



ADIYAMAN ÜNİVERSİTESİ

Mühendislik Bilimleri Dergisi

Journal of Engineering Science
of Adiyaman University

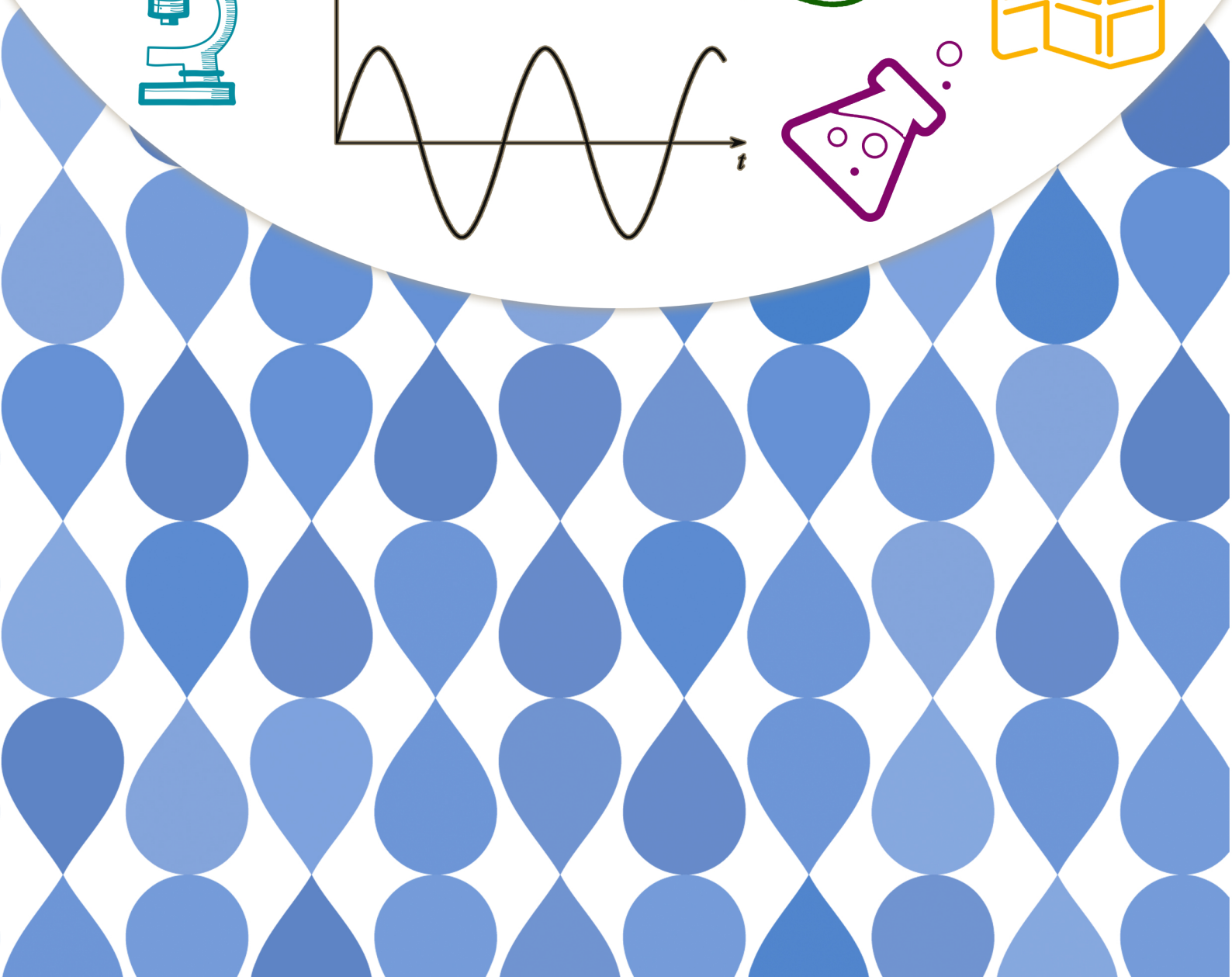
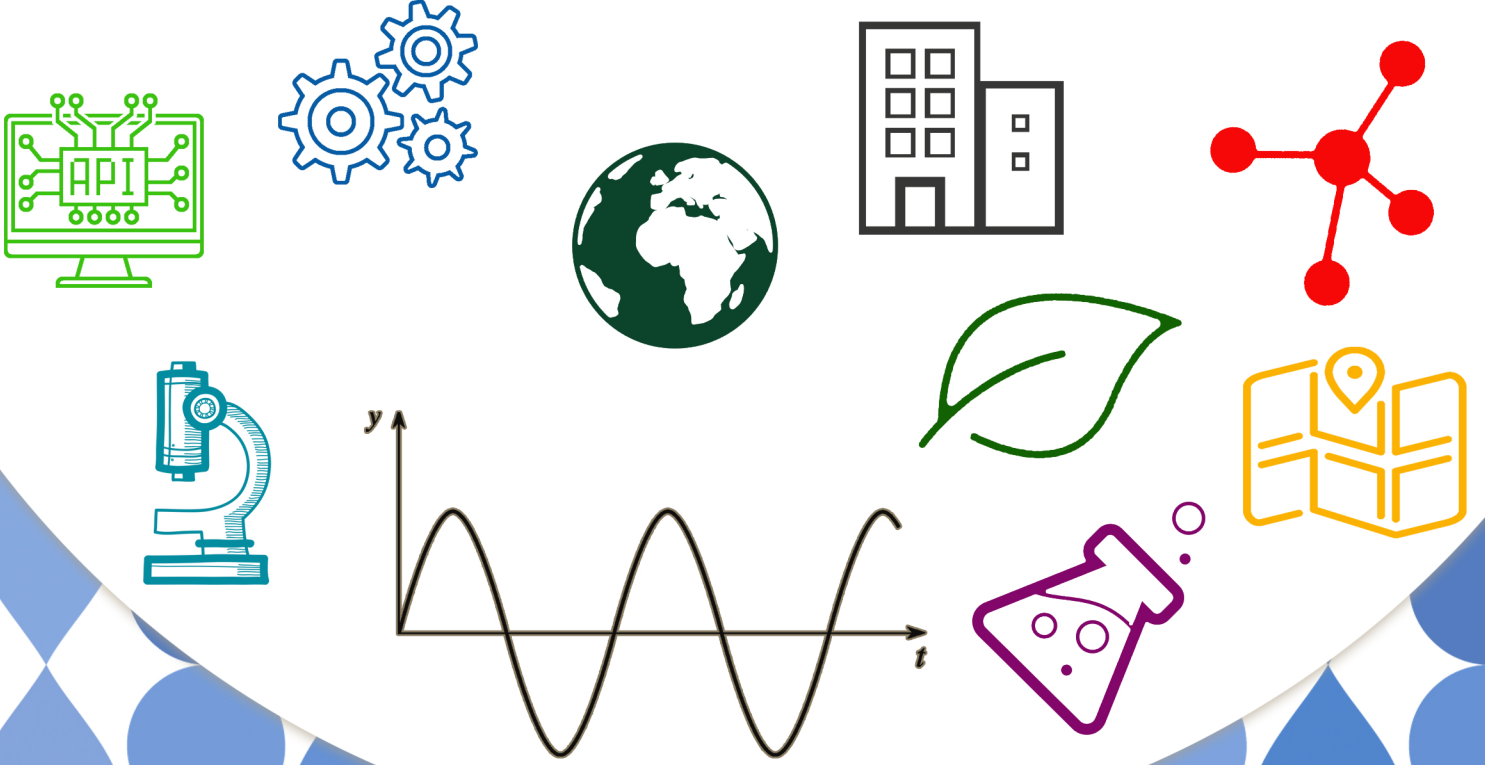
ISSN: 2149-0309

CİLT
VOLUME **10**

SAYI
ISSUE **20**

AĞUSTOS
AUGUST

2023



ADIYAMAN ÜNİVERSİTESİ

Mühendislik Bilimleri Dergisi

Journal of Engineering Science of Adiyaman University

ISSN: 2149-0309

Dergi Yöneticisi

Prof. Dr. Murat PALA

Cilt:10 Sayı:20

Baş Editör

Prof. Dr. Murat PALA / Baş Editör ve Alan Editörü

Editörler

Prof. Dr. Leon JOLOLIAN / Alan Editörü

Assist. Prof. Dr. Oksana KOPLAK / Alan Editörü

Dr. Thomas FEGGELER / Alan Editörü

Prof. Dr. Tanju TEKER / Alan Editörü

Doç. Dr. Harun TÜRKMENLER / Alan Editörü

Doç. Dr. Şerif ÇİTİL / Alan Editörü

Doç. Dr. Miraç UÇKUN / Alan Editörü

Dr. Öğr. Üyesi Saadin OYUCU / Alan Editörü

Dr. Öğr. Üyesi Musa EŞİT / Alan Editörü

Arş. Gör. Abuzer DOĞAN / Alan, Mizanpaj ve Dil Editörü

Yazışma Adresi / Correspondence

Address - Adiyaman Üniversitesi

Mühendislik Fakültesi Dekanlığı

e-mail: mbd@adiyaman.edu.tr

Tel: 0 (416) 223 38 08

Fax: 0 (416) 223 38 09

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/adyumbd>

YAYIN KURULU/ EDITORIAL BOARD

- 1-Prof.Dr. Şemsettin TEMİZ(İnönü Üniversitesi)
- 2-Prof.Dr. Murat DEMİR AYDIN (Erzurum Teknik Üniversitesi)
- 3-Prof.Dr. İbrahim TÜRKMEN (İnönü Üniversitesi)
- 4-Prof.Dr. Naci ÇAĞLAR(Sakarya Üniversitesi)
- 5-Prof.Dr. Abdulkadir ÇEVİK(Gaziantep Üniversitesi)
- 6-Prof.Dr. Seyhan FIRAT (Gazi Üniversitesi)
- 7-Prof.Dr. Hasan OKUYUCU(Yıldırım Beyazıt Üniversitesi)
- 8-Prof.Dr. Eyüp DEBİK..... (Yıldız Teknik Üniversitesi)
- 9-Prof.Dr. Yusuf TUNÇTÜRK..... (Yüzüncü Yıl Üniversitesi)
- 10-Prof.Dr. Nevzat ARTIK..... (Ankara Üniversitesi)
- 11-Prof.Dr. Hamit ADİN (Batman Üniversitesi)
- 12-Prof.Dr. Halef DİZLEK(Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi)
- 13-Doç. Dr. Yaşar AYAZ(İnönü Üniversitesi)
- 14-Doç. Dr. Aysun ŞENER.....(Adana Bilim Teknoloji Üniversitesi)

DANIŞMA KURULU/ ADVISORY BOARD

- 1-Prof. Dr. Şemsettin TEMİZ(İnönü Üniversitesi)
- 2-Prof. Dr. Ergün ERÇELEBİ.....(Gaziantep Üniversitesi)
- 3-Prof. Dr. İbrahim TÜRKMEN(İnönü Üniversitesi)
- 4-Prof. Dr. Naci ÇAĞLAR(Sakarya Üniversitesi)
- 5-Prof. Dr. Abdulkadir ÇEVİK.....(Gaziantep Üniversitesi)
- 6- Prof. Dr. Eyüp DEBİK.....(Yıldız Teknik Üniversitesi)
- 7- Prof. Dr. Sema Koç KAYHAN(Gaziantep Üniversitesi)

ALAN EDİTÖRLERİ / SECTION EDITORS

Prof. Dr. Murat Pala	pala@adiyaman.edu.tr	İnşaat Mühendisliği , Deprem, Betonarme	2021-Devam Ediyor
Prof. Dr. Atilla AKKOYUNLU	akkoyun@boun.edu.tr	Çevre Bilimleri ve Mühendisliği	2021-Devam Ediyor
Dr. Öğr. Üyesi Bayram YURT	byurt@bingol.edu.tr	Gıda Bilimleri ve Mühendisliği	2021-Devam Ediyor
Dr. Öğr. Üyesi Faruk KÜRKER	fkurker@adiyaman.edu.tr	Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Elektrik Enerjisi ve Güç Sistemleri, Elektrik Tesisleri	2021-Devam Ediyor
Doç. Dr. Mehmet Fatih DİLEKOĞLU	dilekoglu@harran.edu.tr	Çevre Bilimleri ve Mühendisliği, Çevre Kimyası, Su Kaynakları Yönetimi, Su ve atıksu arıtma	2021-Devam Ediyor
Doç. Dr. Harun TÜRKMENLER	hturkmenler@adiyaman.edu.tr	Arıtma Tesisi Tasarımı, Çevre Kimyası, Su ve atıksu arıtma, Toprak Kirliliği ve Kontrolü, Yenilenebilir Enerji Kaynakları	2021-Devam Ediyor
Prof. Dr. İsmail BOZKURT	ibozkurt@adiyaman.edu.tr	Makine Mühendisliği, Enerji, Termodinamik, Yenilenebilir Enerji Sistemleri	2021-Devam Ediyor
Prof. Dr. Kerim KÜÇÜK	kerim.kucuk@deu.edu.tr	Maden Mühendisliği, Kaya Mekaniği ve Tahkimat, Maden Tasarımı, İşletme ve Ekonomisi, Madencilik Yöntemleri ve Maden Sistem Analizi, Madenlerde İş Güvenliği ve İşçi Sağlığı	2021-Devam Ediyor
Doç. Dr. Miraç UÇKUN	m.uckun@adiyaman.edu.tr	Gıda Bilimleri ve Mühendisliği	2021-Devam Ediyor
Dr. Öğr. Üyesi Musa EŞİT	mesit@adiyaman.edu.tr	Atmosfer Bilimleri, Hidroloji	2021-Devam Ediyor
Doç. Dr. Mustafa ASLAN	maslan@harran.edu.tr	Su ve atıksu arıtma, Yenilenebilir Enerji Kaynakları	2021-Devam Ediyor
Dr. Öğr. Üyesi Saadin OYUCU	saadinoyucu@adiyaman.edu.tr	Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği, Bilgisayar Sistem Yazılımı, Bilgisayar Yazılımı, Gömülü Sistemler, Veri Tabanları, Yapay Zeka	2021-Devam Ediyor
Doç. Dr. Senem TEKİN	senemtekin@adiyaman.edu.tr	Yer Bilimleri ve Mühendisliği, Deprem, Uygulamalı Jeoloji	2021-Devam Ediyor
Doç. Dr. Şerif ÇİTİL	scitil@adiyaman.edu.tr	Makine Mühendisliği	2021-Devam Ediyor
Doç. Dr. Seval UYANIK	suyanik@adiyaman.edu.tr	Tekstil Bilimleri ve Mühendisliği	2021-Devam Ediyor
Doç. Dr. Mihrimah ÖZMEN	mihrimah@erciyes.edu.tr	Endüstri Mühendisliği, Yöneylem Araştırması	2021-Devam Ediyor
Prof. Dr. Tanju TEKER	tanjuteker@cumhuriyet.edu.tr	İmalat Mühendisliği, Malzeme Teknolojileri	2021-Devam Ediyor
Prof. Dr. Zuhale KARAGÖZ	zgent@adiyaman.edu.tr	Metaller ve Malzeme Mühendisliği	2021-Devam Ediyor
Arş. Gör. Abuzer DOĞAN	abuzerdogan@adiyaman.edu.tr	Bilgisayar Mühendisliği	2021-Devam Ediyor

İÇİNDEKİLER- CONTENTS

1- KALSİT BİYOFLOTASYONUNDA DENİZ VE ŞEBEKE SUYUNUN KARŞILAŞTIRILMASI– “Araştırma Makalesi”

COMPARISON OF SEA AND TAP WATER AT CALCITE BIOFLOTATION– “Research Article”

Özkan VATANSEVER, Serhat ÖZDEMİR, Pınar AYTAZ ÇELİK, Ahmet ÇABUK, Derya ÖZ AKSOY87-97

2- HAVA JETLİ DOKUMA MAKİNALARINDA HAVA TÜKETİMİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ ve AZALTMAYA YÖNELİK DENEMELER – “Araştırma Makalesi”

EVALUATION OF AIR CONSUMPTION IN AIR JET WEAVING MACHINES AND TRIALS TO REDUCE – “Research Article”

Belkis ZERVENT ÜNAL, Bayram DEMİR.....98-112

3- APPLICATION OF A NEW DYNAMIC ANALYSIS METHOD TO PID CONTROLLED SPEED GOVERNORS IN HYDROELECTRIC POWER PLANTS – “Research Article”

HİDROELEKTRİK SANTRALLERDE PID KONTROLLÜ HIZ REGÜLATÖRLERİNE YENİ BİR DİNAMİK ANALİZ YÖNTEMİNİN UYGULANMASI– “Araştırma Makalesi”

Gökhan KAHRAMAN, Erdem IŞIK113-124

4- Al₂O₃ PARTICLE SIZE EFFECT ON REINFORCED CU COMPOSITES PRODUCED BY HIGH ENERGY MILLING – “Research Article”

YÜKSEK ENERJİLİ ÖĞÜTME İLE ÜRETİLEN Al₂O₃ TAKVİYELİ CU KOMPOZİTLERDE PARÇACIK BOYUTUNUN ETKİSİ – “Araştırma Makalesi”

Kerim Emre ÖKSÜZ.....125-134

5- FABRICATION AND PROPERTIES OF FeCrC REINFORCED COPPER ALLOYS BY MECHANICAL ALLOYING – “Research Article”

MEKANİK ALAŞIMLAMA İLE FeCrC TAKVİYELİ BAKIR ALAŞIMLARININ ÜRETİMİ – “Araştırma Makalesi”

Tanju TEKER, Serdar Osman YILMAZ.....135-140

6- DESIGN OF THE PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS MOTOR USED IN ELECTRIC VEHICLES WITH THE HELP OF THE PARTICLE SWARM ALGORITHM AND ANSYS-MAXWELL – “Research Article”

ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA KULLANILAN KALICI MIKNATISLI SENKRON MOTORUN PARÇACIK SÜRÜ ALGORİTMASI VE ANSYS-MAXWELL YARDIMIYLA TASARIMI VE ANALİZİ – “Araştırma Makalesi”

Yıldırım ÖZÜPAK, Mehmet ÇINAR 141-155

7- MODEL ASORTİ RAPORU HESAPLANMASINA YÖNELİK YAZILIM GELİŞTİRİLMESİ – “Araştırma Makalesi”

DEVELOPMENT OF SOFTWARE FOR CALCULATION OF MODEL CUT ORDER PLAN – “Research Article”

Raşit ARSOY, Selçuk ASLAN 156-167

8- İNSANSIZ HAVA ARACI İLE PAKET DAĞITIMINDA GEZGİN SATICI PROBLEMİNİN GENETİK VE PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYON ALGORİTMALARI İLE ÇÖZÜMÜ – “Araştırma Makalesi”

SOLUTION OF THE TRAVELING SALESMAN PROBLEM IN PACKAGE DISTRIBUTION WITH DRONE WITH GENETICS AND PARTICLE SWARM OPTIMIZATION ALGORITHMS – “Research Article”

Enes Buğra ACAR, Cumali KARABEY, Bayram KÖSE..... 168-181

KALSİT BİYOFLOTASYONUNDA DENİZ VE ŞEBEKE SUYUNUN KARŞILAŞTIRILMASI

Özkan VATANSEVER¹, Serhat ÖZDEMİR^{2*}, Pınar AYTAR ÇELİK^{2,3}, Ahmet ÇABUK^{1,2}, Derya ÖZ AKSOY⁴

¹Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Biyoloji Bölümü, 26040, Eskişehir, Türkiye

²Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Biyoteknoloji ve Biyogüvenlik Bölümü, 26040, Eskişehir, Türkiye

³Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Çevre Koruma ve Kontrol Programı, 26040, Eskişehir, Türkiye

⁴Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 26040, Eskişehir, Türkiye

Geliş Tarihi/Received Date: 14.10.2022 Kabul Tarihi/Accepted Date: 24.05.2023 DOI: 10.54365/adyumbd.1186993

ÖZET

Yerküredeki su kaynaklarının yaklaşık %97'si okyanuslarda, %2'si buzullardadır; dolayısıyla toplam su rezervinin sadece yaklaşık %0.5-0.8'i tatlı su kaynaklarını kapsamaktadır. Madencilik endüstrisinde cevherlerin flotasyon ile zenginleştirilmesi için yüksek tonajlarda tatlı su kullanılmaktadır. Dahası, madencilik faaliyetlerinin genellikle tatlı suya çok sınırlı erişimi olan kurak alanlarda olması da çözüm bekleyen bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Özetle, yeryüzünün belirli bölgelerindeki su talebi ve kıtlığı, madencilik endüstrisindeki flotasyon uygulamaları için deniz suyu kullanımını sürdürülebilir bir çözüm haline getirmektedir. Bu araştırma kapsamında, karbonatlı bir mineral olan kalsitin deniz suyu ile flotasyonunda toplayıcı olarak *Bacillus subtilis*'den elde edilen sürfaktinin ve klasik flotasyon reaktifi olan sodyum oleatın kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla flotasyon deneylerinde deniz suyu ve kontrol olarak şebeke suyu kullanılmıştır. Deneylerde şartlandırma süresi ve toplayıcı miktarı olmak üzere iki önemli parametrenin kalsit verimi üzerine etkisi incelenmiştir. Elde edilen veriler neticesinde deniz suyunun biyoflotasyon etkinliğini düşürdüğü gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Bacillus subtilis*, *Biyoflotasyon*, *Kalsit*, *Sürfaktin*, *Oleat*

COMPARISON OF SEA AND TAP WATER AT CALCITE BIOFLOTATION

ABSTRACT

Approximately 97% of the world's water resources are in the oceans and 2% glaciers, so only about 0.8-0.5% of total water reserve includes freshwater resources. High tonnages of fresh water are used to enrich the ores used in the mining industry through flotation. Furthermore, mining operations are typically located in arid areas with very limited access to fresh water, which is a problem that must be addressed. In summary, water demand and scarcity in certain regions of the earth make the use of seawater a sustainable solution for flotation applications in the mining industry. In this research, the usability of surfactin obtained from *Bacillus subtilis* and sodium oleate, a classical calcite flotation reagent as collect_ors in seawater flotation were investigated. In the experiments, sea water and tap water (control) were used and the effects of two critical parameters on the yield of calcite were tested: conditioning time and collector amount. The results showed that sea water reduced bioflotation efficiency more than classical calcite flotation.

Keywords: *Bacillus subtilis*, *Bioflotation*, *Calcite*, *Surfactin*, *Oleat*

e-posta¹ : mr_vatansever@hotmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9395-7818>

* e-posta² : srht.ozdemir.1@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9238-0658> (Sorumlu Yazar)

e-posta³ : pinaraytar@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9447-1668>

e-posta⁴ : acabuk@ogu.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4619-6948>

e-posta⁵ : deryaoz@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0604-3661>

1. Giriş

Dünyanın en büyük su rezervini okyanuslar temsil etmektedir. Yeryüzündeki suyun yaklaşık %96,5-97'si deniz suyudur, %1,7-2'si ise buzullarda ve buz örtüsünde hapsolmüştür. Tatlı su, toplam su kaynağının sadece %0,5-%0,8'ini oluşturmaktadır [1]. Nehirler ve yeraltı suları birçok kurak bölgede endişe verici bir hızla tükenmektedir. Diğer tüm sektörler gibi, madencilik ve özellikle flotasyon alanlarında, özellikle karbonatlı minerallerin flotasyonunda tatlı su kullanımı proses verimliliği açısından önemlidir. Ancak, flotasyon prosesinde ihtiyaç duyulan su miktarı düşünüldüğünde, sınırlı olan tatlı suyun kullanılması, flotasyon teknolojisinin sürdürülebilirliği açısından bir sorun haline gelmektedir. Geçmişte, pek çok araştırmacı flotasyon ayırma prosesini incelemiş ve birçok faktörün köpük flotasyonu üzerindeki etkisini rapor etmiştir, ancak deniz suyu flotasyonu hakkında çok az rapor bulunmaktadır [2]. Şili'deki zenginleştirme tesislerinde tatlı su ile yapılan flotasyon proseslerinin maliyetini düşürmek amacıyla deniz suyu kullanımı teşvik edilmektedir. Bu nedenle, Atacama Çölü'ndeki Sierra Gorda gibi sahalarda flotasyon ortamı olarak deniz suyu kullanılmaktadır [3]. Halofilik bakteriler, genellikle bakterilerin büyümesi için zararlı olan yüksek tuz konsantrasyonları gibi ekstrem koşullara uyum sağlamış bakterilerdir [4]. Bu özellikleri sayesinde deniz suyunun bol ve tatlı suyun kısıtlı olduğu bölgelerde daha çevre dostu bir süreç olan biyoflotasyon uygulamalarında kullanılmak üzere önemli bir potansiyele sahiptir. Örneğin beş farklı halofilik bakteri (*Halomonas boliviensis*, *Marinobacter* sp., *Halobacillus* sp., *Marinococcus* sp. ve *Halomonas* sp.) pirit-kalkopirit seçimli flotasyonunda pirit bastırıcısı olarak kullanılmıştır [5]. Son yıllarda yapılan deniz suyu ile doğal pH'ta yapılan flotasyon çalışmalarında, *At. Ferrooxidans*'ın molibdenit veya kalkopirit flotasyonunu etkilemeden pirit bastırıcısı olarak kullanılabilmesi gösterilmiştir [6,7]. Sonuç olarak, böyle bir uygulama sadece daha sürdürülebilir bir teknoloji olarak kalmayıp, aynı zamanda kurak (yeraltı su kaynağı sınırlı) ve denize yakın bölgelerdeki işletme koşullarını da iyileştirebilecektir. [8-10].

Flotasyonda kullanılan ve yüzey gerilimini düşürücü özelliğe sahip olan biyoreaktifler "biyosümfektanlar" olarak adlandırılmaktadır [11,12]. Çeşitli mikroorganizmalar tarafından üretilen doğal yüzey aktif maddelerden birisi de sümfaktin olarak literatürde yerini almıştır [13]. *Bacillus subtilis* tarafından üretilen ve siklik yapıda bir lipopeptid olan sümfaktin, literatürdeki en güçlü yüzey aktif maddelerden birisi olarak tanımlanmıştır. Sümfaktin, 20 mM gibi oldukça düşük bir konsantrasyonda bile suyun yüzey gerilimini 72 N/m'den 27 N/m'ye kadar düşürmektedir [14,15]. Bu özelliği ile köpürtücü olarak kullanılabilmesi bilinen "sümfaktin" in, literatürde iyi bir karbonat toplayıcısı olarak kullanılabilirliğine ilişkin raporlar da bulunmaktadır [16,17].

Bu çalışmada, *Bacillus subtilis*'den ekstrakte edilen ve daha önce tatlı suda etkinliği gösterilmiş olan "sümfaktin" in, kalsit mineralinin deniz suyu ile yapılan flotasyonunda toplayıcı olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Ayrıca, deniz suyu ile elde edilen biyoflotasyon verilerinin daha iyi yorumlanabilmesi için, klasik karbonat flotasyonunda toplayıcı olarak kullanılan oleat ile de deneysel çalışmalar tekrarlanmış ve her iki (biyo ve klasik) flotasyon sonuçları karşılaştırılmalı olarak değerlendirilmiştir.

2. Materyal ve Metod

2.1. Materyal

2.1.1. Çalışmada Kullanılan Cevher Numunesi

Çalışmada kullanılan kalsit numunesinin element analizi X-ışını floresan spektrometresi (XRF Panalytical Zetium, Malvern Panalytical Inc., UK) ile, mineralojik analizi X-ışını difraksiyonu (XRD Panalytical Empyrean, Malvern Panalytical Inc., UK) ile Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarlarında (ESOGÜ ARUM) yapılmıştır. XRF ve XRD analiz sonuçlarına göre numune %54,471 oranında CaO ve yaklaşık %97,27 oranında CaCO₃ içermektedir [16]. İçerdiği Fe₂O₃

(%0,048) ve SiO₂ (%0,131) gibi safsızlık oranlarının çok düşük olması sebebiyle numune, olduğu hali ile saf kalsit numunesi gibi değerlendirilmiştir. Kalsit numunesi seramik kavanoz tipi bilyeli değirmende kapalı devre kontrollü kuru öğütme ile -0,106 mm boyutuna indirilmiş ve numune bölme kurallarına uygun olarak her deney için gerekli miktarlara bölünmüştür. Flotasyon deneylerinin tamamı laboratuvar tipi mekanik karıştırılmalı Denver flotasyon makinası ile ESOGÜ Maden Mühendisliği Bölümü Cevher Hazırlama Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Ayrıca zeta potansiyel ölçümü için temsili numune alınarak -0,010 mm boyutuna indirilmiştir.

2.1.2. Biyosülfektan Üretiminde Kullanılan Mikroorganizma ve Sarf Malzemeleri

Bu çalışmada, biyosülfektan üretimi için *Bacillus subtilis* (kayıt numarası: MN728539) olarak adlandırılan Gram pozitif bir bakteri kullanılmıştır. Bakteri üretimi ve biyosülfektan ekstraksiyon sürecinde Broth besi ortamı olarak, NH₄Cl, KH₂PO₄, K₂HPO₄, KCl, NaCl, maya özütü, CaCl₂.2H₂O, ZnSO₄.7H₂O, MnSO₄.H₂O, MgSO₄.7H₂O, glikoz (karbon kaynağı), HCl, NaOH ve H₂SO₄ kullanılmıştır. Tüm besiyerleri ve kimyasallar analitik saflıkta temin edilmiştir.

Ayrıca üretilen biyosülfektanın sülfaktin olduğunu doğrulamak için analitik saflıkta Sigma Aldrich “sülfaktin” numunesi kullanılmıştır.

2.1.3. Flotasyon Reaktifleri

Flotasyonda biyotoplayıcı olarak ESOGÜ Biyoteknoloji laboratuvarlarında üretilen ve bir biyosülfektan olan “sülfaktin” kullanılmıştır. Kontrol deneylerinde ise toplayıcı olarak analitik saflıktaki sodyum oleat kullanılmıştır.

2.2. Metod

Çalışmalara, sülfaktin adsorbsiyonunun bir göstergesi olarak saf numunede ve toplayıcı adsorbe edilmiş numunelerde zeta potansiyel ölçümleri yapılarak başlanmıştır.

