



(Zone 4)

Figure 21. The Average annual total heating demands of cities in Heating Zones

It can be seen from Figure 21 that the second region has 55% of the total heating requirement. When Figure 21 is evaluated together with the residence and population, it can be seen that the population and the number of houses have a direct effect on the heating need. The second zone has 53% of the total population and 51% of the heating needs of residences, which corresponds to 50% of Turkey's overall poses. A similar case is valid in other heating zones. The third zone has 27%, the fourth zone has 9% and the first zone has 8% of total heating requirement. Population rates are also similar. The third region has 21%, the first region has 17% and the fourth region has 9% of the overall population; and the third region has 23%, the first region has 18% and the fourth region has 8% of total number of residences.

3.2. Cooling Demands

While determining the cooling requirement,

- National statistical data and general assumptions regarding the number of air-conditioners in-use,
- COPs of air-conditioners,
- Mean electricity consumption of air-conditioners,
- The number of houses of the provinces,
- degree day numbers of the provinces,
- climatic zones of the provinces

were taken into consideration. There are approximately 6.2 million air conditioners in Turkey. Based on statistical information, the number of air-conditioning units in the climate zones was determined based on the following rates:

- Zone 1: 68%
- Zone 2: 19%
- Zone 3: 9%
- Zone 4: 4%

The cooling load calculation is determined by the following equation:

$$Q_c = N_c \cdot Z \cdot COP \quad (3)$$

where N_c stands for the number of air conditioners in the city, Z refers to average electricity consumption of an air conditioner, COP denotes the average COP of an air

while and the average daily temperatures and CDD had effects on the cooling loads.

ACKNOWLEDGMENT

This research is part of the “HeatReFlex-Green and Flexible District Heating/Cooling” project (www.heatreflex.et.aau.dk) funded by Danida Fellowship Centre and the Ministry of Foreign Affairs of Denmark to conduct research in growth and transition countries under the grant no. 18-M06-AAU.

REFERENCES

- [1] Nakicenovic N., Grübler A., McDonald A. (Eds.). “Global Energy Perspectives”, *Cambridge University*, 299, (1998).
- [2] Aydın N., and Bıyıkoğlu A., “Determination of optimum insulation thickness based on heating load by life-cycle cost analysis for residential buildings in Turkey”, *Journal of Polytechnic*, 22(4): 901-911, (2019).
- [3] Yaman, Ö., Şengül, Ö., Selçuk, H., Çalıklar, O., Kara, İ., Erdem, Ş. and Özgür, D., “Binalarda ısı yalıtımı ve ısı yalıtım malzemeleri”, *Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi*, 487: 62-75, (2015).
- [4] ÇŞB, “*Isı yalıtım uygulama kılavuzu*”, Ankara: Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2-3, (2015).
- [5] Coşkun C., Oktay Z., Ertürk M. “Konutların ısıtma sezonunda seçilen iç ortama sıcaklık parametresinin enerji-maliyet-çevre açısından değerlendirilmesi ve bir uygulama örneği”, *IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir, 529-538, (2009).
- [6] Durmayaz 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).
- [7] Zhijian L., Di W., Yuanwei L., Zhonghe H., Liyong L., Jun G., Guangya J., and Guoqing C., “Accuracy analyses and model comparison of machine learning adopted in building energy consumption prediction”, *Energy Exploration & Exploitation*, 37(4): 1426–1451, (2019).
- [8] Aydın N., and Bıyıkoğlu A., “Determination of optimum insulation thickness based on heating load by life-cycle cost analysis for residential buildings in Turkey”, *Journal of Polytechnic*, 22(4): 901-911, (2019).
- [9] Zhun Y., Fariborz H., Benjamin C.M., Fung, H. Y., “A decision tree method for building energy demand modeling”, *Energy and Buildings*, 42(10): 1637-1646, (2010).
- [10] Perez-Lombard L., Ortiz J. And Pout C., “A review on buildings energy consumption information”, *Energy and Buildings* 40: 394–398, (2008).
- [11] Ertürk M., Oktay Z., Coşkun C., Keçebaş A., Çay Y., and Daşdemir A., “Investigation of energy and emission change for house heating with context of global warming in Düzce/Turkey”, *Journal of Polytechnic*, 22(1): 197-202, (2019).
- [12] TS 825 Thermal insulation requirements for buildings (Turkish Standard).
- [13] <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/gun-derece.aspx> (02.03.2020).
- [14] <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=95&locale=tr> (02.03.2020).
- [15] <http://cografyaharita.com/turkiye-nufus-haritalari.html> (02.03.2020).
- [16] Main report of the project entitled “Heating and cooling mapping”, Project no.: A105209, November 2019.
- [17] EMRA, Turkish Annual Natural Gas Market Report in 2018, Ankara 2019.
- [18] EMRA, Turkish Annual Natural Gas Market Report in 2017, Ankara 2018.
- [19] EMRA, Turkish Annual Natural Gas Market Report in 2016, Ankara 2017.
- [20] <https://www.iklimhaber.org/turkiyede-ne-kadar-komur-uretiliyor-ithal-ediliyor-nerelerde-kullaniliyor/>
- [21] Kömür Sektör Raporu Enerji Ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu, 2018.
- [22] 2018 Yılı Taşkömürü Sektör Raporu (2018 Hard Coal Sector Report), Türkiye Taşkömürü Kurumu (Turkey Hard Coal Enterprises), Mayıs 2019.
- [23] EMRA, Turkish Monthly Electricity Market Report in 2018, Ankara 2019.
- [24] EMRA, Turkish Monthly Electricity Market Report in 2017, Ankara 2018.
- [25] EMRA, Turkish Monthly Electricity Market Report in 2016, Ankara 2017.



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

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



Utilization of CFD for the aerodynamic analysis of a subsonic rocket

Hesaplamaalı Akışkanlar Dinamiği ile ses altı bir roketin aerodinamik analizi

Yazarlar (Authors): Zeynep AYTAÇ¹, Fatih AKTAŞ²

ORCID¹: 0000-0003-0717-5287

ORCID²: 0000-0002-1594-5002

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Aytaç Z. ve Aktaş F., "Utilization of CFD for the aerodynamic analysis of a subsonic rocket", *Politeknik Dergisi*, 23(3): 879-887, (2020).

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

DOI: 10.2339/politeknik.711003

Utilization of CFD for the Aerodynamic Analysis of a Subsonic Rocket

Highlights

- ❖ The design and analyses of a subsonic rocket was carried out with the utilization of CFD.
- ❖ The effects of several critical parameters on the rocket performance were investigated.
- ❖ An increment in Mach number at approximately 30% results in an increment of drag coefficient nearly 68%.
- ❖ Changing the turbulence intensity does not make any significant difference on drag coefficient.
- ❖ The drag coefficient obtained from $k-\omega$ is higher than that of obtained from $k-\omega$ SST.

Graphical Abstract

The design process of a rocket with experimental processes and measuring all the necessary variables in wind tunnels can be exhausting, time and money consuming for most researchers. A reasonable prediction of these parameters with the utilization of appropriate approaches is offered by CFD simulations. In the present study, traditional CFD methodology was followed in order to simplify the design process.

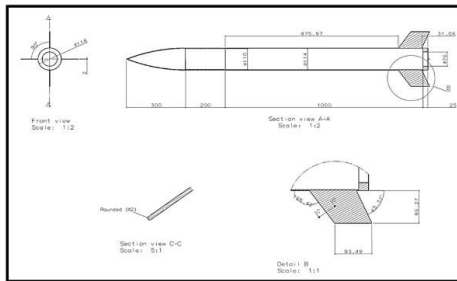


Figure A. Dimensions of the designed rocket

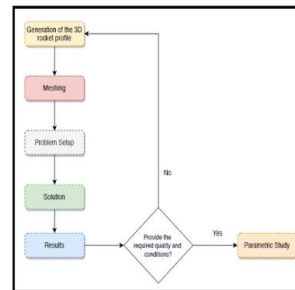


Figure B. The design methodology

Aim

Nowadays, every single country aims to have a domestic and national defense industry. In accordance with this purpose, the design of missile structures has become more important than ever. In this study, the design and analyses of a subsonic rocket was carried out with the utilization of Computational Fluid Dynamics (CFD) tools. Also, the effects of several critical parameters; i.e. Mach number, turbulence intensity, turbulence model, on the rocket performance were investigated.

Design & Methodology

Initially, the 3D model of the missile was created using CATIA in the light of dimensional specifications. After the geometry generation, the 3D model of the rocket was meshed using ANSYS Meshing. A high-quality mesh is critical to provide the accuracy and stability of a numerical solution. So, the grid structure should be constructed neatly in order to successfully represent the physical phenomena in the flow domain. In order to ensure that the results are independent of the mesh structure, a mesh independency study was carried out. Afterwards, ANSYS CFX-Pre is used to set up the cases and ANSYS CFX Solver is used to simulate the problem.

Originality

This study represents the design process of a subsonic rocket and investigates the effect of the parameters used in CFD analyses. There is not a similar conducted study in literature representing both.

Findings

An increment in Mach number at approximately 30% results in an increment of drag coefficient nearly 68% and although the appropriate turbulence intensity should be used for every unique problem, in this case, this parameter is not a critical variable to ponder upon. Moreover, the turbulence model has a substantial effect on the obtained results; so, the utilization of the appropriate model is crucial.

Conclusion

CFD tools are sufficient for the prediction of the flow around a subsonic rocket. The key point in the design process is to set up the case appropriately.

Declaration of Ethical Standards

The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği ile Ses Altı Bir Roketin Aerodinamik Analizi

Araştırma Makalesi / Research Article

Zeynep AYTAÇ*, Fatih AKTAŞ

Mühendislik Fakültesi, Makine Müh. Bölümü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye

(Geliş/Received : 29.03.2020 ; Kabul/Accepted : 07.04.2020)

ÖZ

Günümüzde her ülke, kendi yerli ve milli savunma sanayisini geliştirmeyi hedeflemektedir. Bu doğrultuda, füze ve roket gibi yapıların tasarımı çok daha önemli hale gelmiştir. Bu çalışmada, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yardımıyla, ses altı hızda bir roketin tasarımı ve aerodinamik analizleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, Mach sayısı, türbülans yoğunluğu, ve türbülans modeli gibi kritik parametrelerin roket performansına etkileri incelenmiştir. Çalışma sonucunda, Mach sayısının sürüklenme katsayısı üzerinde ciddi bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Mach sayısındaki %30'luk bir artış, sürüklenme katsayısının yaklaşık olarak %68 artmasına sebep olmuştur. Bunun tersine, türbülans yoğunluğunun değiştirilmesinin ise sürüklenme katsayısında belirgin bir farka sebep olmadığı görülmüştür. Her ne kadar, her problem özelinde uygun türbülans yoğunluğu kullanımının önemli olduğu bilirse de, mevcut problem için türbülans yoğunluğu seçiminin zaman harcanacak bir kriter olmadığı sonucuna varılmıştır. Son olarak, türbülans modeli seçiminin, beklendiği gibi, tasarım açısından oldukça önemli olduğu görülmüştür. Benzer problemlerin çözümü için literatürde yaygın olarak kullanılan k- ω SST ve diğer bir model olan k- ω arasında, sürüklenme katsayısı açısından yaklaşık %12 fark olduğu görülmüştür. Beklendiği gibi, k- ω modelinden elde edilen sonuç, k- ω SST modelinden elde edilen sonuçtan daha yüksektir.

Anahtar Kelimeler: Roket, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği, tasarım metodolojisi, ses altı akış, dış akış.

Utilization of CFD for the Aerodynamic Analysis of a Subsonic Rocket

ABSTRACT

Nowadays, every single country aims to have a domestic and national defense industry. In accordance with this purpose, the design of missile structures has become more important than ever. In this study, the design and analyses of a subsonic rocket was carried out with the utilization of Computational Fluid Dynamics (CFD) tools. Also, the effects of several critical parameters; i.e. Mach number, turbulence intensity, turbulence model, on the rocket performance were investigated. It was found out that a variation in Mach number has a substantial effect on the drag coefficient; i.e. an increment in Mach number at approximately 30% results in an increment of drag coefficient nearly 68%. Contrarily, changing the turbulence intensity does not make any significant difference on drag coefficient. Although the appropriate turbulence intensity should be used for every unique problem, in this case, this parameter is not a critical variable to ponder upon. Finally, the implementation of the appropriate turbulence model is critical in the design process as expected. Utilization of k- ω and k- ω SST models differs approximately 12% in terms of drag coefficient; the drag coefficient obtained from k- ω is higher than that of obtained from k- ω SST.

Keywords: Rocket, Computational Fluid Dynamics, design methodology, subsonic flow, external flow.

1. INTRODUCTION

Today, with the developing political strategies and relationships, each country attaches particular importance to their defense industry. Similarly, Turkey aims to design and manufacture its own missiles. In accordance with this purpose, the know-how of the design process of these structures started to develop and became widespread than ever.

Rockets are used for various purposes in defense and research industry. They carry payloads into the orbit or space, or they can be used for weapon applications. The first rocket in history is designed and manufactured in China in 1200 and used as fireworks during the New Year celebrations [1]. A body immersed in a fluid medium

exposes aerodynamic forces resulting from the relative motion between the body and the fluid [2]. Rocket aerodynamics defines the structure of the air flow through a rocket and it presents the effect of this flow on drag and stability. The main purpose of the designer is to find out the optimal shape provides the required specifications with the design criterions with the minimum cost and fuel consumption [3]. More specifically, one should minimize the drag force with a maintained stability whereas he/she should predict the thrust and optimize the fuel utilization. Stability expresses a rocket's ability to fly through the air aiming the right point in the right trajectory without any deterioration.

Basically, a rocket structure consists of two main components; the airframe and the internals. The airframe part is made up of nose cone, body tube and fins whereas

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

the internals are parachutes and shock cord, electronic accessories and motor. Figure 1 represents the structure of a rocket.

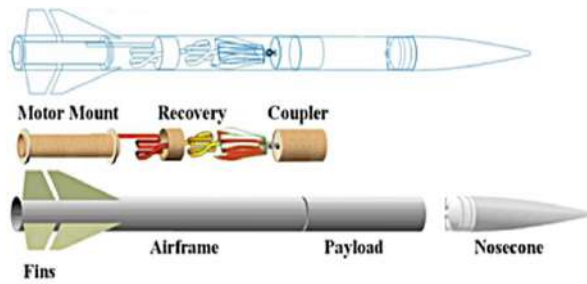


Figure 1. The rocket structure [4]

The nosecone splits the airflow around the vehicle which maintains the speed and each nosecone has a unique structure designed for that specific airflow and vehicle. The amount of air resistance that the vehicle experiences depends mainly on the shape of the nose cone, the body diameter and the speed. For subsonic applications, it is known that a rounded curved nosecone shape is more beneficial. The body cylinder keeps the pressure distribution even throughout the vehicle and it constitutes the main structure of the rocket. The larger the diameter of the body gets, the more drag force that the vehicle is exposed to. In addition, it provides a safe housing for the internal components. The fins are required for the stability of the vehicle, even if they cause the drag force to increase. These components should be designed optimally to fulfil the mission successfully [5]. Generally, the rocket structures are symmetrical with respect to their center line passing through its nose and body, providing several simplifications in terms of aerodynamic design process [6]. The aerodynamic design of a missile vehicle should be performed precisely whether it has a subsonic, supersonic, sonic or transonic flow regime [7].

The airflow characteristics such as airflow velocity, flow rate, pressure, drag force, etc. affect substantially the exterior ballistics of the rocket [8]. The aerodynamic coefficients, which are drag and lift coefficients, are dimensionless quantities which are used to determine the aerodynamic characteristics of a structure. They are determined by the ratio of several forces, rather than just the forces themselves. The aerodynamic forces result primarily from the differences in pressure and viscous shearing stresses [2].

The drag coefficient of a structure is used to model the drag of a body immersed in a fluid medium. The drag coefficient is the most critical parameter for the investigation of exterior ballistics. Consequently, the rocket engine thrust characteristics are directly influenced by this specific parameter. It depends on the shape of the structure, inclination and the flow condition and it is expressed with Equation 1.

$$C_D = \frac{2F_D}{\rho AV^2} \quad (1)$$

Here, C_D presents the drag coefficient, F_D represents the drag force, ρ the density, A the cross-sectional area of the body and V the speed. As the drag coefficient gets smaller, one can understand that the structure experiences a less aerodynamic drag.

Similarly, the lift coefficient expresses the ratio of the lift force to the force resulting from the multiplication of dynamic pressure to the area. Lift force is the force which is perpendicular to the oncoming flow direction. For a lift force to be generated, a pressure difference between the upper and lower sides of the structure is required.

1.1. Utilization of CFD for Aerodynamic Design of a Rocket

The design process of a rocket with experimental processes and measuring all the necessary variables in wind tunnels can be exhausting, time and money consuming for most researchers [9]. A reasonable prediction of these parameters with the utilization of appropriate approaches is offered by CFD simulations. Today, with the advances and conveniences in computer technology and computational tools led CFD to become an essential design tool, reducing the costs of experimental studies [10]. CFD tools enable accurate solutions to complex, three-dimensional problems for missile aerodynamics [11]. When the problem is formed using the right numerical models and approaches, CFD offers qualified information that can be derived routinely for a wide range of applications [12]. It is widely used in aeronautical applications during the conceptual and preliminary design stages, as it reduces the design cycle time and minimizes the expenses related with the experimental procedures [13,14,15].

1.2. Specifications of the Rocket

The dimensions of the designed rocket are given in Figure 2. The specified dimensions are given in millimeters.

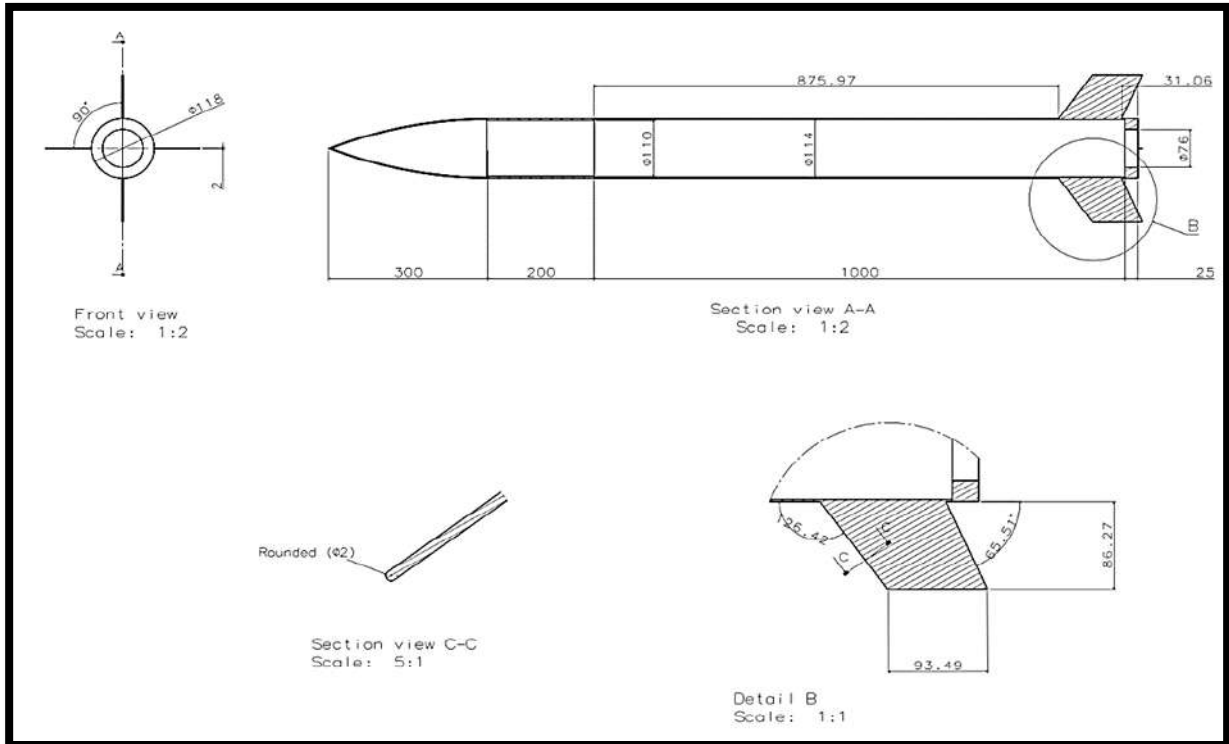


Figure 2. The dimensions of the designed rocket

In addition, the rocket is required to operate at atmospheric conditions (1 atm, 25°C) with a maximum velocity of 170 m/s.

2. METHODOLOGY

Each missile structure has a unique design depending on its requirements. As mentioned above, as the experimental process is infeasible in many ways, Computational Fluid Dynamics becomes a prominent tool at this point. In the present study, traditional CFD methodology was followed in order to simplify the design process. The outline is given in Figure 3.

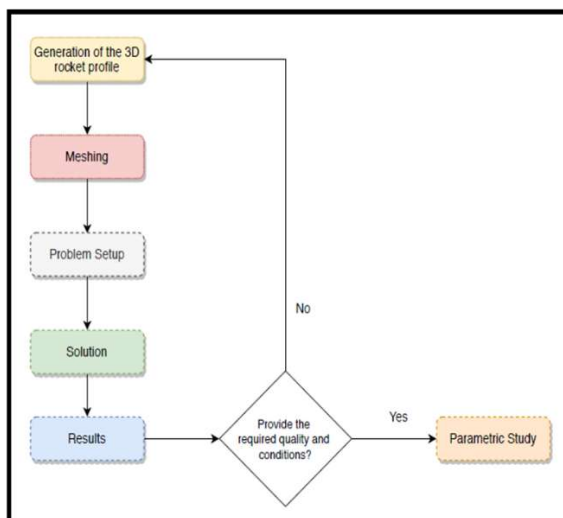


Figure 3. The design methodology

2.1. 3D Modeling

Initially, the 3D model of the missile was created using CATIA in the light of dimensional specifications. The generated model is given in Figure 4.

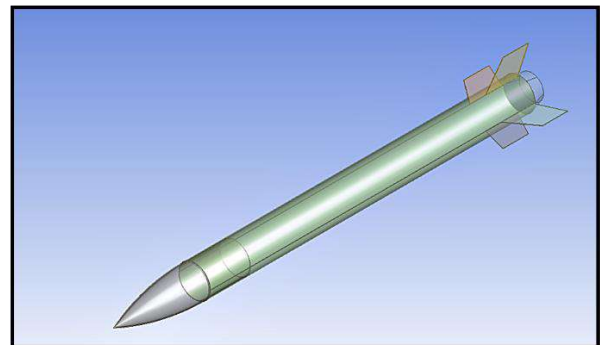


Figure 4. The 3D model of the designed rocket

2.2. Grid Generation

After the geometry generation, the 3D model of the rocket was meshed using ANSYS Meshing. A high-quality mesh is critical to provide the accuracy and stability of a numerical solution [2]. So, the grid structure should be constructed neatly in order to successfully represent the physical phenomena in the flow domain. Here, it is known that the boundary layer resolution at the top of the body is of substantial importance. In addition, inlet and outlet regions constitute the other locations to pay attention on. Also, as this problem requires the determination of drag force, the boundary layer is required to have a fine mesh structure.

The generated grid structure is given in Figure 5.

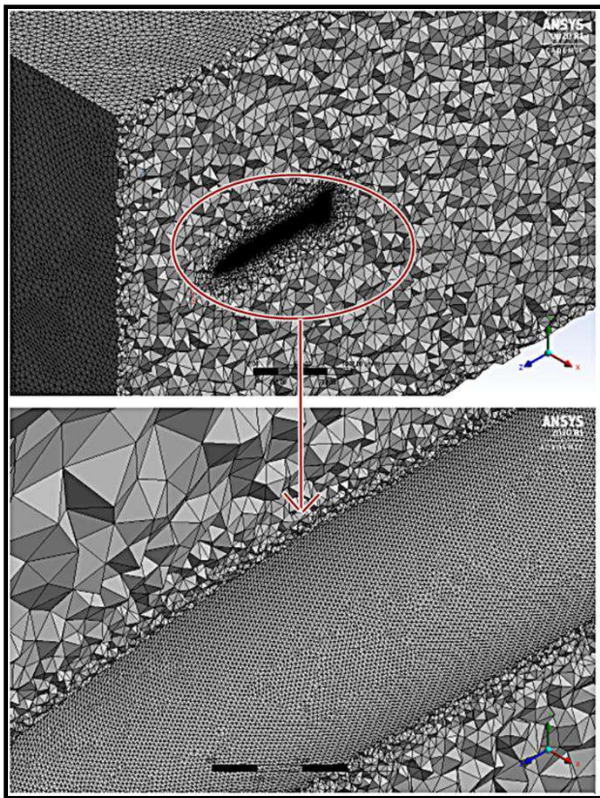


Figure 5. The generated mesh structure

As it can be seen from Figure 5, the region surrounding the rocket profile has a denser mesh structure, whereas the density of the mesh is decreasing as one progresses through the boundary of the domain. This structure is constructed by using inflation layers. The first layer thickness of the inflation layer is 0.0018 mm. This parameter is kept as small as possible so that the first layer is located close to the rocket body [8]. It is mentioned above that this structure is necessary in order to successfully resolving the boundary layer.