Flotasyon deneyleri, etkisi incelenecek parametrelerin belirlenmesinin ardından;

-Deniz suyu ve tatlı su ile yapılan biyoflotasyon deneyleri,

-Deniz suyu ve tatlı su ile yapılan oleatlı klasik kalsit flotasyonu deneyleri, olmak üzere toplam 4 seri olarak gerçekleştirilmiştir.

2.2.1. Biyosülfektan Üretimi ve Ekstraksiyonu

Bakteri kültürü, gece boyunca nütrient broth besi ortamında inkübe edilmiştir. Bu kültürden biyosülfektan üretimi amacı ile hazırlanan mineral tuz ortamının 1 litresinde 15 g NH₄Cl, 4,3 g KH₂PO₄, 3,4 g K₂HPO₄, 1,1 g KCl, 1,1 g NaCl, 0,5 g maya özütü, 0,24 g CaCl₂.2H₂O, 0,29 g ZnSO₄.7H₂O, 0,17 g MnSO₄.H₂O, 0,5 g MgSO₄.7H₂O bulunmaktadır. Bu ortama karbon kaynağı olarak 20 g glikoz eklenmiştir. Bakteri kültürü 35°C ve 150 rpm’de 72 saat inkübe edilmiş ve 110°C’de 25 dk otoklav sterilizasyonu gerçekleştirilmiştir. İnkübasyonun ardından biyokütle 10000 rpm’de 15 dk santrifüj edilerek uzaklaştırılmıştır. Süpernatanttan biyosülfektanın ekstraksiyonu için 2 M HCl eklenerek pH 2’ye ayarlanmıştır [18]. Elde edilen karışım 10000 rpm’de 10 dk santrifüj edilerek toplanmış ve çözücü olarak etil asetat ilave edilmiştir. Karışım 10 dk boyunca vorteks yapılarak 10000 rpm’de 5 dk santrifüj edilmiştir. Elde edilen biyosülfektan vakum konsantratör ile yoğunlaştırılmıştır [19]. Deneylerin pH’ı, analitik dereceli NaOH ve H₂SO₄ kullanılarak ayarlanmıştır. Sülfaktin ve oleat köpürtme özelliklerine sahip olduğundan flotasyon deneylerinde köpürtücü ilavesi yapılmamıştır [20]. Sülfaktin çözücüsü olarak analitik saflıkta etil asetat kullanılmıştır.

2.2.2. *Biyosüpfektan Analizleri*

Laboratuvarda üretilip saflaştırılan biyosüpfektanın fonksiyonel grup yapısı ile standart süpfektinin (Sigma-Aldrich) fonksiyonel grup yapısının karşılaştırılması amacıyla her iki malzemenin FT-IR spektrumları Perkin Elmer Spectrum Two FTIR spektrometresi ile, oda sıcaklığında 650-4000 cm^{-1} aralığında, ATR (Zayıflatılmış toplam yansıma) ünitesi kullanılarak elde edilmiştir [16]. Bu çalışmadan elde edilen veriler, laboratuvar ortamında üretilen biyosüpfektanın FT-IR spektrumunun ve NMR profilinin referans süpfektin pikleri ile örtüştüğünü göstermiştir. Böylece üretilen biyoreaktifin “süpfektin” olduğu doğrulanmış ve biyoflotasyon deneylerinde karbonat/kalsit toplayıcısı olarak kullanılmıştır [16].

2.2.3. *Zeta Potansiyel Analizleri*

Reaktif adsorbsiyonunu göstermek amacı ile gerçekleştirilen zeta potansiyel ölçümlerinin tümü, flotasyon pH'ı olarak seçilen pH 9'da gerçekleştirilmiştir. Zeta potansiyel ölçümleri -0,010 mm'ye öğütülmüş numune ile ve Malvern Zeta Sizer Nano Series Nano-2S cihazında yapılmıştır. Zeta potansiyel ölçümleri; şebeke suyu ve deniz suyunda iki ayrı set halinde şartlandırmalar yapılarak, yüzeye reaktif adsorbe edilmemiş, süpfektin adsorbsiyonu ve oleat adsorbsiyonu sonrası olmak üzere 3 farklı şekilde toplam altı set halinde gerçekleştirilmiştir. Süpfektin ve sodyum oleatın konsantrasyonları 0,1 mM olacak şekilde her iki reaktif için de eşit tutulmuştur. Zeta potansiyel ölçümleri numuneler 0,0015 M KCl çözeltisi ile süspansiyon haline getirilerek yapılmıştır.

2.2.4. *Flotasyon Deneyleri*

Daha önce de belirtildiği gibi, bu çalışma kapsamında, deniz suyunun kalsit biyoflotasyonuna etkisi araştırılmıştır. Etkisi incelenecek parametrelerin belirlenmesinde, Çelik ve arkadaşları tarafından yayınlanmış ve şebeke suyu ile yapılmış önceki çalışmalardan yararlanılmıştır [16]. Bu çalışmada pH 8'in altında ve pH 10'un üzerinde flotasyon veriminin düştüğü ve en uygun pH'ın hem biyoflotasyon ve hem de klasik kalsit flotasyonu için 9-9,5 arasında olduğu gösterilmiştir. Bu nedenle, flotasyon deneylerinin tamamı pH 9,3'te yapılmıştır. Katı oranı %30'da sabit tutulmuş, süpfektin/etil asetat oranı 1/12,5 olacak şekilde hazırlanmıştır.

Etkisi incelenecek parametrelerin seçimi için, deniz suyu ve tatlı su ile yapılan ön klasik flotasyon deneyleri ile şartlandırma süresinin etkisi araştırılmıştır.

Ön deney sonuçlarının, klasik flotasyonda şartlandırma süresinin etkili olduğunu göstermesi üzerine, flotasyon çalışmalarında etkisi incelenecek ilk parametre olarak şartlandırma süresi seçilmiştir. İkinci parametre olarak da flotasyon verimi üzerinde etkisi en yüksek parametre olduğu bilinen toplayıcı miktarı seçilmiştir.

Deniz suyunun etkisinin belirlenebilmesi için biyoflotasyon deneyleri aynı koşullarda hem deniz suyu hem de tatlı su ile olmak üzere iki set halinde gerçekleştirilmiştir. Son olarak hem deniz hem de tatlı su ile oleatla klasik kalsit flotasyonu yapılmıştır. Böylece deniz suyunun etkisinin klasik flotasyon ve biyoflotasyon açısından karşılaştırmalı olarak değerlendirilebilmesi amaçlanmıştır. Flotasyon deney parametreleri Çizelge 1'de verilmiştir.

3. **Bulgular**

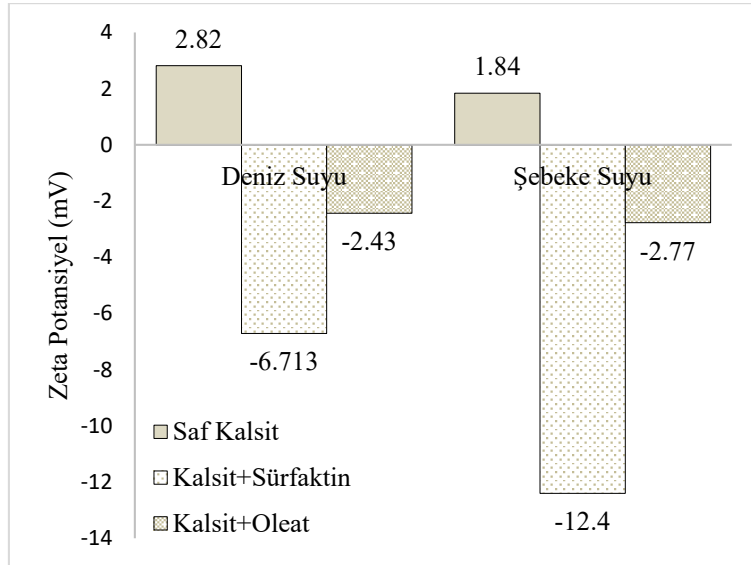
3.1. *Zeta Potansiyel Analizi Sonuçları*

pH 9'da -0,010 mm boyutundaki toplayıcı adsorbsiyonuna tabi tutulmamış (saf kalsit) ve yüzeyine toplayıcı (süpfektin ve oleat) adsorbsiyonu gerçekleştirilmiş kalsit numuneleri üzerinde yapılan zeta potansiyel ölçümleri Şekil 1'de verilmiştir. Bu bölümden sonra yüzeye toplayıcı adsorbsiyonu

yapılmamış kalsit numunesinden “saf kalsit” olarak bahsedilecektir. Şekil 1’den de görüldüğü gibi şebeke suyu ile pH 9’da saf kalsit +1,84 mV’luk bir zeta potansiyel değerine sahiptir. Sürfaktin adsorbsiyonundan sonra bu değer -12,4 mV; oleat adsorbsiyonundan sonra ise -2,77 mV’a düşmüştür. Bu değişimler her iki reaktifin de kalsit yüzeyine adsorbe olduğunu göstermektedir. İki reaktifle elde edilen sonuçlar arasındaki fark sürfaktinin moleküler yapısında daha fazla negatif yük barındırması ile açıklanabilir. Diğer taraftan deniz suyunda saf kalsit numunesinin zeta potansiyeli +2,82 mV iken; sürfaktin adsorbsiyonu ile -6,71 mV’a; oleat adsorbsiyonu ile -2,43 mV’a düşmüştür. Deniz suyundaki zeta potansiyellerdeki düşme şebeke suyuna göre daha az olmuştur. Bu da deniz suyundaki “+” yüklü iyonların zeta potansiyel üzerinde etkili olduğunu göstermektedir. Sürfaktinde zeta potansiyel daha güçlü negatif yük gösterdiği için deniz suyundaki katyonların etkisinin daha fazla olduğu düşünülmüştür.

Çizelge 1. Flotasyon Deneyleri Koşulları

<i>Parametre</i>	<i>Birim</i>	<i>Tip/Miktar</i>
<i>Ortam</i>		<i>Deniz suyu, Şebeke Suyu</i>
<i>Katı Oranı</i>	%	30
<i>pH</i>	-	9,3
<i>Toplayıcı Cinsi</i>	-	<i>Sürfaktin Oleat</i>
<i>Toplayıcı Miktarı Sürfaktin Oleat</i>	<i>g/t</i>	<i>100; 200; 300; 600 1000; 2000; 3000; 4000</i>
<i>Şartlandırma Süresi</i>	<i>dk</i>	<i>5; 10; 15; 20</i>
<i>Köpük Alma Süresi</i>	<i>sn</i>	150



Şekil 1. Sürfaktin ve oleat adsorbsiyonu sonrası kalsit zeta potansiyel değerleri (pH 9).

3.2. Flotasyon Deneyleri Sonuçları

Sistemantik deneylerin sonuçları, incelenen parametrelere göre verilmiştir. Her parametrede biyoflotasyon ve klasik flotasyon sonuçları ayrı ayrı, ortamın deniz suyu ve şebeke suyu olmasını da içerecek şekilde tablo halinde verilmiştir. Parametre değerlendirmesinin son aşamasında, o parametreye ait tüm sonuçlar, karşılaştırma yapılabilmesi için, grafiksel olarak gösterilmiştir.

3.2.1. Şartlandırma Süresinin Etkisi

Şartlandırma süresinin etkisi araştırılırken biyoflotasyonda sürfaktin miktarı 100 g/t, klasik flotasyonda toplayıcı oleat miktarı 1400 g/t olarak alınmıştır. Biyoflotasyon sonuçları Çizelge 2’de ve klasik flotasyon sonuçları Çizelge 3’te verilmiştir. Deneysel sonuçlar toplu halde Şekil 2’de görülmektedir.

Çizelge 2. Biyoflotasyonda şartlandırma süresinin etkisi

Süre (dk)	Verim (%)		Fark (%)
	Deniz suyu	Şebeke Suyu	
5	32,28	42,15	23,42
10	33,12	41,96	21,07
15	32,83	41,28	20,47
20	32,61	41,75	21,89

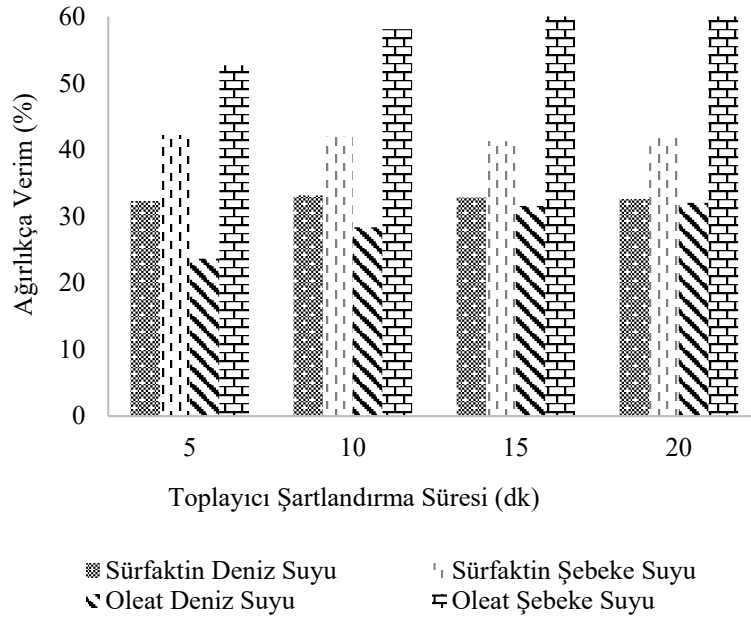
Çizelge 3. Klasik flotasyonda şartlandırma süresinin etkisi

Süre (dk)	Verim (%)		Fark (%)
	Deniz suyu	Şebeke Suyu	
5	23,63	52,68	55,14
10	28,35	58,11	51,21
15	31,55	63,77	50,53
20	32,03	64,95	50,69

Sonuçlar incelendiğinde, sürfaktinin deniz suyu veya şebeke suyu farketmeksizin, şartlandırma süresinden etkilenmediği; buna karşılık oleat ile yapılan klasik flotasyonda her iki ortam için de (deniz suyu ve şebeke suyu) ağırlıkça verimin şartlandırma süresine bağlı olarak değiştiği oldukça dikkat çekicidir. Diğer önemli bir veri ise, şebeke suyuna göre verim kaybı biyoflotasyonda %25’in altında kalırken bu değer oleatla yapılan klasik flotasyonda %50’lerin üzerinde gerçekleşmiştir. Bu veriler ışığında şartlandırma süreleri biyoflotasyonda 5 dk ve klasik flotasyonda 15 dk olarak seçilmiştir.

3.2.2. Toplayıcı Miktarının Etkisi

Toplayıcı miktarının etkisi araştırılırken, ilk seri deneylerden elde edilen şartlandırma süreleri baz alınmıştır. Biyoflotasyon sonuçları Tablo 4’te ve klasik flotasyon sonuçları Tablo 5’te verilmiştir. Deneysel sonuçlar ayrıca toplu halde Şekil 3’te görülmektedir.



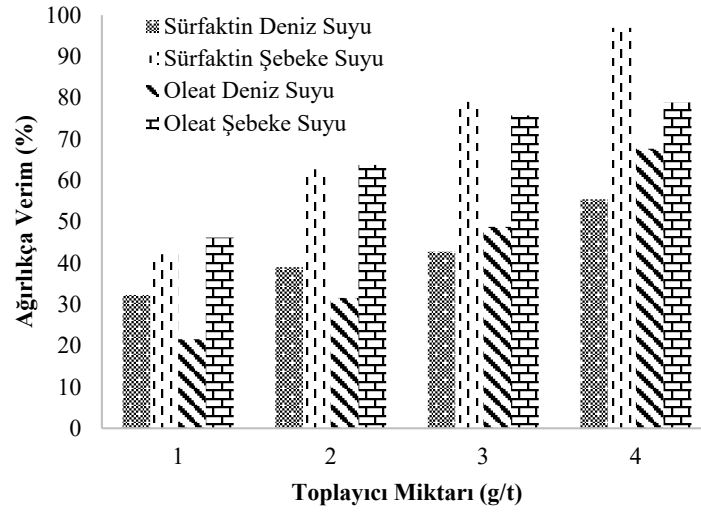
Şekil 2. Şartlandırma süresinin ağırlıkça verime etkisi.

Çizelge 4. Biyoflotasyonda toplayıcı miktarının etkisi

Miktar (g/t)	Verim (%)		Fark (%)
	Deniz suyu	Şebeke Suyu	
100	32,28	42,15	23,42
200	39,01	62,70	37,78
300	42,75	79,03	45,91
600	55,42	96,95	42,84

Çizelge 5. Klasik flotasyonda toplayıcı miktarının etkisi

Miktar (g/t)	Verim (%)		Fark (%)
	Deniz suyu	Şebeke Suyu	
800	21,55	46,17	53,32
1400	31,55	63,77	50,52
2000	48,77	75,74	35,60
3000	67,67	78,88	14,21
4000	75,88	81,15	6,49



Şekil 3. Toplayıcı miktarının ağırlıkça verime etkisi.

Biyoflotasyonda, hem şebeke suyu hem de deniz suyu kullanılan deneylerde 600 g/t'a kadar toplayıcı miktarındaki artışa paralel verim artışları gözlenmiştir. 600 g/t toplayıcı miktarında şebeke suyu ile yapılan flotasyonda %95'in üzerinde bir verim elde edilmiştir. Deniz suyuna geçildiğinde ise, toplayıcı miktarının artışı ile verimde çok küçük artışlar gözlenmiş ve kullanılan en yüksek toplayıcı miktarı olan 600g/t sürfaktinde %55,4'lük bir verim elde edilmiştir. Bu da şebeke suyundan deniz suyuna geçişte yaklaşık %42,8'lik bir verim düşüşü anlamına gelmektedir. Ancak, deniz suyu ile yapılan flotasyondaki eğilim, daha yüksek sürfaktin miktarında verim artışının sağlanabileceği yönündedir.

Klasik flotasyonda ise toplayıcı miktarının artışı 2000 g/t'a kadar verimde artışa yol açmış ve 2000 g/t'da yaklaşık %76'lık verime ulaşılmıştır. Daha yüksek toplayıcı miktarları ise verimde çok küçük bir artış sağlamış ve 4000 g/t'da maksimum %81'lik verim elde edilmiştir. Diğer bir deyişle, toplayıcı miktarının iki kata çıkması verimi %76'dan %81'e çıkararak yaklaşık %5'lik bir artış sağlamıştır. Deniz suyu ile yapılan flotasyonda da toplayıcı miktarındaki artışın verimdeki artışa etkisi azalma eğilimindedir. Dolayısıyla her iki ortam için de daha da yüksek toplayıcı miktarlarında verimde artış beklenmemektedir. Literatüre göre de oleatın ortalama 1500-2000 g/t değerinde kullanıldığı bilinmektedir. Bu değerlerin üzerinde misel oluşumu nedeniyle oleat miktarındaki artış verimde artışa yol açmamaktadır [21].

Biyoflotasyonda en yüksek toplayıcı miktarı olan 600 g/t'da şebeke suyunda elde edilen verim %96,95 iken bu değer deniz suyunda %55,42'ye düşmektedir. Ancak toplayıcı miktarının artırılması ile deniz suyunda verimde artış eğilimi vardır.

Deniz suyu flotasyonunda toplayıcı tüketimi-verim ilişkileri incelendiğinde; klasik flotasyonda, kabul edilebilir toplayıcı miktarı olan 2000 g/t'da %48,77 verim elde edilmiştir. Sürfaktin tüketimi açısından; 300 g/t'da %42,75 ve 600 g/t'da %55,42 verim elde edilmiştir. Yaklaşık 450 g/t toplayıcı ile %48'lik verim elde edilebileceği söylenebilir. Bu da aynı verim değeri için ¼'den az toplayıcı tüketimine karşılık gelmektedir. Deniz suyunda en yüksek verim 4000 g/t'da %75,88 olarak gerçekleşmiştir. Ancak, bu değerler, gerek laboratuvar ve gerekse endüstriyel ölçekte uygulanan miktarların çok üzerindedir.

4. Değerlendirme ve Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında karbonatlı bir mineral olan kalsit mineralinin biyoflotasyonunda deniz suyunun kullanılabilirliğinin araştırılması hedeflenmiştir. Bu amaçla deniz suyu ve kontrol olarak

şebeke suyu kullanılarak kalsit minerali üzerinde biyoflotasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bir ileri kontrol olarak da biyoflotasyon deneylerine eşdeğer klasik kalsit flotasyon deneyleri yapılmıştır.

Şebeke suyu ile yapılan biyoflotasyonda, 600 g/t sürfaktin miktarı ile verim değeri %96'nın üzerine çıkarken; 4000 g/t oleat kullanımında bu değer %81'lerde kalmıştır. Daha fazla oleat toplayıcı kullanımı verimi iyileştirmemektedir.

Deniz suyu ile yapılan biyoflotasyonda verim düşüşü klasik flotasyona göre daha yüksek olmasına rağmen, kullanılan sürfaktin miktarı oleata göre çok daha azdır. Biyoflotasyonda yüksek verim değerlerinin elde edildiği sürfaktin miktarları, yakın verim değerleri için gereken oleat miktarlarının çok altında kalmaktadır. Yüksek miktarda sürfaktin kullanılması durumunda, deniz suyu ile yapılan biyoflotasyon deneylerinde daha yüksek verimler elde edilebileceği görülmektedir.

Laskowski ve arkadaşlarının 2019'da yayınladıkları çalışmada deniz suyu flotasyonunda verim değişikliğinin sebepleri ayrıntılı olarak incelenmiştir [8]. Bu çalışmada, ilk aşamada temel sistem olarak hidrofobik tanenin toplayıcısız flotasyonu ele alınmış ve elde edilen sonuçlara göre deniz suyundaki verim artışı; tuzlu suda tane yüzeyinin kabarcığa yapışmasını güçleştiren enerji bariyerinin düşmesine ve kabarcık boyutunun küçülmesine bağlanmıştır. Ancak toplayıcı ve köpürtücü kullanımı söz konusu olduğunda durum daha karmaşık hale gelmektedir.

İlk aşamada köpürtücü açısından sistem incelendiğinde, düşük köpürtücü miktarlarında (MIBC için yaklaşık 100 ppm'e kadar) tuzlu sudaki yüzey gerilimi tatlı sudan yüksek olmaktadır. Köpürtücü miktarı bu eşik değeri geçtiğinde tuzlu sudaki yüzey gerilimi hızlı bir şekilde düşmeye başlayarak tatlı suya göre çok daha küçük değerlere ulaştığı rapor edilmiştir.

Burada verilen çalışma incelendiğinde, kullanılan 1000-4000 g/t oleat (toplayıcı/köpürtücü) miktarının eşik değerin çok üzerinde olduğu ve dolayısıyla tuzlu suda çok daha düşük yüzey gerilimi değerlerinin elde edilmiş olabileceği düşünülmüştür. Dolayısıyla oleat flotasyonunda verim düşüşünün yüzey geriliminden kaynaklanmıyor olduğu sonucuna varılmıştır. Sürfaktin ile yapılan flotasyonda ise kullanılan düşük toplayıcı/köpürtücü konsantrasyonlarının eşik değerin altında kalması sebebi ile tuzlu suda daha yüksek yüzey gerilim değerleri vermiş olabileceği, dolayısıyla düşük verimde yüzey geriliminin de etkili olabileceğini düşünülmüştür.

Yine Laskowski vd. (2019) tarafından yayınlanmış çalışmada, kullanılan toplayıcı cinsi ve pH ayarlama gerekliliği verim düşüşünde diğer önemli etkenler olarak verilmiştir [8]. Burada, Mg^{+2} ve Ca^{+2} iyonlarının oleik asit gibi toplayıcılarla nötre yakın pH'larda bileşik oluşturarak reaktifin tane yüzeyine adsorblanmasını engellediği, böylece verim düşüşüne yol açtığı belirtilmektedir. pH arttıkça Mg^{+2} ve Ca^{+2} iyonlarının hidrolize uğrayarak mineral yüzeyine çöküp bastırıcı etki gösterdiği hem bu çalışmada ve hem de Yepsen vd. (2019) tarafından yayınlanmış çalışmada belirtilmiştir [22].

Burada verilen çalışma bu açıdan irdelendiğinde, pH 9'da çalışılmış olması, Mg^{+2} ve Ca^{+2} iyonlarının hidrolizi yerine COO^- fonksiyonel grubunu içeren her iki reaktifle de bileşik oluşturduğu ve verimin düşmesine de bu durumun yol açtığı sonucuna varılmıştır.

Dünyanın en büyük problemlerinden birinin tatlı su kaynaklarına erişimin kısıtlı olması düşünüldüğünde, deniz suyu ile yüksek miktarlarda sürfaktin kullanılarak yüksek verimlilikle flotasyon yapılması mümkün görünmektedir. Ayrıca sürfaktin için şartlandırma süresinin oleata göre çok daha kısa olması da, (ilk yatırım ve işletme maliyetleri açısından) biyoflotasyonun bir diğer avantajıdır. Tatlı su kıtlığı ve deşarj edilen suyun kalitesine ilişkin ortaya konabilecek katı düzenlemeler nedeniyle, yakın gelecekte daha fazla sayıda flotasyon tesisi yeraltı suyu, deniz suyu veya yüksek elektrolit konsantrasyonuna sahip geri dönüşüm suyu kullanmak zorunda kalacaktır. Bu açıdan bakıldığında bu çalışma deniz suyunun sürfaktin ile gerçekleştirilen kalsit biyoflotasyonundaki potansiyelini ortaya koyması bakımından literatüre katkı sağlamaktadır.

Bu çalışmanın devamı olarak reaktif maliyetleri, ilk yatırım ve işletme maliyetleri beraberinde seçimlilik değerleri açısından da iki reaktifin karşılaştırılması gerekmektedir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları herhangi bir kurum, kuruluş, kişi ile kişisel ve finansal çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedirler.

Kaynaklar

- [1] Greenlee LF, Lawler DF, Freeman BD, Marrotc B, Moulin P. Reverse osmosis desalination: water sources, technology, and today's challenges. *Water Research* 2009; 43(9): 2317–2348. Doi: 10.1016/j.watres.2009.03.010
- [2] Wang B., Peng Y. The effect of saline water on mineral flotation – A critical review. *Minerals Engineering* 2014; 66-68, 13–24. Doi: 10.1016/j.mineng.2014.04.017
- [3] Moreno PA, Aral H, Cuevas J, Monardes A, Adaro M, Norgate T, Bruckard W. The use of seawater as process water at Las Luces copper–molybdenum beneficiation plant in Taltal (Chile). *Minerals Engineering* 2011; 24(8): 852-858. Doi: 10.1016/j.mineng.2011.03.009
- [4] Oren A. Diversity of halophilic microorganisms: environments, phylogeny, physiology, and applications. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology* 2002; 28(1): 56-63. Doi: 10.1038/sj/jim/7000176
- [5] Consuegra GL, Kutschke S, Rudolph M, Pollmann K. Halophilic bacteria as potential pyrite biodepressants in Cu-Mo bioflotation. *Minerals Engineering* 2020; 145: 106062. Doi: 10.1016/j.mineng.2019.106062
- [6] San Martín F, Valles I, Kracht W, Vargas T, Aguilar C. Biodepression of Copper-Activated Pyrite with *Acidithiobacillus ferrooxidans* in Flotation with Fresh and Seawater. *Minerals* 2021; 11(10): 1039. Doi: 10.3390/min11101039
- [7] San Martín F, Kracht W, Vargas T. Biodepression of pyrite using *Acidithiobacillus ferrooxidans* in seawater. *Minerals Engineering* 2018; 117: 127–31. Doi: 10.1016/j.mineng.2017.11.005
- [8] Laskowski JS, Castro S, Gutierrez L. Flotation in Seawater. *Mining, Metallurgy and Exploration* 2019; 36: 89–98. Doi: 10.1007/s42461-018-0018-6
- [9] Haga K, Nishioka K, Altansukh B, Shibayama A. Floatability and bubble behavior in seawater flotation for the recovering copper mineral. *International Journal of the Society of Materials Engineering for Resources* 2014; 20(1): 82-86. Doi: 10.5188/ijmsr.20.82
- [10] Castro S, and Laskowski JS. Froth flotation in saline water. *KONA Powder and Particle Journal* 2011; 29(29): 4-15. Doi: 10.14356/kona.2011005
- [11] Shah MUH, Sivapragasam M, Moniruzzaman M, Yusup SB. A comparison of recovery methods of rhamnolipids produced by *Pseudomonas aeruginosa*. *Procedia Engineering* 2016; 148: 494-500. Doi: 10.1016/j.proeng.2016.06.538
- [12] Aksoy DO, Ozdemir S, Celik PA, Koca S, Çabuk A, Koca H, Brito-Parada P. Fusion of the Microbial World into the Flotation Process, *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review* 2022; 43(8): 1068-1082. Doi: 10.1080/08827508.2021.2023518
- [13] Arima K, Kakinuma A, Tamura G. Surfactin, a crystalline peptidolipid surfactant produced by *Bacillus subtilis*: Isolation, characterization and its inhibition of fibrin clot formation. *Biochemical and Biophysical Research Communications* 1968; 31(3): 488-494. Doi: 10.1016/0006-291X(68)90503-2
- [14] Chen W, Juang R, Wei Y. Applications of a lipopeptide biosurfactant, surfactin, produced by microorganisms. *Biochemical Engineering Journal* 2015; 103: 158–169. Doi: 10.1016/j.bej.2015.07.009
- [15] Liu X, Ren B, Gao H, Liu M, Dai H, Song F, Yu Z, Wang S, Hu J, Kokare CR, Zhang L. Optimization for the Production of Surfactin with a New Synergistic Antifungal Activity. *PLoS One*, 2012; 7(5): e34430. Doi: 10.1371/journal.pone.0034430
- [16] Celik PA, Cakmak H, Aksoy DO. Green bioflotation of calcite using surfactin as a collector. *Journal of Dispersion Science and Technology* 2021; 1–11. Doi: 10.1080/01932691.2021.1979999
- [17] Koca S, Aksoy D, Ozdemir S, Çelik PA, Çabuk A, Koca H. Surfactin as an alternative microbial collector to oleate in magnesite-quartz selective flotation. *Separation Science and Technology* 2022. Doi: 10.1080/01496395.2022.2118612
- [18] Moussa TAA, Mohamed MS, Samak N. Production and Characterization of Di-rhamnolipid Produced by *Pseudomonas aeruginosa* TMN. *Brazilian Journal of Chemical Engineering* 2014; 31(4): 867–880. Doi: 10.1590/0104-6632.20140314s00002473

- [19] Cakmak H, Güngörmedi G, Dikmen G, Çelik PA, Çabuk A. The True Methodology for Rhamnolipid: Various Solvents Affect Rhamnolipid Characteristics. *European Journal of Lipid Science and Technology* 2017; 119: 1700002. Doi: 10.1002/ejlt.201700002
- [20] Shaligram NS and Singhal RS. Surfactin—a Review on Biosynthesis, Fermentation, Purification and Applications. *Food Technology and Biotechnology* 2010; 48(2): 119–134.
- [21] Tamamushi BI, Shirai M, Tamaki K. A Study on the Micellar Solutions of Sodium Oleate and Elaidate. *Bulletin of the Chemical Society of Japan* 1958; 31(4): 467–472. Doi: 10.1246/bcsj.31.467
- [22] Yepsen R, Gutierrez L, Laskowski J. Flotation behavior of enargite in the process of flotation using seawater. *Minerals Engineering*. 2019; 142:105897. Doi:10.1016/j.mineng.2019.105897

HAVA JETLİ DOKUMA MAKİNALARINDA HAVA TÜKETİMİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ ve AZALTMAYA YÖNELİK DENEMELER

Belkis ZERVENT ÜNAL¹, Bayram DEMİR²

¹ Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Adana, Türkiye.

² Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Adana, Türkiye.

Geliş Tarihi/Received Date: 12.04.2023 Kabul Tarihi/Accepted Date: 10.07.2023 DOI: 10.54365/adyumbd.1281327

ÖZET

Çalışma kapsamında, hava jetli atkı atma sistemine sahip dokuma tezgâhları ve bu tezgâhlardaki hava tüketiminin çeşitli açılardan ele alınarak değerlendirilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla öncelikle hava jetli ve rapierli dokuma makinaları üretim maliyetleri karşılaştırılmıştır. Ardından hava jetli dokuma tezgâhlarında hava sarfiyatına etki eden parametreler ortaya konulmaya çalışılmıştır. Atkı ipliği ve atkı varış süresinin hava sarfiyatı ile olan ilişkisi incelenmiş ve sarfiyatı azaltmaya yönelik öneriler geliştirilmiştir. Ayrıca teorik hava sarfiyatı hesaplama amaçlı kullanılabilir bir Excel çalışma sayfası oluşturulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Hava jetli atkı atma, Ana enjektör, Yardımcı enjektör, Nozzle, Hava tüketimi

EVALUATION OF AIR CONSUMPTION IN AIR JET WEAVING MACHINES AND TRIALS TO REDUCE

ABSTRACT

Within the scope of the study, it is aimed to evaluate the weaving looms with an air jet weft insertion system and the air consumption in these looms from various perspectives. For this purpose, firstly, the production costs of air-jet and rapier weaving machines were compared. Then, the parameters affecting the air consumption in air-jet weaving looms were tried to be revealed. The relationship between weft yarn and weft arrival time and air consumption has been examined and suggestions have been developed to reduce consumption. In addition, an Excel worksheet that can be used for calculating theoretical air consumption has been created.

Keywords: Air jet weft insertion, Main injector, Auxiliary injector, Nozzle, Air consumption

1. Giriş

Dokuma makinalarında mekikli ve mekiksiz (mekikçikli, kancalı (rapierli) ve jetli) olmak üzere iki farklı atkı atma sistemi kullanılmaktadır. Çalışma kapsamında jetli sistemlerden hava jetli dokuma tezgâhi üzerinde çalışılmıştır (Şekil 1).

Hava jetli dokuma makinalarında atkı, düzelerden basınçla üflenen hava ile arasında oluşan sürtünme kuvveti vasıtasıyla ağızlık içerisinden taşınmaktadır. Atkı ipliğine hız verilmesi ve ivme kazandırılması için gerekli kuvvetler kompresörlerden gelen filtrelenmiş basınçlı havayla beslenen düzeler tarafından üretilmektedir.

* e-posta¹ : belzer@cu.edu.tr ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-8591-2217> (Sorumlu Yazar)

e-posta² : bayramads@gmail.com ORCID ID: <http://orcid.org/0009-0000-9279-4810>



Şekil 1. Hava jetli dokuma tezgâhı [1].

Ana düzeden üflenen basınçlı hava ile atkıya ilk hareket verilmekte, fakat özellikle geniş enli tezgâhlarda atkının izleyeceği yol boyunca üflenen hava dağılmaya ve hızlandırıcı etkisini kaybetmeye başlamaktadır. Bu durumu ortadan kaldırmak amacıyla hava jetli makinalarda çeşitli atkı atma kılavuz düzenekleri geliştirilmiştir. Bu düzenekler;

1. Tek düze, kılavuz ve makinanın karşı tarafında emme sistemi
2. Kılavuzlarla birlikte ana ve yardımcı düzeler
3. Profilli tarak ile ana ve yardımcı düzeler

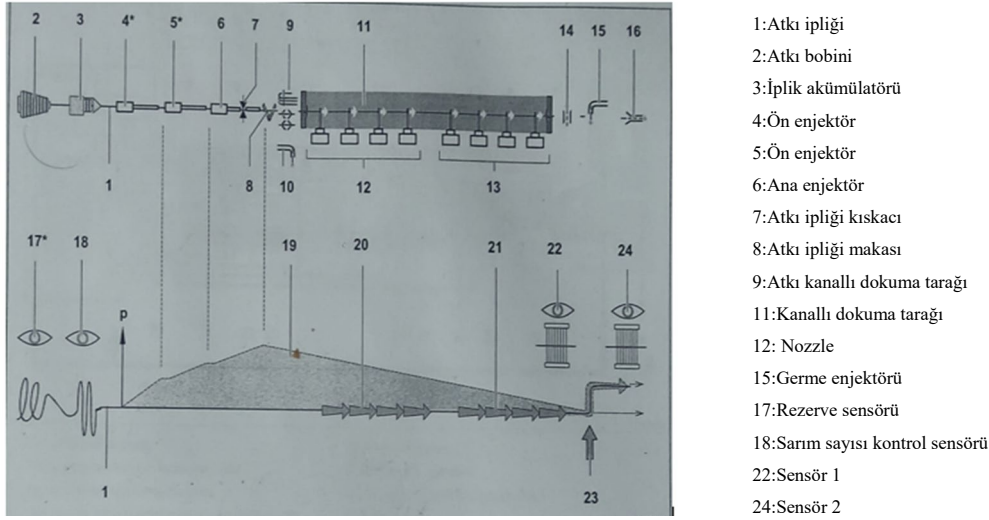
şeklinde sıralanabilmektedir. Günümüzde ticari hava jetli dokuma makinalarda genellikle profilli tarak tercih edilmektedir. Profilli tarak atkı ipliğine atkı yolu boyunca kılavuzluk etmekte ve havayı belirli bir doğrultuda yönlendirmeye yardımcı olmaktadır. Tarak dişlerinin oluşturduğu kanal jetlerden çıkan havanın basıncını ve formunu değiştirmeden atkının tezgâhın karşı tarafına taşınmasında yardımcı olmaktadır [2].

Atkı atma sisteminin tefeyle birlikte hareket ettiği hava jetli dokuma makinalarında atkı atma sadece tefenin geride bekleme yaptığı süre içinde değil ayrıca ileri ve geri hareket süreçlerinin bir kısmında da devam edebilmektedir. Yüksek hızlarda çalışan hava jetli dokuma makinalarında böylece bekleme süresi azaltılıp ileri ve geri yönde harekete daha fazla zaman ayrılarak maksimum hız ve ivme değerlerinin azaltılması mümkün olmaktadır [2].

Hava jetli atkı atma sistemiyle çalışan dokuma tezgâhları diğer atkı atma sistemlerine göre daha fazla enerji tüketmektedir. Bunun sebebi de atkıyı taşıma esnasında kullanılan yaklaşık 7-8 bar basınçlı havadır. Basınçlı hava elde etmek için önemli miktarda enerji harcanmaktadır. Örneğin 7 bar değerindeki basınçta 1 m³ hava elde etmek için atmosferden 8 m³ havayı emip sıkıştırmak gerekmektedir. Sıkışan havanın sıcaklığı artmakta, yani harcanan enerjinin bir kısmı ısıya dönüşmektedir. Bu ısının kompresörden alınması yani kompresörün soğutulması gerekmektedir. Özetle kompresörde harcanan elektriğin büyük kısmı ısı olarak atılmaktadır [3].

Çalışma kapsamında hava tüketimi irdelenen hava jetli dokuma makinasının makine aksamalarının şematik bir görüntüsü Şekil 2’de verilmiştir. Hava jetli atkı atma sistemine sahip tezgâhlarda akümülatör kısmı (2) özel olarak tasarlanmıştır. Atkı atma işlemi gerçekleşmeden önce atkı, bir bobinden sağılarak bir kılavuz ve gerilim düzenleyiciden geçirilmekte, atılacak atkı (1) miktarı kadar iplik akümülatör yardımıyla tambur üzerine sarılmaktadır. Akümülatör tamburu üzerine sarılan sarımı 2 adet sensör (17 ve 18) kontrol etmektedir. Daha sonra sağım esnasında balon oluşmaması için balon kırıcı yerleştirilmiştir. Ağzılık açıldıktan sonra tefe atkıyı atabilmek için yeterli miktarda geriye gittiğinde atkı tutucunun (7) atkıyı bırakmasıyla birlikte yardımcı enjektör (5) ve ana enjektöre (6) kontrol valfleri aracılığıyla basınçlı hava gönderilmektedir. İplik ile hava arasındaki hız farkından sürtünme kuvvetinin etkisiyle atkıya ilk hareket verilmektedir. Ana enjektörden çıkan iplik tarak kanalı (11) içerisinde harekete başlamaktadır. Atkı ağzılık içerisinde ilerlerken özel kanallı profil tarak üzerinde her 7.5 cm de bir ayarlanmış olan yardımcı nozzle (12) atkının ağzılık içerisinde sağlıklı bir şekilde ilerlemesini sağlamaktadır. Atkı, tarak kanalının sonuna vardığında germe enjektörü (15) ipliği gergin tutmaktadır. Dokuma esnasında hata oluşmaması için atkıyı algılayan iki

adet sensör bulunmaktadır. Bunlardan birincisi (22) atkının gelip gelmediğini ve geliş zamanını kontrol etmekte gerekmesi durumunda kart vasıtasıyla ana enjektör basıncını ayarlayan valflere bilgi gönderip ana enjektör basıncını ayarlamaktadır. Bir diğer sensör (24) ise atkı kopuşlarını kontrol etmektedir. Atkının atılması tamamlandıktan sonra tutucular atkı ipliğini yakalamaktadır. Ağzılığın içerisine yerleştirilen atkı kumaşa tefelenmekte, bu sırada atkı ipliği kumaş kenarında leno örgüyle örülmektedir. Bu işlemin devamında makine bir sonraki atkıyı yerleştirmek için harekete devam etmektedir.



Şekil 2. Hava jetli atkı atma sistemi şematik görüntüsü [1].

Hava Sarfıyatının Önemi

Basıncılı hava bedava olmayıp, pahalı bir enerji biçimidir. Basıncılı hava maliyet hesabıyla ilgili bir örnek aşağıda verilmiştir. Türkiye’de 2020 yılında şebeke elektriğinin fiyatı yaklaşık 0,50 TL/ kWsa’tir. Verimli bir vidalı kompresörün yaklaşık spesifik verimi ise 0,1 kWsa/m³ kabul edilebilmektedir. Buna göre kompresörün, 7,5 bar basınçta 1 m³ basınçlı hava üretmek için maliyeti 0,50x0,1=0,05 TL/m³ olarak hesaplanabilir. Bu maliyet hesabına sabit maliyetler, yağ, su tüketimi ve bakım onarım giderleri eklenmemiştir. Bu değere sabit maliyetler de eklenirse basınçlı havanın toplam maliyeti 0,05/0,75 (%75) = 0,067 TL/m³ olarak görülmektedir [3].

100 adet hava jetli dokuma tezgâhı olan bir işletme için 800 devirde 100 m³ hava tüketildiği düşünüldüğünde bu işletme için aylık hava tüketimi 7 200 000 m³ ve bunun maliyeti 482 400 TL dir. Bu havanın üretilmesi için kullanılacak enerji miktarı 720 000 kWsa tir. Enerji tüm canlılar için her geçen gün artan öneme sahip olan bir yaşam kaynağıdır. Enerjiye olan talebin her geçen gün artması Türkiye gibi kendi enerji talebini karşılayamayan ülkeler için ekonomide dışa bağımlılığı da arttırmaya başlayacaktır. Rakamlardan da görüleceği üzere hava tüketimi üzerinde yapılacak tasarruflar günümüzde şirketlerin ayakta kalabilmesi, rekabet edilebilirliği ve düşük maliyeti için çok fazla önem taşımaktadır [3].

Literatür özeti

Çalışma kapsamında literatür taraması ile ulaşılan, hava jetli dokuma makinaları ve bu makinalarda hava sarfıyatı ile ilgili olarak yapılmış çalışmalardan bazıları aşağıda özetlenmiştir. Khiani ve ark. [4] yapmış oldukları çalışmada, hava jetli dokuma makinalarında hava tüketiminin yüksek olmasının nedenleri incelenmiştir. Çalışmada, dokuma işletmesinde yüksek enerji tüketim değerlerine sahip olan hava jetli atkı atma sistemine sahip dokuma tezgâhlarının tüketilen enerji miktarında önemli bir yere sahip olan hava sarfıyatının azaltılmasına yönelik yaklaşımlar geliştirilmesi amaçlanmıştır. He ve ark. [5] yapmış oldukları çalışmada hava jetli dokuma makinalarındaki ana enjektör detaylı olarak ele alınmış ve ana enjektörde oluşan negatif basınçtan bahsedilmiştir. Buradaki

akışı iyileştirmek için yeni bir ana enjektör tasarımı yapılmıştır. Yeni tasarımda, çıkıştaki ivmenin 10 m/sn artacağına değinilmiştir. Patil ve ark. [6] yapmış oldukları çalışma, hava jetli dokuma tezgâhında atkı kopuşundan kaynaklanan tezgâh duruşlarını azaltmayı amaçlamıştır. Ana ve alt nozzle'ların hava basıncı değerinin yanı sıra ağızlık geçiş zamanlamalarının optimize edilmesinin, pamuk ve filament atkı iplikleri için sırasıyla %40 ve %30 azalma sağladığı sonucuna varılmıştır.

Üncü'nün 1996 yılında yaptığı çalışmada hava jetli atkı atma sisteminde harcanan basınçlı hava miktarının atkı atım süresi tarafından belirlendiğine ve atkı atım süresinin kısaltılmasının daha düşük enerji sarfiyatı oluşturacağına değinilmiştir [7]. Haq ve Hossain'in 2017 yılında yapmış olduğu çalışmada hava jetli atkı atma sistemine sahip dokuma tezgâhları, diğer atkı atma sistemlerine göre daha hızlı çalışsa da, hava kullanımları optimize edilmediğinde üretim maliyetlerinin daha yüksek olabileceğine değinilmiştir [8].

Ishida [9] yaptığı çalışmada, yardımcı düzeden 100 cm uzaklıktaki havanın hızının baştaki hızın 1/20'si civarında olduğunu belirtmiştir. Hız düşüşünü azaltmanın en iyi yolunun 3 ya da 4 kat fazla yardımcı düze çapı ve minimum boşluk olduğunu tespit etmiştir. Fakat yardımcı düze çapı arttıkça hava sarfiyatının da artacağı belirlenmiştir. Hasegawa [10], open-end (açık uç) eğrilmiş iplikler ve ring eğrilmiş ipliklerin hava jetli dokuma makinalarında kullanımı arasında bir karşılaştırma yapmıştır. Buna göre open-end (açık uç) iplikler daha yüksek hıza sahip ve dolayısıyla daha az hava sarfiyatına sebep olmaktadır. Bozkan [11], yardımcı düzelerin üfleme derecesi azaldığında hava tüketiminin de büyük ölçüde azaldığını belirtmiştir. Düze tipi ve çapının hava sarfiyatında çok önemli olduğu, çok delikli yardımcı düzelerin tek deliklilere göre daha az hava tüketimine neden olduğu, yardımcı düze çapı küçüldükçe hava sarfiyatının da azaldığı görülmüştür.

Shandilya ve Gangopadhyay'ın 2022 yılında yaptıkları çalışmada, ana enjektör hava akış kapasitesini iyileştirmek ve atkı enjeksiyon bölgesindeki geri akış olayını azaltmak için boğazlı yeni bir enjektör yapısı tasarlanmıştır. Yeni tasarımın, yaygın olarak kullanılan ana enjektörlere kıyasla aynı hava basıncında hızı artırdığı ve bunun da hava tüketimini azaltacağı ifade edilmiştir [12]. Zegan ve Ayele 2022 yılındaki çalışmalarında, hava jetli dokuma makinalarında dokumadan sonra optimum mekanik özelliklere ve iplik büküm kaybına sahip kumaş üretmek için hava basıncını ve tezgâh hızını optimize etmeyi amaçlamışlardır. Bu amaçla oluşturulan regresyon modelleri atkı ipliğinin büküm kaybının nozzle basıncı ile negatif, dokuma tezgâhı hızı ile pozitif korelasyona sahip olduğunu göstermiştir. Bunun yanısıra nozzle basıncı ve tezgâh hızının kumaşın atkı yönünde hem yırtılma hem de çekme mukavemeti ile negatif bir korelasyona sahip olduğu belirlenmiştir [13]. Haque ve ark. (2023), proses iyileştirme ile üretim maliyetlerini düşürmenin, hava jetli tezgâh performansında ve kumaş kalitesinde herhangi bir düşüş olmadan hava tüketimini ve yardımcı kenar atıklarını azaltmanın yollarını araştırmışlardır. Çalışma sonucunda daha küçük delik çaplarına sahip tek delikli nozzle kullanmanın tezgâh performansından veya verimliliğinden ödün vermeden enerji maliyetlerini ve atıkları önemli ölçüde azaltabileceği tespit edilmiştir [14].

Çalışma kapsamında öncelikle hava jetli ve rapierli atkı atma sistemlerine sahip dokuma makinalarıyla belirli metrajda üretimlerin maliyeti detaylı olarak irdelenmiştir. Ardından yaygın kullanılan iki farklı marka hava jetli dokuma makinasında bulunan parçaların hava sarfiyatları farklı basınç değerleri için karşılaştırılmıştır. Daha sonra bu tezgâhlarda hava sarfiyatına etki eden parametreler ortaya konulmuş ve optimum üretim parametrelerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Ayrıca denemelerin yapıldığı dokuma tezgâhlarında farklı basınç değerlerinde ana enjektör, yardımcı enjektör ve nozzle'ın saatteki hava tüketimleri metreküp (m³) olarak ölçülmüş ve bu verilerden faydalanılarak teorik hava sarfiyatı hesaplama amaçlı kullanılacak bir Excel çalışma sayfası oluşturulmuştur.

2. Materyal ve Metod

2.1. Materyal

Çalışma kapsamında hava jetli atkı atma mekanizmasına sahip iki farklı marka dokuma makinası üzerinde hava sarfiyatını belirlemeye ve azaltmaya yönelik denemeler yapılmıştır. Bu kapsamda kullanılan makinaların seçilmiş teknik özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir.

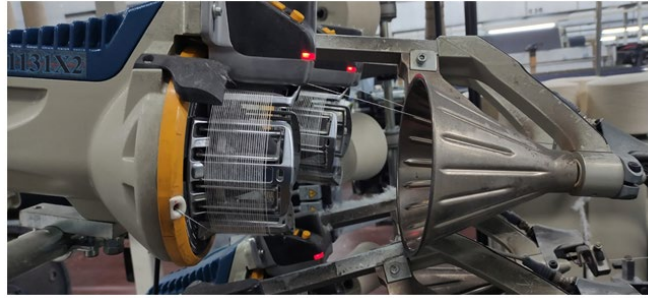
Çizelge 1. Hava jetli dokuma makinalarının özellikleri.

PARAMETRE	A marka dokuma makinası	B marka dokuma makinası
Ağızlık açma sistemi	Eksantrik	Eksantrik
Atkı atma sistemi	Hava jetli	Hava jetli
Atkı tutma sistemi	Clamp	PWC Cımbız, BAYD*
Akümülatör sayısı	4	4
Maksimum dokunabilir en (cm)	220	400
Model (yıl)	2018	2010
Maksimum devir (atkı/dk)	1000	560

*Deneysel çalışmanın yürütüldüğü işletmede geliştirilen sistem

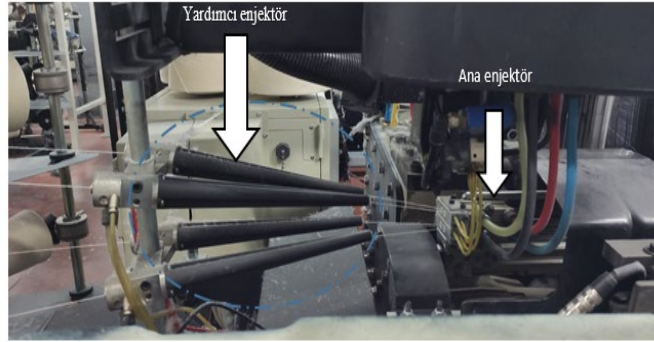
2.1.1. A marka hava jetli dokuma makinası

Çalışmada hava tüketimi irdelenen A marka hava jetli dokuma makinasında ağızlık açma sistemi eksantriklidir. Şekil 3'te hava jetli atkı atma sistemine sahip dokuma tezgâhlarında önemli bir yere sahip olan akümülatör görülmektedir. Atılacak atkının uzunluğu akümülatör tamburunun çapı ve ekrana girilecek atım esnasında bırakılacak sarım sayısı ile belirlenmektedir. Akümülatör çapı ve serbest bırakılacak sarım sayısı belirlenirken tarak eni dikkat edilmesi gereken önemli bir parametredir. Akümülatör içerisinde 1 adet sensör bulunmakta olup geriden atkı ipliği koptuğunda makine durmadan o akümülatörü bir sonraki duruşa kadar devre dışı bırakmaktadır. Böylelikle randıman kaybını önlemekte ve duruş sayısını azaltmaktadır.



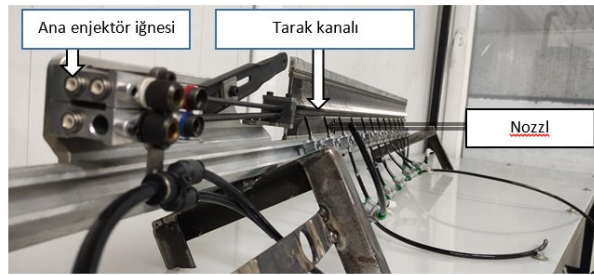
Şekil 3. A marka dokuma makinası akümülatörü [15].

Dokuma esnasında makine bir turunu ana krank milinin 360 derecelik dönüşü ile tamamlamaktadır. Milin bir turu (360 derecelik dönüşü) esnasında çerçevelerin hareketi, nozzle üflemlerinin açılıp kapanması, ana enjektör- yardımcı enjektör üflemlerinin açılıp kapanması, tefenin ileri-geri hareketi ve atkı salınımı gibi görevler belirlenen derecelerde yapılmaktadır. Bu görevler elektronik valfler, kamlar ve kam takip eden yoklayıcılar gibi yardımcı makine elemanları ile yapılmaktadır. Tefe vurma noktası ana krank milinin sıfırncı derecesidir. Ana krank milinin sıfırncı derecesinden sonra yeni atkı atmak için tarak geriye doğru çekilmekte, çerçeveler yeni ağızlık için aşağıda veya yukarıda pozisyon almaktadır. Ağızlık açıldıktan sonra akümülatör tamburundaki tırnağın serbest bırakmış olduğu ipliğe yardımcı enjektör ve ana enjektör vasıtasıyla ilk hareket verilmekte, hava ile iplik arasındaki sürtünme kuvvetinden faydalanılarak ipliğin taşınması sağlanmaktadır. Şekil 4'te ana enjektör ve yardımcı enjektör gösterilmektedir.



Şekil 4. A marka dokuma makinası ana enjektör ve yardımcı enjektör [15].

Ana enjektörden çıkan atkı ipliği tarak kanalında ağızlık boyunca ilerlemektedir. Ağızlık boyunca atkıyı sadece ana enjektör ve yardımcı enjektörün taşınması mümkün olmadığından ve hız düşmesi olacağından dolayı tarak üzerinde her 7,5 cm'de bir yer alan nozzle vasıtasıyla hareket desteklenmektedir. Şekil 5 ve Şekil 6'da tarak kanalı ve nozzle tefe üzerindeki konumu gösterilmektedir. Çalışma yapılan A marka dokuma tezgâhında 1 mm çapa sahip tek delikli nozzle kullanılmaktadır.



Şekil 5. Nozzle ve tarağın tefe üzerindeki konumu [15].



Şekil 6. Nozzle görünümü [15].

Atkı atma işlemi tamamlanıp kumaş enince atkı atıldıktan sonra tefe üzerine yerleştirilen iki adet sensör atkıyı kontrol etmektedir. Tekrar ağızlık kapanarak tefeleme işlemiyle atılan atkı kumaşa dâhil edilmektedir. Bu döngü kumaş dokuma işlemi tamamlanıncaya kadar devam etmektedir.

2.1.2. B marka hava jetli dokuma tezgâhi

Çalışma kapsamında kullanılan farklı bir markaya ait diğer hava jetli dokuma tezgâhi 2010 modeldir. Ağızlık açma sistemi eksantrikli olan dokuma tezgâhında Dimi 3/1 Z örgü dışında dokuma yapılmamaktadır. Çalışma kapsamında ele alınan ve önceki bölümde anlatılan A marka hava jetli dokuma makinesinden farklı olarak maksimum çalışılabilir en 4 m, maksimum devir 560 atkı/dk ve kullanılan nozzle çapı 1,3 mm dir (Çizelge 1).

2.2. Metot

Çalışmanın deneysel araştırma bölümünde izlenen metot aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir.

1. Hava jetli ve rapierli atkı atma sistemlerine sahip iki farklı dokuma dairesinde belirli metrajda üretimin maliyetleri ve maliyet içerisindeki tüketim kalemlerinin oranları karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.
2. Seçilmiş iki farklı markaya ait hava jetli dokuma tezgâhında, farklı ana enjektör, yardımcı enjektör ve nozzle basınçlarındaki saatlik hava tüketimleri ölçülmüş ve değerlendirilmiştir.
3. Dokuma tezgâhında ana enjektörden hava üfleme yapılan ana krank mil dönme açısı aralığı, ana enjektör basıncı, nozzle basıncı, nozzle'dan hava üfleme yapılan ana krank mil dönme açısı aralığı ve tezgah devri değiştirilerek hava tüketimleri ve atkı hızındaki değişimler ölçülmüştür.
4. İplik numarasının atkı varış hızına/süresine etkisini değerlendirmek için farklı özelliklerde atkı iplikleri farklı ana enjektör basınçlarında atılarak atkı varış süreleri ölçülmüştür.
5. Elde edilen sonuçlar değerlendirilerek işletmeye yeni/optimum üretim parametreleri önerilmiş ve bu üretim şartları ile eski şartlar belirli bir süre takip edilerek hava tüketimine etkisi belirlenmeye çalışılmıştır.
6. Teorik hava sarf tablosu oluşturabilmek için A marka dokuma tezgâhında kullanılan ana enjektör, yardımcı enjektör ve nozzle basınçları 1 bar'dan 8 bar'a yükseltilerek saatteki hava tüketim miktarları ölçülmüş ve teorik hesaplama için kullanılacak bir tablo düzenlenmiştir.

Çalışmada hava tüketimi miktarları, hava sarfiyatı ölçüm cihazları makinanın ana hava girişine bağlanarak ölçülmüştür. Cihaz ölçüm ekranında saatteki tüketilen hava miktarı metre küp olarak verilmektedir. Salonun genel tüketimi, salona bağlanan ana besleme hattındaki boruya takılan sayaçtan günlük olarak kaydedilmiştir. Çalışmada kullanılan "atılan atkı miktarı" işletmenin kullanmış olduğu LOMDATA isimli veri toplama sisteminden alınmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Hava jetli ve rapierli atkı atma sistemlerinin üretim maliyetlerinin karşılaştırılması

Çalışma kapsamında hava jetli dokuma makinelerinde hava tüketiminin azaltılması amaçlanmakta olup, öncelikle bu tezgahlardaki üretim maliyetinin yüksekliğinin ve bu maliyet içerisinde hava tüketiminin payının ortaya konulması planlanmıştır. Bu amaçla hava jetli atkı atma sistemine sahip dokuma tezgâhları ile en yaygın kullanılan atkı atma sistemlerinden biri olan rapierli atkı atma sistemine sahip dokuma tezgâhlarında üretim maliyetleri ve elektrik tüketimleri Çizelge 2'de karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Bu karşılaştırmada 1100 metre kumaş üretildiğinde hava jetli ve rapierli atkı atma sistemine sahip aynı marka tezgâhlardaki toplam enerji ve işçilik maliyetleri hesaplanmıştır.

Çizelge 2'de verilen işçilik maliyeti hesabında (çalışmanın yürütüldüğü işletme verilerine göre) 14 makineye 1,5 dokuma işçisinin baktığı, bir işçinin maliyetinin 8 000 TL olduğu, işçilerin ayda 26 gün, günde 7 saat çalıştığı kabul edilmiştir. Buna göre saatteki işçilik maliyeti $((8000 \times 1,5) / (26 \times 7))$ eşitliğinden 65,9 TL/saat olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 2'de verilen dokuma süresi (saat) hesabı için işletme randımanı %100 olarak kabul edilip 1100 metrelik kumaş dokumak için atılacak toplam atkı sayısı, atkı sıklığı ve kumaş uzunluğu çarpılarak bulunmuştur. Bu değer, tezgâh devri (atkı/dk) ve tezgâh sayısına bölünüp 1100 m'lik kumaş için dokuma süresi hesaplanmıştır. Toplam enerji tüketimi hesaplanırken 1 kWsa elektrik ile 7 m³ hava üretildiği kabul edilmiştir. Ayrıca birim elektrik fiyatı 2 TL/ kWsa olarak alınmıştır.