The detail of mesh statistics is given in Figure 6.

Display	
Defaults	
Sizing	
Quality	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
<input type="checkbox"/> Target Skewness	Default (0.900000)
Smoothing	
Mesh Metric	Skewness
<input type="checkbox"/> Min	1,3278e-008
<input type="checkbox"/> Max	0,90102
<input type="checkbox"/> Average	0,17344
<input type="checkbox"/> Standard Deviation	0,13368
Inflation	
Assembly Meshing	
Advanced	
Statistics	
<input type="checkbox"/> Nodes	2991459
<input type="checkbox"/> Elements	10193109

Figure 6. Mesh statistics

The skewness value represents the difference between the shape of a cell and the shape of an equilateral cell of equivalent volume. So, this value is needed to be minimized in fine mesh structures. A general rule for most flows that the skewness is below 0.95, with an average value of much lower [2]. The generated structure in this study has a maximum skewness of 0.9 and an average skewness of 0.17344. In other words, the grid structure stays on the safe side.

Figure 7 represents the mesh metrics in terms of skewness.

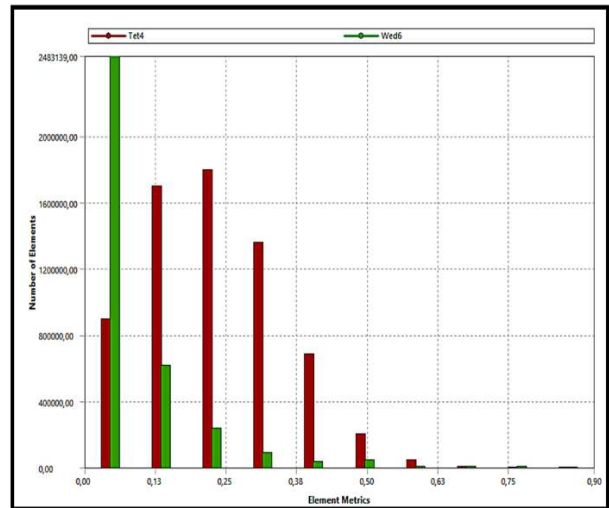


Figure 7. Mesh metrics

It can be seen from Figure 5 that most of the elements have a skewness of 0.5 or lower. Only a minority of them have a skewness value larger than 0.5, which are the ones located near the fins. This is a result of the sharp corners and edges of the fin profile, obstructing the smooth transition of the mesh cells.

Finally, in order to ensure that the results are independent of the mesh structure, a mesh independency study was carried out. The results are compared with respect to the drag force calculated. The results are given in Table 1.

Table 1. Results of the mesh independency study

Element Number [x10 ³]	Drag Force [N]
13500	77.2
10100	77.05
9200	77.06
5800	78.48
5600	78.65
1600	78.9
635	84.02

Even decreasing the mesh number by half; from 13.5M to 5.8M, does not create a difference more than 2%. So, rather than using 13.5M elements, it is more feasible to

use 5.8M elements to save from computational time and resources.

2.3. Solver Settings and CFD Analyses

To model the 3D motion of a fluid particle, Navies-Stokes equations are used. The equations are given in the following subsections.

2.3.1. Conservation of Mass

The mass conservation for a particle having dimensions of dx, dy and dz is expressed with Equation 2.1.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i)}{\partial x_i} = 0 \quad (2.1)$$

x - component:

$$\begin{aligned} \rho \frac{D\bar{u}}{Dt} &= \rho \left[\frac{\partial}{\partial x} (\bar{u}^2) + \frac{\partial}{\partial y} (\bar{u}\bar{v}) + \frac{\partial}{\partial z} (\bar{u}\bar{w}) \right] \\ &= \rho g_x - \frac{\partial \bar{P}}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} - \rho \overline{u'^2} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} - \rho \overline{u'v'} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} - \rho \overline{u'w'} \right] \end{aligned}$$

y - component:

$$\rho \frac{D\bar{v}}{Dt} = \rho \left[\frac{\partial}{\partial x} (\bar{u}\bar{v}) + \frac{\partial}{\partial y} (\bar{v}^2) + \frac{\partial}{\partial z} (\bar{v}\bar{w}) \right] = \rho g_y - \frac{\partial \bar{P}}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} - \rho \overline{u'v'} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} - \rho \overline{v'^2} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu \frac{\partial \bar{v}}{\partial z} - \rho \overline{v'w'} \right] \quad (2.3)$$

z - component:

$$\begin{aligned} \rho \frac{D\bar{w}}{Dt} &= \rho \left[\frac{\partial}{\partial x} (\bar{u}\bar{w}) + \frac{\partial}{\partial y} (\bar{v}\bar{w}) + \frac{\partial}{\partial z} (\bar{w}^2) \right] \\ &= \rho g_z - \frac{\partial \bar{P}}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu \frac{\partial \bar{w}}{\partial x} - \rho \overline{u'w'} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu \frac{\partial \bar{w}}{\partial y} - \rho \overline{v'w'} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu \frac{\partial \bar{w}}{\partial z} - \rho \overline{w'^2} \right] \end{aligned}$$

2.3.3. Turbulence Model

Although the Navier-Stokes equations are simplified with the conservation equations and the averaging procedure, it is still not possible to solve them analytically. So, the two-equations coming from the turbulence model are required in order to solve the flow accurately. The present study uses k- ω SST model in addition to RANS equations. This model is the most suitable model for aeronautics applications where strong adverse pressure gradients and separation are observed. Although standard k - ω model over predicts separation, k - ω SST comes through this problem. The utilization of k- ω SST makes the model directly usable from the boundary layer region all the way down through the viscous sublayer. This formulation switches to k- ϵ behavior within the free stream; overcoming the over predicting model.

2.4. Simulation

ANSYS CFX-Pre is used to set up the cases and ANSYS CFX Solver is used to simulate the problem. The regions used to define the boundary conditions are given in Figure 8.

2.3.2. Conservation of Momentum

Law of conservation of momentum is simply the Newton's second law of motion. It states that the time rate of change of momentum of a system is equal to the sum of external forces acting on that body and is expressed with Equation 2.2.

$$\frac{D(u_i)}{Dt} = \frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_i} + \nu \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j^2} + F_i \quad (2.2)$$

The external flow domain of a rocket is simulated using Reynolds Averaged Navier – Stokes (RANS) equations. RANS methods are widely used in industrial applications [16]. The equations are given in Equation 2.3, separately for x, y and z axes.

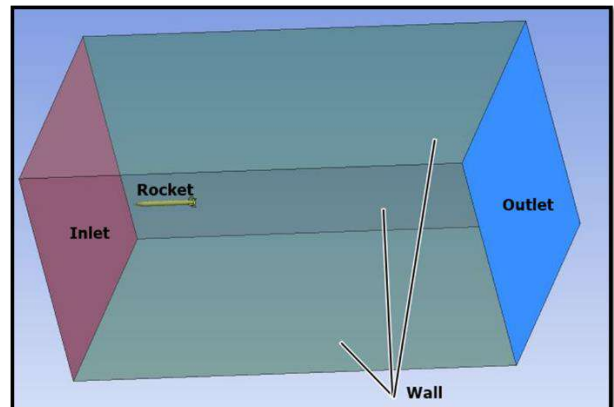


Figure 8. The regions used for setting up the boundary conditions for the CFD analyses

In Figure 8, the pink region represents the inlet, the blue represents the outlet, the green parts represent the walls. The yellow part is the rocket. The inlet and outlet locations are selected as “Inlet” and “Outlet” boundary types, respectively. The inlet boundary is defined with the normal speed, 170 m/s and the outlet boundary is defined with the static pressure, 0 Pa. The reference pressure is selected as 1 atm. The rocket is defined as a

non-slip wall and the remaining regions are selected as symmetry. The fluid is air – ideal gas and as mentioned, k- ω SST turbulence model is utilized. The residual target is specified as 10⁻⁶. Furthermore, a monitor point was used to monitor the velocity value in the middle section to check the convergence. The problem was solved using steady-state conditions.

After setting up the cases, analyses were conducted using CFX Solver Manager. The obtained results are given in Section 3.

3. RESULTS AND EVALUATION

The analyses were conducted for various Mach numbers of 0.35, 0.5 and 0.65. Also, results from several turbulence models and turbulence intensities were compared with each other. The results are given separately for each parametric analysis. The actually designed case is the one with the low intensity turbulence, 0.5 Ma and k- ω SST turbulence model.

3.1. The Design Case

The contours of pressure, total pressure, velocity, y+ and the velocity vectors are given in the proceeding figures.



Figure 9. The Mach number contour

As 170 m/s corresponds to 0.5 Ma, the enclosure region contour is red in color. According to the flow separation at the nose cone, a region of low velocity and a stagnation point is observed, and a thin boundary layer is developed at the top of the body region. At the outlet region, a region of low velocities and even zero velocity is observed. This is due to the vortex formations at the outlet, which results in flow circulations locally.

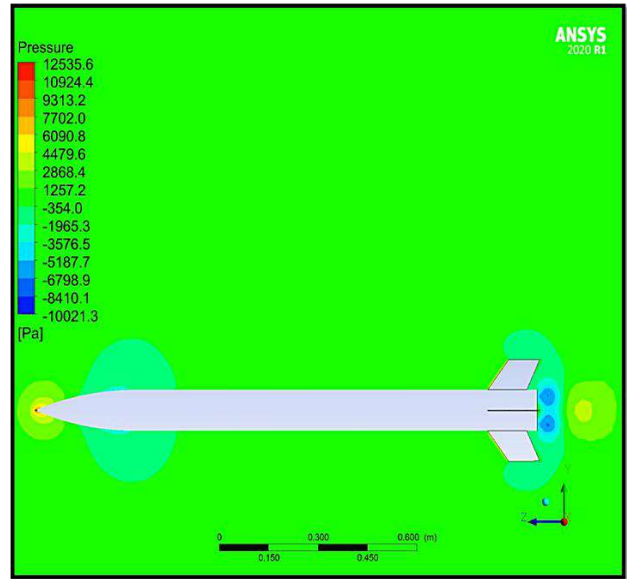
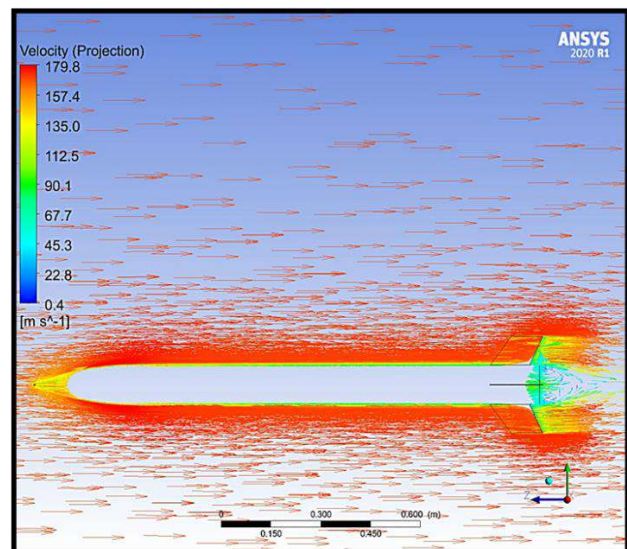


Figure 10. The pressure contour

As explained in Figure 9, there is a stagnation point in front of the nose cone. Consequently, this point has the maximum pressure. The pressure values at the top and bottom of the rocket are equal; which means that there is no lift force. This is due to the angle of attack of the rocket, 0°. Again, a thin boundary layer development can be observed.



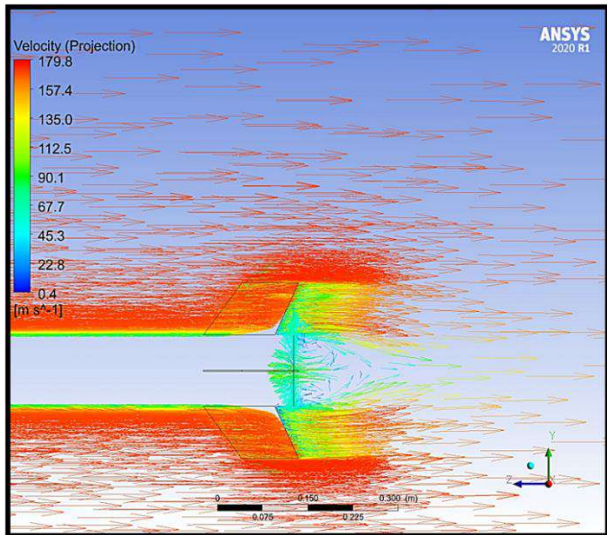


Figure 11. The velocity vectors through the flow domain and at the outlet

From Figure 11, it can be seen that the velocity contours exhibit a homogeneous direction, through the inlet to the outlet. The developed boundary layer can be seen more clearly, and the recirculation region at the back region of the rocket is obvious. In this location, because of the recirculation and formed vortices, the velocity decreases substantially.

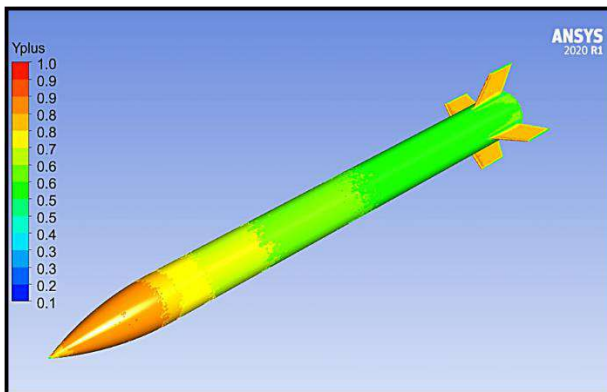


Figure 12. The y^+ contour

The y^+ value is critical in terms of accuracy of the solution. Each turbulence model requires a different range y^+ values to attain a reliable solution. y^+ simply defines the dimensionless distance from the wall which is used to check the location of the first node away from the wall [2]. As it depends on the mesh structure, it has a significant effect on the model's ability to solve the boundary layer. For the current turbulence model, this value needs to be 1 or smaller. From Figure 12, it can be seen that the maximum value of y^+ is 1.0, which are located on the fins as they have sharp edges and corners. Throughout the rest of the body, it is 0.7 or smaller; which expresses that the obtained results are accurate enough to resolve the boundary layer.

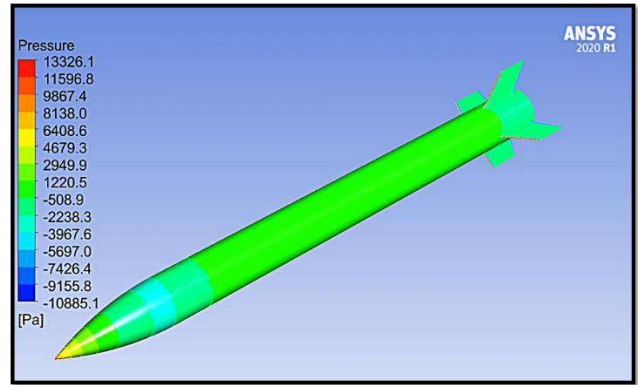


Figure 13. The pressure contour of the rocket

3.2. Parametric Study

3.2.1. Mach Number

The dependence of the results on the Mach number is investigated. Three different values of Mach numbers, 0.35, 0.5 and 0.65 are used in low intensity turbulence and $k-\omega$ SST turbulence model. The results are compared with respect to the drag coefficients obtained.

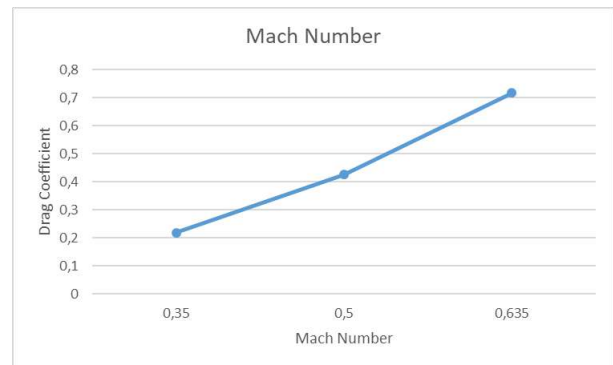


Figure 14. Mach number vs. drag coefficient

As the Mach number is increased, it can be seen that the drag force increases relatively. This is an expected result, since the increment in Mach number is equal to the increment in velocity. An increased velocity corresponds to an increased drag force, due to the increased frictional forces. An increment in Mach number at approximately 30% results in an increment of drag coefficient nearly 68%.

3.2.2. Turbulence Intensity

Turbulence intensity represents the turbulence level of the flow. It is determined depending on the previous experience on the designer and the state-of-art. Generally high turbulence level is used in high speed flows in complex geometries; such as turbomachines. The turbulence intensity is between 5% and 20% for high intensity. Medium intensity is the most common used level, as it is used for flows in not-so-complex devices or low speed flows. Its intensity varies between 1% and 5%. Low intensity is used for flows originating from a fluid which is not moving, e.g. external flow across cars, submarines and aircrafts. Low intensity has a turbulence

level lower than 1%. As this problem is typically an external flow around an air vehicle, low intensity level is used.

The results between the turbulence levels are given in Figure 15.

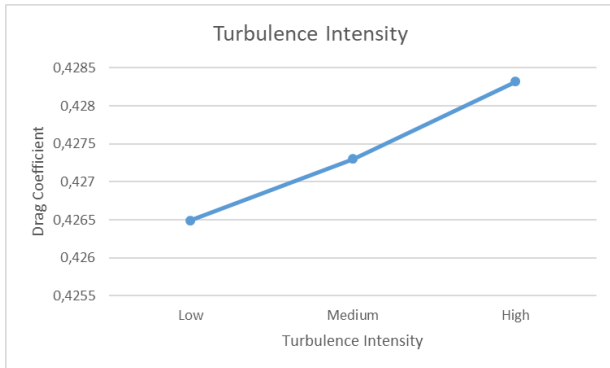


Figure 15. Turbulence intensity vs. drag coefficient

As expected, drag force increases with the increased turbulence level. However; the variation is between 77 and 77.38; which will not make quite a difference in the design process. Therefore, although the appropriate turbulence intensity should be used for every unique problem, in this case, this parameter is not a critical variable to ponder upon.

3.2.3. Turbulence Model

The specified turbulence model determines the two equations which will be solved with the RANS equations. As mentioned before, k- ω SST model was used for the design process of this case. However, the effects of several turbulence models were investigated, and the results are given in Table 2.

Table 2. Turbulence Models vs. drag force

Turbulence Model	Drag Force [N]	Drag Coefficient
BSL Reynolds	81.7362	0.452387
k- ϵ	79.6909	0.441067
k- ω	86.7081	0.479905
RNG Epsilon	78.9961	0.43722
k- ω SST	77.0578	0.42704

Accepting the result obtained from k- ω SST model as a reference, it can be seen that RNG Epsilon model is the nearest, followed by k- ϵ , BSL Reynolds and finally k- ω . One can expect k- ω model to give the nearest result to the k- ω SST model, however, k- ω model overpredicts the separation in the boundary layer, which in turn affects the drag force in a substantial manner.

4. CONCLUSION

The present study involves the design of a rocket in a subsonic speed with the utilization of CFD tools and investigates the effect of several critical parameters on the drag force; which is a reference result in rocket design processes.

It is obtained that the drag force is extremely sensitive to the variations in Mach number. A 30% increment in Mach number resulted in an increment of drag coefficient by nearly 70%.

The three turbulence intensity options existing in ANSYS CFX was used to obtain the differences in drag forces. As mentioned before, although every designer should use the correct turbulence intensity for each design problem, this case does not reveal a distinct difference between each intensity.

Finally, the available turbulence models were used to analyze the resulting drag forces. As the k- ω SST model is taken as a reference, RNG-Epsilon model gives the closest result to that of k- ω SST, then comes the k- ϵ , BSL Reynolds and k- ω models. Again, each problem has its own unique specifications and flow characteristics and turbulence model should be decided in the light of these requirements. Taking into consideration that the k- ϵ , k- ω and k- ω SST models are the most common ones used in commercial CFD applications, the designer should keep in sight that the turbulence model affects the obtained results substantially.

REFERENCES

- [1] Howell, E., "Rockets: A History", space.com contributor, (2015).
- [2] Hammargren, K., "Aerodynamics Modeling of Sounding Rockets", Ms. Thesis, Lulea University of Technology, (2018).
- [3] Guzelbey, I.H., Sumnu, A. and Dogru, M.H., "A Review of Aerodynamic Shape Optimization for a Missile", *The Eurasia Proceedings of Science, Technology, Engineering & Mathematics (EPSTEM)*, 4: 94-102, (2018).
- [4] <https://cpb-us-w2.wpmucdn.com/u.osu.edu/dist/b/38251/files/2018/01/Workshop-1-Aero-and-Propulsion-qsx91h.pdf>, Aerodynamics and Propulsion, Buckeye Space Launch Initiative.
- [5] Cronvich, L.L., "Missile Aerodynamics", *John Hopkins APL Technical Digest*, 175-186, (1983).
- [6] Gönç, L.O., "Computation of External Flow Around Rotating Bodies", *PhD. Thesis*, Middle East Technical University, (2005).
- [7] Baçoğlu, O., "Three Dimensional Aerodynamic Analysis of Missiles by a Panel Method", *MS. Thesis*, Middle East Technical University, (2002).
- [8] Fedaravičius, A., Kılıkevičius, S., Survila, A. and Patašienė, L., "Analysis of Aerodynamic Characteristics of the Rocket-Target for the "Stinger" System", *Problems of Mechatronics Armament, Aviation, Safety Engineering*, 7, 1(23): 7-16, (2016).

- [9] Lopez, D., Dominguez, D. and Gonzalo, J., "Impact of Turbulence Modeling on External Supersonic Flow Field Simulations in Rocket Aerodynamics", *International Journal of Computational Fluid Dynamics*, 27(8-10): 332-341.
- [10] Elliot, J. and Peraire, J., "Practical 3-D Aerodynamic Design and Optimization Using Unstructured Meshes", *AIAA Journal*, 35(9): 1479-1485, (1997).
- [11] Sahu, J. and Heavey, K.R., "Parallel CFD Computations of Projectile Aerodynamics with a Flow Control Mechanism", *Computers & Fluids*, 88: 678-687, (2013).
- [12] Pirzadeh, S.Z. and Frink, N.T., "Assessment of the Unstructured Grid Software TetrUSS for Drag Prediction of the DLR-F4 Configuration", *AIAA*, 2002-0839, (2002).
- [13] Langtry R.B., Kuntz, M. and Menter, F., "Drag prediction of engine air frame interference effects with CFX-5". *Journal of Aircraft*, 42(6): 1523-1529, (2005).
- [14] Kroll N., Rossow, C.C., Schwamborn, D., Becker, K. And Heller, G., "MEGAFLOW-a numerical flow simulation tool for transport aircraft design", *Proceedings of ICAS Congress*, 1105.1-1105.20, (2002).
- [15] Schütte A., Einarsson, G., Madrane, A., Schöning, B., Mönnich, W. and Krüger, W.B., "Numerical simulation of maneuvering aircraft by CFD and flight mechanic coupling", *RTO Symposium*, (2002).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

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



Experimental study for comparing heating and cooling performance of thermoelectric peltier

Termoelektrik peltier'in ısıtma ve soğutma performansının karşılaştırılması için deneysel çalışma

Yazar(lar) (Author(s)): Faraz AFSHARI

ORCID: 0000-0001-9192-5604

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz(To cite to this article): Afshari F., “Experimental study for comparing heating and cooling performance of thermoelectric peltier”, *Politeknik Dergisi*, 23(3): 889-894, (2020).

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

DOI: 10.2339/politeknik.713600

Experimental Study for Comparing Heating and Cooling Performance of Thermoelectric Peltier

Highlights

- ❖ Thermoelectric performance is obtained in heating and cooling mode.
- ❖ COP value in both modes is compared.
- ❖ Possibility to use Thermoelectric device for heating and cooling is discussed.
- ❖ Thermoelectric Peltier device and vapor compression refrigerators are discussed.