Çizelge 2. Hava jetli ve rapierli atkı atma sistemlerinin maliyetlerinin karşılaştırılması.

PARAMETRELER	Rapierli tezgah	Hava jetli tezgah
Üretim (m)	1100	1100
Kumaş eni (cm)	200	200
Sıklık (atkı/cm)	16	16
Ortalama devir (atkı/dk)	600	800
Makina sayısı	14	14
Dokuma süresi (saat)	3,49	2,62
Hava tüketimi (m ³ /saat)	0	90
Kullanılan toplam 7 bar basınçlı hava (m ³) * ¹	0	3301
Havayı üretmek için kullanılan toplam elektrik tüketimi (kWsa) * ²	0	471,6
Bir makinanın elektrik tüketimi (kWsa)	6,60	3,95
Makinaların toplam elektrik tüketimi (kWsa) * ³	322,7	144,9
Toplam elektrik tüketimi (kWsa) * ⁴	322,7	616,5
Toplam enerji maliyeti (TL) * ⁵	645,4	1232,9
İşçilik maliyeti (TL) * ⁶	229,99	172,65
Toplam maliyet (TL)	875,03	1405,5

*1: (1 saatteki hava tüketimi x Dokuma süresi x Makine sayısı)

*2: (Toplam hava miktarı/7)

*3: (Makine elektrik tüketimi x Dokuma süresi x Makine sayısı)

*4:(Makinanın toplam elektrik tüketimi + Havayı üretmek için kullanılan elektrik tüketimi)

*5: (Toplam elektrik tüketimi x Elektrik fiyatı (2 TL/kWsa))

*6: (1 saatlik işçilik maliyeti x Dokuma süresi)

Hava jetli atkı atma sistemine sahip dokuma tezgâhları 1100 metrelik kumaş üretimini 14 makinada 2,62 saat gibi bir sürede gerçekleştirirken, rapierli tezgâhta aynı miktarda kumaş 3,49 saatte üretilmektedir. Bu durum ihtiyaç duyulan makine sayısını azaltmak, yatırım giderlerini düşürmek veya termin süresini kısaltmada fayda sağlamaktadır. Dokuma süresinin kısılması işçilik süresini de kısaltmaktadır. Saatteki tüketmiş oldukları elektrik ile hava jetli atkı atma sistemine sahip makineler rapierli tezgâhların yaklaşık 2 katı elektrik tüketmektedir. Bu da rapierli tezgâhlarla rekabeti zorlaştırmaktadır. Ancak işçilik maliyeti ve saatte atılan atkı miktarları dâhil olunca durumun bir miktar iyileştiği görülmekte ancak rekabet için yeterli olmamaktadır.

3.2. A ve B marka dokuma tezgâhlarının hava sarfiyatlarının karşılaştırılması

Çalışma kapsamında A ve B marka hava jetli dokuma tezgâhlarında kullanılan nozzle, ana enjektör ve yardımcı enjektör hava tüketim değerleri hava ölçüm saati yardımıyla ölçülmüştür. Ölçüm değerleri Çizelge 3'te verilmiştir.

A marka dokuma tezgâhlarındaki ana enjektör, yardımcı enjektör ve nozzle hava tüketimlerinin B marka tezgâhlarına göre, aynı basınç değerlerinde, daha düşük olduğu görülmektedir. Söz konusu tezgâhların maksimum tezgah devri, tezgah eni ve nozzle çapları farklıdır. Maksimum tezgah devrinde A marka tezgâhta dakikada 2200 m atkı atılırken B tezgâhında bu değer 2240 m olarak hesaplanmıştır. Makinaların randımanları göz önüne alındığında ise A tezgâhının fiili olarak ortalama 1760 m, B tezgâhının ise 2080 m atkı attığı ölçülmüş olup, B tezgâhının daha yüksek randımanla çalışarak birim zamanda daha uzun metraj atkı attığı ve hava tüketiminin fazla olmasının bu durumdan kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Çizelge 3. Hava jetli dokuma tezgâhlarında kullanılan parçaların hava sarfiyatı (m³/sa).

Ölçüm Yapılan Aksam	Makina	Basınç Değerleri (bar)				
		3	4	5	6	7
Yardımcı Enjektör	A	11	14	17	20	24
	B	14,8	18,8	24,4	27,9	32
Ana Enjektör	A	10	13	16	19	24
	B	14,8	18,8	24,4	27,9	32
Nozzle	A TD	3,5	4,5	5,75	6,75	8
	B TD	4	5,35	6,6	8	9

TD: Tek delikli

3.3. Atkı hızına ve hava tüketimine etki eden parametrelerin incelenmesi

A Marka hava jetli atkı atma sistemine sahip dokuma tezgâhlarında atkı hızına ve hava tüketimine etki eden parametreler sırasıyla değiştirilip diğer parametreler sabit tutularak, değiştirilen parametrenin hava tüketimine ve atkı varış süresine etkisi araştırılmış ve bu amaçla uygulanan denemelerin sonuçları Çizelge 4'te verilmiştir. Çizelgede "Derece" olarak ifade edilen büyüklük, ana krank milinin 360 derecelik hareketi esnasında hava üfleme yapılan aralığı ifade etmektedir. Başka bir ifadeyle "Derece" büyüklüğünün 80 olması ana krank milinin toplam dönme hareketi (360 derecelik) içerisinde 80 derecelik kısmında hava üfleme olduğunu ifade etmektedir. Ayrıca çizelgede TT olarak kodlanan teorik tüketim miktarları Şekil 7'de verilen Excel çalışma sayfası kullanılarak hesaplanmıştır. Çizelgede yapılan kısaltmaların açıklamaları aşağıda yer almaktadır.

- DP : Deneme yapılan parça
 FT : Fiili tüketim
 TT : Teorik tüketim
 EB : Enjektör basıncı
 ED : Enjektörden üfleme yapılan ana krank mil dönme açısı aralığı
 AVS : Atkı varış süresi
 NB : Nozzle basıncı
 ND : Nozzle'dan üfleme yapılan ana krank mil dönme açısı aralığı

Çizelge 4. Atkı hızına ve hava tüketimine etki eden parametrelerin incelenmesi.

DP	Yardımcı Enjektör		Nozzle		Devir	FT $\frac{m^3}{saat}$	TT $\frac{m^3}{saat}$	AVS (ms)		
	Ana Enjektör Bar	Derece	Bar	Derece						
EB	3	140	3	140	6	140	750	112	106	37,6
	4	140	4	140	6	140	750	114	108	34
	5	140	5	140	6	140	750	117	111	32
	6	140	6	140	6	140	750	119	113	31
	7	140	7	140	6	140	750	120	116	30,4
ED	5	140	5	140	6	140	750	117	111	32
	5	120	5	120	6	140	750	115	109	32,4
	5	100	5	100	6	140	750	113	107	34
	5	80	5	80	6	140	750	112	105	35,5

NB	5	140	5	140	5	140	750	104	97	33,8
	5	140	5	140	6	140	750	117	111	32
	5	140	5	140	7	140	750	129	127	30
ND	5	140	5	140	7	140	750	129	127	30
	5	140	5	140	7	120	750	119	112	31
	5	140	5	140	7	100	750	109	96	31,4
	5	140	5	140	7	80	750	99	81	31,8
Devir	5	140	5	140	7	140	700	126	127	33,8
	5	140	5	140	7	140	750	129	127	32,4
	5	140	5	140	7	140	800	130	127	30
	5	140	5	140	7	140	850	133	127	30,5

Çizelge 4. Devamı

A marka dokuma tezgâhlarından elde edilen bu veriler irdelenmiş çıkarılan sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Enjektör basıncının 3 bardan 7 bara kadar artması hava tüketimini %7 oranında arttırmakta ve atkı varış süresini %19,14 azaltarak atkının daha erken varmasını sağlamaktadır.
- Ana enjektörden üfleme yapılan ana krank mil dönme açısı aralığı 80 dereceden 140 dereceye çıkarıldığında (ana krank milinin 80 derecelik hareketi esnasında oluşan hava sarfiyatı ile 140 derecelik hareketi esnasında oluşan hava sarfiyatları karşılaştırıldığında) hava tüketiminin % 4,4 arttığı, atkı varış süresinin ise %9,8 azaldığı tespit edilmiştir.
- Nozzle basıncı 5 bardan 7 bar basınca yükselttiğinde atkı varış süresi %11,2 kısalmakta, hava tüketimini %24 arttırmaktadır.
- Nozzle'dan üfleme yapılan ana krank mil dönme açısı 80 dereceden 140 dereceye atkı varış süresi %5,6 kısalmakta olup hava tüketimi %30 artmaktadır.
- Tezgâh devri 750 atkı/dk hızdan 850 atkı/dk hıza çıkarıldığında hava tüketimi % 5,5 artarken atkı varış süresinin %9,7 kısaldığı görülmüştür. Ancak atkı varış süresindeki kısalma, makinenin bir turu atmış olduğu süre kısaldığı için sensörlerin atkıyı daha erken görmesinden kaynaklanmaktadır. Makine 750 atkı/dk hızda bir turunu 80 milisaniyelik bir sürede tamamlarken atkıyı 37,77 milisaniye sürede atması gerekmektedir. Makine devri 850 atkı/dk olduğunda bir turunu 70,5 milisaniye sürede tamamlar iken atkıyı 33,3 milisaniyede atması gerekmektedir. Aksi takdirde gecikmeler atkı ipliğinin çözgü tellerine takılması nedeniyle duruşa ve atkı yönünde hataların oluşmasına sebep olmaktadır.
- Tezgâh devrinin artması hava tüketimini %5,5 artırırken üretimin %13,3 arttığı gözlenmiştir. Tezgâh devrinin artırılması için atkının istenilen süre içerisinde yetiştirilmesi yani atkı hızının artırılması gerekmektedir. Yüksek atkı hızı daha yüksek devirlere çıkılmasına olanak sağlamakta bu durumda enerji tasarrufunun yapılmasına olanak sağlamaktadır.

Çalışma kapsamında iplik numarasının atkı varış hızına etkisini yorumlayabilmek için de denemeler yapıp Çizelge 5'teki veriler elde edilmiştir. Bu amaçla işletmede yaygın kullanılan atkı iplikleri ile deneysel bir çalışma yürütülmüştür.

Buradan elde edilen verilerden faydalanılarak işletme içerisindeki çalışan tezgâhlar için optimum ayar yapılmaya çalışılmıştır. Çalışmanın yürütüldüğü işletmede önceki ayarlarda atkıyı hızlandırmak için nozzle basıncı ve derecesi aktif olarak kullanılıp ana enjektör basıncı ve derecesinin düşük tutulduğu görülmüştür. Yapılan deneysel çalışmalarda atkıyı hızlandırmak için en etkili müdahalenin ana enjektör basıncı ve derecesiyle yapılacağı tespit edilmiştir. Ana enjektör atkıyı hızlandırırken en az hava tüketen aksam olduğundan dolayı işletme ayarlarında ana enjektörden üfleme yapılan ana krank mil dönme derecesi ve basıncı artırılıp nozzle üzerindeki yük azaltılmıştır.

İşletmenin kullanmış olduğu önceki ve sonraki ayarlar (basınç ve derce bilgileri) Çizelge 6'da verilmiştir. Bunun etkisini görebilmek için 93 makinanın toplam hava verimlilik tablosu oluşturulmuş, 10 günlük öncesi ve sonrası hava tüketimleri kullanılarak Çizelge 7 oluşturulmuştur. Denemelerin yapıldığı tezgahların bazılarında Ne 10 ve bazılarında ise Ne 13 numaralı atkı iplikleri atılmış olup, söz konusu numara farklılığının deneysel çalışma sonuçlarını etkilemeyeceği ve ihmal edilebilir olduğu düşünülmektedir.

Çizelge 5. İplik numarası ve ana enjektör basıncının atkı varış süresine etkisi.

Atkı İpliği (Ne)	Atkı varış süreleri (milisaniye)		
	Ana Enjektör Basıncı (bar)		
	3	5	6
6/1 TENCEL+L		42,8	37,4
6/1 TENCEL	Atkı makinanın	40,8	36,8
6 OE	diğer ucuna	38,2	34,9
6 R+Ş	ulaşamadı	37	34,3
8/1 TENCEL/PAM+L		36,8	34
10 Ş+L	42	33,5	32,5
10/1 PAM+L	39,8	Atkı parçalandı	Atkı parçalandı
10/1 PAM+L TELEFLİ	39	Atkı parçalandı	Atkı parçalandı
13/1 PAM+L	38,3	32,4	32,3
13/1 PAM/PBT	36,7	Atkı parçalandı	Atkı parçalandı
16/1 PAM/PBT+L	35,2	31,8	Atkı parçalandı
20/1 PAM+L	32	30	Atkı parçalandı
OE: Open-end	Ş: Şantuk	R: Ring	
L: Lycra ®	PAM: Pamuk	PBT: Polibütülen Tereftalat	

Çizelge 6. Deneme öncesi ve sonrası hava ayarları.

DENEME	Enjektör Basıncı (bar)	Enjektör Derecesi	Nozzle Basıncı (bar)	Nozzle Derecesi	Atkı İpliği (Ne)
ÖNCESİ	2	100	7	120	10-13 Pamuk+L
SONRASI	4	160	6	95	10-13 Pamuk+L

Çizelge 7. Hava sarfiyatı öncesi ve sonrası tüketim değerleri.

GÜN	ÖNCESİ			SONRASI		
	Sarfiyat (m ³)	Atılan Atkı	Atkı/m ³	Sarfiyat (m ³)	Atılan Atkı	Atkı/m ³
1. gün	169 611	75 191 000	443,3	185 649	87 297 000	470,2
2. gün	170 673	79 461 000	465,6	188 010	88 437 000	470,4
3. gün	188 016	80 200 000	426,6	180 979	89 699 000	495,6
4. gün	184 225	83 100 000	451,1	176 956	88 078 000	497,7
5. gün	182 311	80 543 000	441,8	353 831	177 584 000	501,9
6. gün	65 314	24 584 000	376,4	161 401	76 352 000	473,1
7. gün	189 166	83 189 000	439,8	177 260	86 750 000	489,4
8. gün	176 228	75 903 000	430,7	178 381	86 011 000	482,2

9. gün	193 311	85 545 000	442,5	181 718	87 951 000	484,0
10.gün	203 685	91 390 000	448,7	375 283	181 531 000	483,7
Toplam	1 722 540	759 106 000	440,7	2 159 468	1 049 690 000	486,1

Çizelge 7. Devamı

DeneySEL çalışma yürütülen işletmede yapılan bu deneme sonucunda basınçlı hava kullanım verimliliğinde %10.3 oranında iyileşme görülmüştür.

3.4. Teorik hava tüketimi hesaplama tablosu

Çalışma kapsamında A marka dokuma tezgâhlarında 1 bardan 8 bar basınca kadar ana enjektör, yardımcı enjektör ve nozzle'ın saatteki hava tüketimleri metreküp (m³) olarak ölçülmüş ve Çizelge 8'de verilmiştir.

Çizelge 8'de elde edilen verilerden faydalanılarak Şekil 7'deki teorik hava sarfiyatı hesaplama Excel tablosu oluşturulmuştur. Dokuma tezgâhı motoru bir turunu 360 derecede tamamlamakta ve her bir turda bir atkı atma işlemini gerçekleştirmektedir. Hava jetli dokuma tezgâhlarında atkı atma işlemi makinanın belirli bir derecesinde başlayıp belirli bir derecesinde tamamlanmaktadır. Ana enjektör, yardımcı enjektör ve nozzle'dan ekrana girilen ana krank milinin belirli bir derecesinde ve basınçta valflerin açılmasıyla hava gelmektedir.

Çizelge 8. A marka dokuma tezgâhı nozzle ve enjektör hava tüketimleri.

Basınç (bar)	Tüketim (m ³ /sa)		
	Ana Enjektör	Yardımcı Enjektör	Nozzle
1	4	4	1
2	7	8	2,25
3	10	11	3,5
4	13	14	4,5
5	16	17	5,75
6	19	20	6,75
7	24	24	8
8	24	24	7,75

Oluşturulan bu Excel tablosunda G4 hüresine ana enjektör üfleme derecesi, G5 hüresine ana enjektör adedi girilmektedir. Ana enjektörün 1 bar ile 8 bar basınç arasında tüketmiş olduğu hava miktarları B7 ile B14 hücreleri arasındaki tüketim değerleri 360'a bölünüp ana enjektör üfleme derecesi (G4) ve âdeti (G5) ile çarpılarak G7- G14 hücrelerinde uygun basınç değerine karşılık hesaplanmaktadır. Ana enjektör çalışma basıncı F7-F14 hücreleri arasından hangisine uygunsu ona karşılık gelen H7 ile H14 hücreleri arasındaki hücreye 1 değeri verilerek H16 hüresinde hesaplanması sağlanmaktadır. Yardımcı enjektörü hesaplamak için I4 hüresine yardımcı enjektör üfleme derecesi, I5 hüresine yardımcı enjektör adedi girilmektedir. Yardımcı enjektörün 1 bar ile 8 bar basınç arasında tüketmiş olduğu C7 ile C14 hücreleri arasındaki tüketim değerleri 360'a bölünüp ana enjektör üfleme derecesi (I4) ve adedi (I5) ile çarpılarak I7 ile I14 hücreleri arasındaki uygun basınç değerine karşılık yerleştirmektedir. Ana enjektör çalışma basıncı F7-F14 hücreleri arasından hangisi seçilmişse J7 ile J14 hücrelerinden ona karşılık kısma 1 değeri verilerek J16 hüresinde hesaplanması sağlanmaktadır. Nozzle tüketimini hesaplamak için K4 hüresine nozzle üfleme derecesi, K5 hüresine nozzle adedi girilmektedir. Nozzle'un 1 bar ile 8 bar basınç arasında tüketmiş olduğu D7 ile D14 hücreleri

arasındaki tüketim değerleri 360'a bölünüp ana enjektör üfleme derecesi (K4) ve adedi (K5) ile çarpılarak K7 ile K14 hücreleri arasındaki uygun basınç değerine karşılık yerleştirmektedir. Nozzle çalışma basıncı F7-F14 hücreleri arasından hangisi kullanılacaksa L7 ile L14 hücrelerinden ona karşılık kısma 1 değeri verilerek L16 hücresinde hesaplanması sağlanmaktadır. Şekilde verilen örnek hesaplamada ana ve yardımcı enjektör basıncının 3 bar, nozzle basıncının 7 bar olması halinde gerçekleşecek hava tüketimi, H16, J16 ve L16 değerleri toplanarak hesaplanmakta ve clamp tüketimi de eklenerek L18 hücresinde görülebilmektedir. Şekil 7'de ekran görüntüsü verilen modelleme yardımıyla istenilen üretim parametrelerinde gerçekleşecek hava tüketimleri kolaylıkla tahmin edilebilmektedir.

Çizelge 4'te verilen makine ayarları Şekil 7'de verilen Excel dosyasındaki tabloya işlenerek teorik tüketim değerleri hesaplanmış ve aynı çizelgede verilmiştir. Enjektör basıncının, enjektörün toplam üfleme derecesinin ve nozzle basıncının değiştiği ayarlarda teorik tüketimin fiili tüketime göre ortalama % 4-5 oranında daha az olduğu görülmüştür. Nozzle üfleme derecesinin değişmesi durumunda ise teorik tüketimin fiili tüketime göre ortalama %9 daha az çıktığı görülmekle beraber üfleme derecesi düşüktüğü teorik tüketimin fiili tüketimden bir miktar daha uzaklaştığı tespit edilmiştir. Makine devri arttırılarak yapılan değişiklikte düşük devirde teorik tüketim ile fiili tüketim çok yakın değerlere sahipken makine devrinin artmasıyla fiili tüketimin %2 civarında artış gösterdiği görülmüştür. Yapılacak hesaplamalarda bu sapmaların göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bunun yanısıra SPSS paket programı kullanılarak Çizelge 4'te verilen teorik ve fiili hava tüketim miktarları arasındaki korelasyon test edilmiş ve aralarında 0,97 korelasyon katsayısıyla %99 güven aralığında istatistiksel olarak oldukça güçlü bir korelasyon olduğu tespit edilmiştir.

TÜKETİM(metre küp/saat)				TEORİK HAVA SARF TABLOSU			
BASINÇ (bar)	ANA ENJEKTÖR	YARDIMCI ENJEKTÖR	NOZZL	Derece	Ana enjektör	Yardımcı enjektör	Nozzl
1	4	4	1	10	140	110	
2	7	8	2,25	1	1	34	
3	10	11	3,5	1	1,555556	10,38889	
4	13	14	4,5	2	0,194444	3,111111	23,375
5	16	17	5,75	3	0,277778	4,277778	36,36111
6	19	20	6,75	4	0,361111	5,444444	46,75
7	24	24	8	5	0,444444	6,611111	59,73611
8	24	24	7,75	6	0,527778	7,777778	70,125
				7	0,666667	9,333333	83,11111
				8	0,666667	9,333333	80,51389
				Toplam	0,277778	4,277778	83,11111
							CLAMP 6
							TOPLAM 93,66667

Şekil 7. Teorik hava sarfiyatı hesaplama Excel çalışma sayfası.

4. Sonuç

Çalışma kapsamında hava jetli dokuma makinalarında enerji kullanımının en önemli tüketim kalemi olan hava tüketimin irdelenmesi amaçlanmıştır. Buna göre çalışma kapsamında uygulanan deneysel çalışmalar ve ölçümler ile elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Hava jetli ve rapierli tezgahların birim üretim maliyetleri karşılaştırılırken hava jetli tezgahlarda yaklaşık iki kat daha fazla enerji tüketimi gerçekleştiği ve bu tüketimin çok önemli bir kısmının basınçlı hava üretmek için kullanıldığı görülmüştür.
- Çalışmada ele alınan hava jetli atkı atma sistemine sahip iki farklı marka dokuma makinasının hava tüketimlerinin dolayısıyla enerji sarfiyatlarının kullanılan enjektör ve nozzle'lerden dolayı farklı olduğu görülmüştür. B marka hava jetli dokuma tezgâhının ana enjektör, yardımcı enjektör ve nozzle hava sarfiyatlarının, seçilen tüm basınç değerlerinde A marka dokuma tezgâhından yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu durumun B marka dokuma tezgâhında kullanılan ana enjektör, yardımcı enjektör ve nozzle çapının daha büyük olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.
- Hava jetli atkı atma sistemine sahip dokuma tezgâhlarında ana enjektör üfleme derecesinin ve basıncının artırılmasının hava tüketimini önemli miktarda arttırmazken atkı varış süresini yüksek oranda kısalttığı tespit edilmiştir. Bu durumun, ana enjektör iğnesi içerisinde havanın bir kanal boyunca sıkışarak enjektör iğnesi etrafında atkıya tam kavrama sağlamasından kaynaklandığı düşünülmektedir.
- Hava jetli dokuma tezgâhlarında nozzle üfleme derecesinin ve basıncının hava tüketimi artışı üzerinde çok ciddi etkisi olduğu tespit edilmiştir. Nozzle'dan gelen havanın açık ortamda atkı üzerindeki etkisi daha az olduğundan atkı varış hızını ciddi oranda arttırmazken kullanılan nozzle sayısından dolayı tüketimi arttırdığı düşünülmektedir.
- Hava jetli dokuma tezgâhında kullanılan atkı istenilen hıza, basınç ve üfleme derecesini arttırmadan kolayca çıkıyorsa bu tezgâhlarda devir arttırılarak hava tasarrufu yapmak daha kolay görünmektedir. Bu nedenle hava jetli dokuma tezgâhlarında kullanılacak atkı ipliğinin enerji tüketimi üzerinde ciddi etkisi olduğu düşünülmektedir.
- Atkının sağlıklı bir şekilde atılabilmesi makinanın bir turunda ana krank milinin 170 derecelik bir alanında sağlanabilmektedir. Eksantrik tipi ağızlığın daha erken açılıp daha geç kapanacak şekilde tasarlanması ve bununla birlikte tefenin geriye gitmesi koordine edilip daha erken geriye gidip daha geç öne gelmesiyle atkının atılabileceği derece aralığı arttırılmış olmaktadır. Bu durum da hava tasarrufu ve devri arttırmaya olanak sağlamaktadır. Bunun yapılabilmesi için çerçevelerin yukarı aşağı hareket hızları da artacağından çerçeve sayısı arttırılıp çerçevelere binen yükün azaltılması gerekeceği düşünülmektedir.
- Çalışma kapsamında önerilen yeni şartlarda (daha yüksek enjektör basıncı ve üfleme derecesi, daha düşük nozzle basıncı ve üfleme derecesi) yapılan üretim ile basınçlı hava kullanım verimliliğinde %10,3 oranında iyileşme görülmüştür.

Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde; hava jetli dokuma tezgâh tasarımında çerçeve hareketi (aşağı-yukarı hareket) esnasındaki hareket süresi azaltılırsa atkı atımı için daha fazla süreye sahip olunacağı görülmüştür. Ana enjektör ve ana enjektör iğnesi üzerinde yapılacak bir çalışmanın, atkı varış süresini yüksek oranda kısaltarak ve hava tüketimini kayda değer miktarda arttırmayarak en etkili tasarrufu sağlayacağı tespit edilmiştir.

Teşekkür

Çalışma kapsamında denemelerin ve ölçümlerin yapıldığı BOSSA Tekstil İşletmelerine desteklerinden dolayı teşekkür ederiz.

Not

Bu çalışmanın ön bulguları 25-27 Ekim 2021 tarihlerinde düzenlenen 6th International Mediterranean Science and Engineering Congress (IMSEC 2021)'de sunulmuştur [16].

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları herhangi bir kurum, kuruluş, kişi ile kişisel ve finansal çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedirler.

Kaynaklar

- [1] Dornier, Makine Kataloğu; 2010.
- [2] Özcan BS. Hava jetli dokuma makinalarında ağızlık geometrisinin matematiksel olarak modellenmesi. Yüksek lisans tezi. Bursa: Uludağ Üniversitesi; 2010.
- [3] <https://kompresordergisi.com> (21.01.2020)
- [4] Khiani RK, Peerzada MH, Abbasi SA. Air consumption analysis of air-jet weaving. Mehran University Research Journal of Engineering and Technology 2016; 35 (3): 453-458.
- [5] He S, Qian Y, Xue W, Cheng L. Numerical simulation of flow field in air-jet loom main nozzle. Autex Research Journal 2018; 19 (2): 1-10.
- [6] Patil TC, Kadam J, Patil Y. Air jet weaving: Control of weft breakages for cotton&polyester weft yarn. International Journal on Textile Engineering and Processes 2016; 2 (4): 1-6.
- [7] Üncü F. Hava jetli dokuma makinalarında balon kırıcının atkı ipliği varış hızına etkisi. Yüksek lisans tezi. İstanbul: Marmara Üniversitesi; 1996.
- [8] Haq UN, Hossain MM. A review on reduction of air consumption in air jet loom: The possible setting points. Asian Journal of Scientific Research 2017; 7 (3): 52-62.
- [9] Ishida M. Flow characteristics of the main nozzle in an air-jet loom part 1: Measuring flow in the main nozzle. Textile Research Journal 1994; 64 (1): 10-20.
- [10] Hasegawa J. A study of weft insertion system on air jet loom. Paper Presented at ASME Textile Engineering Conference, Raleigh, North Carolina; 1981.
- [11] Bozkan O. Hava jetli dokuma makinelerinde hava sarfiyatına etki eden parametrelerin incelenmesi. Yüksek lisans tezi. Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi; 2007.
- [12] Shandilya A, Gangopadhyay S. New designed main nozzle of air-jet weaving machine for optimizing air consumption using CFD simulation. CFD Letters 2022; 14 (9): 108-117.
- [13] Zegan M, Ayele M. Optimization of air pressure and speed of air jet loom; impact on fabric tensile and tear strength properties using Response Surface Methodology. Journal of Natural Fibers 2022; 19 (15): 10227-10240.
- [14] Haque E, Rahman B, Kafi W, Kaiser SU, Dey A. Minimization of air consumption and potential savings of textile denim fabric manufacturing process. Journal of Textile Science and Technology 2023; 9: 69-83.
- [15] Demir B. Hava jetli dokuma makinalarında hava sarfiyatını azaltmaya yönelik yaklaşımlar. Yüksek lisans tezi. Adana: Çukurova Üniversitesi; 2022.
- [16] Demir B, Zervent Ünal B. Hava jetli dokuma makinalarında hava sarfiyatını azaltmaya yönelik yaklaşımlar. 6th International Mediterranean Science and Engineering Congress (IMSEC 2021), Antalya, Türkiye; 2021.

APPLICATION OF A NEW DYNAMIC ANALYSIS METHOD TO PID CONTROLLED SPEED GOVERNORS IN HYDROELECTRIC POWER PLANTS

Gökhan KAHRAMAN^{1}, Erdem IŞIK²**

¹Munzur Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Tunceli, 62000, Türkiye

²Munzur Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Tunceli, 62000, Türkiye

Geliş Tarihi/Received Date: 26.09.2022 Kabul Tarihi/Accepted Date: 08.08.2023 DOI: 10.54365/adyumbd.1180531

ABSTRACT

Hydroelectric power plants are environmental-friendly as they are renewable energy sources and make great contributions to the economies. In addition, they are in the state of insurance of the electricity network, since they can respond to the power demands of the electricity network in a very short time. In this study, the effect of the speed governors dispense valve has been added to the classical control mechanism in order to accurately predict the reaction of hydroelectric power plants to the load requirement of the electrical network. As a result of the dynamic analysis, the data obtained in the simulation environment have been compared with the responses of the real hydraulic turbine. The results show that when the dynamic analysis of the speed governor dispense valve is added to the classical control mechanism, the power response behavior in the simulation environment becomes closer to the real hydraulic turbine behavior.

Keywords: Renewable Energy, Hydroelectric Power, Power control, Dynamic Analysis, Transfer Function

HİDROELEKTRİK SANTRALLERDE PID KONTROLLÜ HIZ REGÜLATÖRLERİNE YENİ BİR DİNAMİK ANALİZ YÖNTEMİNİN UYGULANMASI

ÖZET

Hidroelektrik santraller yenilenebilir enerji kaynakları olmaları nedeniyle çevre dostudur ve ülkelerin ekonomilerine büyük katkılar sunarlar. Ayrıca elektrik şebekesinin güç isteklerine çok kısa sürelerde cevap verebildikleri için elektrik şebekesinin sigortası durumundadırlar. Bu çalışmada, hidroelektrik santrallerin elektrik şebekesinin yük ihtiyacına verdiği tepkiyi gerçeğe yakın bir şekilde tahmin edebilmek için klasik kontrol mekanizmasına hız regülatörlerinin dağıtma valfinin etkisi eklenmiştir. Yapılan dinamik analiz sonucu simülasyon ortamında elde edilen veriler ile gerçek hidrolik türbinin tepkileri kıyaslanmıştır. Sonuçlar göstermiştir ki hız regülatörü dağıtma valfinin dinamik analizi klasik kontrol mekanizmasına eklendiğinde simülasyon ortamındaki güç tepkisi davranışları gerçek hidrolik türbin davranışına daha fazla yaklaşmıştır. Bu sonuçlar hidroelektrik santrallerde hız regülatörü tasarımcılarının gerçeğe yakın davranışları tahmin etmelerinde yardımcı olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir enerji, Hidroelektrik santral, Hız regülatörü, Dinamik analiz, Transfer fonksiyon

* e-posta¹ : gokhankahraman@munzur.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8365-2447> (Sorumlu Yazar)

e-posta² : erdem@munzur.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4715-6582>

1.Introduction

Speed governors in hydroelectric power plants regulate the amount of water entering the turbine wheel, initially they adjust the turbine speed for network synchronization. These governors then adjust the active power output while energizing the electrical grid [1-2-3]. In addition, speed governors play an important role in ensuring safe connection with the electricity grid in hydroelectric power plants [4-5]. In order for the speed governor to do these important tasks properly, it must have a quality control system. Speed governor designers have to design different speed governors for hydraulic turbines operating in different operating conditions. So, they must be able to predict the behavior of the hydraulic turbine in a realistic way beforehand. At this stage, applying a dynamic analysis is important, by considering the mechanism of all equipment mechanism. Most of the studies in literature are based on predicting the behavior of the hydraulic turbine in real conditions in the simulation environment [6-7-8]. Mesnage et al. [9] have developed a non-linear control model to minimize the time when hydraulic turbines start producing energy. Vereide et al. [10] have investigated the effect of the surge tank on the stability of speed governor, power control and hydraulic transitions in hydroelectric power plants. Gonzalez et al. [11-12] have conducted a passive control and stability analysis by creating a block diagram and a mathematical model for hydro-turbine systems and counter-stack multi-hydro systems. Xu et al. [13] have analyzed internal energy losses by creating a mathematical model for stability analysis in the hydraulic turbine speed governor. Khodabakhshian and Hooshmand [14] have designed a new PID control for hydroelectric power plants and analyzed the system's responses to power changes. Li et al. [15] have made dynamic analysis of hydraulic turbines by modeling the speed governor control during the sudden load increase process. Yang et al. [16] have analyzed the hydraulic damping mechanism of low frequency oscillations in power systems by using a nonlinear hydroelectric power plant model. Perng et al. [17] have made an optimization by applying an algorithm to PID controlled speed governors used for hydraulic turbines. They state that as a result of the optimization, the damping of frequency oscillations improved under different operating conditions. Guo and Yang [18] have performed a modeling for frequency control in hydraulic turbines with a balance shaft and examined the response of the turbine to frequency changes. Hušek [19] has proposed PID optimal proportional gain (kp) and integral gain (ki) values within the stability of the frequency domain sensitivity in the governor modules of hydraulic turbine units. Adhikari and Wood [20] have analyzed partial load and flow control in cross-flow hydraulic turbines by making comparative analysis. Doolla et al. [21] have proposed a charge frequency control technique for an isolated small hydroelectric power plant based on a multiple flow control system. Sharma et al. [22] have designed the automated power generation control (AGC) scheme based on the artificial neuro-fuzzy inference system (ANFIS) for the hydro-turbine power system. Liu et al. [23] have developed an estimated fuzzy control method by developing a model for load frequency control with dynamic valve position modeling for the Hydro-thermal power system. Altay et al. [24] have increased their performance by reducing the feedback effect of the speed governor with the help of the mathematical model they created in an old hydroelectric power plant according to the data of the power plant.

Figure 1 shows the control mechanism in a hydroelectric power plant. The system in Figure 1 works according to the principle of controlling the blades with pressure oil. Oil in unpressurized tank is supplying the pressurized oil tank and system by increasing its pressure with two screw pumps operating as each other's backup. When the pressurized oil tank reaches a sufficient level, a switch cuts off the energy of the solenoid valve and closes the oil path. In this process, the oil to control the adjustment blades is supplied from the pressurized oil tank. The pressure of the oil in pressurized oil tank is kept constant with pressured air according to the incompressible fluid principle. Servomotors, which are connected to the adjustment ring according to the load governor's command, open or close the adjustment wings. The opening position of the adjusting blades is transmitted to the speed governor by a feedback mechanism and the speed governor restricts the movement of the main dispense valve.

While examining the load-frequency control in hydroelectric power plants, the response given by the speed regulator to the load or frequency change and the effect of this response on the gauges are analyzed by mathematically modeling. In this study, the effect of the speed regulator distribution valve

has been added to the classical control mechanism in order to predict the response of the electrical network to the load requirement more precisely. Because friction and inertia forces will be effective during the movement of the distribution valve. By adding such effects to the mathematical model with the help of dynamic analysis, the system can be modeled more closely to its real behavior.

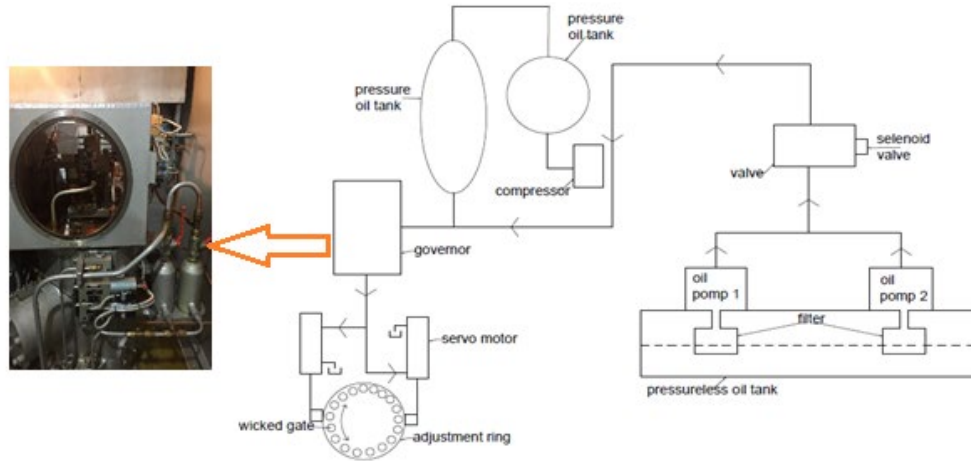


Figure 1: Adjustment blades control system in hydroelectric power plants

2. Materyal ve Metod

2.1. Calculation of transfer function of speed governors by classical modeling method

PID (proportional-integral-derivative) control is the most widely used control mechanism in hydroelectric power plants. This control can be applied mechanically, pneumatically and electrically. It controls the system precisely. Equation 1 shows PID control equation [3].

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

K_p is proportional gain, K_i is integral gain and K_d is derivative gain. The formula in Equation 2 shows the transfer function (TF) of the speed governor in "s" domain in a hydroelectric power plant connected to the interconnected system [3].

$$TF_{Governor} = K_p + (K_i/s) + K_d s / (T_d s + 1) \quad (2)$$

$$K_p = 0,97 \frac{T_m}{T_w}, K_i = 0,39 \frac{T_m}{T_w^2}, K_d = 0,4 T_m \quad (3)$$

Equation 3 shows the calculation of PID control gain factors.

2.2. Dynamic Analysis of Speed Governors Dispense Valve (New Model)

In modern hydroelectric power plants, the control mechanism of the speed governors is based on the pressured oil control of the dispense valve to the servomotors. The main logic is the pressured oil control of the speed governor dispense valve to the servomotors, no matter how different the electronic boards and mechanical equipment in the auxiliary systems of the speed regulators are. By applying

laplace transform to the mathematical model obtained as a result of a comprehensive dynamic analysis on how the dispense valve motion control works, the transfer function of the speed governor can be obtained. Figure 2 shows the location of the distribution valve inside the speed regulator.

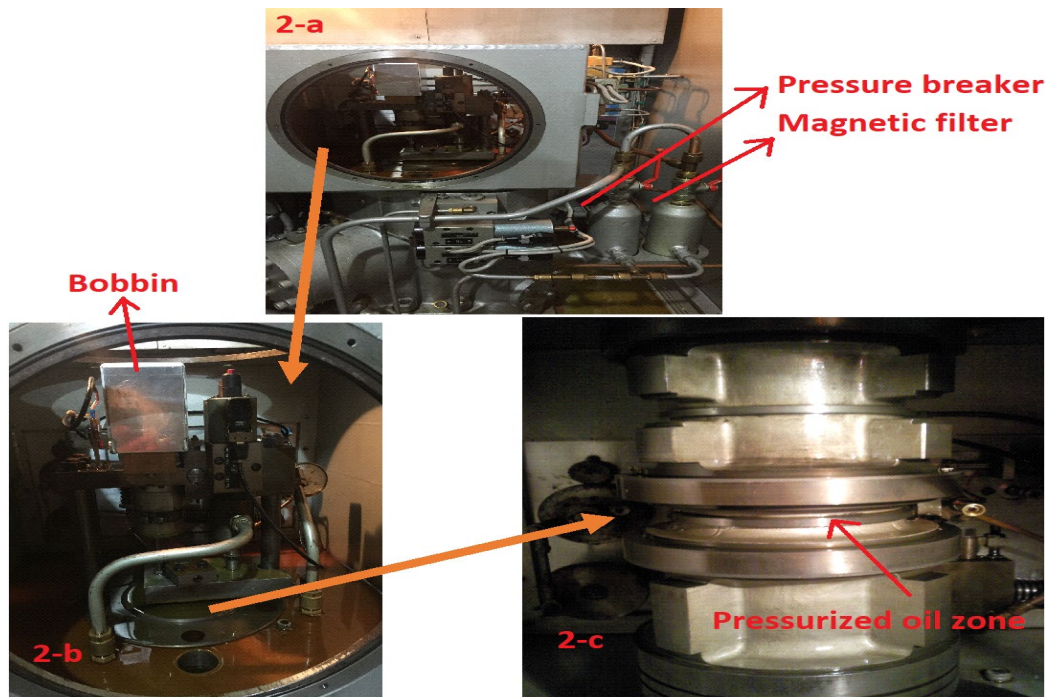


Figure 2.a) General view of the speed governor, b) View of dispense valve on speed governor, c) View of the dispense valve after mounted on the speed governor

Figure 2-a shows general view of the speed governor. The speed governor has a precise working principle to achieve frequency and power generation goals as quickly as possible. The signals coming from the primary or secondary frequency control are transmitted to the bobbin in Figure 2-b in the range of -5 to +5 volts. Some of the pressurized oil used to control the adjusting blades in servomotors passes through a set pressure breaker and creates pressure in the pressured oil zone of the dispense valve in Figure 2-c and balances the dispense valve. The balanced dispense valve sends pressurized oil to the servomotors in the direction of opening or closing the servo motors with the up and down movement of the bobbin shaft according to the incoming volt value.

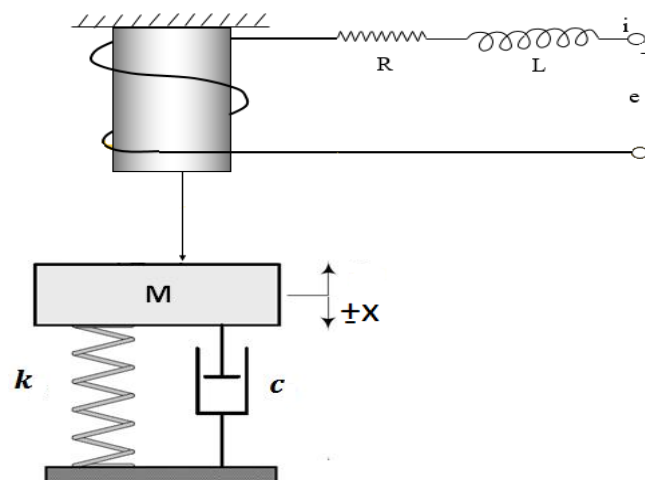


Figure 3. Schematic representation for dynamic analysis of the speed governor dispense valve

Figure 3 shows modeling of the speed governor dispense valve for dynamic analysis, working principle of which can be found in Part 2.2.

The symbols "k" and "c" in Figure 3 refer to the stiffness and damping coefficients of the oil in the dispense valve pressured oil region respectively. "M" refers to the mass of the dispense valve, "R" refers to the bobbin resistance, "L" refers to the bobbin impedance, "i" refers to the current value to the bobbin and "e" refers to bobbin voltage. The mathematical modeling of the model in Figure 3 is expressed by the following equations.

$$e(t) = Ri(t) + L \frac{di(t)}{dt} \quad (4)$$

$$\frac{di(t)}{dt} = -\frac{R}{L}i(t) + \frac{1}{L}e(t) \quad (5)$$

$$e(t) = kx(t) + c \frac{dx(t)}{dt} + \left(\frac{PA}{g} - M\right) \frac{d^2x(t)}{dt^2} \quad (6)$$

The term " $\left(\frac{PA}{g} - M\right)$ " in Equation 6 is taken into account as the difference between the mass of the speed regulator main distribution valve and the effect of the oil pressure applied in the opposite direction. The value of "P" in Equation 6 refers to the oil pressure coming to the pressured oil area of the dispense valve after the pressure breaker passes, "A" refers to the area of the part where the pressurized oil affects on the dispense valve and "g" refers to gravitational acceleration.

$$Ri(t) + L \frac{di(t)}{dt} = kx(t) + c \frac{dx(t)}{dt} + \left(\frac{PA}{g} - M\right) \frac{d^2x(t)}{dt^2} \quad (7)$$

If Laplace transform is applied to Equation 7, 8 is obtained.

$$Ri(s) + Lsi(s) = kx(s) + csx(s) + \left(\frac{PA}{g} - M\right) s^2x(s) \quad (8)$$

The transfer function showing the up and down movement (x) of the dispense valve in response to the current value entering into the speed governor dispense valve bobbin as a result of PID evaluation is obtained in Equation 9.

$$\frac{x(s)}{i(s)} = \frac{R+Ls}{k+cs+\left(\frac{PA}{g}-M\right)} \quad (9)$$

3. Results and Discussion

The expression " $(P*A/g)-M$ " in the denominator of Equation 9 determines the limit of actuation of the pressured oil coming from the pressure breaker to the dispense valve. If $P*A/g < M$, the dispense valve will not start and the turbine cannot start energy production since the oil pressure passing through the pressure breaker is not sufficient.

Table 1 shows the values used in Equation 9.

Table 1: The values used in Equation 9

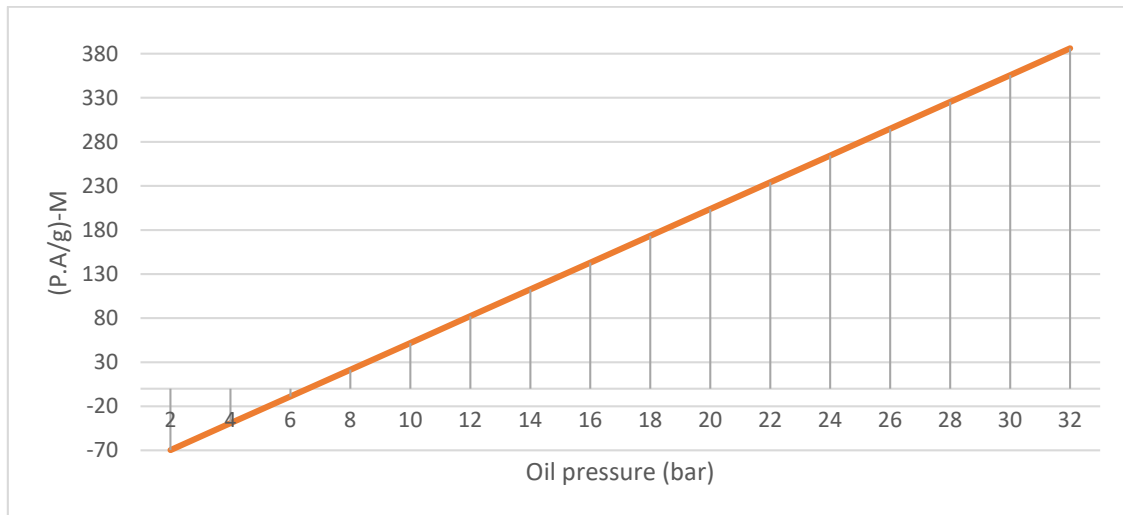
R	Resistance	30 ohm
L	Inductance	30 H
k	Stiffness[25]	$5*10^7$ N/m
c	Damping[25]	$5*10^4$ Ns/m
P	Pressure	0/32 bar

A	Area affected by oil pressure	0,00149 m ²
M	Dispense valve mass	100 kg
i	Current	-0,15/+0,15 ampere
x	Movement of the dispense valve shaft	Max. 0,02 m

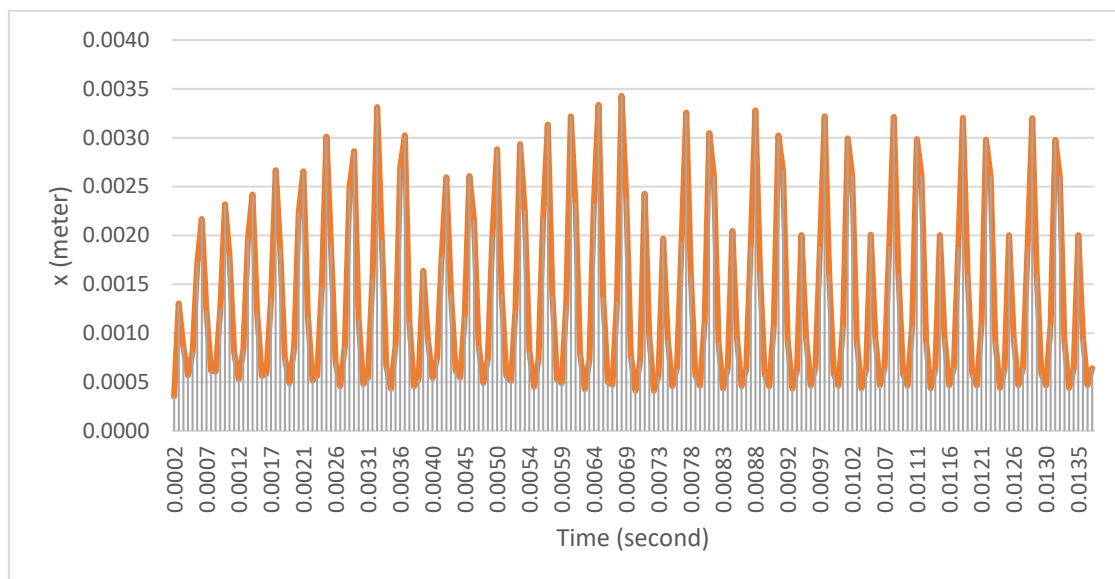
Table 1. Continue

The values shown in Table 1 include the characteristics of the speed regulator of the vertical Francis turbine with a power of 155 MW.

Figure 4 shows "(P.A/g)-M" value according to the oil pressure coming from the pressure breaker.

**Figure 4.** "(P.A/g)-M" change according to the oil pressure value coming to the dispense valve

As in Figure 4, after 6 bar pressure, the dispense valve starts to act and the turbine can start producing energy after this value. In Figure 5, it shows how the 2 bar oil pressure (any pressure value less than 6 bar can be selected) coming to the dispense valve has an effect on the movement of the dispense valve.

**Figure 5.** The situation of the speed governor dispense valve at 2 bar oil pressure

The graphic in Figure 5 shows the movement of the dispense valve when 2 bar pressure comes from the speed governor pressure breaker. Dispense valve moves irregularly and it is subject to excessive vibration. In this case, it is impossible for the turbine-generator unit to start producing energy. This movement of the dispense valve cannot send pressurized oil to servomotors in the direction of opening the adjustment blades. Since no water will come to the turbine wheel because the adjustment blades are not open, the turbine wheel cannot rotate, so the unit cannot start producing energy. In Figures 6, 7, 8, the movement of the dispense valve can be seen when the oil comes to the dispense valve at the pressure of 10, 18 and 26 bar from the pressure breaker and when different flow values are applied to the dispense valve bobbin.

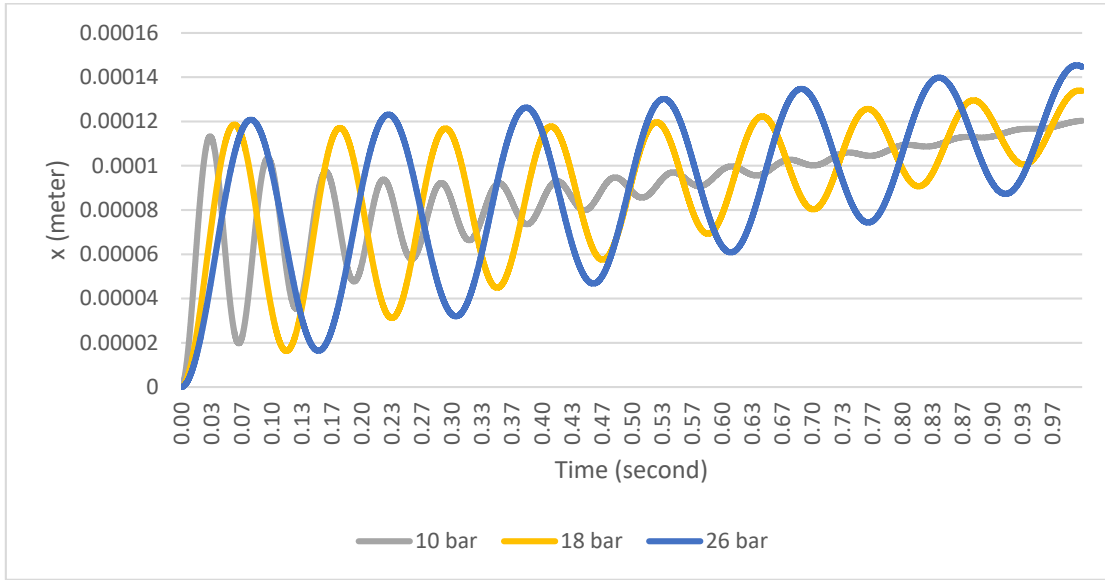


Figure 6. Movement of the dispense valve at different oil pressures when linearly increasing current is applied to the dispense valve bobbin

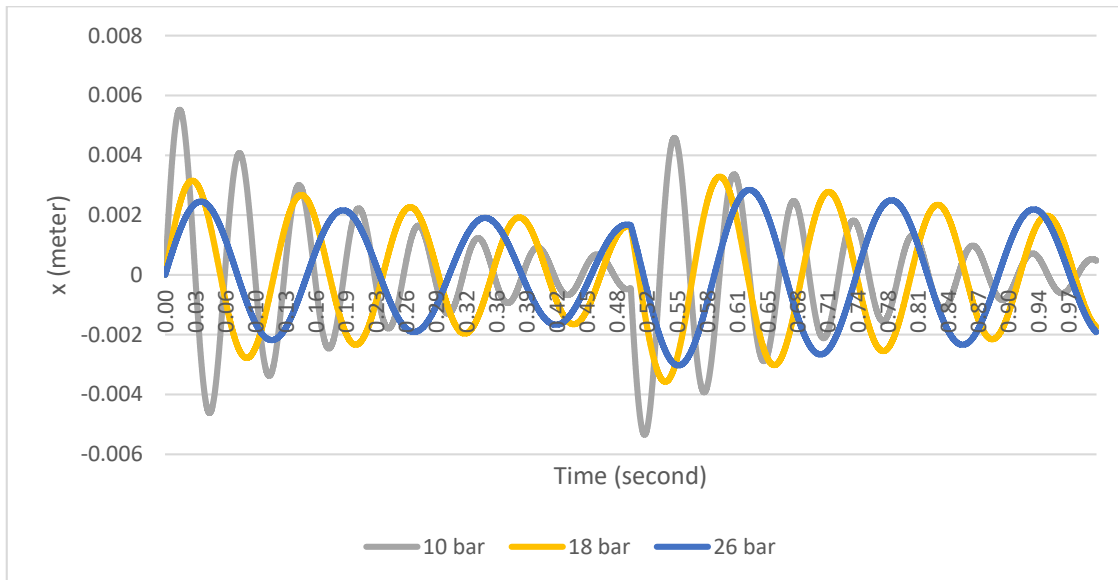


Figure 7. Movement of the dispense valve at different oil pressures when high and low flow is applied to the dispense valve bobbin in certain periods

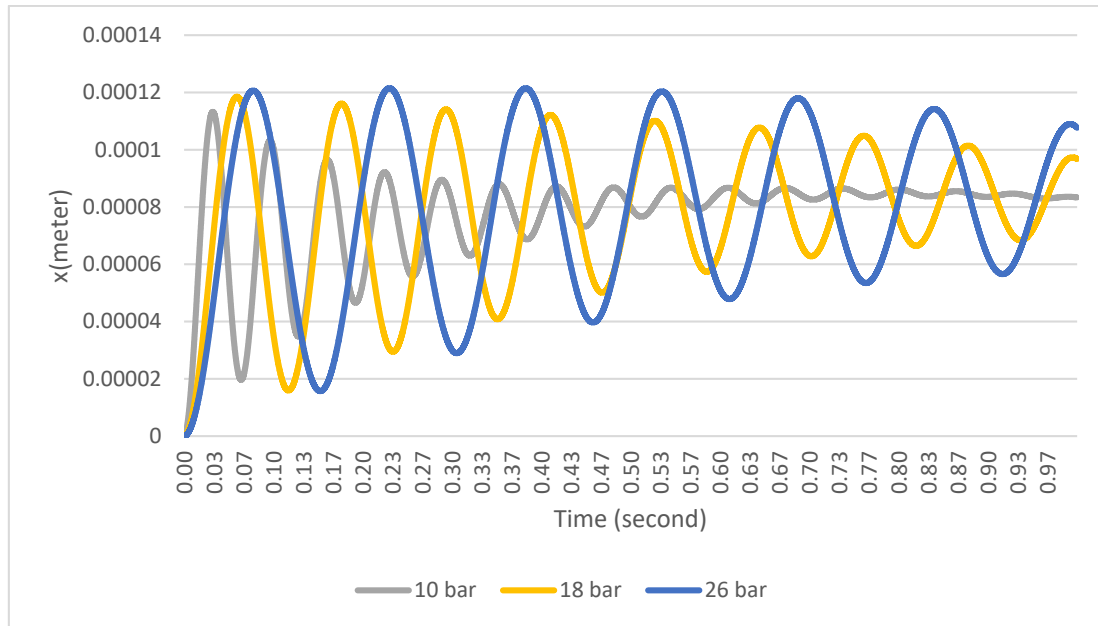


Figure 8. Movement of the dispense valve at different oil pressures when current in the form of sine wave is applied to the dispense valve bobbin

In Figures 6, 7 and 8, the situation of the dispense valve is shown in the case of 10, 18 and 26 bar pressure coming from the pressure breaker to the dispense valve pressure area and in the case of sending the current as a linear increasing, increasing and decreasing sine wave current respectively to the dispense valve bobbin. From the moment the first current is applied to the bobbin, it can absorb the 10 bar oil pressure movement faster compared to other pressure values and become stable. This indicates that 10 bar oil pressure coming from the pressure breaker to the dispense valve will provide a more precise control in the speed governor control. In addition, the limit of the time term on the x-axis of the graphs is determined as the system approaches stability.

3.1 Application of new dynamic analysis to PID controlled general system in hydraulic turbines

In order to examine the control and response to the aimed power in hydraulic turbines, the general response of the water flow in the penstock, the adjustment blades, the servomotors, the turbine-generator unit should be examined.

The adjustment blades control the water flow coming to the turbine wheel. The position of the adjusting blades depends on the control signal of the speed governor. Equation 10 shows the adjustment blades transfer function [26].

$$TF_{\text{guide vane}} = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{1}{(T1.s+1).(T2.s+1)} \quad (10)$$

T1 and T2 are time constant and determined by the pressure and flow characteristics of the adjustment blades and servomotors. Y(s) refers to speed governor output signal and U(s) refers to the feedback signal coming from adjustment blades to the speed governor.

There are two servomotors in hydraulic turbines. Servomotors control the adjustment blades with the pressurized oil coming from the speed governor dispense valve. Equation 11 shows the servomotor transfer function.

$$TF_{\text{servo}} = \frac{1}{s.Tp+1} \quad (11)$$

Mathematical modeling of the penstock of a hydroelectric power plant is determined by three basic equations: the velocity of water in the penstock, the effect of gravity and power generation in the turbine. Equation 12 shows the transfer function for penstock.

$$TF_{\text{penstock}} = \frac{1-s.T_w}{1+0,5.s.T_w} \tag{12}$$

$$T_w = \frac{L1.q}{h.g.A_p} \tag{13}$$

Generator dynamics refers to the oscillation equation that associates rotating machine inertia (T_m) with acceleration torque. The load depends on the D value of the load damping. Equation 14 shows the transfer function for the turbine-generator [3].

$$TF_{\text{turbine-generator}} = \frac{1}{s.T_m+D} \tag{14}$$

Table 2 shows the explanation of the terms in Equations 10, 11, 12, 13 and 14 and the values of the 155 MW power Francis turbine used in the calculations

Table 2. Values used in calculations

L1	Turbine penstock length	548,684 m.
q	The water flow passing from the penstock	115 m ³ /s
h	Net head	135 m.
g	Gravity acceleration	9,81 m/s ²
A _p	Sectional area of the penstock	21,2 m ²
T _w	Water starting time of a single penstock	Calculated
T _p	Pilot valve servomotor time constant	0,05 s.
T _m	Machine starting time	7,99 s.
D	Load damping factor	0,5

Figure 9 shows the block diagram with the PID controlled control system in hydroelectric power plants and the speed governor dispense valve transfer function added to this control system.