Graphical Abstract

Graphical Abstract of the study is provided to illustrate working principles with schematic view of the thermoelectric system.

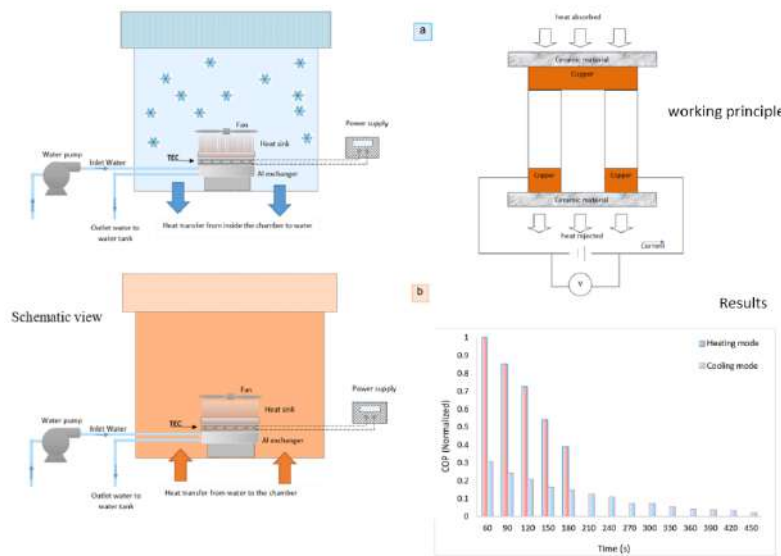


Figure. Graphical Abstract

Aim

The main aim of this study is to compare heating and cooling performance of Thermoelectric Peltier

Design & Methodology

Test box is manufactured using foam plates and Peltier device and required elements are placed as shown in schematic view.

Originality

Cooling performance of Thermoelectric device has been widely investigated in the literature. However, in this study, cooling and heating performance of the same device is compared.

Findings

It was revealed that, normalized COP of heating mode is 233% more than cooling mode at first 60 seconds.

Conclusion

Cooling mode results showed that, temperature of the refrigerator can be dropped to low levels below the freezing temperature of the water. It was shown that COP value of heating mode is remarkably higher than cooling mode.

Declaration of Ethical Standards

The author of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

Experimental Study for Comparing Heating and Cooling Performance of Thermoelectric Peltier

Araştırma Makalesi / Research Article

Faraz AFSHARİ*

Department of Mechanical Engineering, Erzurum Technical University, Erzurum, Turkey

(Geliş/Received : 02.04.2020 ; Kabul/Accepted : 22.04.2020)

ABSTRACT

On a global scale it is considered that, a notable part of the overall electrical energy is consumed in refrigeration and air conditioning sectors. Refrigeration sector is also known as an important and critical industry in the field of food and pharmacy sectors. In general refrigeration and also freezing applications are based on the extracting thermal energy from the freezing or cooling medium to keep the temperature at the specified standard levels suitable for storage foods or medicines.

Vapor compression refrigeration systems are mostly employed for cooling, heating and air conditioning purposes, but comparative investigations focused on thermoelectric devices and their efficiency with well-known vapor compression refrigeration systems are less regarded in the literature.

In this study, Peltier thermoelectric performance was obtained in two different ways and the results were compared. First, the COP value was obtained when cooling was carried out in an insulated box and then in different mode, the heating of the box was carried out. It was observed a big difference between COP values of heating and cooling modes. According to the achieved experimental results of this study, the COP or coefficient of performance value in the heating mode is approximately 200% greater than that of cooling mode.

Keywords: COP, energy efficiency, two stage thermoelectric refrigerator.

1. INTRODUCTION

Preserving medicine, fresh foods and vegetables in suitable and clean conditions is a serious issue for human health. Generally, vapor compression cycles are used for cooling and heating applications in homes and industry. However, thermoelectric devices can be also employed to provide cooled and heated medium, which is an important alternative for the vapor compression. In the literature thermoelectric systems have been investigated by many investigators with regard to energy efficiency categories as well as optimum working conditions. The optimum input electrical currents were distinguished in a various heat loads performed by Chang et al. [1].

Thermoelectric materials, modeling approaches and applications were reviewed in another study and Thermoelectric cooling applications (electronic cooling systems, domestic refrigeration, and air conditioning of automobile) were analyzed [2]. Vapor compression heat pump systems and also refrigerator systems were investigated in detail to enhance their efficiency employing thermoelectric generation by using compressor heat losses [3]. Performance of vapor compression heat pump were analyzed using different types of lubricating oil for a system operated by a reciprocating compressor [4]. Thermal equations and formula were developed to figure out analytical solutions for the performance and device temperature effect at the both side by Zhang [5]. In other study [6], Yin et al. (2017) examined the effect of adding TE generator on the efficiency of four different PV cells, including

monocrystalline silicon, amorphous silicon, polycrystalline silicon and polymer photovoltaic cell. It was found that with increasing the thermal resistance of TE the performance of the system can be considerably enhanced using silicon or polymer cell. In addition, some researchers used thermoelectric for cooling applications. Optimized heat transfer, is considered as one of the most important problems in the cooling-heating systems especially in the industrial process, which is a significant subject for many research presented in the literature [7-8]. Mini size water cooled TE refrigerator was investigated and coefficient of performance of the system was calculated in different voltages and flow rates over the test time by Gokcek et al. [9]. A prototype TE for domestic-refrigerator was examined and the system efficiency was evaluated and calculated in terms of the COP and cooling rate [10]. Two stage TE coolers were utilized to enhance the cooling capacity value and coefficient of performance of thermoelectric and the applied electrical current was optimized in other study by Cheng et al. [11]. Caglar [12] manufactured and studied optimum working conditions for a mini TE refrigerator utilizing Peltier device. Peltier-fans combination were used on both sides of refrigerator box. Their results revealed that optimum ambient temperature is about 293 K. Also, coefficient of performance decreases from 0.351 to 0.011 when the temperature of the cooled side reduces from 293 K to 254.8 K. Tan et al. [13] in other research, theoretically investigated a thermoelectric cooling scheme to obtain the optimal operating conditions using thermodynamic second law. They research team

*Sorumlu yazar (Corresponding Author)
e-posta : faraz.afshari@erzurum.edu.tr

Table 1. TE device, water pump and heatsink characteristics

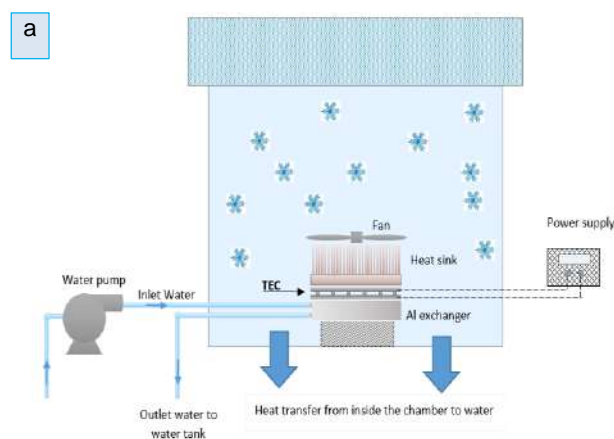
Peltier thermoelectric characteristics						
Product type	Working current (A)	I_{max} (A)	Working voltage (V)	Q_{max} (W)	Size (mm)	
TEC1-12715	< 3	15	12	231	40 × 40 × 4	
Water pump characteristics						
product type	Working voltage (V)	Working current (mA)	Flow rate (kg/s)	Highest pressure (mmHg)	Hose connection size (mm)	Dimensions (mm)
SKU 50200	12	< 320	0.02	360	6.5	D27 × 75
Heat sink characteristics						
product type	Material	Power (W)	Number of teeth	Bottom plate thickness (mm)	Tooth thickness (mm)	Dimensions (mm)
FLE-CO0208	Aluminum	5.1	27	4.6	1.0	200 × 70 × 35

surveyed effects of different factors including electrical current, thermal conductivity of the material and cooling temperature on performance of installed system. The achieved outcomes illustrated that cooling temperature is the most important factor affects TE cooling performance. Modified pulse operation of TE for building cooling numerically analyzed by Manikandan et al. [14]. TE cooling system was investigated by applying various cooling load, variable pulse width, variable pulse current ratio, and dissimilar pulse shapes. The findings figured out that modified pulse operation could increase the cooling rate and COP value by 23.3% and 2.12% in comparison with normal mode. TE refrigerator powered by solar PV cells and electric storage system was studied by Enescu et al. [15]. Dimri et al. [16] provided an estimation model for semitransparent PVT system which was equipped with thermoelectric device. Their achieved results illustrated that adding TE apparatus to the semitransparent photovoltaic scheme increased the electrical performance by 7.266%. Wang et al. [17] utilized small type TE for microprocessors chip cooling. Both experimental and numerical results were used to indicate the effects of using this type of cooling system on microprocessors performance. The obtained results revealed the importance of thermal contact resistance. Higher thermal contact resistance needs a larger mini-contact to achieve optimum system performance. The main objectives of this work are experimentally analysis on Peltier thermoelectric heating and cooling performance, COP values in different working conditions and task result over the test time.

2. MATERIAL and METHOD

In this study, two refrigerator boxes were made at same dimensions by using foam insulation materials and two different heating and cooling modes have been tested as shown in Fig. 1.

In Direct Current (DC) electric charging, Peltier systems can easily cool and heat the desired environment by changing the plus and minus electrical inputs. Cooling and heating modes have been demonstrated in Fig1-a and Fig1-b respectively. The capacity of fabricated boxes is 15×15×15 cm and the temperature changes were measured and recorded using T type thermocouples over test time and average temperature of the boxes were obtained and used in calculations. Voltage/Ampere meter device was utilized to calculate electrical power consumption of the TE Peltier device, fan and mini water pump. All materials and elements in the heating and cooling modes are the same and experiments were carried out without making any changes in Peltier device and required connections. A 12V, TEC1-12715 Peltier device was employed for cooling and heating inside boxes (test chamber). For every experiments water supply flow rate is fixed at 1.17 kg/s provided by a SKU 50200 -12 V mini water pump. Peltier thermoelectric, water pump and heatsink features have been provided in Table 1 and also a picture of experimental setup and schematic of thermoelectric are illustrated in Fig. 2.



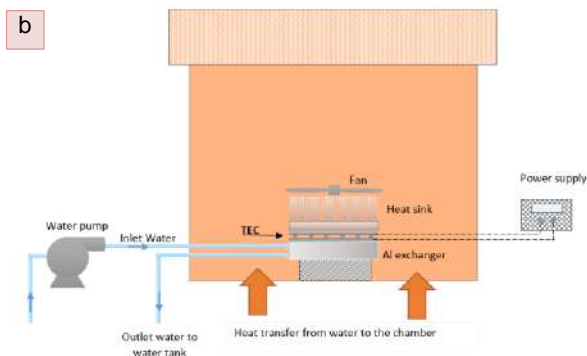


Fig. 1. Schematic view of cooling (a) and heating (b) operation modes

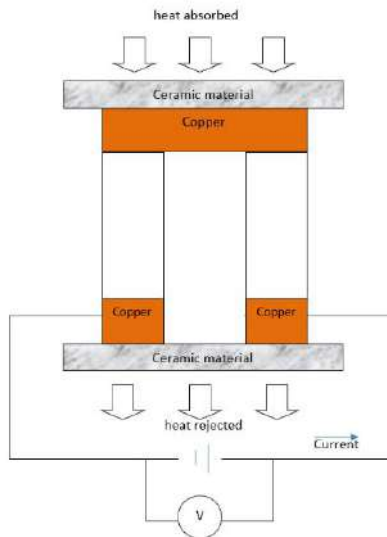
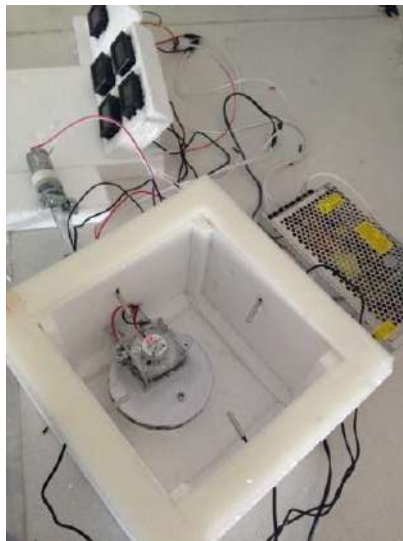


Fig. 2. A picture of experimental setup and schematic view of thermoelectric

3. EFFICIENCY ANALYSIS

Basically, in previous studies carried out in the field of thermoelectric Peltier, calculations are performed by two dissimilar ways. Analysis is launched with the prediction

of the TE heating power as well as cooling power in the first way for calculation. Assuming constant electrical properties and thermal characteristics of used thermoelectric Peltier, absorbed cooling value at the cold side (Q_c) and heating amount at hot side (Q_h) are stated as [1],

$$Q_c = \alpha T_c I - \frac{1}{2}(I^2 R) - K(T_h - T_c) \tag{1}$$

$$Q_h = \alpha T_h I - \frac{1}{2}(I^2 R) - K(T_h - T_c) \tag{2}$$

Coefficient of performance or COP of the TE material can be written as follow,

$$(COP)_{c,max} = \frac{T_c}{T_h - T_c} \frac{\sqrt{1 + ZT_m} \frac{T_h}{T_c}}{\sqrt{1 + ZT_m} + 1} \tag{3}$$

here ZT_m is the TE material figure-of-merit value which can be obtained by average cold and hot side temperature T_m .

In other method (second way calculation) which has been used in this study, power consumption value of the TE, and also water pump and fan elements are taken into account and so the overall system COP can be expressed as,

$$COP_{Tot} = \frac{Q_c}{W_{pe} + W_{fa} + W_{pu}} \tag{4}$$

It should be stated that, COP is basically thermodynamic value as a ratio of obtained thermal energy to consumed power. A literature review showed that in most studies thermodynamic calculation has been used and obtained results seem to be more logical using thermodynamic method. Furthermore, the absorbed heat value from the enclosed test box can be computed using equation (5).

$$Q_c = m C_p (T_2 - T_1) \tag{5}$$

here the first and last temperature of the box are T_1 and T_2 respectively. m is the value of trapped air mass existing inside the box. Having density of air and volume of the refrigerator box, the contained mass in the insulated box can be obtained from,

$$m = \rho v \tag{6}$$

electrical power consumed in the system is obtained from recorded voltage and current values as,

$$W = VI \times (t) \tag{7}$$

Heat transfer rate for water cooled side of the system can be stated by following equation,

$$Q = \dot{Q} \times t = (\dot{m} C_{p,water} (\Delta T)) \times t \tag{8}$$

4. RESULTS AND DISCUSSION

In the present study, performed tests have been conducted to analyze heating and cooling performance of a specified thermoelectric in two same-dimension boxes. The inside box temperature of the insulated boxes was register over performed tests and obtained average temperature from used thermocouples was computed. Temperature variation over test time is given in Fig. 3 for two heating and cooling modes. It should be noted that, cooling mode experiments were carried out during 480 seconds, but 210 seconds for heating mode. The reason for this application is that, in the heating mode temperature increasing of the medium can cause the Peltier device to burn up and destroy. In other words, in the case of heating mode, initial temperature was decreased to low levels lower than ambient temperature to handle experiments in large range at medium temperatures, because the operating temperature of the Peltier device is limited and can be damaged at high temperatures.

In the figure it is seen that, the temperature has dropped below 0°C in cooling mode and about 40°C in heating mode. It should be stated that, temperature of the box was decreased to 5°C in heating mode to obtain results in larger interval.

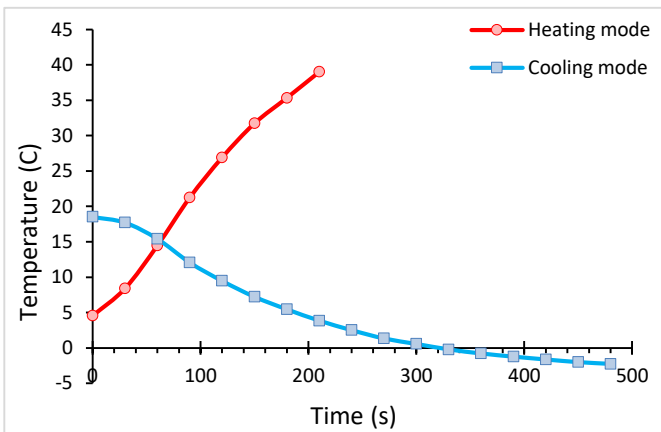


Fig. 3. Temperature variation with respect to test time in two modes

In Fig. 4, power consumption of two modes has been compared with respect to test time. Obtained results showed that, the value of consumed power in cooling mode is approximately 58% more than that of heating mode.

In Fig. 5, extracted and imported thermal energy have been calculated using temperature variations inside boxes in cooling and heating modes. Decreasing trend was observed over test time in both modes. However, thermal energy values in heating mode is remarkably higher than cooling mode.

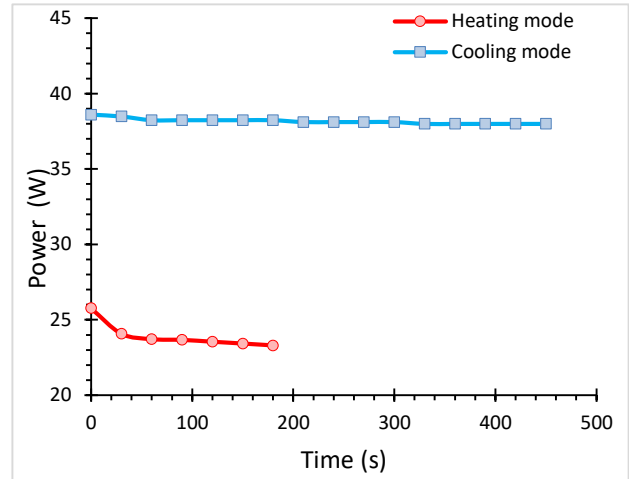


Fig. 4. Power variation with respect to test time in two modes

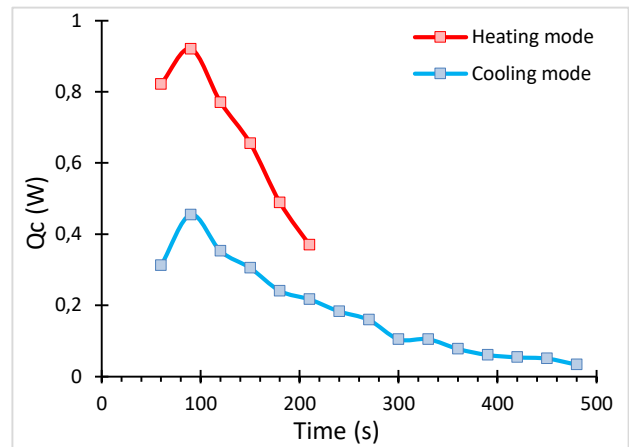


Fig. 5. Extracted and imported thermal energy in cooling and heating modes

For better comparing normalized COP values were calculated as shown in Fig. 6. Obtained results clearly represents that, COP of heating mode is remarkably higher than that of cooling mode. In general, calculated COP values are low and smaller than 1. Considering a large number of studies, however, it can be observed that this value is even smaller than 0.1 and COP of vapor compression systems seems to be higher than that of TE by considering working condition, time factor and etc. Obtained results shows that, in both cases COP values decreased during test time and as a result performance of the system is gradually reduced.

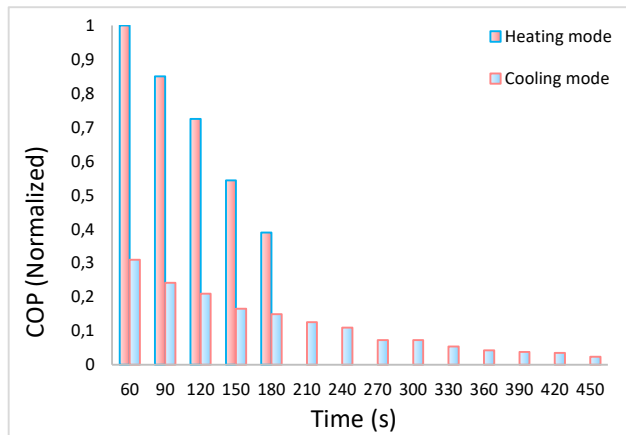


Fig. 6. Normalized COP value for heating and cooling modes

5. CONCLUSION

In this study, air to water Peltier thermoelectric performance has been experimentally investigated to evaluate COP values in different working conditions at heating and cooling modes over the test time.

Cooling mode results of air to water Peltier thermoelectric showed that, temperature of the refrigerator can be dropped to low levels below the freezing temperature of the water. It was revealed that, normalized COP values of heating mode is 233% more than that of cooling mode at first 60 seconds. However, power consumption of cooling mode was more than heating mode.

COP and thermal energy calculations showed that, these values decrease over the time, which is an indication for limited medium that is a closed container.

Nomenclature	
COP	Coefficient of performance
C_p	Specific heat capacity ($J\ kg^{-1}\ K^{-1}$)
I	Electric current (A)
K	Device thermal conductance ($W\ K^{-1}$)
\dot{m}	Flow rate of mass ($kg\ s^{-1}$)
m	Mass (kg)
\dot{Q}	Heat transfer rate (W)
Q	Heat transfer (J)
t	Time (s)
T	Temperature ($^{\circ}C$)
v	Volume (m^3)
V	Voltage (V)
W	Power consumption (W)
TE	Thermoelectric
ρ	Density ($kg\ m^{-3}$)
μ	Dynamic viscosity ($kg\ m^{-1}s^{-1}$)
α	Seebeck coefficient ($V\ K^{-1}$)
Subscripts	
c	Cold side
fa	Fan
h	Hot side
Pe	Peltier
Pu	Water pump

REFERENCES

- [1] Chang Y W. Chang C C. Ke M T. Chen S L., "Thermoelectric air-cooling module for electronic devices", *Applied Thermal Engineering*, 29(13): 2731-2737, (2009).
- [2] Zhao D. Tan G., "A review of thermoelectric cooling: materials, modeling and applications", *Applied Thermal Engineering*, 66(1-2): (2014).
- [3] Navarro-Peris E. Corberan J M. Ancik Z., "Evaluation of the potential recovery of compressor heat losses to enhance the efficiency of refrigeration systems by means of thermoelectric generation", *Applied Thermal Engineering*, 89: 755-762, (2015).
- [4] Afshari F. Comakli O. Lesani A. Karagoz S., "Characterization of lubricating oil effects on the performance of reciprocating compressors in air-water heat pumps", *International Journal of Refrigeration*, 74: 505-516, (2017).
- [5] Zhang H Y., "A general approach in evaluating and optimizing thermoelectric coolers", *International journal of refrigeration*, 33(6): 1187-1196, (2010).
- [6] Yin E. Li Q. Xuan Y., "Thermal resistance analysis and optimization of photovoltaic-thermoelectric hybrid system", *Energy Conversion and Management*, 143: 188-202, (2017).
- [7] Khanlari A. Sözen A. Variyenli H İ., "Simulation and experimental analysis of heat transfer characteristics in the plate type heat exchangers using TiO₂/water nanofluid", *International Journal of Numerical Methods for Heat Fluid Flow*, (2018).
- [8] Khanlari A. Sözen A. Variyenli H İ. Gürü M., "Comparison Between Heat Transfer Characteristics of TiO₂/Deionized Water and Kaolin/Deionized Water Nanofluids in the Plate Heat Exchanger", *Heat Transfer Research*, 50(5): 435-450, (2019).
- [9] Gokcek M. Sahin F., "Experimental performance investigation of minichannel water cooled-thermoelectric refrigerator", *Case Studies in Thermal Engineering*, 10: 54-62, (2017).
- [10] Min G. Rowe D M., "Experimental evaluation of prototype thermoelectric domestic-refrigerators", *Applied Energy*, 83(2): 133-152, (2006).
- [11] Cheng Y H. Shih C., "Maximizing the cooling capacity and COP of two-stage thermoelectric coolers through genetic algorithm", *Applied Thermal Engineering*, 26(8-9): 937-947, (2006).
- [12] Caglar A., "Optimization of operational conditions for a thermoelectric refrigerator and its performance analysis at optimum conditions", *International Journal of Refrigeration*, 96: 70-77, (2018).
- [13] Tan H. Fu H. Yu J., "Evaluating optimal cooling temperature of a single-stage thermoelectric cooler using thermodynamic second law", *Applied Thermal Engineering*, 123: 845-851, (2017).
- [14] Manikandan S. Kaushik S C. Yang R., "Modified pulse operation of thermoelectric coolers for building cooling applications", *Energy Conversion and Management*, 140: 145-156, (2017).