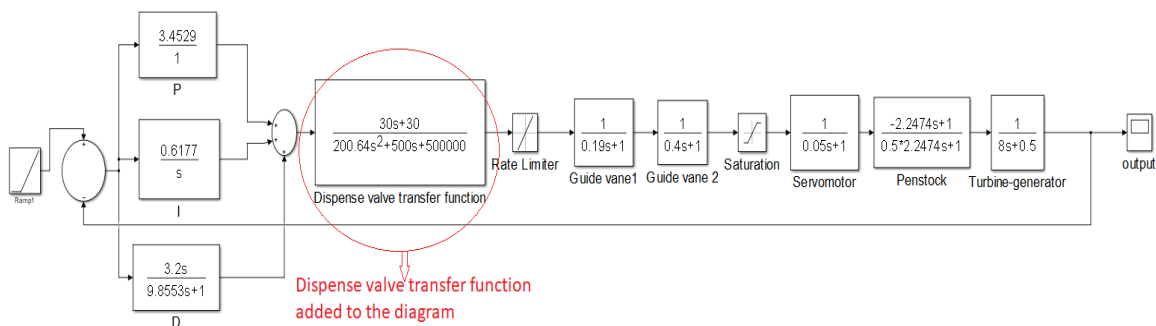


Figure 9. Version of speed governor dispense valve block added to PID controlled block diagram in hydroelectric power plants

The graphic in Figure 10 shows the response of hydraulic turbine to aimed power after the dispense valve transfer function is added and not added depending on block diagram in Figure 9.

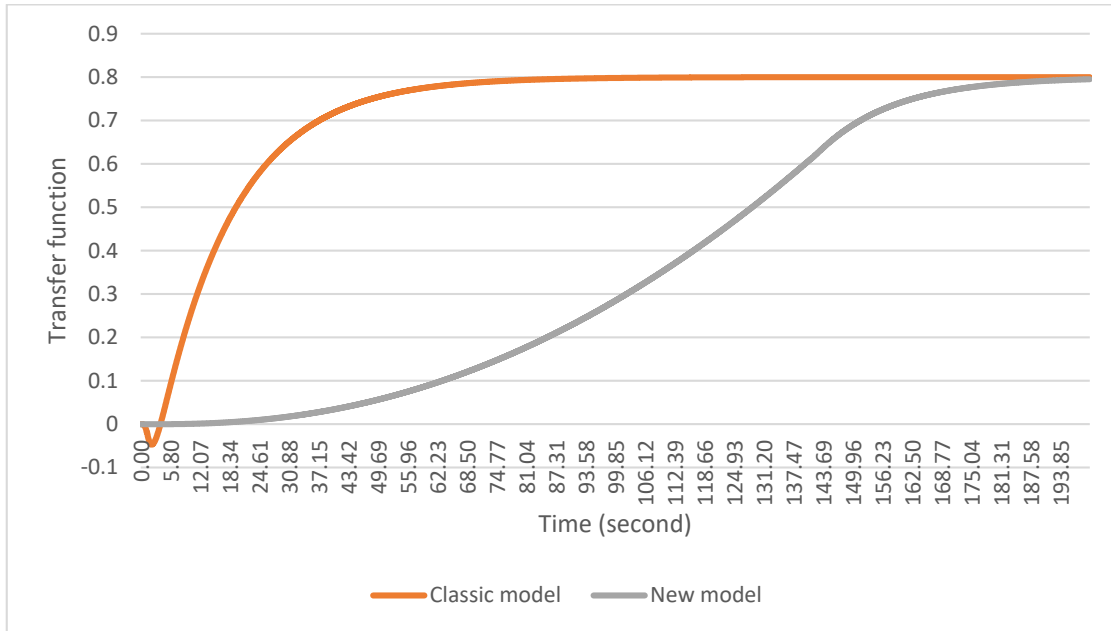


Figure 10. Responses of the classical model and the new model to the power demand

Figure 10 shows that the power demand stabilizes in approximately 80 seconds in the classical model, and the power demand stabilizes in approximately 180 seconds in the new model. The new model is closer to reality. In order to prove this fact, the response to the power demand in the real hydraulic turbine in Figure 11 is compared with the graphic in Figure 10.

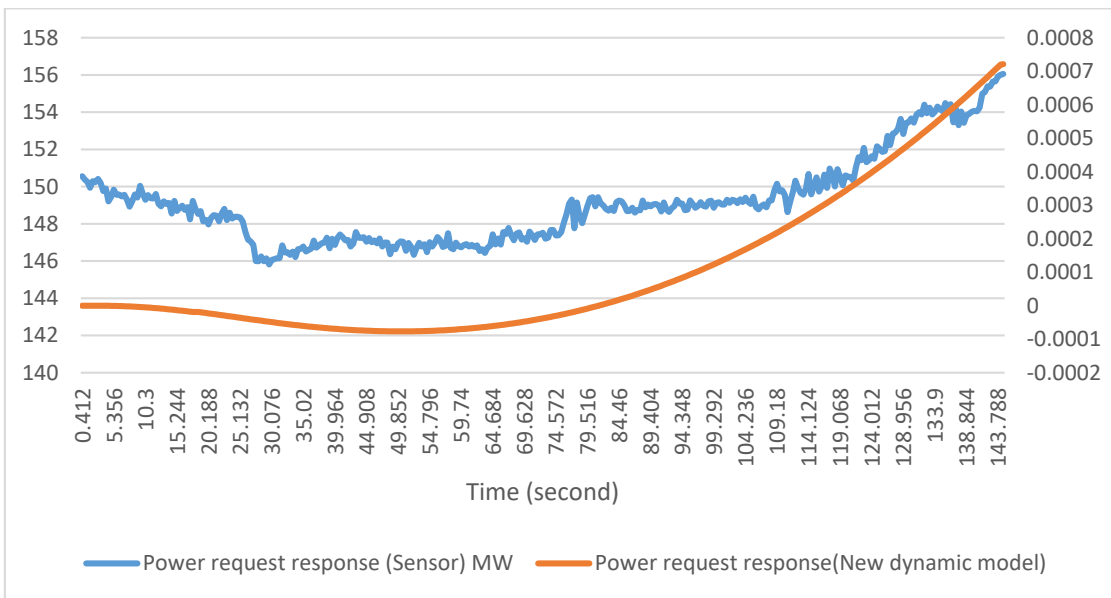


Figure 11. Comparison of the hydraulic turbine's response to the power demand and the response of the new dynamic model to the power demand

Figure 11 shows the comparison of the response of the hydraulic turbine to the power demand with the response of the dynamic model created by measuring under real operating conditions. While the hydraulic turbine produces 150 MW of energy under real operating conditions, 156 MW power

demand is given. While the hydraulic turbine is performing this power demand, the graph is similar to the graph of the dynamic model. Figure 11 shows that the new model is closer to the real conditions.

4. Conclusion

This research investigates the effect of the dispense valves movement of the speed governors on the control mechanism, which is a neglected part when creating the control mechanisms of hydroelectric power plants in the simulation environment. The working principle of the dispense valve is explained, its dynamic analysis is made and the movement conditions are examined. The expression of $(P.A)/g-M$ in the denominator of the formula obtained as a result of dynamic analysis is movement condition formula of the dispense valve and for the dispense valve to start (when dispense valve starts to act it means that the hydraulic turbine starts to rotate.) in the graphic drawn based on this formula, it is clear that pressure coming to the dispense valve should be above 6 bar. To support this idea, a simulation is applied as if 2 bar pressure oil is sent to the dispense valve, and the dispensing valve does not move but only vibrates. Then, different currents are sent to the dispense valve bobbin at different oil pressures above 6 bar, and charts are drawn. It is observed that the dispensing valve becomes stable in a shorter time at 10 bar oil pressure. The general control diagram of the hydroelectric power plants and the new model to which dispense valve transfer function is added, are compared according to the load response. The difference in this comparison is compared with the power response of the actual hydraulic turbine. As a result of this comparison, it is obvious that the new model gives a closer result to the reality. This situation is thought to be very useful for speed governor designers in terms of anticipating closer to real conditions.

Conflict of Interest Statement

The authors of the article declare that they do not have any personal or financial conflicts of interest with any institution, organization, or person.

References

- [1] Gezer D., Taşcıoğlu Y., Çelebioğlu K., Speed control of hydraulic turbines for grid synchronization using simple adaptive add-ons, *Measurement and Control* 2018;51: 276-284. [10.1177/0020294018786743](https://doi.org/10.1177/0020294018786743).
- [2] Strath B., Kuljaca O., Vukic Z., Speed and active power control of hydro turbine unit, *IEEE Trans. Energy Convers.* 2005;20: 424– 434. [10.1109/TEC.2004.837278](https://doi.org/10.1109/TEC.2004.837278)
- [3] Hernandez G.A.M., Mansoor S.P., Jones D.L.i., *Modelling and Controlling Hydropower Plants*. Springer, 2013 (pp. 169-172).
- [4] Ahn S.H., Xiao Y.X., Wang Z.W., Zhou X.Z., Luo Y.Y., Performance prediction of a prototype tidal power turbine by using a suitable numerical model, *Renew. Energy* 2017;113:293-302. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.06.021>
- [5] Riasi A., Tazraei P., Numerical analysis of the hydraulic transient response in the presence of surge tanks and relief valves, *Renew. Energy* 2017;107:138-146. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.01.046>
- [6] Weixelbraun M, Renner H, Kirkeluten O, Lovlund S. Damping low frequency oscillations with hydro governors. *IEEE PowerTech (POWERTECH)*. Grenoble 2013.
- [7] Tanıdır Ö., Cebeci M.E., Gençoğlu C., Tör O.B., A strategy to enhance AGC performance of power systems that suffer inter-area oscillations and a case study for Turkish power system, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems* 2012;43:941-953. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2012.06.047>
- [8] Guo W., Yang J., Stability performance for primary frequency regulation of hydro-turbine governing system with surge tank, *Applied Mathematical Modelling* 2018;54:446-466. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2017.09.056>

- [9] Mesnage H., Alamir M., Perrissin-Fabert N., Alloin Q., Nonlinear model-based control for minimum-time start of hydraulic turbines, *European Journal of Control* 2017;34:24–30. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejcon.2016.12.002>
- [10] Vereide K., Svingen B., Nielsen T.K., Lia L., The Effect of Surge Tank Throttling on Governor Stability, Power Control, and Hydraulic Transients in Hydropower Plants, *IEEE Transactions On Energy Conversion* 2017;32. 10.1109/TEC.2016.261482
- [11] Gonzalez W.G., Garces A., Escobar A., Passivity-based control and stability analysis for hydro-turbine governing systems, *Applied Mathematical Modelling* 2019;68:471-486. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2018.11.045>
- [12] Gonzalez W.G., Montoya O.D., Garces A., Standard passivity-based control for multi-hydro-turbine governing systems with surge tank, *Applied Mathematical Modelling* 2020;79:1-17. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2019.11.010>
- [13] Xu B., Jun H.B., Chen D., Li H., Zhang J., Blanco C.J.C., Shen H., Stability analysis of a hydro-turbine governing system considering inner energy losses, *Renewable Energy* 2019;134:258-266. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.11.026>
- [14] Khodabakhshian A., Hooshmand R., A new PID controller design for automatic generation control of hydro power systems, *Electrical Power and Energy Systems* 2010;32:375-382. 10.1016/j.ijepes.2009.11.006.
- [15] Li H., Chen D., Zhang H., Wang F., Ba D., Nonlinear modeling and dynamic analysis of a hydro-turbine governing system in the process of sudden load increase transient, *Mechanical Systems and Signal Processing* 2016;80:414-428. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2016.04.006>
- [16] Yang W., Norrlund P., Bladh J., Yang J., Lundin U., Hydraulic damping mechanism of low frequency oscillations in power systems: Quantitative analysis using a nonlinear model of hydropower plants, *Applied Energy* 2018;212:1138-1152. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.01.002>
- [17] Peng J.W., Kuo Y.C., Lu K.C., Design of the PID Controller for Hydro-turbines Based on Optimization Algorithms, *International Journal of Control, Automation and Systems* 2020;18:1-13. <https://doi.org/10.1007/s12555-019-0254-7>
- [18] Guo W., Yang J., Modelling and dynamic response control for frequency regulation of hydro turbine governing system with surge tank, *Renewable Energy* 2018;121:173-187. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.01.022>
- [19] Hušek P., PID controller design for hydraulic turbine based on sensitivity margin specifications, *Int. J. Electr. Power Energy Syst.* 2014;55:460-466. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2013.09.029>
- [20] Adhikari R.C., Wood D.H., Computational analysis of part-load flow control for crossflow hydro-turbines, *Energy for Sustainable Development* 2018;45:38-45. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2018.04.003>
- [21] Doolla S., Bhatti T.S., Bansal R.C., Load Frequency Control of an Isolated Small Hydro Power Plant Using Multi-pipe Scheme, *Electric Power Components and Systems* 2011;39 <https://doi.org/10.1080/15325008.2010.513362>
- [22] Sharma G., Nasiruddin I., Niazi K.R., Bansal R.C., ANFIS Based Control Design for AGC of a Hydro-hydro Power System with UPFC and Hydrogen Electrolyze Units, *Electric Power Components and Systems* 2018;46. <https://doi.org/10.1080/15325008.2018.1446197>
- [23] Liu X., Kong X., Lee K., Distributed model predictive control for load frequency control with dynamic fuzzy valve position modelling for hydro–thermal power system, *IET Control Theory and Applications* 2016;10 10.1049/iet-cta.2015.1021.
- [24] Altay A., Şahin C., İskender İ., Gezer D., Çakır C., A compensator design for the aged hydroelectric power plant speed governors, *Electric Power Systems Research* 2016;133:257-268
- [25] Li Q., Zhang S., Ma L., Xu W., Zheng S., Stiffness and damping coefficients for journal bearing using the 3D transient flow calculation, *Journal of Mechanical Science and Technology* 2017;31-5:2083-2091. DOI 10.1007/s12206-017-0405-9
- [26] Munoz-Hernandez G.A., Mansoor S.P., Jones D.L., *Modelling and Controlling Hydropower Plants*, Springer 2013. Doi 10.1007/978.1.4471.2291.3

Al₂O₃ PARTICLE SIZE EFFECT ON REINFORCED CU COMPOSITES PRODUCED BY HIGH ENERGY MILLING

Kerim Emre ÖKSÜZ^{1*}

¹Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Sivas, 58140, Türkiye
Geliş Tarihi/Received Date: 26.04.2023 Kabul Tarihi/Accepted Date: 05.07.2023 DOI: 10.54365/adyumbd.1287821

ABSTRACT

Production of copper (Cu) composites with a reinforced Cu matrix using mechanical alloying with Aluminum oxide (Al₂O₃) particles of different sizes was achieved using high-energy ball milling procedure. The initial materials consisted of inert gas-atomized spherical electrolytic Cu powders containing 0.5 wt. % commercial Al₂O₃ powders, with particle sizes ranging from 10 µm to 1 µm. Cu powders with different particle sizes of Al₂O₃ were high-energy ball milled at 500 rpm for 3 hours to attain a consistent distribution of Al₂O₃ throughout in the Cu matrix. The powders that were high-energy ball milled were then subjected to cold-pressing at 500 MPa and isothermally sintered for 1.5 hours at 880°C in an Ar atmosphere. The fabricated copper composite materials were characterized using X-ray diffraction analysis (XRD), field emission scanning electron microscopy (FE-SEM), energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDXS), density and macrohardness tests. The wear properties and mechanism were investigated through tribological pin-on-disc experiments, which revealed that the reinforcing effect was more significant when finely dispersed Al₂O₃ particles were combined into the Cu matrix compared to coarse Al₂O₃ particles.

Keywords: Al₂O₃ particles; Characterization; Copper composite; High energy milling; Powder metallurgy

YÜKSEK ENERJİLİ ÖĞÜTME İLE ÜRETİLEN Al₂O₃ TAKVİYELİ CU KOMPOZİTLERDE PARÇACIK BOYUTUNUN ETKİSİ

ÖZET

Farklı tane boyutuna sahip alüminyum oksit (Al₂O₃) parçacıklarıyla güçlendirilerek, mekanik alaşımlandırılmış bakır (Cu) matris malzemeler yüksek enerjili öğütme işlemi ile başarılı bir şekilde üretilmiştir. Başlangıç malzemeleri, 10 µm ve 1 µm arasında değişen parçacık boyutlarına sahip ağırlıkça % 0,5 ticari Al₂O₃ tozları ve inert gaz atomize küresel elektrolitik Cu tozlarından oluşmaktadır. Farklı tane boyutlarına sahip Al₂O₃ ve Cu tozları, Cu matrisinde homojen bir Al₂O₃ dağılımı elde etmek için 500 rpm'de 3 saat boyunca yüksek enerjili öğütme işlemine tabi tutulmuştur. Öğütülen tozlar daha sonra 500 MPa basınçta soğuk preslenmiş ve 880°C'de 1,5 saat süreyle izotermal koşullar altında argon atmosferinde sinterlenmiştir. Üretilen bakır kompozit malzemeler, X-ışını kırınım analizleri (XRD), alan emisyonlu taramalı elektron mikroskopu (FE-SEM), enerji dağılımlı X-ışını spektroskopisi (EDXS), yoğunluk ve makro-sertlik testleri kullanılarak karakterize edilmiştir. Aşınma özelliklerini araştırmak için disk üstünde pim tribometre kullanılarak tribolojik testleri yapılmıştır. Deneysel sonuçlar, ince dağılmış Al₂O₃ partiküllerinin Cu matrisine dâhil edilmesinin, kaba Al₂O₃ partiküllerinden daha önemli bir güçlendirme etkisine sahip olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Al₂O₃ partikülleri; Bakır kompozit; Karakterizasyon; Yüksek enerjili öğütme; Toz metalurjisi

*e-posta¹: emre.oksuz@cumhuriyet.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7424-5930> (Sorumlu Yazar)

1. Introduction

Copper composite materials are developed materials that uniquely combine strength, electrical conductivity, and high thermal stability, making them ideal for various applications. These copper based composites have become popular in various applications such as electrodes for resistance welding [1], semiconductors [2], catalyst [3] and electromechanical devices [4]. For them to be considered superior material, achieving a uniform structure and evenly distributed reinforcement particles within the copper matrix is crucial. Hence, they are considered promising materials for applications that demand high mechanical properties, conductivity, and wear resistance. Copper composite materials strength can be boosted considerably by either age hardening or by introducing insoluble dispersoid particles like carbides, oxides, and borides that remain thermally stable at high temperatures [5, 6]. In recent studies, copper (Cu) alloys with excellent corrosion resistance, electrical conductivity, and thermal conductivity have been explored as matrices for ceramic particle reinforced composite materials. Aluminum oxide particles (Al_2O_3) are frequently used in composite materials to enhance their hardness and ability to resist wear, due to their high levels of these properties. The use Cu and Al_2O_3 together creates various possibilities for applications that require good wear resistance, electrical conductivity and high density [7-9]. In this paper, Cu- Al_2O_3 composites were prepared by mechanochemical route and the surface morphology, particle shape and phases were examined using FE-SEM, EDXS and XRD techniques. An investigation was conducted to study the impact of various sizes of Al_2O_3 powder particles on the phase structure, matrix strengthening, relative density, and wear mechanism of Cu- Al_2O_3 composites.

2. Experimental Study

Starting materials were prepared by mixing a pre-alloyed Cu powder ($\leq 30 \mu\text{m}$), with Al_2O_3 powder ($10\mu\text{m}$ and $1\mu\text{m}$) at a concentration of 0.5 wt.%, resulting in the production of Cu-10 Al_2O_3 and Cu-1 Al_2O_3 , respectively. Mechanical alloying of the Cu/ Al_2O_3 powders was achieved by planetary high-energy ball mill (Retsch PM 100- Germany) at room temperature. In order to achieve adequate blending, a ZrO_2 jar was filled with Cu/ Al_2O_3 powders and ZrO_2 balls and secured onto a high-energy milling device. The powders were then milled at 500 rpm for 3 hours (The ball/powder ratio is 10:1). Following the milling process, the powders underwent H_2 treatment at 400°C for 1 hour in order to remove any copper oxides that might have developed on the surface as a result of the milling process. After mixing and milling, the powders were cold-pressed into tablet-shaped samples under 500 MPa, and then cold isostatic pressed (CIP) at 180 MPa. To sinter the specimens, they were placed in a tube-type furnace and subjected to Ar gas control, with the temperature gradually ramped up at a rate of 5°C min^{-1} until reaching 880°C , and held for 1.5 hours. A schematic representation of the processing steps to manufacture of Cu-Cu/ Al_2O_3 composites is shown in Figure 1.

To determine the relative density (%) of sintered compacts, the Archimedes' principle specified in the European Standard EN 99 (ISO 10545-3, 1991) [10] was employed and to assess the Rockwell B hardness of the Cu composite samples, a load of 60 kg-f was applied for a duration of 15 seconds. Hardness and density measurements were taken for each sample at least six times. The pin-on-disc apparatus, which conforms to the ASTM G99 test standard [11], was applied to assess the wear properties of both Cu and Cu- Al_2O_3 composites. Cu composite sample had a diameter and thickness of 18 mm and 2 mm, respectively, with a surface roughness (R_a) of $0.5 \mu\text{m}$ after polishing. The wear resistance of the samples was examined by conducting a wear test, which involved subjecting them to varying loads of 10, 30, and 40 N while maintaining a constant speed of 1 m/s and a sliding distance of 90 m on 180 mesh silicon carbide paper. Following the wear test, the tested materials were cleansed and dried using alcohol, and their weight loss was measured by weighing them using a microbalance with an accuracy of 0.0001 g. The experiments were performed at $20\text{-}25^\circ\text{C}$, and to ensure the accuracy and consistency of the test data, a minimum of six wear tests were conducted on the samples under each operating condition. The wear rate was calculated using the average of the measured data. The polished and chemically etched (using $\text{FeCl}_3+\text{HCl}+\text{dH}_2\text{O}$ solution) samples were examined using a FE-SEM and EDXS to observe their microstructures. The average grain size of the Cu composite samples was

calculated by examining FE-SEM photographs, using a modified line intercept method. To calculate the grain size (g), the number of grain boundary intersections with an arbitrary line was counted, as shown mathematically in Equation 1. The total length of the test line is L_T , the total number of grain boundary intersections is P , and the magnification level is M .

$$g = \frac{L_T}{PM} \quad (1)$$

A Cu-K α diffractometer (Rigaku D/MAX/2200/PC, Japan) was used to perform XRD analysis. The scan range was 10° to 90° with a step size of 0.01° and a speed of 1 s/step. The data obtained were analyzed using Jade; Materials Data computer software. The crystallite size (D) was estimated by applying the Williamson and Hall method (Equation 2) to analyze the broadening (β) of the main diffraction lines (111), (200), (220) and (311) [12].

$$\beta \cos \theta = \frac{k}{D} \lambda + \frac{k\Delta d}{d} \sin \theta \quad (2)$$

The shape factor k was set to 0.9, and radiation wave length λ was 0.15405 nm. The relative deviation of the lattice parameters from their mean value was used to define the average lattice distortion, represented as $\Delta d/d$ [13].

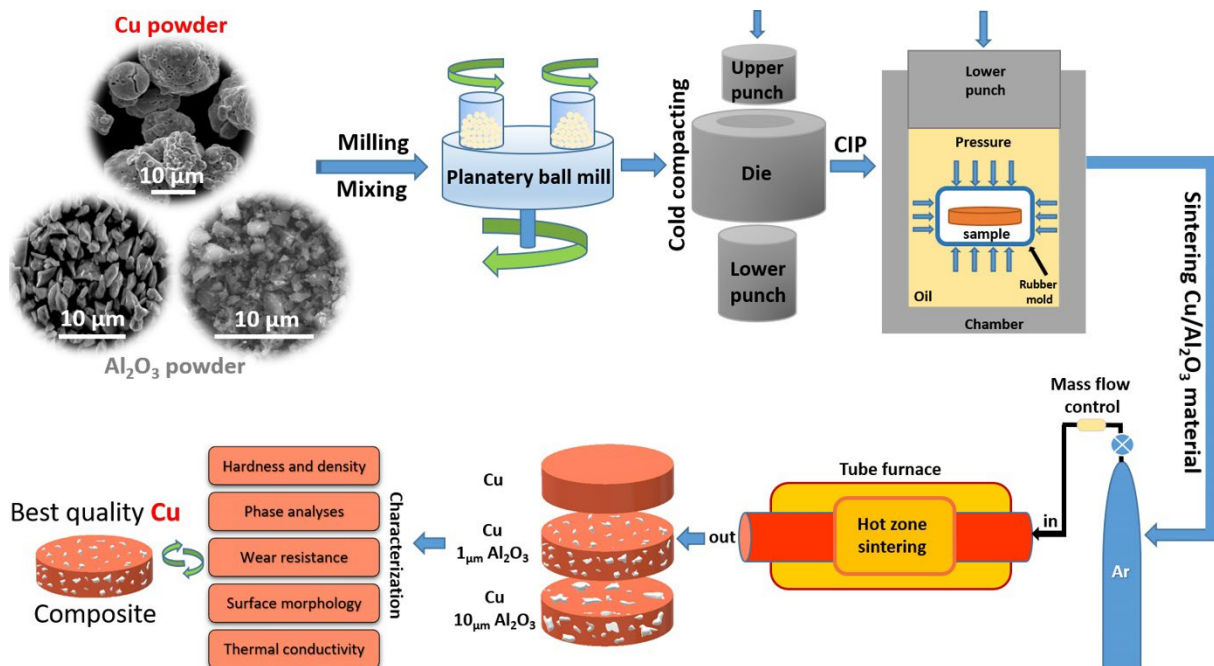


Figure 1. A schematic representation of processing steps for the manufacture of Cu/Al₂O₃ composites

3. Results and Discussion

3.1. The physical and mechanical characteristics of Cu composites

In Figure 2, the results for relative density and Rockwell B hardness of both the Cu matrix and Cu-Al₂O₃ composites are presented. The decrease in size of Al₂O₃ particles results in an increase in relative density

of the sample, which can be associated to a lower amount of porosity and a higher fraction of reinforced Al_2O_3 . In Cu composites samples, the relative density increases from 84.73% to 87.1% by decreasing the particle size of Al_2O_3 from $10\mu\text{m}$ to $1\mu\text{m}$. When compared to the theoretical density, these values correspond to relative densities of 88.95%, 84.73%, and 87.1%, respectively. The findings suggest that the densification process, which was carried out by cold pressing pre-alloyed powders, was not completely terminated. Insufficient consolidation can be associated with various factors such as the reinforcement of the Cu matrix, the formation of dislocations by Al_2O_3 particles, and the size and shape of the powders [14]. Reducing the size of the hard Al_2O_3 ceramic particles from $10\mu\text{m}$ to $1\mu\text{m}$ has led to a notable improvement in the hardness of the Cu matrix, as demonstrated in Figure 2, with an increase from 38.2 to 46.6. As a result of milling and sintering processes, diffusion activities lead to the precipitation of fine Al_2O_3 particles within the Cu matrix and at grain boundaries. Material hardness is a physical property that represents its capacity to resist local plastic deformation. When fine particles are uniformly distributed within Cu matrix, they act as pinning points, obstructing the movement and propagating of dislocations. Consequently, the grain growth mechanism is hindered by the pinning force imposed by the fine Al_2O_3 particles on the grain boundary. By decreasing the particle size of Al_2O_3 , the Cu- $1\text{Al}_2\text{O}_3$ composite exhibits a smaller crystal grain size and higher hardness, attributed to stronger dispersion strengthening effects and refined grain structure of the fine Al_2O_3 particles [15].