- [15] Enescu D. Ciocia A. Mazza A. Russo A., “Solutions based on thermoelectric refrigerators in humanitarian contexts”, *Sustainable energy technologies and assessments*, 22: 134-149, (2017).
- [16] Dimri N. Tiwari A. Tiwari G N., “Thermal modelling of semitransparent photovoltaic thermal (PVT) with thermoelectric cooler (TEC) collector”, *Energy Conversion and Management*, 146: 68-77, (2017).
- [17] Wang P. Yang B. Bar-Cohen A., “Mini-contact enhanced thermoelectric coolers for on-chip hot spot cooling”, *Heat Transfer Engineering*, 30(9): 736-743, (2009).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

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



İş sağlığı ve güvenliği kapsamında kullanılan kişisel koruyucu donanım miktarının tahminine yönelik bir model

A model for estimating amount of personal protective equipment employed within occupational health and safety

Yazar(lar) (Author(s)): Mehmet Burak ŞENOL¹, Metin DAĞDEVİREN²

ORCID¹: 0000-0002-6418-2486

ORCID²: 0000-0003-2121-5978

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Şenol M.B., Dağdeviren M., “İş sağlığı ve güvenliği kapsamında kullanılan kişisel koruyucu donanım miktarının tahminine yönelik bir model”, *Politeknik Dergisi*, 22(3): 895-900, (2020).

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

DOI: 10.2339/politeknik.723956

İş Sağlığı ve Güvenliği Kapsamında Kullanılan Kişisel Koruyucu Donanım Miktarının Tahminine Yönelik Bir Model

A Model for Estimating Amount of Personal Protective Equipment Employed within Occupational Health and Safety

Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Beyaz eşya sektörü için ihtiyaç duyulan koruyucu maske miktarının tahmini üzerinde duruldu. / The estimation of the amount of protective mask needed for the white goods industry was emphasized.
- ❖ Zaman serilerini içeren en kapsamlı model olan ARIMA 2 farklı parametre seti ile denendi. / ARIMA, most comprehensive model including time series, was tested with 2 different parameter sets.
- ❖ Tahminler koruyucu maskelerin gerçekleşen kullanım miktarlarına yakın sonuçlar verdi. / The estimates gave close results to the actual use of protective masks.

Grafik Özet (Graphical Abstract)

Bu çalışmada, bir beyaz eşya üretim tesisinde ihtiyaç duyulan maske miktarı ARIMA ile tahmin edilmiştir. / In this study, the amount of mask needed in a white goods manufacturing facility was estimated by ARIMA.

Amaç (Aim)

Bu çalışmada Kişisel Koruyucu Donanım (KKD) kullanımlarının tahmini için bir model geliştirilmiştir. / In this study, a model was developed for the prediction of Personal Protective Equipment (PPE) usage.

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Beyaz eşya sektöründe faaliyet gösteren bir işletmede solunum koruyucu maskelerin 2015-2019 yıllarındaki kullanım miktarı incelenmiş, 2020-2022 yılları için maske miktarı ARIMA ile tahmin edilmiştir. / In an enterprise operating in the white goods sector, the amount of use of respiratory protective masks in 2015-2019 was examined, and the amount of masks was estimated by ARIMA for 2020-2022.

Özgünlük (Originality)

KKD kullanımı miktarının tahminine yönelik bir çalışma literatürde görülemez. Bu makalede KKD miktarlarının tespitinde ARIMA modeli ilk kez kullanılmış ve bilimsel/istatistiksel bir yaklaşım ortaya koyulmuştur. / A study for estimating the amount of PPE use could not be seen in the literature. In this article, ARIMA model was used for the first time in determining the amounts of PPE and a scientific / statistical approach was introduced.

Bulgular (Findings)

Tahminler gerçekleşen KKD kullanım miktarlarına yakın sonuçlar vermiştir. ARIMA modeli 2 farklı parametre seti ile denenmiş ve bu setlerden biri 2020 yılının ilk 3 ayında gerçekleşen rakamlara yakınsamıştır. / Estimates gave close results to actual PPE usage amounts. ARIMA model was tried with 2 different parameter sets and one of these sets converged to the figures in the first 3 months of 2020.

Sonuç (Conclusion)

Dijitalleşme çağında insan-makine arakesiti çalışmaları ergonomik açıdan oldukça önemli bir duruma gelmiştir. Operatörün makine başında çalışması ISG tedbirlerinin alınmasına bağlıdır ve KKD kullanımı bu tedbirlerin en başında gelmektedir. Gelecek çalışmalarda işletme genelinde kullanılan tüm kişisel koruyucu donanımlar için de ARIMA yöntemiyle tahminler yapılabilir ve böylelikle KKD maliyetleri düşürülebilir. / In the age of digitalization, human-machine intersection studies have become very important ergonomically. Operation of operator at machine depends on taking OHS measures, and the use of PPE comes first. In future studies, estimations can be made with ARIMA method for all personal protective equipment used throughout the enterprise and PPE costs can be reduced.

Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazarları çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The authors of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

İş Sağlığı ve Güvenliği Kapsamında Kullanılan Kişisel Koruyucu Donanım Miktarının Tahminine Yönelik Bir Model

Araştırma Makalesi / Research Article

Mehmet Burak ŞENOL^{1*}, Metin DAĞDEVİREN²

¹Endüstri Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye
²Yükseköğretim Kurulu, Denetleme Kurulu Başkanlığı, Ankara, Türkiye
 (Geliş/Received :20.04.2020; Kabul/Accepted : 29.04.2020)

ÖZ

İş Sağlığı ve Güvenliği (İSG) çalışmaları incelendiğinde risklerin analizi sürecinde çok farklı yöntemlerin kullanıldığı görülmekle birlikte, risk analizi sonrasında alınacak önlemlerin başında yer alan Kişisel Koruyucu Donanım (KKD) kullanımı miktarının tahminine yönelik bir çalışma literatürde görülemedi. Bu çalışmada işletmelerin KKD kullanımlarının tahmini için Otoregresif Entegre Hareketli Ortalamalar (ARIMA) temel alınarak bir model geliştirilmiştir. Beyaz eşya sektöründe faaliyet gösteren bir işletmede 2015-2019 yıllarındaki solunum koruyucu maskelerin kullanım verileri incelenmiş, 2020-2022 yılları için ortaya çıkabilecek solunum koruyucu maskesi ihtiyacı tahmin edilmiştir. Yapılan tahminlerle KKD kullanım miktarları karşılaştırılarak yöntemimizin etkinliği incelenmiştir. Endüstri çağında insan-makine arasında artan ilişkiler, insana uyumlu işletmelerin oluşturulmasını gerektirmektedir ve bu anlamda ergonomi bilimi, verimliliği artırmak için iş sağlığı güvenliği uygulamalarından istifade edebilir. Yapılan KKD tahminleri solunum koruyucu maskelerin gerçekleştiren kullanım miktarlarına yakın sonuçlar vermiştir. Koruyucu maskelerin kullanım miktarının tahmini için yapılan bu çalışma gelecekte işletme genelinde kullanılan diğer kişisel koruyucu donanımların tahmini için de uygulanabilir.

Anahtar Kelimeler: İş sağlığı ve güvenliği, ergonomi, kişisel koruyucu donanım, tahmin yöntemleri, ARIMA.

A Model for Estimating Amount of Personal Protective Equipment Employed within Occupational Health and Safety

ABSTRACT

When Occupational Health and Safety studies are examined, it is seen that many different methods are employed in the risk analysis process, but there is no study in the literature to estimate the amount of Personal Protective Equipment (PPE) usage, which is one of the precautions to be taken after risk analysis. In this study, a model was developed based on Autoregressive Integrated Moving Averages (ARIMA) for estimation of PPE usage of enterprises. In an enterprise operating in the white goods sector, the usage data of respiratory protective masks in 2015-2019 has been examined and the need for respiratory protective masks that may arise for 2020-2022 has been estimated. The effectiveness of our method was examined by comparing the estimates made with the amount of PPE usage. Increasing relationships between man and machine in the industrial era require the creation of human-compatible businesses, and in this sense, ergonomics can benefit from occupational health and safety practices in order to improve productivity. The PPE estimates made gave close results to the actual use of respiratory protective masks. This study for the estimation of the amount of use of protective masks can also be applied for the prediction of other personal protective equipment used throughout the business in the future.

Keywords: Occupational health and safety, ergonomics, personal protective equipment, forecasting methods, ARIMA.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

İşçilerin iş kazalarına uğramalarını önlemek amacı ile güvenli çalışma ortamını oluşturmak için alınması gereken tedbirler dizisine iş güvenliği denir. İş Sağlığı ve Güvenliği (İSG) kapsamında iş kazalarının sınıflandırılması ve sıklıklarının belirlenmesi, riskin bileşenlerinin ortaya çıkarılması ve alternatif risk değerlendirme metodlarının geliştirilmesi konularında risk analizi ve değerlendirmesi ile ilgili literatürde çok

çeşitli çalışmalar yapılmıştır [1-13]. Risk analizi kapsamında nitel ve nicel birçok metodlar; Sebep-Sonuç Analizi [1], Başlangıç Tehlike Analizi [2], FMEA [3], Bulanık-AHP [4], VIKOR [5] metodları kullanılmıştır. Literatürde ayrıca risk analizine ve çalışanların iş güvenliği bilinçlerinin artırılmasına yönelik çok çeşitli sektörlerde; tıp [5], havacılık [6], otomotiv [7], liman hizmetleri [8], bilgi teknolojilerinde [9] uygulamalar da bulunmaktadır [10]. İş sağlığı güvenliği kapsamında literatürde yer alan risk analiz çalışmalarının bir kısmında da bulanık mantık kullanılmıştır [4-8, 11-13].

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

Literatürdeki ISG çalışmaları incelendiğinde risk analizi sürecinde çok farklı yöntemlerin kullanıldığı görülmekle birlikte, risk analizi sonrasında alınacak önlemlerin başında yer alan Kişisel Koruyucu Donanım (KKD) kullanımı konusunda ihtiyaç duyulabilecek malzeme miktarının tahminine yönelik bilimsel bir uygulama görülemez. Oysa ISG işyerlerinde, işin yürütülmesi sırasında ortaya çıkabilecek tehlikelerden ve sağlığa zarar verebilecek koşullardan, çalışanları korumak ve onlara daha iyi bir çalışma ortamı sağlayabilmek adına yapılan önlemleri ve KKD kullanımını da içermektedir. Bu çalışma, risk analizi sonucunda ihtiyaç duyulabilecek KKD kullanım miktarının tahminine yönelik bir yöntem önerilmesi nedeniyle; literatürdeki risk analizi çalışmalarından ayrılmakta ve literatüre katkı sağlamaktadır. İşletmelerin İSG'ye ayırdıkları bütçe içerisinde KKD maliyetlerinin önemli bir yeri vardır [14]. Risk değerlendirmesi ile KKD ihtiyacı olup olmadığına karar verilir.

İSG açısından risk değerlendirmesi tehlikelerden kaynaklanan riskin büyüklüğünü tahmin etme ve mevcut kontrollerin yeterliliğini dikkate alarak riskin kabul edilebilir olup olmadığına karar verme sürecidir. Risk değerlendirmesinde Hata Türleri ve Etkileri Analizi (FMEA), Hata Ağacı Analizi (FTA), Olay Ağacı Analizi (ETA), Sapma Analizi (SA), Sebep-Sonuç Analizi, Eğer Öyleyse Analizi, Başlangıç Tehlike Analizi gibi nitel veya nicel birçok yöntem kullanılmaktadır. Risk analizi ve değerlendirmesi sonucunda çalışanların KKD kullanarak faaliyetlerine devam etmeleri gerekebilir. İşletmeler ISG maliyetlerini yönetebilmek için KKD kullanımına yönelik doğru tahminlerde bulunmak zorundadırlar. Bunun için, geçmiş KKD verilerinin analiz edilmesi ve uygun tahmin modellerinin oluşturulması gerekmektedir. Bu çalışmada işletmelerin KKD kullanım ihtiyaçlarının tahmini için bir model geliştirilmiştir. Endüstri çağında makine-insan arasındaki artan ilişkiler, insana uyumlu çevre, eşya, makine, ofis vb. fiziksel çevre birimlerinin oluşturulmasını gerektirmektedir. Bu anlamda ergonomi bilimi en önemli üretim faktörü olan işgücünün rahat, kolay ve sağlıklı bir şekilde üretim ve ekonomik faaliyetlerini sürdürebilmesine imkân sağlayacak şekilde fiziksel çevrenin insana uyumlaştırılması üzerinde çalışırken, verimliliği artırmak için iş sağlığı güvenliği uygulamalarından da istifade edilebilir.

KKD tahmin modeli geliştirilirken zaman serilerinden istifade edilmiştir. Bir zaman serisinin t zamanındaki gözlem değeri Y_t olarak gösterilebilir [15]. Y_t tek bir değere sahipse zaman serisi deterministik, Y_t tesadüfi değişkense ve olasılık kurallarına göre çeşitli değerler alabiliyorsa stokastiktir [16]. Ayrıca, zaman serisini oluşturan değişkenin ortalama ve varyansı zamandan bağımsız ise durağan zaman serisi, değilse durağan olmayan zaman serisidir [16]. Box-Jenkins modelleri olarak bilinen stokastik süreç modellerinde zaman serileri durağan veya bazı dönüşümlerle durağan yapılabilen kesikli stokastik süreçlerdir [17]. Otoregresif (AR) modeller ilk defa Yule tarafından, hareketli

ortalama modelleriyse (MA) Shutsky tarafından ileri sürülmüştür [16]. Bu iki modelin birleşimi olan otoregresif hareketli ortalamalar (ARMA) modeli Wald tarafından geliştirilmiştir [17]. Durağan zaman serilerine uygulanabilen ARMA genel stokastik süreç modelinin yanında, durağan olmayan zaman serileri için otoregresif entegre hareketli ortalamalar (ARIMA) modeli önerilmiştir [18].

Beş bölümden oluşan bu çalışmada birinci bölümde çalışmanın önemi ve gerekçesi üzerinde durulmuş ve zaman serileri literatürüne bir giriş yapılmıştır. İkinci bölümde literatürde bulunan otoregresif modeller, hareketli ortalama modelleri ile otoregresif entegre hareketli ortalamalar modelinin teorik altyapısı üzerinde durulmuş; zaman serileriyle ilgili uygulama alanlarına literatürden örnekler verilmiştir. Üçüncü bölümde, model parametrelerini belirleme, hesaplama, kontrol ve tahmin olmak üzere dört aşamadan oluşan yöntemimiz açıklanmıştır. Dördüncü bölümde, ARIMA modelleri kullanılarak beyaz eşya sektöründe faaliyet gösteren ve T.C. Aile, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığınca "Tehlikeli Çalışma Alanı" olarak belirlenmiş bir işletmede yapılan uygulama sonuçları sunulmuştur. İşletmenin KKD tahmin modeli, otoregresif entegre hareketli ortalamalar temel alınarak oluşturulmuş, 2015-2019 yıllarındaki solunum koruyucu maskelerin kullanım verileri incelenmiş, 2020-2022 yılları için ortaya çıkabilecek solunum koruyucu maskesi ihtiyacı tahmin edilmiş ve yapılan tahminlerle gerçekleşen KKD kullanım miktarları karşılaştırılarak yöntemimizin etkinliği incelenmiştir. Yapılan tahminler gerçek verilere oldukça yakın sonuçlar vermiştir. Beşinci bölümde çalışmaya ilişkin değerlendirmeler yapılarak ileriki çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

2. LİTERATÜR (LITERATURE)

Zaman serisine en az parametre ile en iyi uyumu sağlayan stokastik süreç modelinin belirlenmesi halinde, yapılan tahminler daha doğru olacaktır [19]. Bunun için zaman serisinin analiz edilerek serinin özellikleri ve eğimi belirlenmelidir. Genel model sınıfı ve geçici modeller belirlenerek modellerin uygunluğu test edilir. Model uygunsa serinin gelecek dönemlerde aynı eğimi göstereceği varsayımıyla tahminlerde bulunulabilir [20]. Genel model sınıfı ve geçici modellerin belirlenmesinde serinin hata terimlerinin ardışık değerleri arasındaki ilişkisi olan otokorelasyon ile iki değişkenin birlikte değişme ölçüsü olan otokovaryans kullanılır [2]. Bir zaman serisinin durağan olması, serinin zaman içinde belirli bir değere doğru yaklaşması, daha açık bir ifadeyle; sabit ortalama, sabit varyans ve gecikme seviyesine bağlı kovaryansa sahip olmasıdır. [17] Bunun yanında durağan olmama durumu çeşitli sebeplerden kaynaklanabilir, ancak en önemlisi birim köklerdir [16, 21]. Bu durum AR (p) modeli üzerinde gösterilebilir;

$$Y_t = \mu + a_t + \psi_1 a_{t-1} + \psi_2 a_{t-2} + \dots + \psi_p a_{t-p} \quad (1)$$

Doğrusal durağan stokastik süreç modelinin en genel gösterimi Eş.(1)'de verilmiştir. Burada “ μ ve ψ_j ” ler stokastik sürecin sabit parametreleri ve “ $a_t, a_{t-1} \dots a_{t-p}$ ” birbirinden bağımsız ortalamaları sıfır, varyansları σ_a^2 olan normal dağılıma sahip tesadüfi değişkenler hata terimleridir [16, 21]. AR (p) mertebeli otoregresif stokastik süreç modellerini Eş.(1)'den aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$Y_t = \delta + \psi_1 Y_{t-1} + \psi_2 Y_{t-2} + \dots + \psi_p Y_{t-p} + a_t \quad (2)$$

Eş.(2)'de Y_t gözlem değeri; “ $\delta, \psi_1, \psi_2, \dots, \psi_p$ ” sabitleri ile “ $Y_{t-1}, Y_{t-2}, \dots, Y_{t-p}$ ” geçmiş “ p ” döneme ilişkin gözlem değerleri, “ a_t ” ise “ t .” dönem hata teriminin doğrusal fonksiyonudur. $E[Y_t] = E[Y_{t-1}] = E[Y_{t-2}] = \dots = E[Y_{t-p}] = \mu$ ve $E[a_t] = 0$ olduğundan Eş. (3) elde edilir.

$$\mu = E[Y_t] = \delta + \psi_1 \mu + \psi_2 \mu + \dots + \psi_p \mu \quad (3)$$

Eş.(3)'den $\mu = \delta / (1 - \psi_1 - \psi_2 - \psi_3 - \dots - \psi_p)$ bulunur. Bu AR (p) modelinin ortalamasının sabit olduğunu gösterir. Eş. (2)'de “ $y_t = Y_t - \delta$ ” şeklinde farklar alınarak yazılırsa;

$$\gamma_0 = E[Y_t, y_t] = E[Y_t (\psi_1 Y_{t-1} + \psi_2 Y_{t-2} + \dots + \psi_p Y_{t-p} + a_t)] \quad (4)$$

$$\gamma = \psi_1 E[Y_t, Y_{t-1}] + \psi_2 E[Y_t, Y_{t-2}] + \dots + \psi_p E[Y_t, Y_{t-p}] + E[Y_t, a_t]$$

$$E[Y_t, a_t] = E[a_t^2] = \sigma_a^2 \text{ ve } \gamma_0 = \psi_1 \gamma_1 + \psi_2 \gamma_2 + \dots + \psi_p \gamma_p + \sigma_a^2 \quad (5)$$

Aralarında “ k ” dönem fark olan gözlem değerlerinin otokovaryansı ;

$$\gamma_k = E[Y_{t-k}, y_t] = E[Y_{t-k} (\psi_1 Y_{t-1} + \psi_2 Y_{t-2} + \dots + \psi_p Y_{t-p} + a_t)] \quad (6)$$

$$\gamma_k = \psi_1 E[Y_{t-k}, Y_{t-1}] + \psi_2 E[Y_{t-k}, Y_{t-2}] + \dots + \psi_p E[Y_{t-k}, Y_{t-p}] + E[Y_{t-k}, a_t]$$

$$\gamma_k = \psi_1 \gamma_{k-1} + \psi_2 \gamma_{k-2} + \dots + \psi_p \gamma_{k-p} \quad (7)$$

ARIMA modellerinin türetilmesinde sıkça kullanılan Yule-Walker denklemi;

$$g_k = \psi_1 g_{k-1} + \psi_2 g_{k-2} + \dots + \psi_p g_{k-p}; \quad k > 0 \quad (8)$$

Sonuç olarak Eş.(2)'den üretilen AR (1) modeli $Y_t = \delta + \psi_1 Y_{t-1} + a_t$ şeklindedir. Burada “ $\psi=1$ ” olursa, denklem rassal olarak ilerler ve birim kök problemiyle, durağan olmama durumuyla karşılaşırız. Ancak, eğer “ $|\psi| < 1$ ” ise, Y_t zaman serisi durağandır.

Literatürde, elektrik kullanımı, yakıt tüketimi, enerji üretimi-dağıtımı vb. alanlarda zaman serilerine yönelik çalışmalar çoğunluktadır [21,22]. Zaman serileriyle ilgili olarak; sanayi elektrik tüketimi [23], enerji planlaması [24], traktör ihtiyacının belirlenmesi [25], kuraklık beklentileri-yağış miktarının tahmin edilmesi [26], teknoloji kullanımı-yayımları [20] alanlarında çalışmalar bulunmaktadır.

3. YÖNTEM (METHOD)

ARIMA modeli her bir değişkenin kendi geçmiş veya gecikmeli değerleriyle stokastik hata terimleriyle tanımlanabilmesini sağlar. Bir zaman serisini ARIMA (p, q) modelini uygulayabilmek ve durağanlaştırmak

amacıyla “ d ” kere farklılaştırırsak, orijinal zaman serisinin ARIMA (p, d, q) olduğunu söyleyebiliriz [19]. Bir ARIMA modelinde zaman serisi ya durağandır ya da birkaç farklılaşma ile durağanlaştırılmıştır [25]. Yöntemimiz model parametrelerini belirleme, hesaplama, kontrol ve tahmin olmak üzere dört aşamadan oluşur.

Aşama-1 Model parametrelerinin (p, d, q) belirleme:

Otokorelasyon fonksiyonu (ACF), parça otokorelasyon fonksiyonu ve sonuç korelogramı kullanılarak modele uygun parametreler (p, d, q) belirlenir. Korelogram; gecikme uzunluğunda ACF ve PACF'lerin yerini belirler. “ k ” gecikmesindeki ACF, “ g_k ” ile gösterilir; $g_k = \gamma_k / \gamma_0$ ’dır. Burada “ γ_k ”, “ k ” gecikmesinin kovaryansı ve “ γ_0 ” ise varyansdır. Kovaryans ve varyans aynı birimlerle hesaplandığı için “ g_k ” değeri birimsizdir ve “-1, +1” arasında bir değer alır. Zaman serilerinde Y_t ve Y_{t-k} arasındaki korelasyonun temel sebebi, $Y_{t-1}, Y_{t-2}, Y_{t-3}, \dots, Y_{t-k+1}$ arasındaki gecikmelerdir. Parça otokorelasyonu aradaki, Y ’lerin etkisinin çıkarıldığı, Y_t ve Y_{t-k} arasındaki korelasyondur. Eğer, korelogram ve birim kök incelemesi ile göze çarpan bir sonuç elde edilemez ise elimizdeki veri durağan değildir. Dolayısıyla, durağanlık sağlayana kadar veriyi farklılaştırmamız gerekir. Daha sonra, durağanlaştırılan veri ve korelogramına dayanarak modelin parametreleri (p, d, q) belirlenir.

Aşama-2 Hesaplama: Bu aşamada, Aşama 1’de elde edilen model katsayıları hesaplanır.

Aşama-3 Kontrol: Aşama 1’de elde edilen modelin veri setine uyum sağlayıp sağlamadığı kontrol edilir. Aşama 2’de hesaplanan değerler ile gerçek değerler arasındaki farklar bulunur. Farkların otokorelasyonları ile parça korelasyonlarından herhangi birinin istatistiki olarak anlamlı olup olmadığı kontrol edilir. İstatistiki bir anlamlılık yoksa farkların tümüyle rassal olduğu ve başka bir ARIMA modeli aramaya gerek olmadığı kabul edilir.

Aşama-4 Tahmin: Aşama 3.de kontrol edilen ARIMA modeli ile tahminler yapılır [27-28].

4. BULGULAR ve TARTIŞMA (RESULTS and DISCUSSION)

Beyaz eşya sektöründe faaliyet gösteren ve T.C. Aile, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığınca “Tehlikeli Çalışma Alanı” olarak belirlenmiş bir işletmede ARIMA yöntemi kullanılarak bir uygulama yapılmıştır. Bu işletmede KKD kapsamında güvenlik gözlükleri, çapak gözlüğü, kaynakçı gözlüğü, baretler, kulaklıklar, solunum koruyucu maskeler, yüz siperleri, elektrikçi eldivenleri, hassas işler eldiveni, kaynakçı eldivenleri, mekanik işler eldiveni, çelik örgü eldiveni, lateks eldivenler, sıcak işler eldiveni, çelik burunlu ve çelik tabanlı ayakkabılar, anti-statik ESD önlükler, iş tulumları, vb. kullanılmaktadır. Bu işletmede kimyasal işlemler, kaplama ve boyama atölyelerinde sıklıkla

ihtiyaç duyulan ürünlerden biri de maskelerdir, bu nedenle gelecek yıllarda ortaya çıkabilecek maske miktarlarını tahmin etmek için bir model oluşturulmuştur.

Çizelge 1. 2015-2019 yılları arası solunum koruyucu maskelerin kullanım verileri (Usage data of respiratory protective masks between 2015-2019)

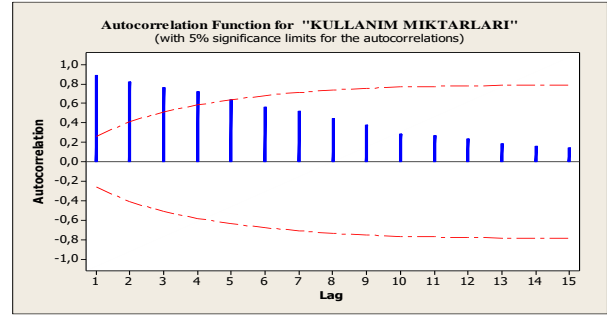
Aylar/Yıllar	2015	2016	2017	2018	2019
Ocak	387	506	488	689	628
Şubat	432	508	496	696	603
Mart	474	505	551	715	609
Nisan	490	507	550	726	608
Mayıs	446	418	566	716	619
Haziran	499	484	608	678	627
Temmuz	500	465	604	648	655
Ağustos	505	489	615	639	639
Eylül	485	392	649	625	630
Ekim	428	490	668	632	665
Kasım	525	481	667	623	691
Aralık	516	489	687	603	689

Aşama-1 Model parametrelerinin (p,d,q) belirlenmesi: İşletmede 2015-2019 yılları arasındaki solunum koruyucu maske kullanımına ait veriler Çizelge 1’de sunulmuştur. ARIMA modeli Çizelge-1’de yer alan veriler esas alınarak oluşturulmuştur. Solunum koruyucu maske kullanımına ait uygun bir ARIMA modeli belirleyebilmek için öncelikle Çizelge 1’deki verilerin durağan olup olmadığı kontrol edilmelidir. Bunun için Çizelge 2’de verilen durağan süreçlerdeki ACF ve PACF’lerin genel davranışları ile Çizelge 1’de sunulan veri setinin zaman serisine ait otokorelasyon fonksiyonu (ACF) ve parça otokorelasyon fonksiyonu (PACF) grafikleri karşılaştırılmalıdır.

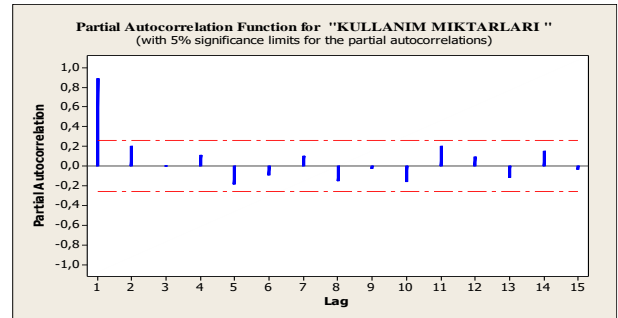
Çizelge 2. Durağan süreçlerde ACF ve PACF’lerin davranışları (Behavior of ACF and PACF in stationary processes)

Model	ACF	PACF
MA (q)	q adım sonra kesilir.	Azalarak 0’a yaklaşır.
AR (p)	Azalarak 0’a yaklaşır.	p adım sonra kesilir.
ARMA (p,q)	Azalarak 0’a yaklaşır.	Azalarak 0’a yaklaşır.

Zaman serisine ait otokorelasyon ve parça otokorelasyon fonksiyonu grafikleri Şekil 1 ve 2’de sunulmuştur. Durağan süreçlerde ACF değerlerinin genel davranışları ile Şekil 1 karşılaştırılırsa, otokorelasyon fonksiyonu üstel bir düşüş göstermekle birlikte 4. gecikmeden sonra kesilmektedir, bu nedenle veri setimizin MA (4) modeline benzediği değerlendirilebilir. Durağan süreçlerde PACF değerlerinin genel davranışları ile Şekil 2 karşılaştırılırsa; parça otokorelasyon fonksiyonu 1. gecikmeden sonra kesilmektedir, bu nedenle veri setimizin AR (1) sürecine benzediği değerlendirilebilir.



Şekil 1. Otokorelasyon fonksiyonu grafiği (Autocorrelation function graph)



Şekil 2. Parça otokorelasyon fonksiyonu grafiği (Part autocorrelation function graph)

Veri setimizin durağan bir yapıda olmaması nedeniyle farklılaştırılması gerekmektedir. Veri setini durağan hale getirmek için ARIMA (0, 1, 4) ve ARIMA (1, 1, 0) modelleri kullanılmıştır. Zaman serisini oluşturan süreç hem geçmiş gözlem değerlerinin etkisini hem de mevsimsel hareketleri içeriyorsa karışık stokastik süreç olarak adlandırılır [15]. ARMA (p, q), modelinin en genel gösterimi Eş.9 ve Eş.10’da verilmiştir.

$$Y_t = \delta + \psi_1 Y_{t-1} + \psi_2 Y_{t-2} + \dots + \psi_p Y_{t-p} + a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2} - \dots - \theta_q a_{t-q} \quad (9)$$

$$W_t = Y_t - Y_{t-1}, \quad W_{t-j} = Y_{t-j} - Y_{t-j-1} \quad (10)$$

Birbirini izleyen gözlem değerlerinin farkları alınarak veri setimizi durağan hale getirebiliriz. ARIMA (p, 1, q) 1. dereceden farkı alınarak durağanlaştırılmış durağan olmayan doğrusal stokastik süreç modellerini Eş. (9) ve Eş. (10) kullanılarak bulabiliriz.

$$W_t = \psi_1 W_{t-1} + \psi_2 W_{t-2} + \dots + \psi_p W_{t-p} + a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2} - \dots - \theta_q a_{t-q} \quad (11)$$

Bu durumda ARIMA (0, 1, 4) ve ARIMA (1, 1, 0) modelleri şu şekilde olur;

$$\text{ARIMA (0, 1, 4)} \quad W_t = a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2} - \theta_3 a_{t-3} - \theta_4 a_{t-4}$$

$$\text{ARIMA (1, 1, 0)} \quad W_t = \psi_1 W_{t-1} + a_t \quad (12)$$

Aşama-2 Hesaplama: Eş. (11) kullanılarak elde edilen ARIMA (0, 1, 4) ve ARIMA (1, 1, 0) modellerinin katsayıları hesaplanmıştır. Aşağıdaki aşamalarda modeller incelendiğinde modellerin her ikisinin de verilere uyduğu ($p > 0,05$) görülmektedir.

Aşama-3 Kontrol: Modified Box-Pierce test sonuçları da tüm gecikmelerde ($m = 12, 24, 36$ ve 48) yüksek p değerleri vererek ($p > 0,05$) modellerin uygunluğunu desteklemektedir [18]. ARIMA modeli seçiminde öncelikli tercih en az parametre ile en iyi uyumu sağlayan modele verilmektedir. Bu çalışmada ARIMA (0, 1, 4) modeli (parametreler: $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \sigma_a^2$), ARIMA (1, 1, 0) modeline (parametreler: ψ_1, σ_a^2 ve $s_{1,1,0}^2$) göre daha fazla parametre içermektedir, ancak ortalama kareler ($s_{0,1,4}^2 = 987,2 < s_{1,1,0}^2 = 1021,3$) açısından ARIMA (0, 1, 4) veri setimize daha iyi uyum sağlamıştır.

Aşama-4 Tahmin: Çizelge 3'de ARIMA (0, 1, 4) ve ARIMA(1, 1, 0) modellerinin 2020-2022 yılları için tahmin değerleri yer almaktadır. İki ARIMA modeliyle de elde edilen tahmin değerlerinin yükselen bir trend içinde olduğu görülmektedir.

Çizelge 3. Solunum koruyucu maske tahmin sonuçları (Respiratory protective masks predictions)

Ay	ARIMA (1,1,0)			ARIMA (0,1,4)		
	2020	2021	2022	2020	2021	2022
Ock	695,24	750,58	814,45	693,24	749,58	818,37
Şub	700,05	755,74	815,24	698,35	758,26	819,75
Mrt	702,02	760,14	820,61	704,15	769,83	827,17
Nis	709,65	769,35	825,92	708,74	778,25	829,73
May	712,41	778,72	828,84	713,96	784,53	837,94
Haz	719,78	779,47	838,79	718,83	785,34	845,79
Tem	722,14	788,25	840,38	725,16	790,13	849,53
Ağs	729,25	789,55	844,57	730,29	794,63	848,39
Eyl	733,78	798,12	850,69	735,25	802,46	858,02
Ekm	736,15	791,78	858,42	738,48	798,50	862,40
Kas	743,32	804,25	860,18	745,32	807,61	867,13
Ara	748,21	808,14	867,38	752,18	809,41	879,62

ARIMA tahminleri, 2020 yılı ilk 3 aylık dönemi için gerçekleşen KKD kullanım miktarları ile ortalama mutlak sapma ve ortalama mutlak hata yüzdesi açısından karşılaştırılmıştır. ARIMA (0, 1, 4) modeli $12,83$ ortalama mutlak sapma ile $1,87$ ortalama mutlak hata yüzdesine ve ARIMA (0, 1, 1) modeli $16,45$ ortalama mutlak sapma ile $2,31$ ortalama mutlak hata yüzdesine sahiptir. Bu değerlere göre yapılan karşılaştırmada da ARIMA (0, 1, 4) modeli ile yapılan tahminler gerçek verilere daha yakın sonuçlar vermekte, ortalama kareler ile yapılan değerlendirme sonuçlarını ($s_{0,1,4}^2 = 987,2 < s_{1,1,0}^2 = 1021,3$) desteklemektedir.

Sonuç olarak katsayıların da modele dâhil edilmesiyle solunum koruyucu maskeler için tahmin modelimiz ARIMA (0, 1, 4), $W_t = 4,965 - 0,3511a_{t-1} + 0,1398a_{t-2} - 0,1149a_{t-3} + 0,3302a_{t-4}$ şeklinde belirlenmiştir. Endüstri çağında makine-insan arasındaki artan ilişkiler, insana uyumlu çevre, eşya, makine, ofis, vb. gibi fiziksel çevre birimlerinin oluşturulmasını gerektirmektedir. Bu anlamda ergonomi bilimi en önemli üretim faktörü olan işgücünün rahat, kolay ve sağlıklı bir şekilde üretim ve ekonomik faaliyetlerini sürdürebilmesine imkân sağlayacak şekilde fiziksel çevrenin insana uyumlaştırılması üzerinde çalışırken verimliliği artırmak

için iş sağlığı güvenliği uygulamalarından da istifade edilebilir. İşletmelerin İSG'ye ayırdıkları bütçe içerisinde KKD maliyetlerinin önemli bir yeri vardır. İşletmeler KKD giderlerini yönetebilmek için KKD kullanımına yönelik doğru tahminlerde bulunmak zorundadırlar. Bunun için, geçmiş KKD verilerinin analiz edilmesi ve uygun tahmin modelleri oluşturulması gerekmektedir.

5. SONUÇ (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada işletmelerde KKD kullanım ihtiyaçlarının tahmini için zaman serilerinden istifade edilerek bir model geliştirilmiştir. Beyaz eşya sektöründe faaliyet gösteren bir işletmenin KKD tahmin modeli, otoregresif entegre hareketli ortalamalar temel alınarak oluşturulmuştur. 2015-2019 yıllarındaki solunum koruyucu maskelerin kullanım verileri incelenmiş, 2020-2022 yılları için ortaya çıkabilecek solunum koruyucu maske ihtiyacı tahmin edilmiş ve yapılan tahminlerle 2020 yılının ilk üç ayında gerçekleşen KKD kullanım miktarları karşılaştırılarak yöntemimizin etkinliği incelenmiştir. ARIMA (0, 1, 4) modelinde elde edilen tahminler gerçek verilere daha yakın sonuçlar vermiştir.

Gelecek çalışmalarda işletme genelinde kullanılan tüm kişisel koruyucu donanımlar; güvenlik gözlükleri, baretler, kulaklıklar, elektrikli eldivenleri, çelik burunlu ve çelik tabanlı ayakkabılar, anti-statik ESD önlükler, iş tulumları, vb. için de ARIMA temel alınarak tahminler yapılabilir. Bunun yanında, işletmelerin KKD kullanımını optimize etmeye yönelik bir atama modeli ya da makine çizelgelemeyle birlikte KKD atamasını da planlayan bir çizelgeleme modeli geliştirilebilir. Matematiksel modellerin sonuçları ile yapılan tahminler karşılaştırılarak optimum bir KKD ihtiyaç planlaması yapılabilir. Böylelikle işletmelerin İSG'ye ayırdıkları bütçe içerisinde önemli bir yer tutan KKD maliyetleri düşürülebilir.

Literatürdeki İSG çalışmaları incelendiğinde risklerin analizi sürecinde çok farklı yöntemlerin kullanıldığı görülmekle birlikte, risk analizi sonrasında alınacak önlemlerin başında yer alan KKD kullanımı konusunda ihtiyaç duyulabilecek malzeme miktarının tahminine yönelik bilimsel bir uygulama görülemediği. Bu çalışma, risk analizi sonucunda ihtiyaç duyulabilecek KKD kullanım miktarının tahminine yönelik bir yöntem önerilmesi nedeniyle; literatürdeki diğer risk analizi ve İSG çalışmalarından ayrılmakta ve literatüre katkı sağlamaktadır.

ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazarları çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Marhavilas P.K., Koulouriotis D., Gemeni V., “Risk analysis and assessment methodologies in the work sites: on a review, classification and comparative study of the scientific literature of the period 2000–2009”, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 24(5): 477-523, (2011).
- [2] Pinto A., Nunes I.L., Ribeiro R.A., “Occupational risk assessment in construction industry—overview and reflection”, *Safety Science*, 49(5): 616-624, (2011).
- [3] Zhang Z., Chu X., “Risk prioritization in failure mode and effects analysis under uncertainty”, *Expert Systems with Applications*, 38: 206-214, (2011).
- [4] Padma T., Balasubramanie P., “A fuzzy analytic hierarchy processing decision support system to analyze occupational menace forecasting the spawning of shoulder and neck pain”, *Expert Systems with Applications*, 38: 15303-15309, (2011).
- [5] Liu H.C., Liu L., Liu N., Mao L. X., “Risk evaluation in failure mode and effects analysis with extended VIKOR method under fuzzy environment”, *Expert Systems with Applications*, 39: 12926-12934, (2012).
- [6] Hadjimichael M., “A fuzzy expert system for aviation risk assessment”, *Expert Systems with Applications*, 36: 6512-6519, (2009).
- [7] Kutlu A.C., Emekçioğlu M., “Fuzzy failure modes and effects analysis by using fuzzy TOPSIS based fuzzy AHP”, *Expert Systems with Applications*, 39: 61-67, (2012).
- [8] Mokhtari K., Ren J., Roberts C., Wang J., “Decision support framework for risk management on sea ports and terminals using fuzzy set theory and evidential reasoning approach”, *Expert Systems with Applications*, 39: 5087-5103, (2012).
- [9] Fan Z.P., Suo W.L., Feng B., “Identifying risk factors of it outsourcing using interdependent information: an extended DEMATEL method”, *Expert Systems with Applications*, 39: 3832-3840, (2012).
- [10] Ceylan H., Başhelvacı V.S., “Risk analysis with risk assessment matrix method: an application”, *International Journal of Engineering Research and Development*, 3(2): 25-33, (2011).
- [11] Samantra C., Datta S., Mahapatra S.S., “Risk assessment in it outsourcing using fuzzy decision-making approach: an Indian perspective”, *Expert Systems with Applications*, 41: 4010-4022, (2014).
- [12] Mandal S., Maiti J., “Risk analysis using FMEA: fuzzy similarity value and possibility theory based approach”, *Expert Systems with Applications*, 41: 3527-3537, (2014).
- [13] Yılmaz N., Şenol, M.B., “İş sağlığı ve güvenliği risk değerlendirme süreci için bulanık çok kriterli bir model ve uygulaması”, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 32(1): 77-87, (2017).
- [14] Personal protective equipment guidelines for health care facility staff, *Annals of Emergency Medicine*, 68(3): 406-407, (2016).
- [15] Montgomery D. C., Jennings C., Kulahci M., “*Introduction to time series analysis and forecasting*”, USA, (2008).
- [16] Lu Y., AbouRizk S.M., “Automated box–jenkins forecasting modeling”, *Automation in Construction*, 18(5): 547-558, (2009).
- [17] Lee C.M., Ko C.N., “Short-term load forecasting using lifting scheme and ARIMA models”, *Expert Systems with Applications*, 38(5): 5902-5911, (2011).
- [18] Ediger V. Ş., Akar S., “ARIMA forecasting of primary energy demand by fuel in Turkey”, *Energy Policy*, 35(3): 1701-1708, (2007).
- [19] Erdoğdu E., “Electricity demand analysis using cointegration and ARIMA modelling: a case study of Turkey”, *Energy Policy*, 35: 1129-1146, (2007).
- [20] Christodoulos C., Michalakelis C., Varoutas D., “Forecasting with limited data: combining ARIMA and diffusion models”, *Technological Forecasting and Social Change*, 77(4): 558-565, (2010).
- [21] Pappas S.Sp., Ekonomou L., Karamousantas D.Ch., Chatzarakis G.E., Katsikas S.K., Liatsis P., “Electricity demand loads modeling using autoregressive moving average (ARMA) models”, *Energy*, 33: 1353-1360, (2008).
- [22] Bianco V., Manca O., Nardini S., “Electricity consumption forecasting in italy using linear regression models”, *Energy*, 34: 1413-1421, (2009).
- [23] Dilaver Z., Hunt L.C., “Industrial electricity demand for Turkey: a structural time series analysis”, *Energy Economics*, 33(33): 426-436, (2011).
- [24] Abdel-Aal R.E., Al Gami A.Z., “Forecasting monthly electric energy consumption in esatern saudi arabia using univariate time series analysis”, *Energy*, 22(11): 1059-1069, (1997).
- [25] Unakıtan G., Akdemir B., “Tractor demand projection in Turkey”, *Biosystems Engineering*, 97(1): 19-25, (2007).
- [26] Yurekli K., Kurunc A., “Simulating agricultural drought periods based on daily rainfall and crop water consumption”, *Journal of Arid Environments*, 67: 629-640, (2006).
- [27] Chavez S.G., Bernat J.X., Coalla H.C., “forecasting energy production and consumption in northern Spain”, *Energy*, 24, 183-198, (1999).
- [28] Zhang G.P., “Time series forecasting using hybrid ARIMA and neural network model”, *Neurocomputing*, 50: 159-175, (2001).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

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



Estimations of stress concentration factors C_w/K_{ts} for helical circular/square cross sectional tension-compression springs and artificial neural network modelling

Helisel daire/kare kesitli çekme-basma yayları için gerilme yığılma faktörü (C_w/K_{ts}) nün yapay sinir ağı modeliyle tahmin edilmesi

Yazar(lar) (Author(s)): Murat Tolga OZKAN¹, Ihsan TOKTAS², Sükrü Kaan DOGANAY³

ORCID¹: 0000-0001-7260-5082

ORCID²: 0000-0002-4371-1836

ORCID³: 0000-0003-3608-6662

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz(To cite to this article): Ozkan M.T., Toktas I. and Doganay S.K., “Estimations of stress concentration factors C_w/K_{ts} for helical circular/square cross sectional tension-compression springs and artificial neural network modelling”, *Politeknik Dergisi*, 23(3): 901-908, (2020).

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

DOI: 10.2339/politeknik.718550

Estimations of Stress Concentration Factors (C_w/K_{ts}) for Helical Circular/Square Cross Sectional Tension-Compression Springs and Artificial Neural Network Modelling

Highlights

- ❖ Stress concentration factor (C_w/K_{ts})
- ❖ Helical circular/rectangular springs design
- ❖ Artificial neural networks (ANN)
- ❖ Circular and square cross sectional tension-compression springs

Graphical Abstract

In this study contains stress concentration factor for Circular / Square Cross sectional Springs. Experimental results collected and a ANN model was developed.

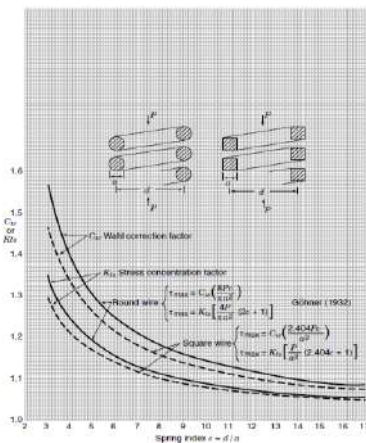


Chart. A

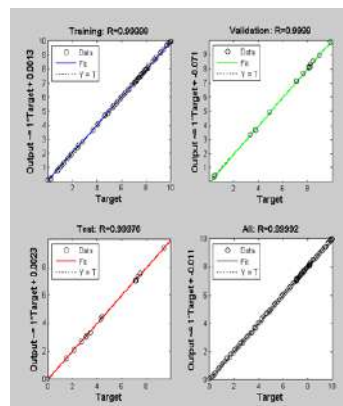


Figure. A



Figure. B

Aim

This study is the determination of stress concentration factor (C_w / K_{ts}) with artificial intelligence technique for circular and square cross-sectional springs

Design & Methodology

Experimental results were digitized and an ANN model was developed for the related problem.

Originality

In the study, a new method has been presented for the precise and direct determination of the stress concentration factor (C_w / K_{ts}), which has been obtained by experimental studies before, without any digitization, determined by the graphic reading technique.

Findings

It is provided to determine the stress stress factor (C_w / K_{ts}) easily for circular or square cross section springs.

Conclusion

Stress concentration factor (C_w / K_{ts}) for springs with different cross-sectional shapes is provided to be defined easily and quickly, without being dependent on any table or equation.

Declaration of Ethical Standards

The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission

Helisel Daire/Kare Kesitli Çekme-Basma Yayları İçin Gerilme Yığılma Faktörünün (Cw/Kts) Yapay Sinir Ağı Modeliyle Tahmin Edilmesi

Araştırma Makalesi / Research Article

Murat Tolga OZKAN¹, Ihsan TOKTAS², Sukru Kaan DOGANAY^{3*}

¹Teknoloji Fakültesi, Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi, Türkiye

²Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Türkiye

^{3*}Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 11.04.2020 ; Kabul/Accepted : 27.04.2020)

ÖZ

Yaylar, makine tasarımında yük altında göstermiş oldukları elastik deformasyon karakteristikleri ve enerji depolama özelliklerinden dolayı çok farklı amaçlar için kullanılırlar. Yayların birçok çeşidi ve farklı profil şekilleri mevcuttur. Dairesel kesitli, düşük helis adımlı helisel bir çekme-basma yayı için, Wahl faktörü (Cw), yay tasarımı için genellikle yay telinin eğrilik yarıçapı ve kayma gerilmesi kullanılır. Dairesel kesitli bir çekme-basma yayının gerilme yoğunluğu faktörünün belirlenmesi için, nominal kayma gerilmesi τ_{nom} ; burulma (τ) ve kesme gerilmelerinin (τ) toplamı biçiminde mukavemet teorileri dikkate alınarak hesaplanır. Kare kesitli bir çekme-basma yay içinde yine gerilme yoğunluğu faktörünün belirlenmesi için, nominal kayma gerilmesi τ_{nom} ; burulma (τ) ve kesme gerilmelerinin (τ) toplamı biçiminde mukavemet teorileri dikkate alınarak hesaplanır. Tasarım hesaplamalarında daha kolay bir metod olan Wahl faktörünün kullanılması tavsiye edilmektedir. Cw veya Kts kullanılsa da aynı maksimum değer elde edilir. Bu çalışmada, gerilim yoğunluk faktörü ve Wahl faktörünün belirlenmesini ihtiva etmektedir. Bu amaçla dairesel ve kare kesitli yaylar için daha önceden deneysel olarak elde edilmiş olan gerilme yığılma faktörü eğrileri sayısal hale dönüştürülmüştür. Bu sayısal veriler bir excel tablosunda tasnif edilmiştir. Elde edilen excell verileri kullanılarak bir YSA (Yapay Sinir Ağı) modeli geliştirilmiştir., Yay tasarımı için gerilme yığılma ve Wahl faktörünün belirlenmesi için kolay ve kullanışlı bir metod olan YSA modeli sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Gerilme yoğunluk faktörü (Cw/Kts), yay, yapay sinir ağı (YSA).