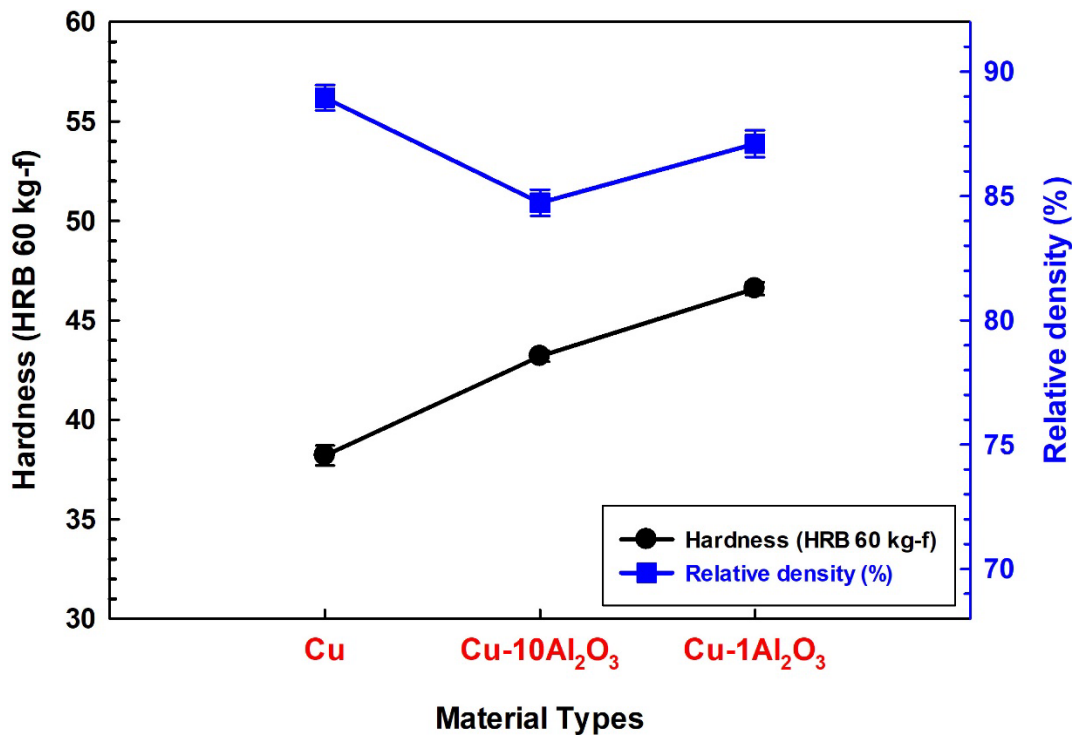


Figure 2. The macrohardness and relative density results of the Cu, Cu- $10\text{Al}_2\text{O}_3$ and Cu- $1\text{Al}_2\text{O}_3$ composites

3.2. Tribological Properties

In Figure 3, the wear rates of Cu matrix and Cu- Al_2O_3 composites under sliding conditions are presented for different applied loads (10N, 30N, and 40N) and a sliding speed of 1 m/s. As the load increases, the wear rates for all composites increase as well. This is because the abrasive particle penetrates deeper into the Cu material, leading to more significant wear performance. Besides, the wear rates of Cu- Al_2O_3 composites were determined to be less than those of Cu matrix, and this reduction was associated to a

decrease in the particle size of Al_2O_3 present in the copper matrix. This is due to the to the excellent interfacial bonding and high hardness of the Cu matrix and particles, which in turn leads to a decrease in the actual wear surface area. The distribution of the reinforcement ceramic particles was also important in improving the abrasive wear resistance, as it causes hardness enhancement of the Cu matrix. The probability of fine Al_2O_3 particles in unit contact area gradually increased, resulting in improved wear resistance. Therefore, Cu-1 Al_2O_3 composites yielded better results than Cu-10 Al_2O_3 composites. Another possible explanation could be that the ceramic nanoparticles have the ability to endure the applied load and can withstand the plastic deformation of the Cu matrix [16,17].

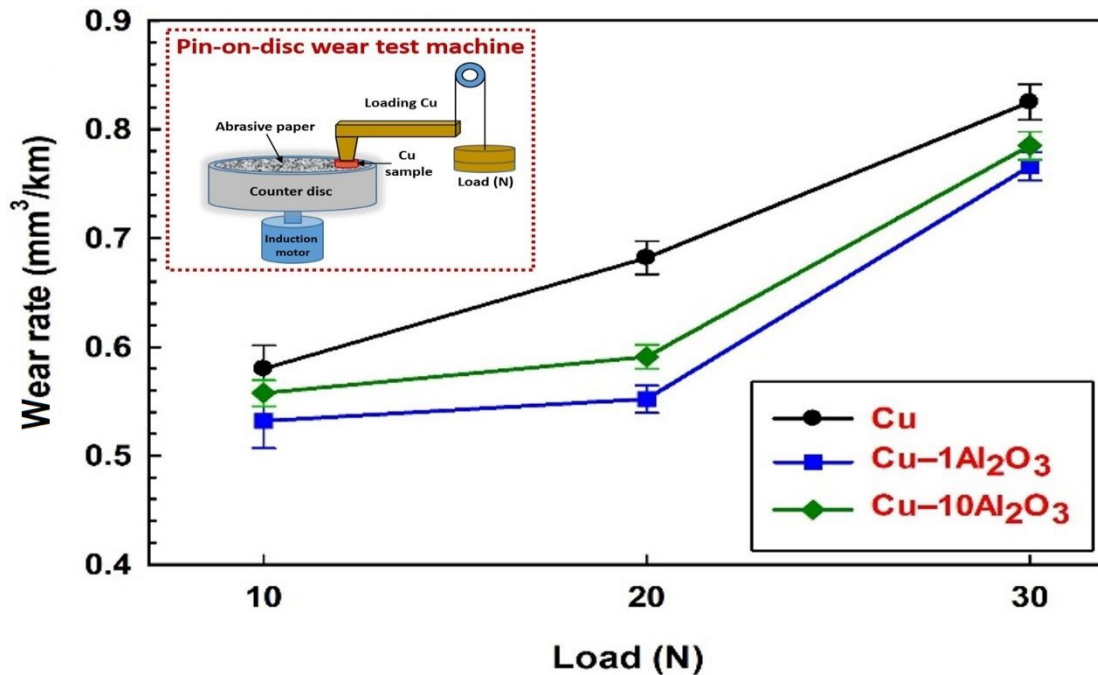


Figure 3. The wear rate of the Cu, Cu-10 Al_2O_3 and Cu-1 Al_2O_3 composites as a function of applied load

3.3. The morphology and microstructure of Cu composites

The microstructure of a material plays a significant role in determining its properties and performance. The use of mechanical alloying helps to refine the microstructure of the Cu matrix, leading to a more homogeneous and fine-grained structure. This refinement also contributes to the uniform distribution of ceramic particles, resulting in improved mechanical properties such as hardness, toughness, and wear resistance. The enhanced microstructure achieved through mechanical alloying makes it a valuable technique for developing advanced composites with superior performance characteristics. Mechanical alloying can be employed to manufacture composites that have enhanced microstructures and a uniformly distributed Al_2O_3 ceramic particles within the Cu matrix. FE-SEM micrographs of Cu and Cu/ Al_2O_3 powders, following mechanical alloying for 3 hours at 500 rpm, are displayed in Figure 4. The shape of the Cu and Cu/ Al_2O_3 powders changes from spherical to more flake-like granular morphology due to the shearing effect of the ZrO_2 balls during mechanical alloying, as shown in Figure 4 and FE-SEM images of the starting powders can be seen in Figure 1. During the milling process, a layered microstructure is developed by the Cu powder particles, and a highly consistent distribution of Al_2O_3 particles can be observed in both Cu-10 Al_2O_3 and Cu-1 Al_2O_3 composites. In Figures 4b and 4c, it is evident that the Al_2O_3 particles are largely embedded at the interfaces between the clashing Cu

particles without any distortion. The microstructure/morphology of the Cu composite and the distribution of elements in its surface morphology were examined using FE-SEM. Figure 5 shows the results of this investigation, as presented in the EDXS mapping images. The microstructure analysis suggests that the Cu samples have undergone adequate sintering and densification.

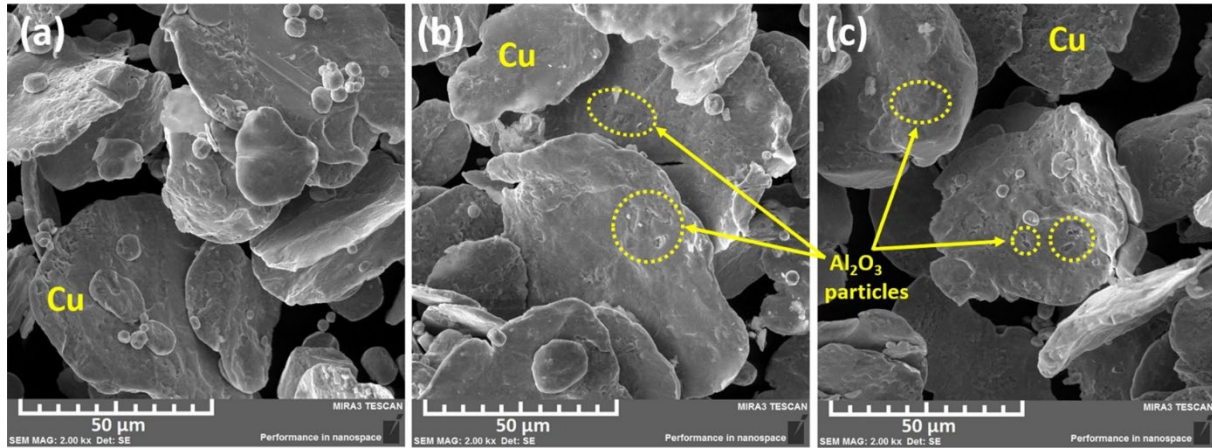


Figure 4. FE-SEM micrographs of (a) Cu, (b) Cu–10Al₂O₃ and (c) Cu–1Al₂O₃ powders after high energy ball milling

Figures 5(b) and 5(c) display the results of EDXS analysis at two specific points (+1, +2) in the Cu–10Al₂O₃ and Cu–1Al₂O₃ composites. The images show the presence of a second dispersed phase comprising well-bonded Al₂O₃ grains, and a fairly consistent distribution of Al₂O₃ particles within the Cu matrix. The brighter area (marked as +1) is identified as the Cu matrix, while the dark region (marked as +2) is presumed to be Al₂O₃. It is observed that the produced Cu and Cu composites have a non-porous structure and exhibit a more homogeneous structure with a decrease in the size of Al₂O₃ particles in the Cu matrix. The embedding of Al₂O₃ nanoparticles into the Cu matrix is due to their high atomic diffusivity during high-energy milling. This allows for a homogeneous distribution of the ceramic reinforcement phase within the metal matrix, leading to improved physical and mechanical properties as well as wear resistance properties of the metal matrix composites obtained with the presence of second-phase particles [18]. The scanning results of the surface composition indicate that the secondary ceramic phase particles within the metal matrix are uniformly distributed and that the Al₂O₃ particles are covered by the Cu matrix.

The analysis detected elementary points of Cu, O, and Al, which corresponded to the composition of the Cu matrix and Al₂O₃ particles, respectively. The surface scanning also revealed the presence of the Cu_xAl_yO_z phase, [19] as interlapping of all the three elements was noticeable. The Al₂O₃ particles possess characteristics such as high hardness, thermal stability, corrosion resistance, and chemical inertness, along with a high melting point that protects them from melting or coarsening during annealing with Cu. As a result, these particles effectively accelerate the grain refinement mechanism within the Cu matrix. By impeding the motion of dislocations at certain slip planes along the grain and sub-grain boundaries, they enhance the strength of the composite material when exposed to high temperatures [19,20].

In all FE-SEM photographs, the dark regions correspond to the Al₂O₃ matrix/particles, while the brighter regions indicate the Cu matrix. The grain size of the Cu and Cu composite samples was measured by adapting the line intercept method, which involves relating the length of a line placed randomly across the width of the FE-SEM image to the total number of grain boundaries intercepted, and the magnification applied, as shown in Equation 1. After sintering, the grain size of the Cu matrix without reinforcement phase was between 20 and 24.5 µm, while that of the Cu–10Al₂O₃ composite was between

9-12 μm , and that of the Cu-1Al₂O₃ composite was between 6-8.5 μm . The smaller particle size of 1 μm in the Cu-Al₂O₃ composite may be attributed to the higher deformation experienced by smaller powder particles during high energy milling than coarser particles. These observations were further verified by the FWHM results of all Cu samples. (see Figure 7a).

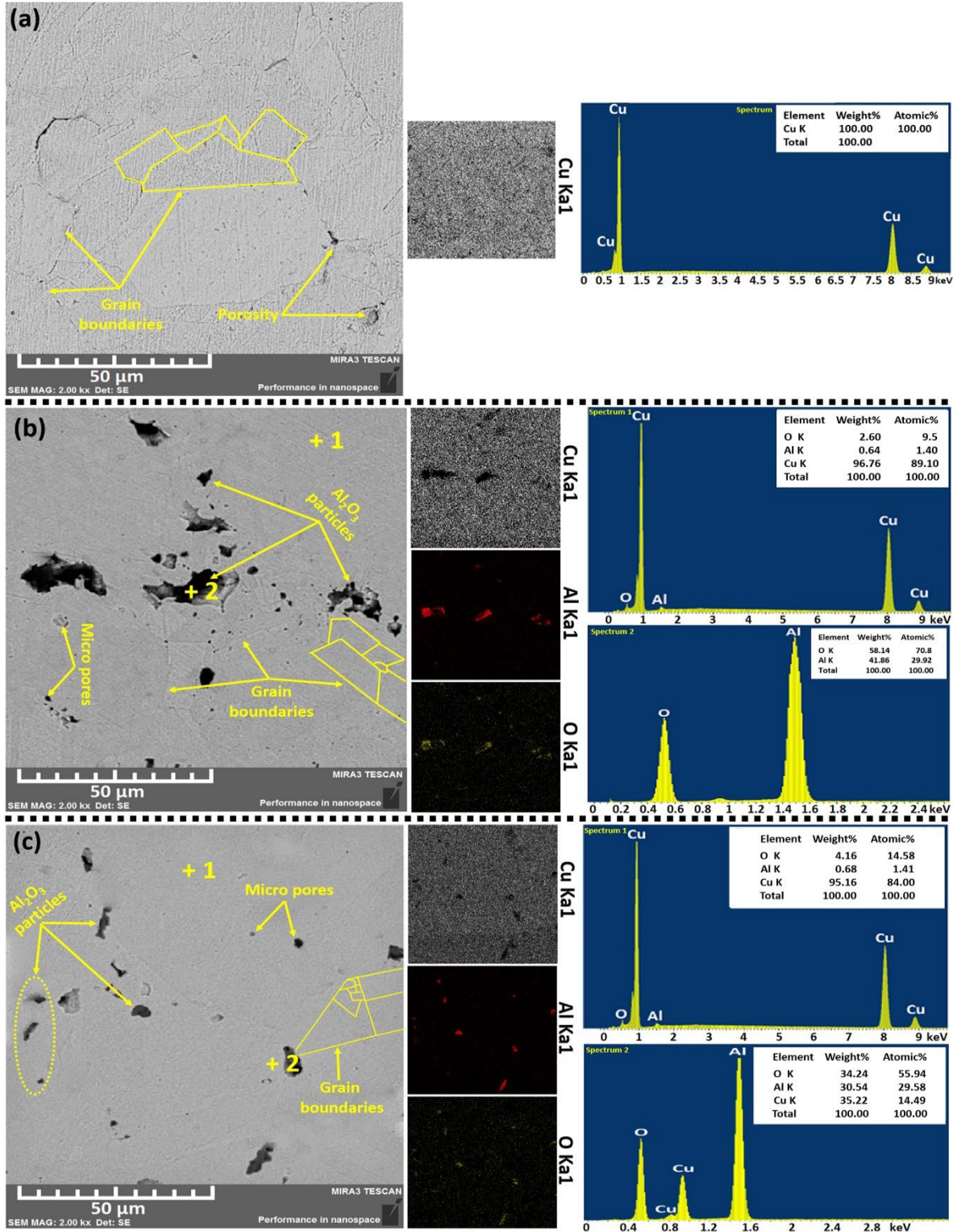


Figure 5. FE-SEM micrographs and EDXS analysis of (a) Cu, (b) Cu-10Al₂O₃ and (c) Cu-1Al₂O₃ composites after sintering

3.4. Phase Identification (XRD)

The identification of phases presents in the sintered Cu samples and their estimated crystallite size from FWHM data were carried out using XRD. The sintered samples were ground clean and analyzed using XRD to ensure that no trace phases appeared in the composite samples. Figure 6 depicts the XRD pattern obtained for the Cu samples following the sintering process. The sharp peaks in XRD patterns are associated with the Cu phase, whereas the Al_2O_3 phase is characterized by low-intensity peaks. Previous literature researches [2,21] indicates that there is a low-intensity peak present in the structures of Cu/ Al_2O_3 composites. This peak corresponds to the $\text{Cu}_x\text{Al}_y\text{O}_z$ phase, which is formed due to the eutectic reaction between Cu and Al_2O_3 . It is thermodynamically feasible for the second phase to form when there is contact between surfaces of Cu and Al. Cu and Al_2O_3 are joined through eutectic reaction, heating up to the eutectic temperature causes the eutectic point to enlarge and react with Al_2O_3 , resulting in the formation of $\text{Cu}_x\text{Al}_y\text{O}_z$ phase. This compound is capable of being compatible with both phases present at the inter-surface.

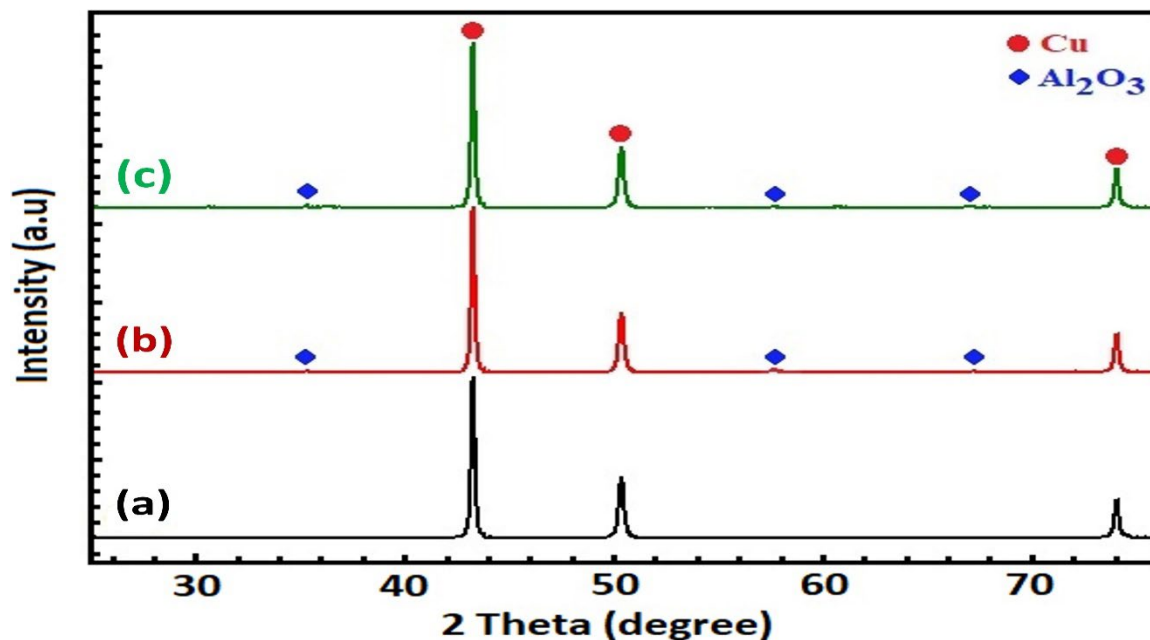


Figure 6. X-ray diffraction patterns of the sintered composites at 880°C for 1.5 h (a) Cu matrix (b) Cu-10 Al_2O_3 and (c) Cu-1 Al_2O_3

The XRD analyses of the Cu composites examined explain that decreasing the size of Al_2O_3 particles leads to an improvement in line broadening, as evidenced by FWHM. Figure 7 shows the FWHM as well as estimated crystallite size values of Cu matrix, Cu-10 Al_2O_3 , and Cu-1 Al_2O_3 composites after sintering at 880°C for 1.5 h. According to Figure 7a, the FWHM of the pre-alloyed Cu powder, which has been reinforced with 1 μm Al_2O_3 particles, is greater than that of the Cu- Al_2O_3 composite that has an average particle size of 10 μm . This implies that the initial size of Al_2O_3 particles greatly affects the FWHM during the milling process. The FWHM values of the Cu-10 Al_2O_3 composite are slightly higher compared to Cu matrix. This suggests that the impact of the Al_2O_3 powder particles (10 μm) used in the initial stages has a greater influence on the FWHM. According to Figure 7b, the estimated crystallite sizes for the sintered composites of Cu matrix, Cu-10 Al_2O_3 , and Cu-1 Al_2O_3 were 538 \pm 13 nm, 485 \pm 9 nm, and 456 \pm 7 nm, respectively. The lattice distortion and crystallite size refinement resulting from high-energy planetary milling and a lower second-phase particulate lead to progress in FWHM broadening, which are crucial factors affecting powder compacting throughout the sintering procedure and characteristics of the Cu matrix reinforced by fine dispersoids [14,22]. In Cu composites, the

existence of Al_2O_3 particles that are finely dispersed and uniformly distributed hinders the growth of grains [23,24].

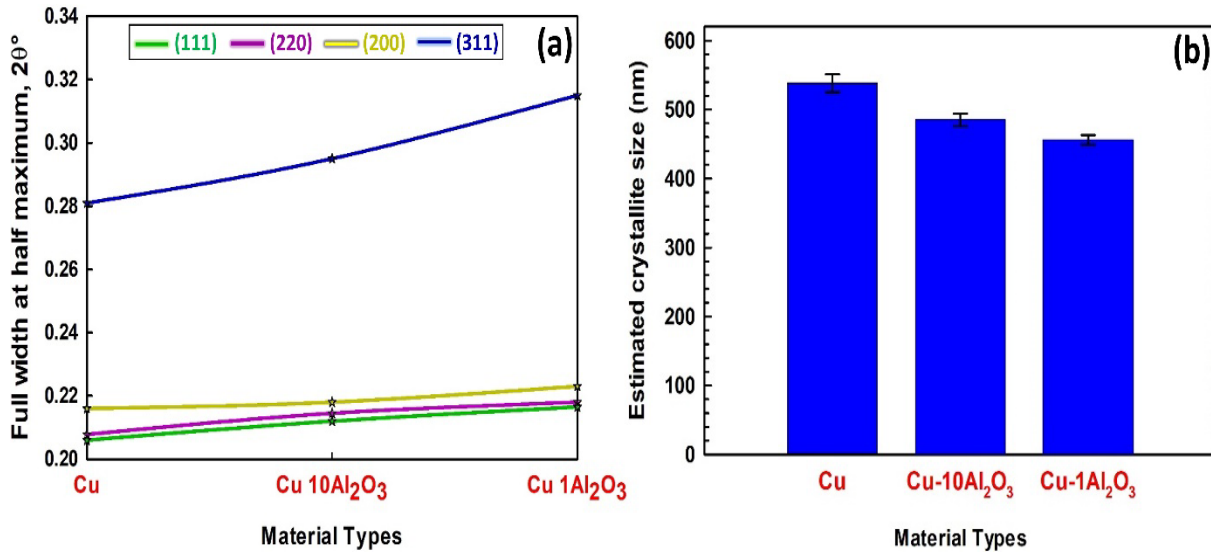


Figure 7. (a) Full width at half maximum (FWHM) and (b) estimated crystallite size values of sintered Cu matrix, Cu-10Al₂O₃ and Cu-1Al₂O₃ composites

4. Conclusions

In conclusion, the copper based Cu/Al₂O₃ composites were produced via a process that involved high-energy milling and cold pressing. Physical and mechanical property tests were performed on the Cu composites and it was concluded that there was a correlation between the reduction in particle size of Al₂O₃ and the increase in relative density and macrohardness of the composites. The crystal grain size of the Cu-1Al₂O₃ composite was smaller and its hardness was higher than that of the Cu-10Al₂O₃ composite, which is associated to the stronger dispersion and grain refinement effects of the fine Al₂O₃ particles. The experimental investigation also explored the tribological characteristics of the composites, and the findings indicated that as the particle size of Al₂O₃ decreased in the Cu-Al₂O₃ composites, the wear rates decreased. The arrangement of Al₂O₃ reinforcement particles within the copper matrix was a crucial point in enhancing the capacity of the material to withstand abrasive wear. Finally, the microstructure analysis showed that the Cu samples were sufficiently densified and sintered, and the Al₂O₃ particles were mostly embedded at the interfaces between the Cu particles. Overall, the high-energy ball milling and cold pressing method proved to be an effective method for producing Cu-Al₂O₃ composites with improved properties.

Conflict of Interest Statement

The author of the article declare that they do not have any personal or financial conflicts of interest with any institution, organization, or person.

Kaynaklar

- [1] Nadkarani A. ASM Specialty Handbook: Copper and Copper Alloys. vol. 7. J.R. Davis: ASM International; 1950.

- [2] Lee WD, Ha HG, Kim KB. Synthesis of Cu–Al₂O₃ nano composite powder. *Scripta Materialia* 2001; 44: 2137-2140.
- [3] Valdiviez R, Schrage D, Martinez F, Clark W. The use of dispersion strengthened copper in accelerator design. In: *Proceedings of the 20th International Linac Conference, Monterey (CA), U.S.A; 2000.*
- [4] Motta SM, Jena KP, Brocchi AE, Solorzano GI. Characterization of Cu–Al₂O₃ nano-scale composites synthesized by in situ reduction. *Materials Science and Engineering: C* 2001; 15: 175–177.
- [5] Zhan Y, Zhang G. The effect of interfacial modifying on the mechanical and wear properties of SiCp/Cu composites. *Materials Letters* 2003; 57: 4583 – 4586.
- [6] Tjong SC, Lau KC. Tribological behaviour of SiC particle-reinforced copper matrix composites. *Materials Letters* 2000; 43: 274 – 279.
- [7] Rajkovic V, Božić AD, Devčerski K, Bojanic S, Jovanovic MT. Strength and thermal stability of Cu-Al₂O₃ composite obtained by internal oxidation. *Revista De Metalurgia* 2010; 46: 520–525.
- [8] Korac M, Kamberovic Z, Andic Z, Filippovic M, Tasic M. Sintered materials based on alumina and copper powders synthesized by a novel method. *Science of Sintering* 2010; 42: 81–90.
- [9] Korac M, Kamberovic Z, Tasic M, Gavrilovski M. Nanocomposite powders for new contact materials based on copper and alumina. *The Chemical Industry & Chemical Engineering Quarterly* 2008; 14: 215–218.
- [10] Şahin Y, Öksüz KE. Effects of Al₂O₃ nanopowders on the wear behavior of NiTi shape memory alloys. *The Journal of The Minerals, Metals & Materials Society (TMS)* 2014; 66: 61–65.
- [11] Korac M, Kamberovic Ž, Andic Z, Tasic M, Vujovic A. The analysis of the tribological properties of multiple strengthened of the nanocomposite of the Cu-Al₂O₃ system. *Association of Metallurgical Engineers of Serbia AMES* 2011; 17: 49 – 54.
- [12] Nasiri H, Vahdati KJ, Zebarjad SM. One-step fabrication of Cu-Al₂O₃ nanocomposite via solution combustion synthesis route. *Journal of Alloys and Compounds* 2011; 509: 5305– 5308.
- [13] Hwang SJ. Compressive yield strength of the nano-crystalline Cu with Al₂O₃ dispersed. *Journal of Alloys and Compounds* 2011; 509: 2355–2359.
- [14] Lee DW, Kim B.K. Nanostructured Cu–Al₂O₃ composite produced by thermochemical process for electrode application. *Materials Letters* 2004; 58, 3–4: 378-383.
- [15] Hemant J. Development and property evaluation of aluminum alloy reinforced with nano-ZrO₂ metal matrix nanocomposites (NMMCs). *Materials Science and Engineering: A* 2009; 507, 1-2: 110-113.
- [16] Marija K, Zoran A, Miloš T, Željko K. Sintering of Cu-Al₂O₃ nano-composite powders produced by a thermochemical route. *Journal of the Serbian Chemical Society* 2007; 72, 11: 1115-1125.
- [17] Öksüz KE, Şahin Y. Microstructure and hardness characteristics of Al₂O₃-B₄C Particle-reinforced Cu matrix composites. *Acta Physica Polonica A* 2016; 129: 650-652.
- [18] Akbarpour MR, Salahi E, Hesari FA, Simchi A, Kim HS. Microstructure and compressibility of SiC nanoparticles reinforced Cu nanocomposite powders processed by high energy mechanical milling. *Ceramics International* 2014; 40 (1): 951–960.
- [19] Jena PK, Brocchi EA, Motta MS. Identification of a third phase in Cu-Al₂O₃ nanocomposites prepared by chemical routes. *Materials Science and Engineering A* 2004; 371: 72 – 78.
- [20] Shehata F, Fathy A, Abdelhameed M, Moustafa S. Preparation and properties of Al₂O₃ nanoparticle reinforced copper matrix composites by in situ processing. *Materials & Design* 2009; 30: 2756 – 2762.
- [21] Zhang Z, Chen LD. Consideration of Orowan strengthening effect in particulate reinforced metal matrix nanocomposites: A model for predicting their yield strength. *Scripta Materialia* 2006; 54: 1321-1326.
- [22] Shehata F, Abdelhameed M, Fathy A, Elmahdy M. Preparation and characteristics of Cu-Al₂O₃ nanocomposite. *Open Journal of Metal* 2011; 1: 25–33.
- [23] Lee DW, Kim BK. Nanocomposite powders new contact materials based on copper and alumina. *Materials Letters* 2004; 58: 378 – 383.
- [24] Şahin Y, Öksüz KE. Tribological behavior of Al₂O₃ and B₄C particle-reinforced copper matrix investigated by the Taguchi method. *Materials Testing* 2016; 58 (5): 453-461.

FABRICATION AND PROPERTIES OF FeCrC REINFORCED COPPER ALLOYS BY MECHANICAL ALLOYING

Tanju TEKER^{1*}, Serdar Osman YILMAZ²

¹Sivas Cumhuriyet University, Faculty of Technology, Department of Manufacturing Engineering, 58140, Sivas, Türkiye.

²Tekirdağ Namık Kemal University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, 59160, Çorlu, Tekirdağ, Türkiye.

Geliş Tarihi/Received Date: 25.05.2023 Kabul Tarihi/Accepted Date: 13.08.2023 DOI: 10.54365/adyumbd.1302673

ABSTRACT

In this study, properties and fabrication of FeCrC reinforced copper alloys by mechanical alloying were examined using mechanical grinding, optical microscopy, energy dispersive spectroscopy, X-ray diffraction, and hardness testing. Mechanical alloying (MA) was the technique available to mix Cu-FeCrC particles. High FeCrC provided more cold work during milling. Thus, smaller crystallite size and greater internal stress occurred in Cu alloys. High performance Cu was further strengthened by a combination of fine grain and alloying. $C_{23}C_6$, Cr_7C_3 , and α -Cu were detected in the structure. The hardness of Cu increased significantly after grinding with FeCrC.

Keywords: Mechanical alloying, Cu matrix alloy, morphology, hardness

1. Introduction

Metal matrix composites (MMCs) are preferred in industrial areas where abrasion resistance and plastic forming are required due to their high mechanical properties and ductility [1–2]. Pure copper has ductility, electrical and thermal conductivity properties. It is used in electricity, electronics and plastic sector. Cu alloys are produced to increase the mechanical performance of Cu. Cu-Cr materials are highly used in automobiles, catalysts, electrodes and electronic industries due to their high electrical-thermal conductivity, mechanical and corrosion performance [3–6]. Cu-Cr alloying is difficult with the traditional technique as there is no total solubility between Cu and Cr under equilibrium conditions [7,8]. Due to solid solution occur and higher precipitation of Cr in Cu matrix, it has increased the preference rate to produce copper matrix composite. Melting and casting processes, powder metallurgy, sol-gel, and high-energy ball grinding methods are used to produce copper composites [9].