Estimations of Stress Concentration Factors (Cw/Kts) For Helical Circular/Square Cross Sectional Tension-Compression Springs And Artificial Neural Network Modelling

ABSTRACT

Springs are used for various purposes in machine design as they can store energy under load, due to their elastic deformation characteristics. There are many types and profiles of springs. For a round wire helical compression or tension spring of small pitch angle, the Wahl factor, a correction factor (Cw) taking into account curvature and direct shear stress, is generally used in the design. The corresponding stress concentration factors, which may be useful for mechanics of materials problems, are obtained by taking the nominal shear stress τ_{nom} as the sum of the torsional stress (τ) and the direct shear stress (τ) for round wire. In the case of the wire of square cross-section, τ_{nom} is the sum of the torsional stress and the direct shear stress. For design calculations it is recommended that the simpler Wahl factor be used. The same value of max will be obtained whether one uses Cw or Kts. This study contains the determination of stress concentration factor and Wahl factor. For this aim, stress concentration factor charts were converted numerical values for round and square wires. These values were collected in an excel file. ANN (Artificial Neural Networks) model was developed using the data. It is an easy and convenient method, ANN model, was presented for the determination of stress concentration and Wahl factor for spring design.

Keywords: Stress concentration factor(Cw/Kts), spring, artificial neural network(ANN).

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta : etmkaan@gmail.com

1. INTRODUCTION

Stress concentration is one of the most important factors to be considered in the design of machine elements. Generally, the parts of the machine are subject to difficulties according to their location. This leads to regions where the machine part is deformed suddenly depending on the shape of the machine part. The basic principle in design; the maximum stress in the material where the stress value does not exceed the design material resistance is considered to be performed correctly in a logical framework.

Springs are flexible machine elements used for controlled application of force (or torque) or for storing and release of mechanical energy. Flexibility (elastic deformation) is enabled due to cleverly designed geometry or by using flexible material. Generally, coils of loaded spring are under combined stress (compression/tension, bending, torsion and shear). In most cases springs have relatively small helix angle and small Spring index ($C=D/d$), therefore compression stress and bending stress can be omitted. Maximum stress can be computed by the superposition of torsion stress and direct shear stress. The curvature of the wire (helix shape) increases the stress on the inside of the spring and decreases it on outside. Curvature effect together with shear-stress augmentation factor can be defined by Wahl factor or Bergsträsser factor. Because the results of these factors differ by less than 1%, Bergsträsser factor is preferred. Stresses in the hook ends of tension springs are usually higher than stresses in the coils of the spring. Stress-augmentation factors are used to determine these stresses. An analytical approach is not so developed for rectangular wire like for round wire. Parameters from tables etc.

The first studies about springs were performed by Haringx (1948), Wahl (1963), Mottershead (1980), Cook and Young (1985), Belingardi (1988), Haktanir and Kiral (1993), Haktanir (1994, 1995) and Alghamdi (1991), Omurtag and Akoz (1992), Akoz and Kadioglu (1996) and Batoz and Triki (1995) [1-12]. In the literature some of the numerical studies and the other were used new methods FEM, BEM etc for stress – strain, curvature pitch, distortion to different loading conditions. Fundamental reference belongs to Wahl who was investigated wire of the spring as a round bar under the a shear and torque states. The later studies were for a rectangular cross-section helical compression spring using 3D stiffness matrix method. Spring stiffness was determined using strain energy methods and 2th Castigliano theorem. In this study was included a geometric form of springs; pitch, a curvature of wire according to bending and twisting moments and shear force [13]. Forrester determined the three-dimensional stiffness matrix of a rectangular cross-section helical compression spring. The stiffness of this spring is derived using strain energy methods and Castigliano's second theorem. The resulting stiffness takes into account the bending moments, the twisting moments, and the transverse shear forces [14]. In addition, the spring's geometric form which includes the effects of pitch, the

curvature of wire and distortion are taken into consideration. Then a finite element model was generated and the stiffness matrix was evaluated by applying a unit

load along the spring's axis. Stress analysis is also one of the themes of research in helical springs. Investigations in this area began early with Ancher and Goodier who used the boundary elements method to apply the elasticity theorem and to develop an approximation result to satisfy governing equations and boundary conditions along the surface of the coil [15 -17]. Kamiya and Kita were investigated the spring helical angle using BEM method [18]. Jiang and Henshell were researched stress problems in circular cross-section helical springs. A general and accurate finite element model for a circular cross-sectional spring subject to axial loads (extension or/and torsion) was developed using FEM methods [19, 20].

Kotaro Watanabe et al. a new type rectangular wire helical spring was contrived by the authors is used as suspension springs for rally cars, the stress was checked by FEM analysis theory on the twisting part. The spring characteristic of the suspension helper spring in a body is clarified. Manufacturing equipment for this spring is proposed [21].

Gumus et al, a software was designed about the design of helical spring. A wide range of information was given in this program about spring samples, spring materials, spring equations, spring standards, spring producing, spring producers. In calculate the part of the program, the force-displacement calculations of helical compression and extension spring were done whose wire diameter, body diameter, coil number was defined. Also, restricts were given as outer diameter, inner diameter to these springs so it was realized spring dimensions were optimized to minimum outer volume or minimum material. In addition, the deformation analysis of helical coil spring was done and the obtained spring index values were compared to values obtained from the equation. The obtained datas were added to program [22].

Different methods were used in the literature to determination of stress concentratin factor. Among the one is Artificial Neural Network Methods besides FEM, BEM, numerical solution etc.

In this study aim is determination of the stress factors C_w and K_t s for helical round or square wire compression or tension springs. The stress concentration factor was modelled with an ANN. Emprical (charts) data and ANN model performance were compared with each other.

2. MATERIAL AND METHOD

In this study, stability conditions of machine elements against stress in terms of stress concentration are examined in general. To what extent the machine parts can be challenged depends on the strength of the product, the design of the product and the material properties. Machine parts can be found under different difficulties according to work environments. The irregularities in shape, the channels, the notches the design of the machine element can change the stress of the product. Different methods (FEM, photoelastic, experimental

numerical, statistical, artificial intelligence techniques, etc.) were used to investigate the stress conditions of the machine element in more detail.

Previously obtained from experimental and validated data tables are already available and are used in the design. The main problem here is that there are no mathematical formulas for these tables. The user only obtains these values by reading the relevant table. Value reading from the table is a very tedious and error-prone process. The values obtained vary from user to user. Since these are required for each user to obtain the same amount and these have been converted into numerical values from graphics with high computer technology software. Converted numerical values were classified in an excel file according to their origin. A new ANN model was created in the sensitivity that the classical regression model can not reach. It is necessary to increase the equation of degree to improve the sensitivity of the formula in the classical regression. When degree of equation increases, calculation becomes quite difficult to obtain a result by using these equations. The user has the advantage of obtaining direct results without having use any formulas prepared software in Matlab. A helical spring may be regarded as a curved bar subjected to a twisting moment and a direct shear load [23]. The final paragraph in the preceding section applies to helical springs. For a round wire helical compression or tension spring of small pitch angle, the *Wahl* factor, C_w , a correction factor taking into account curvature and direct shear stress, is generally used in design (see Chart 1) [2, 25].

For round wire;

$$C_w = \frac{\tau_{max}}{\tau} = \frac{4c-1}{4c-4} + \frac{0.615}{c} \tag{1}$$

$$\tau = \frac{\tau(a/2)}{J} = \frac{P(d-2)}{\pi a^3/16} = \frac{8Pd}{\pi a^3} = \frac{8Pc}{\pi a^2} \tag{2}$$

where T is the torque, P is the axial load, c is the spring index d/a , d is the mean coil diameter, a is the wire diameter, and J is the polar moment of inertia. For square wire $b=h=a$ the shape correction factor α is $\alpha=0.416$ [29]. Here a is the width and depth of the square wire. Then $1/\alpha=2.404$ and

$$C_w = \frac{\tau_{max}}{\tau} \tag{3}$$

$$\tau_{max} = \tau \left(1 + \frac{1.2}{c} + \frac{0.56}{c^2} \right) = \frac{0.5}{c^3} \tag{4}$$

$$\tau = \frac{Pd}{\alpha a^3} = \frac{2.404Pd}{a^3} = \frac{2.404Pc}{a^2} \tag{5}$$

The corresponding stress concentration factors, which may be useful for mechanics of materials problems, are obtained by taking the nominal shear stress τ_{nom} as the sum of the torsional stress τ of Eq. (2) and the direct shear stress $\tau=4P/\pi a^2$ for round wire. In the case of the wire of square cross section, τ_{nom} is the sum of the torsional stress of Eq. (5) and the direct shear stress $\tau=P/a^2$. For round wire,

$$K_{ts} = \frac{\tau_{max}}{\tau_{nom}} = K_{ts} = \frac{\left(\frac{8Pd}{\pi a^3}\right)[(4c-1)/(4c-4)] + 4.92P/\pi a^2}{\frac{8Pd}{\pi a^3} + 4P/\pi a^2} \tag{6}$$

$$K_{ts} = \frac{2c[(4c-1)/(4c-4)] + 1.23}{2c+1} \tag{7}$$

$$\tau_{max} = K_{ts} \left[\frac{4P}{\pi a^2} (2c + 1) \right] \tag{7}$$

$$K_{ts} = \frac{\left(\frac{2.404Pd}{a^3}\right)\left(1 + \frac{1.2}{c} + \frac{0.56}{c^2} + \frac{0.5}{c^3}\right)}{2.404Pd/a^3 + P/a^2} \tag{8}$$

$$K_{ts} = \frac{2.404c\left(1 + \frac{1.2}{c} + \frac{0.56}{c^2} + \frac{0.5}{c^3}\right)}{2.404c+1} \tag{8}$$

$$\tau_{max} = K_{ts} \left[\frac{P}{a^2} (2.404c + 1) \right] \tag{9}$$

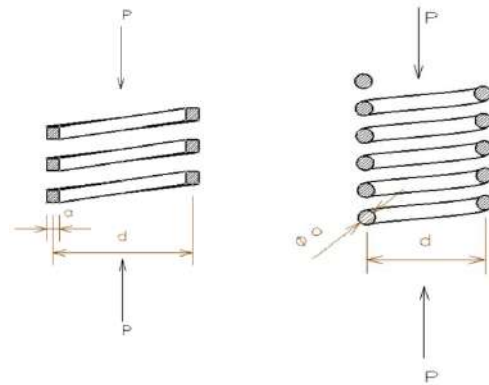


Figure 1. Model of for helical round or square wire

Values of C_w and K_{ts} are shown in Chart 1. K_{ts} is lower than the correction factor C_w . For design calculations it is recommended that the simpler Wahl factor be used. The same value of τ_{max} will be obtained whether one uses C_w or K_{ts} . The effect of pitch angle has been determined by Ancker and Goodier [24]. Up to 10° the effect of pitch angle is small, but at 20° the stress increases sufficiently so that a correction should be made.

3 ARTIFICIAL NEURAL NETWORK(ANN) MODEL

ANN is a sub-field of Artificial Intelligence. ANN has a mathematical operational context in its back ground. ANN works with different learning algorithms. A neuron is the basic element of ANN. Neurons duties, shapes and sizes can be varied. Neurons activities are important. An ANN may be seen as a black box which contains hierarchical sets of neurons (e.g., processing elements) producing outputs for certain inputs. Each processing element consists of data collection, processing the data and sending the results to the relevant consequent element. The whole process may be viewed in terms of the inputs, weights, the summation function, the activation function and outputs (Figure 2) [26-31]. A neural network usually consists of inputs layer, hidden layers, and output layers (Figure 2). In this study contains stress concentration factors C_w and K_{ts} for helical round or square wire compression or tension springs. Peterson's stress concentration factor charts [2, 25] were investigated. These charts are drawn as a result of the experimental study and are not identified by a mathematical function. These charts are still used today to define the stress concentration. It is necessary to read the data in these curves when defining the stress concentration for a particular problem. Value reading from the table is a very tedious and error-prone process. The values obtained vary from user to user. Since these

are required for each user to obtain the same amount and these have been converted into numerical values from graphics with high computer technology software.

ANN. Figure 7 shows. Error Histogram of ANN and Figure 8 shows The ANN predictions; Training, Test and Validation performance. These figures have been getting

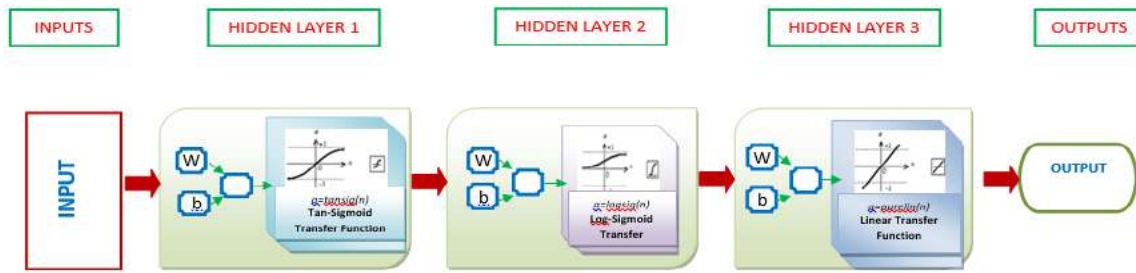


Figure 2. Basic artificial neural network model

Numerical data was created for these curves. An ANN database was created using these data and a new ANN model was developed. The data were obtained according to study parameters that have 1853 lines x 3 columns. Among them, 30% of data have been randomly selected and used as the test data and the other 70 % data were used training data. Profile type (rounded / square), $c=d/a$ and C_w or K_{ts} (Table 1) [2, 25] are determination of the stress concentration factor C_w and K_{ts} for helical compression or tension springs of round or square wire.

Table 1. Stress concentration factors C_w and K_{ts} for helical round or square wire compression or tension springs

Profile type	$c=d/a$	C_w or K_{ts}
Square – wire		1.13
Rounded - wire	3-17	1.8

These parameters were used as input-layer, LM (Levenberg-Marquardt) algorithm and MLP (Multi Layer Perception) were used in the ANN model. Profile type (rounded / square), $c=d/a$ were used as input-layer and C_w or K_{ts} were used as output-layer of the ANNs. In the ANN model, tansig, logsig and purelin transfer functions (f) have been used and expressed as follows (Eqs 10-13) [26-31]:

$$NET_i = \sum w_{ij} \cdot x_j + w_{bi} \tag{10}$$

$$a = \text{tansig}(n) = \frac{2}{(1+e^{-2n})} - 1 \tag{11}$$

$$a = \text{logsig}(n) = \frac{1}{(1+e^{-n})} \tag{12}$$

$$a = \text{purelin}(n) \tag{13}$$

n : Number of processing elements in the previous layer where NET is the weighted sum of the input.

An ANN model was developed using Matlab NN tool. For this aim a new ANN code has been prepared and developed. Different models have been tested. The best model was determined. Figure 3 shows Improved an ANN Model using MATLAB. Figure 4 shows the best training performance of ANN model. Figure 5 shows Training performance of ANN and Figure 6 shows the best validation performance of

from prepared Matlab code. ANN model results were compared with the statistically. Table 2 shows Statistical Performance of Training Step. The back propagation learning algorithm has been used with Scaled Conjugate Gradient (SCG) learning algorithm and Levenberg-Marquardt (LM) learning algorithm versions at the training and testing stages of the Networks. The number of hidden layers and the number of neurons for each hidden layer were determined. Then, the number of iterations were entered by the user, and the training starts. The training continues either to the end of the iterations or reaching the target level of errors.

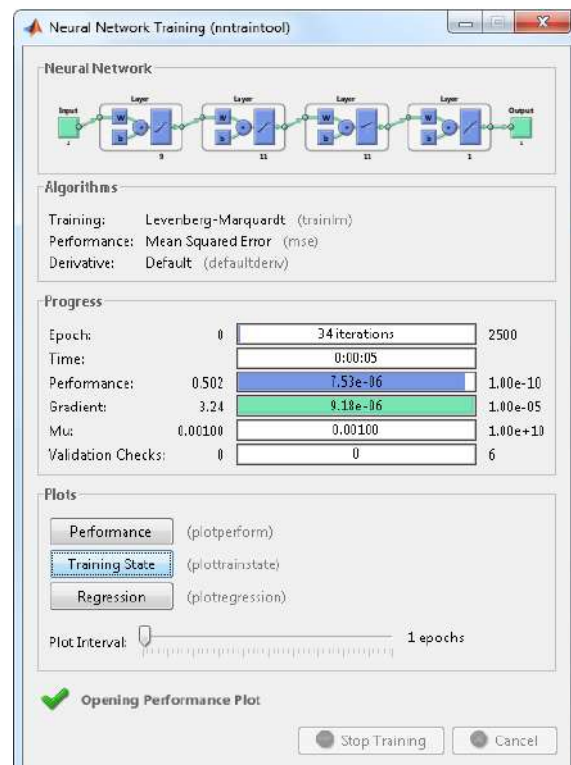


Figure 3. Improved an ANN Model using MATLAB

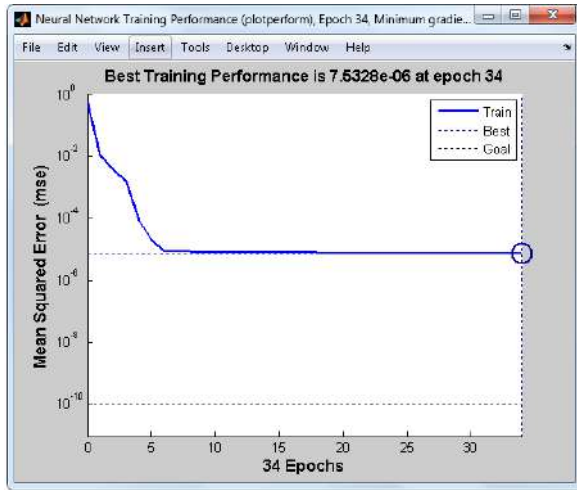


Figure 4.. Best Training performance of ANN model

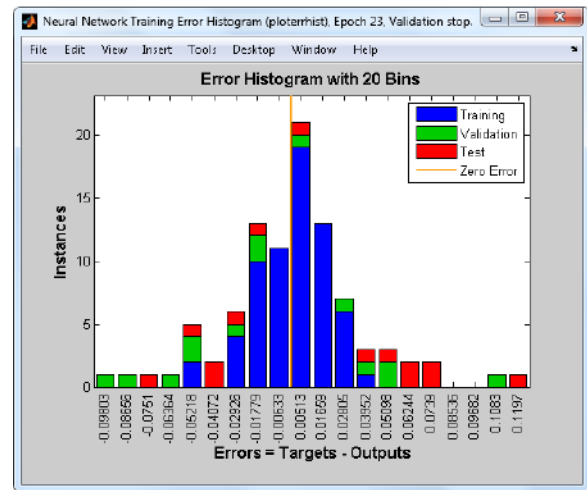


Figure 7. Error Histogram of ANN

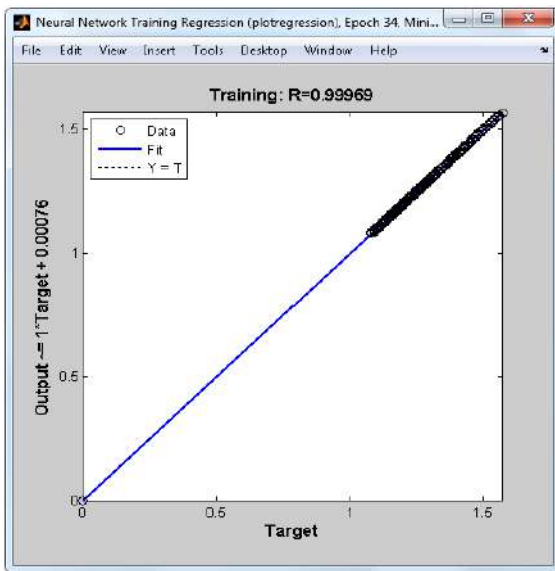


Figure 5. Training performance of ANN model

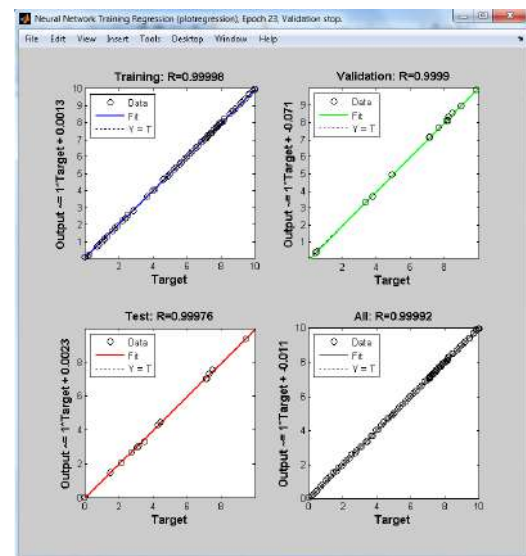


Figure 8. The ANN predictions; Training, Test and Validation performance

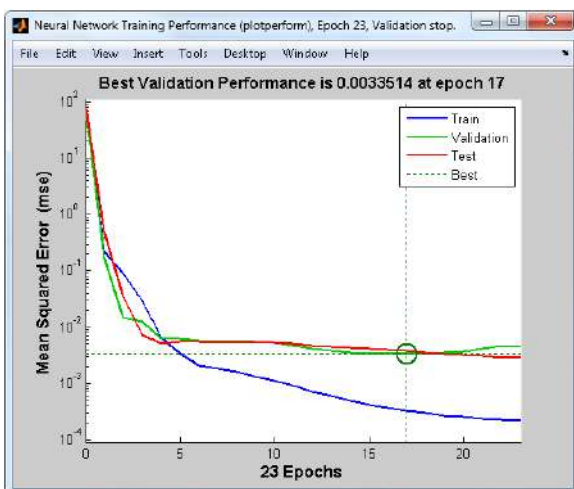


Figure 6. Best validation of ANN

Table 2. Training Statistical Performance of ANN model

Absolute Fraction of Variance (R^2)	Root Mean Square Error (RMSE)	Mean Error Percentage (MEP %)
0.9999980	0.00049403	0.03444225

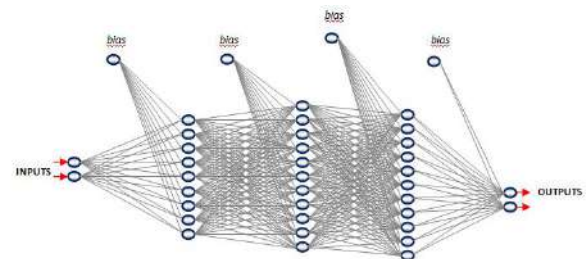


Figure 9. ANN architecture with [2 9 11 11 2] processing elements at three hidden layers

4. TESTING THE ACCURACY OF ANN MODELLING

To understand an ANN modelling is making good predictions, the test data which has never been presented to the network is used and the results are checked at this stage. The statistical methods of R², RMSE and MEP values have been used for making comparisons [26-31]. The same data obtained from the regression analysis is used to determine the mentioned values. These values are determined by the following Eqs (14-16):

$$RMSE = \left((1/p) \sum_j |t_j - o_j|^2 \right)^{1/2} \tag{14}$$

$$R^2 = 1 - \left(\frac{\sum_j (t_j - o_j)^2}{\sum_j (o_j)^2} \right) \tag{15}$$

$$MEP = \frac{\sum_j \left(\frac{t_j - o_j}{t_j} \times 100 \right)}{p} \tag{16}$$

Using the trial error method, the structure of the network (i.e. the number of neurons and hidden layers) is altered and the training operation is repeated. To be able to get accurate results we have used four hidden layers and for each hidden layer. we have changed number of neurons used at each hidden layer (e.g. from 5 to 150) to get the best network in terms of the statistical errors that it provides.

Figure 10 shows C_w or K_t values were determined according to profile type (rounded/square), c=d/a . Figure 10 shows comparison of emprical values (chart values) and ANN model values. Figure 10 shows comparison of emprical values (chart values) and ANN model values. Both ANN models results and emprical values were compatibled with each other.

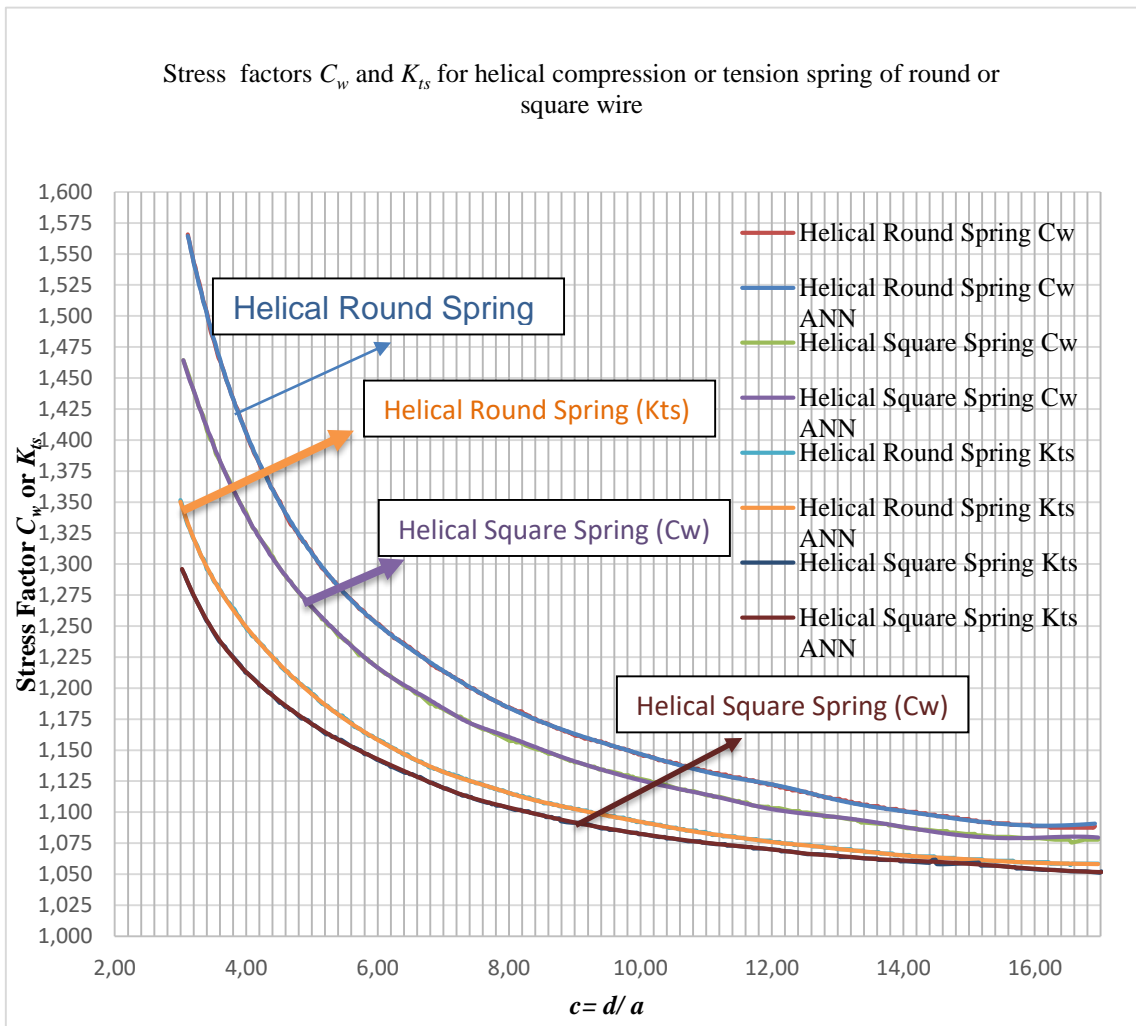


Figure 10. Comparison of Emprical and ANN model of Stress factors C_w and K_t for helical compression or tension springs of round or square wire (from mathematical relations of Wahl 1963)

5. RESULTS AND DISCUSSION

In this study, we have composed the chart data and network predicted output results Profile type (rounded / square), $c=d/a$ and C_w or K_{ts} for the stress concentration factor parameters for statistical error analyzing methods. As presented in Table 2, the statistical error levels for both training and testing data sets are evaluated. As the table illustrates the network with hidden layers of [2 9 11 11 2] neurons at each layer has provided the best results (Figure 9).

Following, the ANN model as illustrated in Figure 9 set up using 2 input layers and with 9 11 11 processing elements at three hidden layers and finally 2 output layers are used. The representation of knowledge is accomplished by the weights in between the layers. In terms of the statistical error analysis methods, using Levenberg-Marquardt (*LM*) learning algorithm technique for Outputs.

Figure 10 shows ANN architecture [2 9 11 11 2]. Figure 10 shows empirical data and ANN data graphs. Empirical data and ANN modelled data compatible with each other.

6. CONCLUSION

In this study contains stress concentration factor determination using Peterson's Stress Concentration Factor charts [2, 31] and ANN modeling. Peterson's graphs have been accepted as scientifically valid, but a mathematical equation has not yet been transformed. Peterson's charts were drawn as a result of the experimental study and were not identified by a mathematical function. The values in these graphs can be defined only with the result of experimental studies. It is easier and more practical to determine these values using auxiliary software instead of using formulas. These charts are still used today to define the stress concentration factor. It is necessary to read the data in these curves when defining the stress concentration for a particular problem. These curves have been converted into numerical values with the help of highly sensitive computer software. An ANN database was created using these data. A new ANN model was developed using Matlab software. Different ANN models were tried and the best model was determined for stress concentration factors C_w and K_{ts} for helical round or square wire compression or tension springs according to profile type (rounded / square), $c=d/a$ and C_w or K_{ts} parameters. The ANN model was provided high accuracy for prediction of stress factor C_w and K_t . This model has $R^2=0.99999980$ $MEP\% =0.03444225$ and $RMS=0.00049403$. Users can be read fault value that getting from chart. Using the ANN model these faults were eliminated. The easy and economical method was improved using an ANN model. This model an effective and usefull method. This method can be used with more reliability. ANN model was improved for stress factor C_w and K_{ts} for helical round and square wires.

DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS

The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

REFERENCES

- [1] Haringx, J.A., "On highly compressible helical springs and rubber rods and their application for vibration- free mountings", *Philips Research Report*, 3: 401, (1948).
- [2] Wahl, A. M., "*Mechanical Springs*", 2nd ed., McGraw-Hill, New York, (1963).
- [3] Mottershead, J.E., "Finite elements for dynamic analysis of helical rods", *Int. J. Mech. Sci.*, 22: 267–283, (1980).
- [4] Cook, R.D., "Finite element analysis of closely-coiled springs", *Comput. Struct.*, 34(1):179–180, (1990).
- [5] Cook, R.D., Young, W.C., "*Advanced Mechanics of Materials*", Macmillan, New York, (1985).
- [6] Belingardi, G.I., "*Über die seitliche Ausbiegung von zylindrischen Schraubengruckfedern*", *Draht* 3, (1988).
- [7] Haktanir, V., "The complementary functions method for the element stiffness matrix of arbitrary spatial bars of helicoidal axes", *Int. J.Numer. Methods Eng.*, 38(6): 1031–1056, (1995).
- [8] Haktanir, V., "Kiral, E., "Statical analysis of elastically and continuously supported helicoidal structures by the transfer and stiffness matrix method", *Comput. Struct.*, 49: 663–677, (1993).
- [9] Alghamdi, S.A., "A computer algorithm for the static analysis of circular helicoidal bars", *Comput. Struct.*, 43: 151–157, (1991).
- [10] Omurtag, M.H., Akoz, A.Y., "The mixed finite-element solution of helical beams with variable cross-section under arbitrary loading", *Comput. Struct.*, 43(2): 325–331, (1992).
- [11] Akoz, A.Y., Kadioglu, F., "The mixed finite element solution of circular beam shape foundation", *Comput. Struct.*, 60 (40): 643–651, (1996).
- [12] Batoz, J.L., Dhatt, G., "*Modélisation des structures par éléments finis*", vol. 2, Poutres et plaques. Hermès, Paris, (1990).
- [13] Batoz, J.L., Triki, S., "Eléments finis de poutres courbes pour l'étude des ressorts hélicoïdaux et des poutres vrillées", *In: Deuxième Colloque national en calcul des structures*, Hermès, 323–328, (1995).
- [14] Forrester, M.K., "*Stiffness model of a die spring*", Thesis of Master, Virginia Polytechnic Institute & State University, Virginia, (2001).
- [15] Ancher, J. Jr., Goodier, J.N., "Pitch and curvature corrections for helical springs", *J. Appl. Mech.*, 25: 466–470, (1958).
- [16] Ancher, J. Jr., Goodier, J.N., b. "Theory of pitch and curvature corrections for helical springs", *J. Appl. Mech.*, 25: 471–495, (1958).

- [17] Ancker, C. J., and Goodier, J. N., "Pitch and curvature corrections for helical springs", *Trans. ASME Appl. Mech. Sect.*, 80: pp. 466, 471, 484, (1958).
- [18] Kamiya, N., Kita, E., "Boundary element method for quasi-harmonic differential equation with application to stress analysis and shape optimization of helical springs", *Comput. Struct.*, 37: 81–86, (1990).
- [19] Jiang, W.G, Henshell, J.L., "A novel finite element for helical springs", *Finite Elements Anal. Design*, 35: 363–377, (2000).
- [20] Jiang W.G., Henshall J.L., "A novel Finite element model for helical springs", *Finite Elements in Analysis and Design*, 35: 363-377, (2000)
- [21] Watanabe K., Tamura M., Yamaya K. Kunoh T., "Development of a new-type suspension spring for rally cars", *Journal of Materials Processing Technology*, 111: 132-134., (2001).
- [22] Gumus F, Ozkan M.T, Dundar K., "Bilgisayar Destekli Helisel Yay Tasarımı ve Analizi", *TUBAV Bilim Dergisi*, 2(2): 199-210, (2009).
- [23] Göhner O., "Die Berechnung Zylindrischer Schraubenfedern", *Z. Ver. Dtsch. Ing.*, 76: 269, (1932).
- [24] Ancker C. J. and Goodier J. N., "Pitch and curvature corrections for helical springs", *Trans. ASME Appl. Mech. Sect.*, 80: pp. 466, 471, 484, (1958).
- [25] Pilkey, W. D. and Pilkey, D. F., "*Peterson's stress concentration factors*", 3rd edition, Wiley, New York, (2008).
- [26] Ozkan M. T. Toktas I. "Determination of the stress concentration factor (Kt) in a rectangular plate with a hole under tensile stress using different methods", *Materials Testing*, 58(10): 839-847, (2016).
- [27] Ozkan M. T., "Surface roughness during the turning process of a 50CrV4 (SAE6150) steel and ANN based modeling", *Materials Testing*, 57(10): 889-896, (2015).
- [28] Ulas H. B, Ozkan M. T., Malkoc Y., "Vibration prediction in drilling processes with HSS and carbide drill bit by means of artificial neural networks", *Neural Computing and Applications*, 31(9): 5547–5562, (2019).
- [29] Ozkan M.T., Erdemir F., "Determination of stress concentration factors for shafts under tension", *Materials Testing*, 62(4):. 413-421, (2020).
- [30] Ulas H.B., Ozkan M.T., "Turning processes investigation of materials austenitic, martensitic and duplex stainless steels and prediction of cutting forces using artificial neural network (ANN) techniques", *Indian Journal of Engineering and Materials Sciences (IJEMS)*, 26(2): 93-104, (2019).
- [31] Basak H., Ozkan M.T., Toktas I., "Experimental research and ANN modeling on the impact of the ball burnishing process on the mechanical properties of 5083 Al-Mg material", *Kovové materiály - Metallic Materials*, 57(1): 61-74, (2019).

Annex:

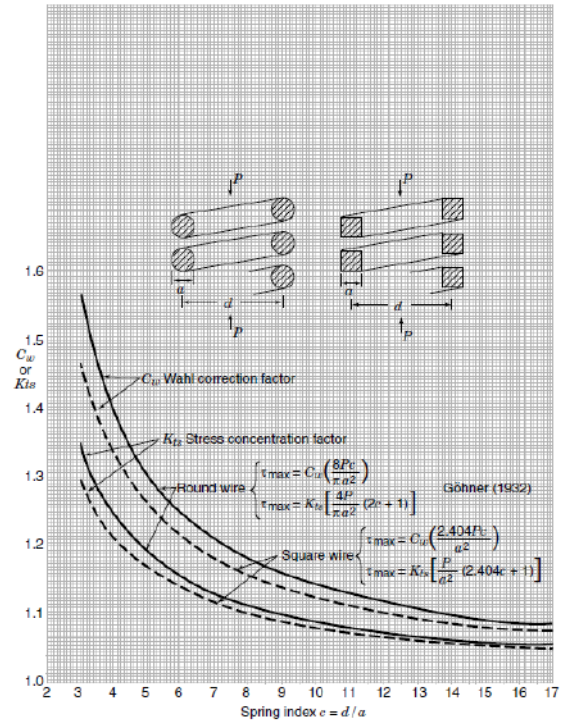


Chart 1. Stress factors C_w and K_{ts} for helical compression or tension springs of round or square wire [2, 25]



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

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



Çay atıklarından türetilen yüksek performans karbonun transistörde iletim kanal materyali olarak uygulanması

Application of high performance carbon derived from tea waste into transistor as a conduction channel material

Yazar(lar) (Author(s)): Saliha Nur BIÇAKÇI¹, Gökçen AKGÜL²

ORCID¹: 0000-0002-6569-0247

ORCID²: 0000-0001-6101-7971

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Bıçakçı S. N., ve Akgül G. “Çay atıklarından türetilen yüksek performans karbonun transistörde iletim kanal materyali olarak uygulanması”, *Politeknik Dergisi*, 23(3): 909-914, (2020).

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

DOI: 10.2339/politeknik.599510

Çay Atıklarından Türetilen Yüksek Performans Karbonun Transistörde İletim Kanal Materyali Olarak Uygulanması

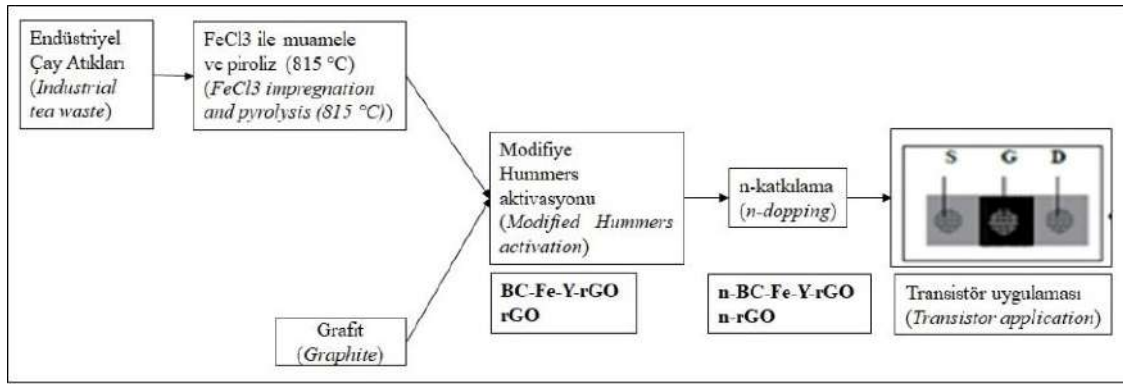
Application of High Performance Carbon Derived from Tea Waste into Transistor as a Conduction Channel Material

Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Endüstriyel çay atıklarından biyokömür türetilmiştir (Biochar was derived from industrial tea waste)
- ❖ Karbon yapısı geliştirilmiştir (The carbon structure was developed)
- ❖ Karbonun transistör uygulaması yapılmıştır (Transistor application of the carbon was performed)

Grafik Özet (Graphical Abstract)

Endüstriyel çay atıklarından piroliz ve aktivasyon ile yüksek performans karbon türetilmiştir ve transistörde iletim kanal materyali olarak uygulanmıştır./ High performance carbon material was derived from industrial tea wastes by pyrolysis and activation and applied as a transistor conduction channel material.



Şekil. Grafik özet /Figure. Graphical abstract

Amaç (Aim)

Biyokütle kaynaklı yüksek performans karbon materyal ile transistör aygıtının oluşturulması hedeflenmiştir./ It is aimed to create transistor device with biomass resourced high performance carbon material.

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

İndirgenmiş grafen oksit benzeri karbon materyal çay atıklarından geliştirilmiş ve alan etkili transistörde iletim kanal materyali olarak kullanılmıştır./ Graphene-like carbon material was developed from tea waste and used as a transistor conduction channel material.

Özgünlük (Originality)

Yarı iletken teknolojide yenilenebilir enerji kaynağı kullanılmıştır./ Renewable energy resource was used in the semiconductor technology.

Bulgular (Findings)

Elektron verici daha fazla grupların biyokütle bazlı karbon materyal tarafından içerilmesi, akım değerini yükseltebilir./ The inclusion of more electron donor groups by the biomass based carbon material may increase the current value.

Sonuç (Conclusion)

Biyokütle kaynaklı karbon iletim materyali ile transistörün daha iyi performansa sahip olduğu görülmüştür./ Transistor has a better performance with biomass derived conduction carbon material.

Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

Çay Atıklarından Türetilen Yüksek Performans Karbonun Transistörde İletim Kanal Materyali Olarak Uygulanması

Araştırma Makalesi / Research Article

Saliha Nur BIÇAKÇI, Gökçen AKGÜL*

Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 31.07.2019 ; Kabul/Accepted : 24.09.2019)

ÖZ

Diyotlar, transistörler ve benzeri aygıtlar gibi ileri teknoloji alanlarında karbon malzemeler çalışılmaktadır. Gözenekli karbon materyallerin elektronik aygıtlarda kullanımı ve enerji depolama alanlarında uygulamaları da daha ekonomik yöntemler geliştirilmesi ve boyutların küçültülmesi bakımından önemlidir. Son yıllarda literatürde çok sayıda karbon kanallı transistör rapor edilmiş olsa da, gözenekli karbon olarak biyokütleden elde edilen karbonun transistör uygulamaları sınırlı sayıdadır. Karbon malzemelerin çoğu, giderek tükenmekte olan fosil kaynaklardır. Bu sebeple yenilenebilir karbon kaynakları önem kazanmaya başlamaktadır. Biyokütle tek yenilenebilir karbon kaynağıdır. Piroлиз yöntemi ile biyokömür olarak adlandırılan karbonize materyale dönüştürülebilir. Ancak biyokömürün karbon tabanlı elektriksel aygıtlara uygulanabilmesi için yapısının geliştirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, endüstriyel çay atıklarından elde edilen biyokömür, kimyasal ve fiziksel yöntemlerle yüksek performans ve n-katlı karbon materyale dönüştürülmüştür. Yeni türetilen karbon materyal SEM, XRD, ve FT-IR yöntemleriyle karakterize edilmiştir. Oluşturulan bu karbon transistörde iletim kanal matemesi olarak kullanılmıştır. Geliştirilen alan etkili karbon transistörün akım-gerilim (I-V) karakteristikleri belirlenmiştir. Daha hızlı ve verimli elektriksel aygıtlar, yenilenebilir, sürdürülebilir ve yerel biyokütle kaynakları kullanılarak geliştirilebilir.

Anahtar Kelimeler: Endüstriyel çay atığı, yüksek performans karbon, alan etkili transistör.

Application of High Performance Carbon Derived from Tea Waste into Transistor as a Conduction Channel Material

ABSTRACT

Carbon materials are studied in high-tech electronics such as diodes, transistors similar devices. The use of porous carbon materials in electronic devices and their application in energy storage areas are important in terms of developing more economical methods and reducing the dimensions. Although a large number of carbon channel transistors have been reported in the literature in recent years, transistor applications of carbon from biomass as porous carbon are limited. Most of the carbon materials are originated from fossil sources that are diminishing. Renewable carbon resources are gaining importance. Biomass is the only renewable carbon resource. It can be converted to carbonized material called biochar by pyrolysis. However, in order to apply the biochar to carbon-based electrical devices, its structure needs to be improved. In this study, biochar obtained from industrial tea wastes was converted to high performance and n-doped carbon material by chemical and physical methods. The newly derived carbon material was characterized by SEM, XRD, and FT-IR methods. This formed carbon transistor was used as conduction channel material. The current-voltage (I-V) characteristics of the developed field effect carbon transistor were determined. Faster and more efficient electrical devices can be developed using renewable, sustainable and local biomass resources.

Keywords: Industrial tea waste, high performance carbon, field effect transistor.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

İnsan yaşamının konforu, teknolojinin gelişmesi ve artan otomasyon ile giderek artmaktadır. Günümüzde otomasyon, nesnelerin interneti ve her şey için internet kullanımı ile bağdaştırılmaktadır. Endüstri 4 olarak da değerlendirilen bu çağda, otomasyonu sağlayan elektronik devre elemanları ve aygıtların kullanımı yaygınlaşmaktadır [1].

Elektronik aygıtlar genellikle yarı iletken malzemeler içeren devrelerden oluşmaktadır. Otomasyonun artması, elektroniklerde minyatürizasyonu getirmiştir. Yarı iletken endüstrisi elektronik sistemleri küçültme ve esnekleştirme alanında çalışmalar yapmaktadır. Özellikle silikon temelli transistörlerde karbon bazlı yeni malzemeler geliştirilmesi ve uygulanması, yeni nesil elektroniklerin gelişimine katkı sağlamaktadır [2].

Transistörler bilgisayar, cep telefonları, radyo, televizyon gibi neredeyse tüm elektronik aygıtlarda bulunan yarıiletken malzemelerden oluşan ve elektrik akımını

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : gokcen.akgul@erdogan.edu.tr

kontrol eden aktif devre elemanlarıdır. Transistörlerde karbon materyaller, özellikle iletim kanal malzemesi olarak kullanılmakta ve elektriksel özelliklerin iyileştirilmesinde katkı sağlamaktadır [3]. Literatürde alan etkili transistörlerde karbon malzemelerin uygulamaları ile ilgili güncel çalışmalar bulunabilir [4-9]. Transistörlerde karbon materyaller; sinyallerin doğrultulması, esneklik sağlanması, düşük güç tüketimi, yüksek anahtarlama hızı, boyutların küçültülmesi ve düşük maliyet gibi nedenlerle kullanılmaktadır.

İletim kanalı malzemesi olarak kullanılan karbon materyaller genellikle nano boyutlardadır (karbon nanotüp, karbon nanohorn, karbon nanoions, karbon nanoribbons, grafen...) ve fosil kaynaklıdır. Mekanik, termal ve elektronik kararlılık göstermektedirler. Özellikle grafen, elektronik aygıtlarda uygulamaları çokça araştırılan materyaldir. Ancak grafenin gösterdiği Dirac-benzeri davranış ve band aralığının olmaması sebebi ile yarı iletken davranışından ziyade iletken davranışı baskındır. Yarı iletken özelliği kazandırmak için COOH, OH, C-O-C gibi fonksiyonel gruplar ve p/n aktif grupları yapıya katılabilir [10, 11].

Son zamanlarda, nano-karbon veya grafen materyallerinden farklı olarak, yüzey fonksiyonel gruplarınca zengin gözenekli karbon materyallerin elektronik aygıtlarda kullanımı ve enerji depolama alanlarında uygulamaları da daha kontrol edilebilir ve ekonomik materyaller geliştirilmesi bakımından araştırma konuları arasında yer almıştır [12]. Gözenekli karbon, yenilenebilir karbon kaynağı biyokütlenin pirolizi ile de elde edilebilir.

Piroliz ile elde edilen karbonize ürün biyokömür (biocchar) olarak adlandırılır. %75-85 oranında karbon içeren biyokömür; yüzey fonksiyonel gruplarınca zengin, yenilenebilir, sürdürülebilir ve çevreci karbonize ürün olarak elektronik aygıtlarda uygulanabilir [13]. Biyokömür, genel olarak amorf yapıdadır ve elektriksel iletkenliği düşüktür ancak karbon yapısı grafit/grafen-oksit benzeri yapılara kimyasal ve fiziksel metotlarla düzenlenebilir ve elektriksel iletkenlik özelliği geliştirilebilir [14-16].

Bu çalışmada çay atıkları biyokütlesinden katalitik piroliz yöntemi ile biyokömür türetilmiştir. Biyokömürün karbon yapısı ileri kimyasal yöntemlerle indirgenmiş grafen oksite doğru geliştirilmiş, daha sonra n tipi katkılanmış ve transistörde kanal malzemesi olarak kullanılmıştır. Kanal malzemesi olarak transistör üzerindeki etkisi incelenmiştir.

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

Bu çalışma 3 ana başlık altında gerçekleştirilmiştir; (1) çay atıkları biyokütlesinden indirgenmiş grafen oksit-benzeri karbon materyal geliştirilmesi, n- tipi katkılanması ve materyal karakterizasyonu, (2) n- tipi katkılanmış karbon kullanılarak alan etkili transistör geliştirilmesi ve (3) transistörün karakterizasyonu.

2.1. Çay Atıkları Biyokütlesinden Yüksek Performans Karbon Türetilmesi ve n- Katkılanması (Derivation of High Performans Carbon from Tea Waste Biomass and n-Dopping)

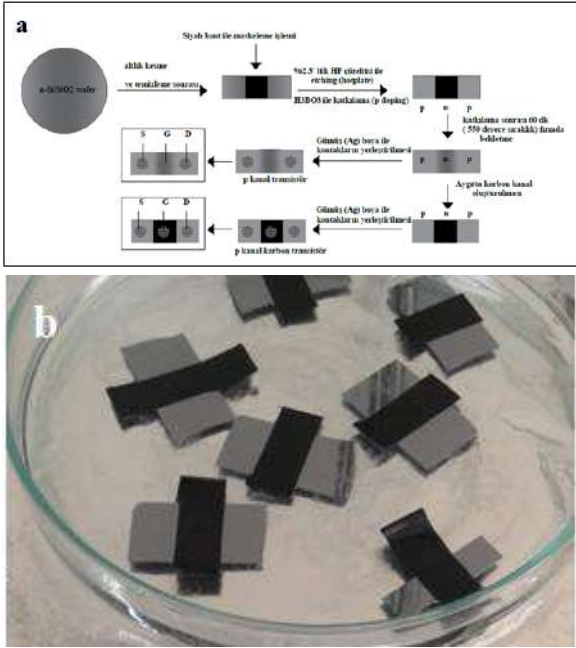
Yerel bir çay fabrikasından temin edilen son ürün endüstriyel çay atıkları öğütülüp 0,5 mm elekten elenmiş 80 °C'de 1 gece etüvde kurutulmuştur. Kuru biyokütle 3:1 (w/w) oranında FeCl₃ (Tekkim) ve yerince su ile karıştırılarak Fe ile impregne edilmiş ve tekrar etüvde kurutulmuştur. Bu numune döner fırında (Protherm RTR 11/100/500) 815 °C sıcaklıkta ve azot atmosferinde 1.5 h piroliz edilmiştir (elde edilen ürün BC-Fe olarak adlandırılmıştır). FeCl₃ impregnasyonunun nedeni, biyokütlenin pirolizi sırasında amorfdan ziyade grafitik karbon yapısının katalitik olarak oluşturulmaya çalışılmasıdır.

Türetilen BC-Fe öğütülüp 25 µm elekten elenmiş ve konsantr HCl ve HF asit ile yıkanarak Fe mineralinden arındırılmıştır. Saf su ile tekrar yıkanarak pH değeri nötral seviyeye getirilen ve etüvde kurutulan bu numune BC-Fe-Y olarak adlandırılmıştır. Bir sonraki adımda numuneye modifiye Hummers yöntemi ile yükseltgeme ve hidrazin ile indirgeme yöntemleri uygulanarak grafitize edilmiş karbondan indirgenmiş grafen oksit (BC-Fe-Y-rGO) elde edilmeye çalışılmıştır [16]. Ayrıca, türetilen materyali karşılaştırma amacıyla grafit başlangıç materyali (SBM teknik, amorf) kullanılarak da indirgenmiş grafen oksit (rGO) üretilmiştir. En son aşamada karbon materyaller konsantr H₃PO₄ ile muamele edilerek n-tipi katkılama sağlanmıştır. Numuneler saf su ile yıkanarak nötralleştirilmiştir. Kurutulan karbon materyaller NMP (N-metil 2-pirolidon) çözgeni ile sonikörde karıştırılmış, 30 dk 4000 rpm' de santrifüj edilmiş ve santrifüj sonrası süpernatant kısmı transistör kanal malzemesi olarak kullanılmıştır.

Her iki karbon materyalin (n-BC-Fe-Y-rGO ve n-rGO) yapısal karakteristikleri SEM (Scanning Electron Microscopy, JEOL/ JSM-6610), XRD (X-Ray Diffraction, Rigaku SmartLab X-ray diffractometer non-monochromatographic Cu Kα₁-radiation (40 kV, 30 mA, λ = 1.54 Å)) ve FTIR (Perkin Elmer Spectrum 100) ile gerçekleştirildi.

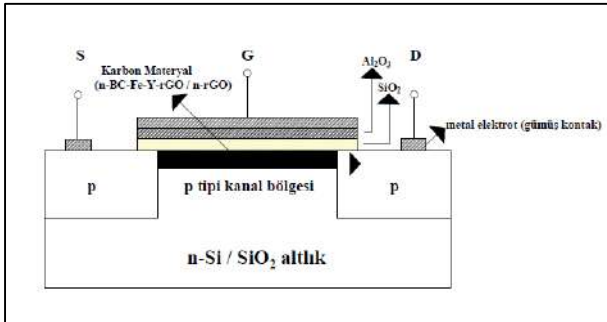
2.2. Alan Etkili Karbon Transistör Aygıt Geliştirilmesi ve Karakterizasyonu (Development of field effect carbon transistor device and characterization)

Alan etkili karbon transistör geliştirmek için bir tarafı parlatılmış Crystec marka n tipi Si/ SiO₂ (3 inç, 380 µm, (100) yönelimli, 0.1-20 Ω.cm yüzey direnci) altlıklar kullanılmıştır. Yüzey temizliğinde RCA temizleme prosedürü gerçekleştirilmiştir. Alan etkili karbon transistör üretiminde Şekil 1a' da şematik gösterimi verilen işlem basamakları gerçekleştirilmiştir. 1.5×0.5 cm boyutlarındaki altlıkların (orantılı olacak şekilde) orta kısımları bantlanmıştır. % 2.3' lük HF' nin sulu çözeltisi içerisine daldırılan altlıkların bant dışında kalan bölgelerine aşındırma işlemi (etching) gerçekleştirilmiştir. Oksit tabakası aşındırılan altlıkların bu kısımlarına borik asit ile p katkılama yapılmıştır (Şekil 1b).

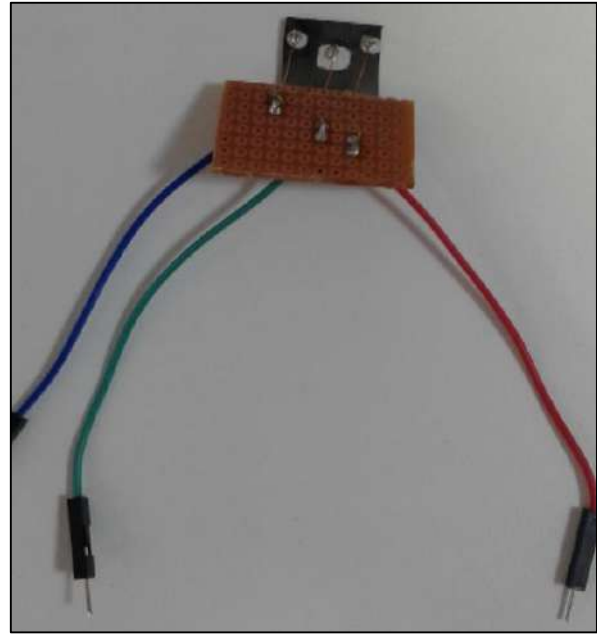


Şekil 1. Alan etkili karbon transistör işlem basamakları (a) ve doplama işlemi (b) (Field effect transistor process steps (a) and doping process)

p katkılama yapılan n-tipi Si/SiO₂ altlıkların bantlı kısmı alan etkili karbon transistörün iletim kanal bölgesidir. Bu bölgedeki bant sökülerek 550 °C’ de 1 saat boyunca tavlama yapılmıştır. Tavlama sonrasında, p-n-p tipi mimariye sahip altlıklar elde edilmiştir. İletim kanalına karbon materyalinin yerleştirilmesi için n kısımlar % 2,3 HF çözeltisi ile silinerek aşındırılmış ve bir önceki bölümde türetilen karbon materyal (n-rGO ve n-BC-Fe-Y-rGO) kanal bölgesine kaplanmıştır. Karbon malzeme kaplanan rGO-MOSFET ve BC-Fe-Y-rGO-MOSFET aygıtlarının geçiti kanaldan ayıran dielektrik tabakası Al₂O₃ ile oluşturulmuştur. Bunun için, Al(NO₃)₃’ün (Merck) doymuş çözeltisi hazırlanmıştır. Karbon materyal kaplanan geçit bölgesine mikropipet yardımıyla damlatılmış, 100 °C’ de bekletilerek nitrat iyonlarının uçarak geçit bölgesinde Al₂O₃ katmanı oluşması sağlanmıştır. p kanal alan etkili karbon transistör yapısına sahip olan aygıt mimarisinin kaynak (S), ağaç (D) ve kapı (G) kontaktları gümüş iletken boya ile gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan aygıtın şematik gösterimi Şekil 2’ de ve aygıtın resmi Şekil 3’ de verilmektedir.

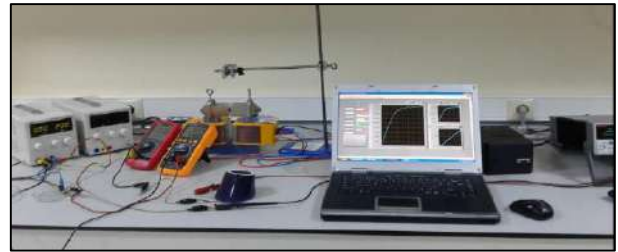


Şekil 2. Üst kapı-üst kontak yapıda alan etkili karbon transistor yapısı (top gate-top contact structured field effect carbon transistor)



Şekil 3. Gümüş kontaklı p-n-p yapı (Ag contacted p-n-p device)

Üretilen alan etkili karbon transistörlerin elektriksel karakterizasyonu, akım-voltaj verileri ile değerlendirilmiştir. Şekil 4’ de verilen Keithley 2410 marka yarıiletken parametre analiz aygıtı kullanılarak, Labview 2011 yazılımı ile hazırlanmış bilgisayar kontrollü program düzeneği ile alan etkili karbon transistörlerin akım-voltaj verileri ölçülmüştür.

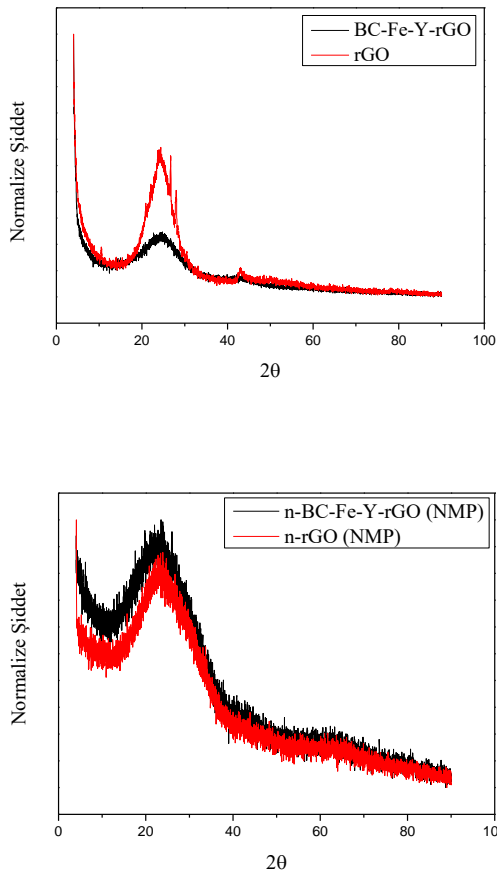


Şekil 4. Alan etkili karbon transistörlerin elektriksel karakterizasyon düzeneği (electrical characterization setup)

3. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

3.1. Karbon Materyalin Karakterizasyonu (Characterization of Carbon Materials)

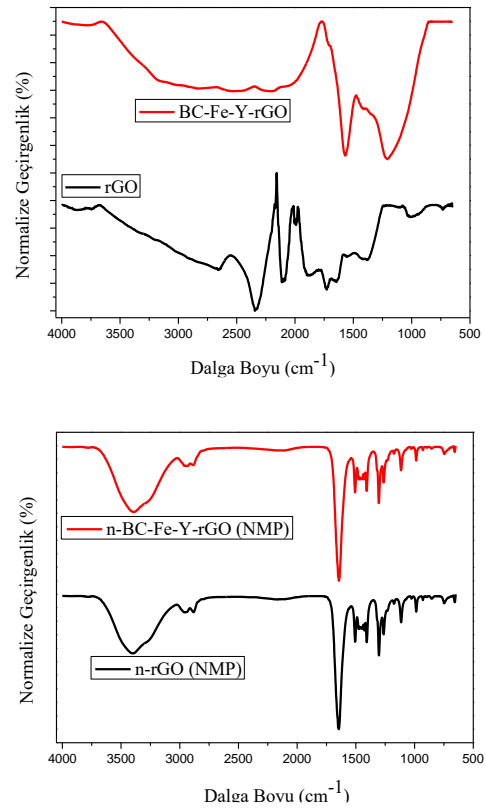
n-rGO ve n-BC-Fe-Y-rGO karbon materyallerinin SEM, XRD ve FTIR karakteristikleri sırasıyla Şekil 5-7’de verilmektedir. XRD analizleri göstermektedir ki biyokütleden indirgenmiş grafen oksit geliştirilebilmektedir. İndirgenmiş grafen oksite gidilte karbon malzemenin yapısındaki değişim ve bunun grafitten elde edilen rGO’ ya benzerliği Şekil 5’de görülmektedir.



Şekil 5. Karbon numunelerin XRD analizleri (XRD analyses of the carbon samples)

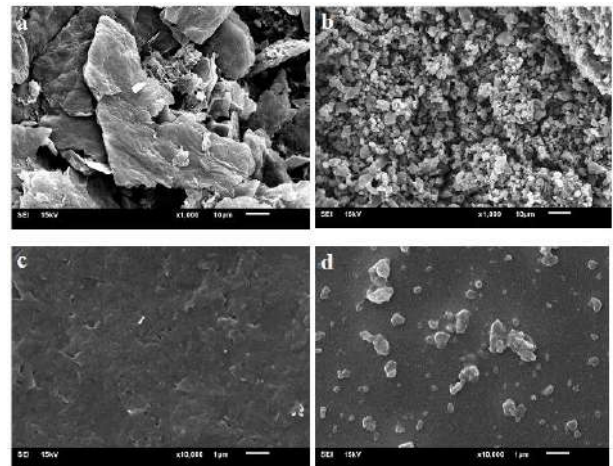
Şekil 6' da verilen FT-IR spektrumlarında rGO ve BC-Fe-Y-rGO numunelerinin fonksiyonel grupların analiz sonuçları görülmektedir. 3600-2400 cm^{-1} dalga boyu bölgesi her iki malzeme için OH ve C-H gerilimlerini göstermektedir. rGO için 2340 cm^{-1} civarında ve 1727 cm^{-1} 'de belirgin olan pik, C=O gerilimini belirtmektedir. 2100 cm^{-1} civarında rGO'da belirgin olan pik C≡C bağı göstermektedir. BC-Fe-Y-rGO'da 1570 cm^{-1} 'de olan pik aromatik C=C gerilimlerini, 1200 cm^{-1} civarındaki pik ise C=O gerilimini göstermektedir. Sonuç olarak biyokömür numunesi aromatiklik ve C-H bakımından zengin görünmektedir. rGO'da ise kararlı C=O bağları bulunduğu anlaşılmaktadır. Bu da oksitlenme özelliği bakımından grafitin daha istekli olduğunu gösterebilir. Dolayısıyla grafit tabakalarının açılması ve grafene dönüşüm, grafit için daha kolay olabilir.

1645 cm^{-1} 'de C=C titreşimlerini, 1400 cm^{-1} 'den küçük bölgelerde çoğunlukla C-O, C-OH titreşimlerini göstermektedir. Bu gerilimler NMP çözgeninden de gelebilmektedir. Ancak 1100-650 cm^{-1} civarında gelen pikler n katkılama sonucu yapıya katılan P-O, C-P bağlarını göstermektedir.



Şekil 6. Karbon numunelerin FTIR analizleri (FTIR analyses of the carbon samples)

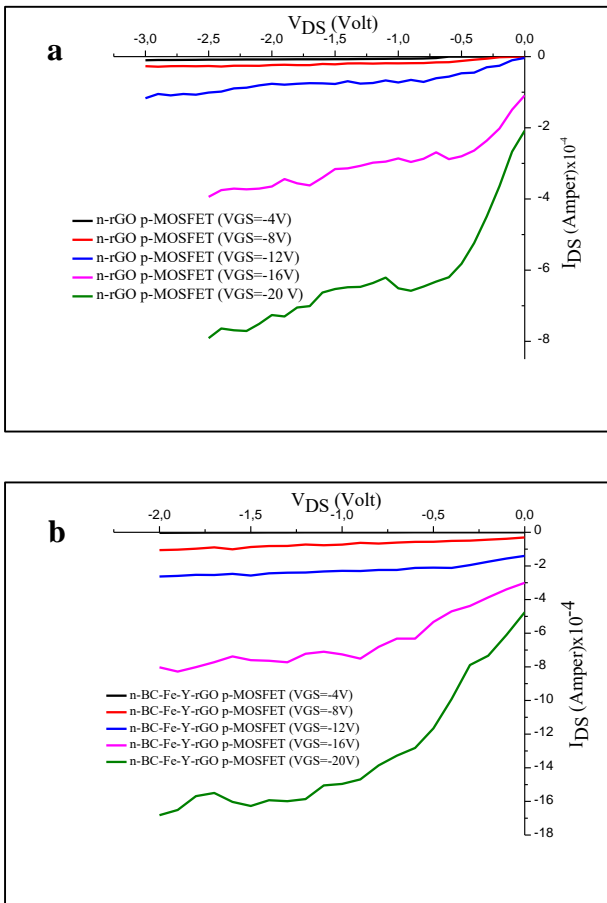
Şekil 7' de verilen SEM görüntüleri incelendiğinde, biyokütle kaynaklı karbona Modifiye Hummers yöntemi uygulanarak elde edilen indirgenmiş grafit oksit (BC-Fe-Y-rGO) ile grafitten elde edilen indirgenmiş grafit oksit (rGO) parçacıklarının farklı olduğu görülmektedir. NMP çözgeninde n-katkılanmış karbon numunelerin SEM görüntülerinde ise, n-BC-Fe-Y-rGO'nun çok daha küçük boyutlarda n-rGO içerdiği gözlenmiştir. XRD ve FTIR analizleri de bu sonucu desteklemektedir.



Şekil 7. Karbon numunelerinin SEM görüntüleri (a) rGO, (b) BC-Fe-Y-rGO, (c) n-rGO, (d) n-BC-Fe-Y-rGO (SEM pictures of the carbon samples)

3.2. Transistör Karakterizasyonu (Characterization of Transistor)

Alan etkili karbon transistörlerin karakterizasyonunda aygıtların giriş ve çıkış (transfer) karakteristikleri incelenmiştir. Yüksek performans n-katkılı indirgenmiş grafen oksit ve biyokütle kaynaklı indirgenmiş grafen oksit karbon materyallerinden hazırlanan p kanal alan etkili karbon transistörlerin I-V karakteristikleri Şekil 8' de verilmiştir. Transistörlerin çıkış karakteristikleri sırasıyla transistörlerin kapı terminaline (G) -4, -8, -12, -16 ve -20 V kapı voltajları (VGS) uygulanarak elde edilmiştir. Çıkış karakteristiğinde aygıtlar kademeli olarak doyum davranışı göstermiştir. Çalışma karakteristikleri gösterilen tüm MOSFET yapıları kapı gerilimine bağlı olarak p kanal transistör temel performans özelliği göstermektedir. VGS= -16 V' da IDS akımının alan etkili transistörlerde negatif değerlikli $2,5-8 \times 10^{-4}$ A arasında değerlere sahip olduğu görülmüştür. Karbon malzemelerin akım iletimleri örneğin VGS= -16 V'da karşılaştırıldığında n-BC-Fe-Y-rGO'nun n-rGO'ya göre daha yüksek IDS akım değerine sahip olduğu görülmüştür. Bu durum biyokütleden elde edilen karbon materyalin daha fazla ve farklı yüzey fonksiyonel gruplar içermesiyle katkılama oranının farklı olması sebebiyle gerçekleşmiş olabilir. Elektron verici daha fazla grupların materyal tarafından içerilmesi, akım değerini yükseltebilir.



Şekil 8. (a) n-rGO, (b) n-BC-Fe-Y-rGO karbon numuneleri iletim kanalına sahip alan etkili transistör transfer (çıkış) karakteristikleri (Out characteristics of carbon conduction channel holder field effect transistor)

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar genel olarak 2 kısımda özetlenebilir:

- Çay atıkları biyokütlesi işlenerek yarı iletken özellik gösteren karbonize materyal geliştirilmiştir. Biyokütle fonksiyonel grupları açısından zengin olması n-katkılanmasını kolaylaştırmıştır ve transistör uygulamasına uygun karbonize materyal çay atığı biyokütlesinden geliştirilmiştir.
- Biyokütle kaynaklı karbon materyalin alan etkili karbon transistörlere (C-MOSFET) uygulanabilirliği bu çalışmada gösterilmiştir. Biyokütle kaynaklı karbon materyal ile transistör aygıtının daha iyi performansta çalıştığı görülmüştür.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (RTEÜ-BAP) birimince FYL-2018-970 nolu proje ile desteklenmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Bıçakçı S.N., "Nesnelerin interneti", *Takvim-i Vekayi*, 7(1): 24-36, (2019).
- [2] Avouris P., Chen Z., Perebeinos V., "Carbon-based electronics", *Nature Nanotechnology*, 2: 605-615, (2007).
- [3] Burghard M., Klauk H., Kern K., "Carbon-based field-effect transistors for nanoelectronics", *Advanced Materials*, 21: 2586-2600, (2009).
- [4] Schwierz F., "Graphene transistors", *Nature Nanotechnology*, 5: 487-496, (2010).
- [5] Aikawa S. et al., "Carrier polarity engineering in carbon nanotube field-effect transistors by induced charges in polymer insulator", *Applied Physics Letters*, 112: 013501-1-013501-5, (2018).
- [6] Bargaouia Y., Troudia M., Bondavallib P., Sghaiera N., "Gate bias stress effect in single-walled carbon nanotubes field-effect transistors", *Diamond & Related Materials*, 8: 62-65, (2018).
- [7] Hamam A.M.M. et al., "Sub-10 nm graphene nano-ribbon tunnel field-effect transistor", *Carbon*, 126: 588-593, (2018).
- [8] Jangid P., Pathan D., Kottantharayil A., "Graphene nanoribbon transistors with high ION/IOFF ratio and mobility", *Carbon*, 132: 65-70, (2018).
- [9] Rabieefar F., Dideban D., Utilizing graphene nano-ribbon transistor in data converters: A comparative study", *ECS Journal of Solid State Science and Technology*, 8(3): M30-M37, (2019).
- [10] Feng X. et al., "All carbon materials pn diode", *Nature Communications*, 9:3750-1-3750-7, (2018).
- [11] Li X. et al., "Boron Doping of Graphene for Graphene-Silicon p-n Junction Solar Cells", *Advanced Energy Materials*, 2: 425-429, (2012).
- [12] Rahimi R., Ochoa M., Ziaie B., "Direct laser writing of porous-carbon/silver nanocomposite for flexible electronics", *ACS Applied Materials and Interfaces*, 8(26): 16907-13, (2016)

- [13] Li, S. et al., “Development of electrically conductive nano bamboo charcoal/ultra-high molecular weight polyethylene composites with a segregated network”, *Composites Science and Technology*, 132: 31–37, (2016).
- [14] Barbera, K. et al., “Low - temperature graphitization of amorphous carbon nanospheres”, *Chinese Journal of Catalysis*, 35(6): 869–76, (2014).
- [15] Maiti, S. et al., “Silicon-doped carbon semiconductor from rice husk char”, *Materials Chemistry and Physics*, 109(1): 169–73, (2008).
- [16] Roy, S., “Synthesis of graphene oxide using tea-waste biochar as green substitute of graphite and its application in de-fluoridation of contaminated water”, *American Journal of Chemical Research*, 1(1): 1-19, (2017).