Mechanical alloying (MA) is a process of cold welding, fragmentation and re-welding for the internal diffusion of elements. MA is a special form of production in the manufacture of copper composites due to the environmentally friendly process and homogeneous distribution of the phases. In mechanical alloying, the intense deformation created in the particles forms crystal faults such as dislocation, voids, and grain boundaries. Also, mechanical alloying produces nano-crystalline materials, structure differences, phase transformations [10,11]. She et al. manufactured Cu-Cr alloys by reducing the reaction of Cr_2O_3 with Cu-Mg melt. A good combination of 171HV microhardness and 475 MPa tensile strength resulted [12]. Sauvage et al. investigated the effect of interphase boundaries on grain size reduction mechanisms by subjecting the Cu-Cr composite to severe plastic deformation. Interphase boundaries played a notable role in the grain size reduction mechanism [13].

In this study, the effect of FeCrC on the properties and fabrication of Cu-based FeCrC reinforced composites fabricated by MA were investigated.

e-posta¹ : tanjuteker@cumhuriyet.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7293-0723> (Sorumlu Yazar)

* e-posta² : oyilmaz@nku.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7593-6135>

2. Experimental Procedure

FeCrC (65%Cr-25%Fe-6%C-2%Si, size 45 μm) and Cu (99.9%, 45 μm) powders were used as test powders. Production conditions of test samples are presented in Table 1. Stainless steel balls of 10 mm were used as grinder. The ball/powder ratio of elemental powders was chosen as 10/1. Powders in distinctive percentages were blended and ground using a high energy grinding equipment in a stainless steel crucible under argon shielding (99.9%) at room temperature for 4 h. Ar was at a flow rate of 0.6 l/min. The ground powders were cold pressed using a press at a stress of 200 MPa. Sintering was done at 1000 °C. The surfaces of the samples were polished with 1 μm diamond paste after sanding with 180-1200 mesh abrasives.

The samples were etched with 95% FeCl₃ and 5% HCl solution. Surface microstructure features of the samples and main element distributions were analyzed using an optical microscope (OM: LEICA DM750) and an energy dispersive spectroscope (EDX). Hardness rates were determined on a QNESS Q10M microhardness machine using a 50 g load at 1 mm interspaces on the Vickers scale. The resulting phases in the samples were detected on a Rigaku X-ray diffraction (XRD) apparatus with Cu K α radiation, $\lambda=0.15416$ nm at 40 kV and 40 mA.

Table 1. Process conditions of samples.

Sample no	S1	S2	S3
Cu (wt.%)	Bal.	Bal.	Bal.
FeCrC (wt.%)	3	6	9
Sintering (°C)	1000	1000	1000

3. Experimental Results

3.1. Mechanical alloying of samples

In the MA process, hard FeCrC was severely deformed, broken. FeCrC was dispersed among the Cu powders and inserted in the Cu powders. Due to close contact, an alloy formed between them. The higher alloying ratio increased the lattice defects that lead to work hardening. Undissolved brittle particles were evenly separated in the ductile matrix. Welding is assumed to occur only in the zone of close metal-to-metal contact. Crystallite sizes were associated with dislocation formations produced by plastic distortion. Excessive plastic distortions enhanced the dislocation intensities that would create the cell wall and structure [14]. The increment of dislocations can cause an increase in the stress field and lattice strain. Fine and hard particles prevented plastic deformation and diffusion during pressing. Therefore, the particle-reinforced metal matrix composite could not be fully densified by sintering.

3.2. Morphology of samples

Fig. 1 shows the morphological changes of samples. The hardness of metals significantly affected morphological changes. Cr less than 9% in the Cu-FeCrC alloy formed intense dislocation, providing intense work hardening. Thus, the crystallite dimension of the ground powders is reduced. Increasing FeCrC percentage made the effects of cold forming more pronounced and crystallite sizes became smaller. In grinding, the intense strikes of the steel balls on the Cu-FeCrC powders advanced the mechanical touch between the powders. The heat of the powder surfaces can improve due to energy transmission. A sharp temperature rise reduces crystal dislocation density and recrystallization [15]. The capillary stress created by the fine crystals that appeared in the crushed powders provided the diffusion of solute atoms and solid phase solubility. The ultra-temperature of cold working can relax the dissolution of Cr in Cu crystals [16]. The high FeCrC ratio increased to the concentration rate of Cr in the Cu structure. The reduction in crystallite dimension incremented the grain boundary field, which procured more spread pathways for Cr to diffuse into the Cu lattice. The rise in internal energy caused by multiple defects declined the activation energy needed for Cr spread. Fe and Cr could not concentrate

side by side. Fe and Cr have high chemical proximity. They are completely soluble in each other at high temperature. But they could not react to form intermetallic compounds [17]. 9wt.% FeCrC provided more cold work during milling. It promoted the breakage of powder particles, and the crystallite size was reduced. As the Cr content decreases, the temperature difference between liquefaction and solidification decreases. Most Cr atoms can be dissolved in solid solutions rich in Cu. As Cr increases, a larger duplex region is passed through before solidification. More chromium phases occur before the formation of copper-rich supersaturated solids. With the increase of Cr, the chromium-rich particles become coarser, their size and density increase.

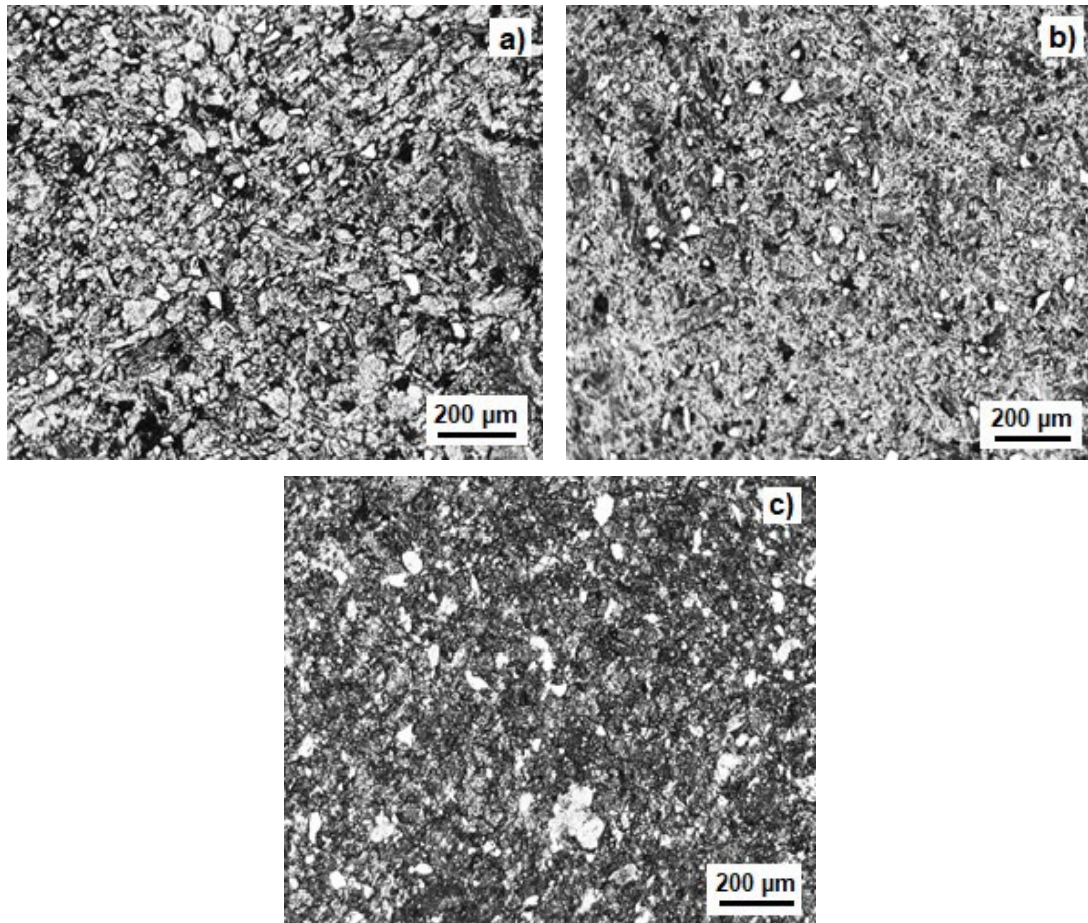


Figure 1. Optic micrographs view a) S1, b) S2, c) S3 samples.

Cr was more reactive than Cu. Therefore, when the powder is sintered, excess Cr is combined with the oxides on the surface. The subsequent loss of the oxide layer releases more active Cu atoms. It reduces the activation energy of diffusion [18]. It speeds up the bonding between Cu powders. Some liquid phase was seen in the samples sintered at 1000 °C. The pores and voids in the alloy were filled. High sintering temperature is more suitable for diffusion and mass transfer process through various ways such as lattice, grain boundary and defect/dislocation. High temperatures provide excessive energy for atoms to join and facilitate the separation of gases from the alloy. The ratio of Fe and Cr in the alloy determined the compactness of the sintered alloys. X-ray diffractions of the S3 sample are given in Fig. 2. Cr_{23}C_6 , Cr_7C_3 , and $\alpha\text{-Cu}$ were detected in the structure.

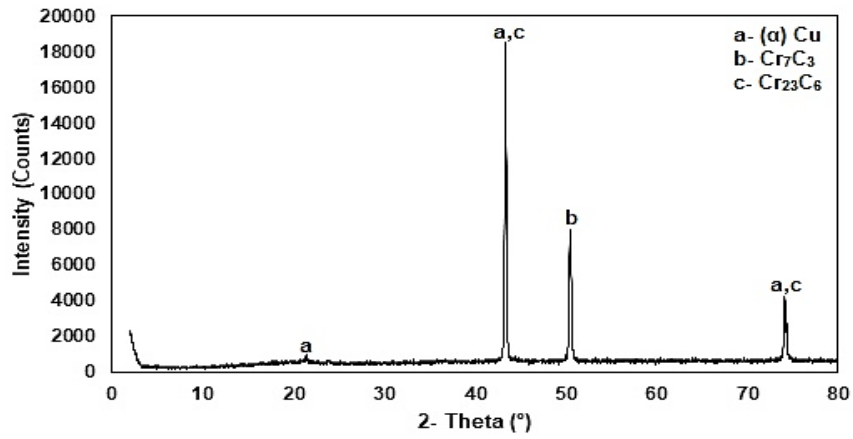


Figure 2. XRD diffractions of S3 sample.

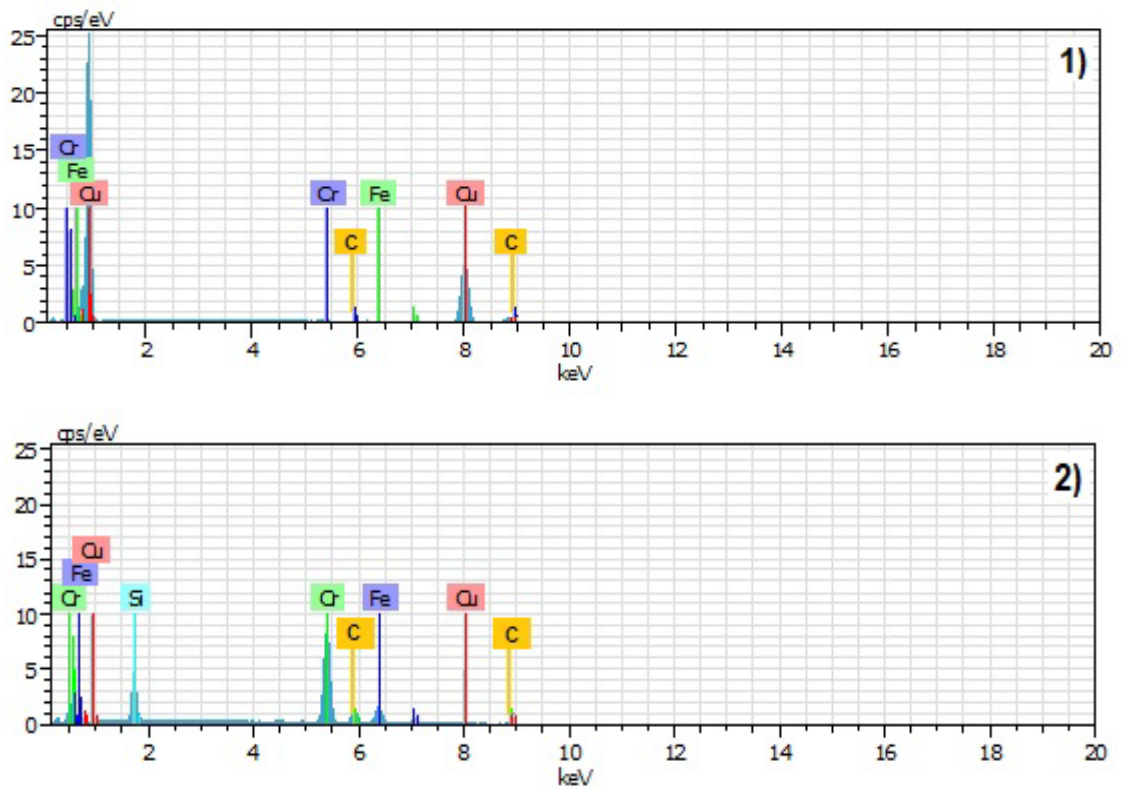
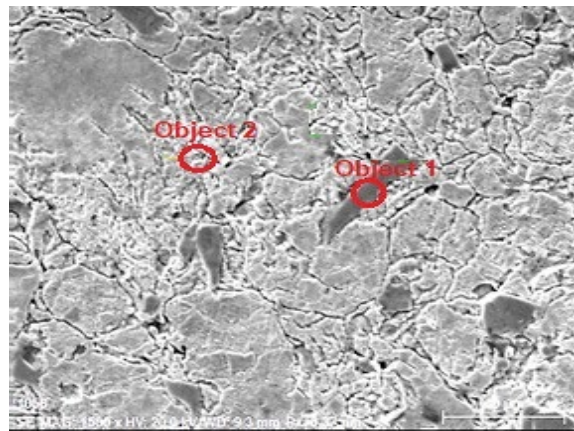


Figure 3. EDS analysis of S3 sample.

EDS analysis of the S3 sample are given in Fig. 3. At high temperature, Fe atoms diffused into the Cu matrix. Due to the atomic radius of Fe and Cu, iron dissolved in the Cu matrix. The addition of sufficient FeCrC prevented the addition of more Fe to the alloy matrix. The fractured fine FeCrC were dispersed in Cu matrix and promoted the break of Cu powders. The finer powders created a larger surface for the large number of Fe to spread into the copper. The high FeCrC ratio affected the grinding process. At the high FeCrC ratio, the powders became flaky and largely.

3.3. Hardness

The microhardness of the samples is given in Fig. 4. MA was a very good technique for mixing Cu-FeCr. It increased the hardness of materials. The average hardness of CuFeCrC alloys is 68 HV. 9 wt.% FeCrC increased the hardness from 50 HV to 78 HV. FeCrC and work hardening increased the hardness of Cu. Cu was very ductile and broken faster than FeCrC. Hard FeCrC was an effective reinforcing alloy for Cu-based composites. The hardness of Cu increased significantly after grinding with FeCrC. Smaller grain sizes and greater defect density resulted in higher hardness [19].

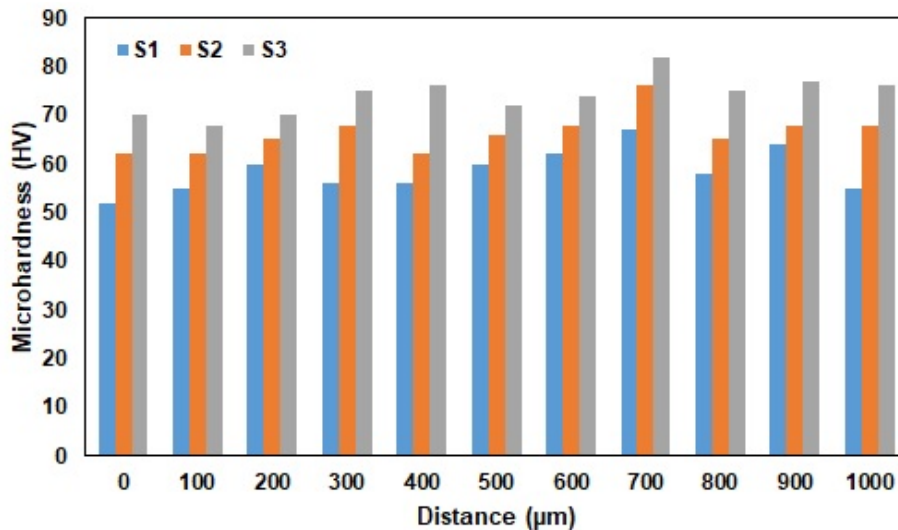


Figure 4. Microhardness variation of samples.

4. Conclusion

The effects of FeCrC on properties of Cu-based FeCrC reinforced alloys fabricated by MA were studied. The results obtained are as follows. MA was the technique available to mix Cu-FeCrC. The crystallites of FeCrC were refined more efficiently due to the ductility of Cu. 9wt.% FeCrC provided more cold work during milling. It promoted the breakage of powder particles, and the crystallite size was reduced. The collision between powders and balls became weaker as the FeCrC ratio increased. Hard FeCrC was a powerful reinforcing alloy for Cu. MA created a major impact in rising the hardness. The increased amount of reinforcement rate increased the hardness.

Disclosure statement

No potential conflict of interest was reported by the authors.

References

- [1] Zhang DL. Processing of advanced materials using high-energy mechanical milling. *Progress in Materials Science* 2004; 49: 537–560.
- [2] Lahiri I, Bhargava S. Compaction and sintering response of mechanically alloyed Cu–Cr powder. *Powder Technology* 2009; 189: 433–438.
- [3] Liu Q, Zhang X, Ge Y, Wang J, Cui JZ. Effect of processing and heat treatment on behavior of Cu–Cr–Zr alloys to railway contact wire. *Metallurgical and Materials Transaction A* 2006; 37: 3233–3238.
- [4] Batra IS, Dey GK, Kulkarni UD, Banerjee S. Microstructure and properties of a C–Cr–Zr alloy. *Journal of Nuclear Materials* 2001; 299: 91–100.
- [5] Zhou HT, Zhong JW, Zhou X, Zhao ZK, Li OB. Microstructure and properties of Cu–1.0Cr0.2Zr–0.03Fe alloy. *Materials Science and Engineering A* 2008; 498: 225–230.
- [6] Fang Q, Kang Z, Gan Y, Long Y. Microstructures and mechanical properties of spark plasma sintered Cu–Cr composites prepared by mechanical milling and alloying. *Materials and Design* 2015; 88: 8–15.
- [7] Shkodich NF, Rogachev AS, Vadchenko SG, Moskovskikh DO, Sachkova NV, Rouvimov S, Mukasyan AS. Bulk Cu–Cr nanocomposites by high-energy ball milling and spark plasma sintering. *Journal of Alloys and Compounds* 2014; 617: 39–46.
- [8] Fang Q, Kang ZX. An investigation on morphology and structure of Cu–Cr alloy powders prepared by mechanical milling and alloying. *Powder Technology* 2015; 270: 104–111.
- [9] Hu LX, Wang ED. Fabrication of high strength conductivity submicron crystalline Cu–5% Cr alloy by mechanical alloying. *Transactions Nonferrous Metals Society of China* 2000; 10: 209–212.
- [10] Zhou J, Zhu D, Tang L, Jiang X, Chen S, Peng X, Hu C. Microstructure and properties of powder metallurgy Cu–1%Cr–0.65%Zr alloy prepared by hot pressing. *Vacuum* 2016; 131: 156–163.
- [11] Wang Y, Tang BH, Li FY. The properties of self-formed diffusion barrier layer in Cu(Cr) alloy. *Vacuum* 2016; 126: 51–54.
- [12] Zhang C, Wang Y, Yang Z, Guo Y, Ding BJ. Microstructure and properties of vacuum induction melted CuCr25 alloys. *Journal of Alloys and Compounds* 2004; 366: 289–292.
- [13] Shen DP, Zhu YJ, Yang X, Tong WP. Investigation on the microstructure and properties of Cu–Cr alloy prepared by in-situ synthesis method. *Vacuum* 2018; 149: 207–213.
- [14] Sauvage X, Jessner P, Vurpillot F, Pippin R. Nanostructure and properties of a Cu–Cr composite processed by severe plastic deformation. *Scripta Materialia* 58; 12: 1125–1128.
- [15] Zhou ZM, Wang YP, Gao J, Kolbe M. Microstructure of rapidly solidified Cu 25wt.% Cr alloys. *Materials Science and Engineering A* 2005; 398: 318–322.
- [16] Seo D, Ogawa K, Sakaguchi K. Parameter study influencing thermal conductivity of annealed pure copper coatings deposited by selective cold spray processes. *Surface Coating and Technology* 2012; 206: 2316–2324.
- [17] Wu XK, Zhou XL, Cui H, Zheng X, Zhang JS. Deposition behavior and characteristics of cold-sprayed Cu–Cr composite deposits. *Journal of Thermal Spray Technology* 2012; 21: 792–799.
- [18] Zhang DL, Mihara K, Tsubokawa S, Suzuki HG. Precipitation characteristics of Cu–15Cr–0.15Zr in situ composite. *Materials Science and Technology* 2000; 16: 357–363.

DESIGN OF THE PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS MOTOR USED IN ELECTRIC VEHICLES WITH THE HELP OF THE PARTICLE SWARM ALGORITHM AND ANSYS-MAXWELL

Yıldırım ÖZÜPAK¹, Mehmet ÇINAR^{2*}

¹Silvan Vocational School, Electrical Department, Dicle University, Diyarbakır, 21000, Türkiye

²Tatvan Vocational School, Electrical Department, Bitlis Eren University, Bitlis, 13210, Türkiye

Geliş Tarihi/Received Date: 15.06.2023 Kabul Tarihi/Accepted Date: 06.09.2023 DOI: 10.54365/adyumbd.1315079

ABSTRACT

Performance and efficiency are among the most important parameters in electric motors. Improvements to the engine not only increase engine performance but also affect production costs. Permanent Magnet Synchronous Motor (PMSM) is a motor widely used in electric vehicles because of its high torque density, high efficiency, and production advantages. In this study, a 110 kW (Adjust-Speed Permanent Magnet Synchronous Motor) AS-PMSM was designed for electric vehicle applications. The results of the ANSYS-Maxwell and Particle Swarm Optimization (PSO) algorithm and the calculations of the optimized design were compared in line with the obtained data. In the design study, theoretical calculations, the PSO algorithm, and finite element method (FEM)-based ANSYS-Maxwell software were used. Based on these values, the computer-aided design of the engine was carried out. First of all, the basic design and performance criteria of the engine were determined. Parameters of the motor, such as torque ripple, iron loss, efficiency, and electromagnetic analysis, were analyzed and optimized with ANSYS-Maxwell. Then, electrical, magnetic, and performance analyses of the motor were made. How engine performance changes with the methods used has been examined in detail. Efficiency values were determined under various operating conditions in engine performance studies. The validity of the improvement study and the verification of the design study were examined by comparing the ANSYS results with the PSO algorithm results. The analysis results showed that the designed electric motor met the desired power values and design performance criteria.

Keywords: PMSM, FEM, Design, Efficiency, PSO

ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA KULLANILAN KALICI MIKNATISLI SENKRON MOTORUN PARÇACIK SÜRÜ ALGORİTMASI VE ANSYS- MAXWELL YARDIMIYLA TASARIMI VE ANALİZİ

ÖZET

Elektrik motorlarında performans ve verimlilik en önemli parametreler arasındadır. Motor üzerinde yapılacak iyileştirmeler sadece motor performansını artırmakla kalmıyor, aynı zamanda üretim maliyetlerine de etki ediyor. Kalıcı Miknatıslı Senkron Motor (KMSM), yüksek tork yoğunluğu, yüksek verim ve üretim avantajları ile elektrikli araçlarda yaygın olarak kullanılan bir motordur. Bu çalışmada, elektrikli araç uygulamaları için 110 kW (Adjust-Speed Kalıcı Miknatıslı Senkron Motor) AS-KMSM tasarımı yapılmıştır. ANSYS-Maxwell ve Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) algoritması sonuçları ve optimize edilen tasarımın hesaplamaları, elde edilen veriler doğrultusunda karşılaştırılmıştır. Tasarım çalışmasında teorik hesaplamalar, PSO algoritması ve sonlu elemanlar yöntemi (SEY) tabanlı ANSYS-Maxwell yazılımı kullanılmıştır. Bu değerlere dayalı olarak motorun bilgisayar destekli tasarımı gerçekleştirilmiştir. Öncelikle motorun temel tasarım ve performans kriterleri belirlenmiştir. Motorun, tork dalgalanması, demir kaybı, verimliliği ve elektromanyetik analizi gibi parametreleri ANSYS-

* e-posta¹ : yildirim.ozupak@dicle.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8461-8702> (Sorumlu Yazar)

e-posta² : mcinar@beu.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1542-9120>

Maxwell ile analiz edilmiş ve optimize edilmiştir. Ardından motorun elektriksel, manyetik ve performans analizleri yapılmıştır. Kullanılan yöntemler ile motor performansının nasıl değiştiği detaylı olarak incelenmiştir. Motor performans çalışmalarında çeşitli çalışma koşulları altında verim değerleri belirlenmiştir. ANSYS sonuçları ile PSO algoritması sonuçları karşılaştırılarak iyileştirme çalışmasının geçerliliği ve tasarım çalışmasının doğrulanması incelenmiştir. Analiz sonuçları, tasarlanan elektrik motorunun istenen güç değerlerini ve tasarım performans kriterlerini karşıladığını göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: KMSM, SEY, Verimlilik, Tasarım, PSO

1. Introduction

Due to reasons such as decreasing oil resources, increasing oil prices, and an increase in environmental emission values, the tendency toward electric-driven vehicles has been increasing in recent years. It is a clear fact that important environmental problems have arisen as a result of the increasing use of fossil fuels with the development of industrialization and increased transportation. This negative environmental impact has led technology developments to more environmentalist approaches. Electric vehicle technology, which is probably the most prominent of these approaches, is entering daily life with an increasing speed [1-3]. A large number of electric passenger cars, electric bicycles and light electric vehicles are taking their place on the roads. For this purpose, vehicle manufacturers have introduced many electrically driven commercial vehicles to the market. These include vehicles such as the Toyota RAV4 EV, Chevrolet Volt, Tesla Model S and Renault Twizy. These trends bring along important developments in technologies related to electric vehicles. Today, most automotive manufacturers concentrate on research and development activities in the field of electric vehicles [4].

Many optimization problems arise when designing automobile engines [5-7]. Many involve multiple conflicting purposes. One of the most important stages in engine design is engine calibration [8-11], which is the adjustment or replacement of an internal combustion engine or control unit so that engine power achieves optimal fuel performance.

The engine control unit is one of the key parts in the engine that controls a series of actuators to achieve optimum performance. The control system reads values from a set of sensors and interprets the data using multidimensional performance maps to manipulate the motor actuators. An engine has a number of control systems, including air-fuel ratio control, idle speed control, engine start control, charge control, engine speed control, and fuel injection control. Optimizing engine control systems is an important task in the design of car engines.

Another research area in engine design is modeling of different parts of engines [12-14]. Modeling is done for different reasons. An example of this is the design and optimization of the controller system. Designing a controller using the real motor during the design process is an expensive and time-consuming action. For this reason, many researchers first build a model of the engine and then design, test and optimize their controllers on that model.

The efficiency of the electric motor, which is the key component of the electric drive system, is crucial because efficient energy use is required [15-17]. The objective of many academics and producers is to maximize the efficiency of electric motors while minimizing their losses [18]. Utilizing drive systems that consume the least amount of energy has two primary advantages: it extends the range of the vehicle and lowers the energy consumption per unit of distance per kilometer [19].

Many companies producing electric motors and automotive manufacturers that have started to produce electric vehicles are required to have high efficiency, high torque and low volume-weight characteristics. With the developments in magnetic materials and motor topologies, advances in electric motor designs continue rapidly [20-23].

Electric vehicles consist of four main subsystems. These are respectively battery and battery control system, electric propulsion system, electric motor driver and vehicle main control unit. The

power required by the vehicle is supplied from the battery system. The battery control system constantly checks the temperature and charge status of the battery, depending on the power needs of varying duration and value, and transmits information to the vehicle main control unit. An electric motor is used in the vehicle propulsion system. Various types of motors such as permanent magnet synchronous motor, squirrel cage PMS motor and switched reluctance motor, AS-PMSM can be used in electric vehicles. Efficiency in PMSM motors also depends on many interrelated parameters. A four-zone driver is used to provide variable frequency torque control of the selected motor.

In this study, the design and analysis of AS-PMSM at 110 kW at maximum operation for an electric vehicle propulsion system is demonstrated. The results are achieved by running the design equations of PMSM and specific parameters into MATLAB Simulation, which is performed by the PSO. The engine created to examine the findings is assessed with FEM-based software (ANSYS Electronics Desktop). As a result of the analyzes carried out, it has been seen that the designed electric motor provides the targeted performance values depending on the design constraints.

2. Material and Method

2.1. Design of PMSM

Since most of the PMS motors used in the industry are operated without a driver, they are designed for a fixed operating voltage and frequency depending on the mains voltage and frequency. These data assist the designer in the selection of relevant design parameters such as number of poles, number of slots, slot type, air gap, current and flux densities during design. However, as in electric vehicles, PMS motors working with driver work at variable frequency, voltage and power values. Due to this, the majority of the information supplied, including the stator-rotor groove combination chosen for PMS motors produced for fixed operating points, is no longer applicable. In Figure 1, the speed-dependent torque and power characteristics of the electric motors working with the driver used in electric vehicles are shown [17].

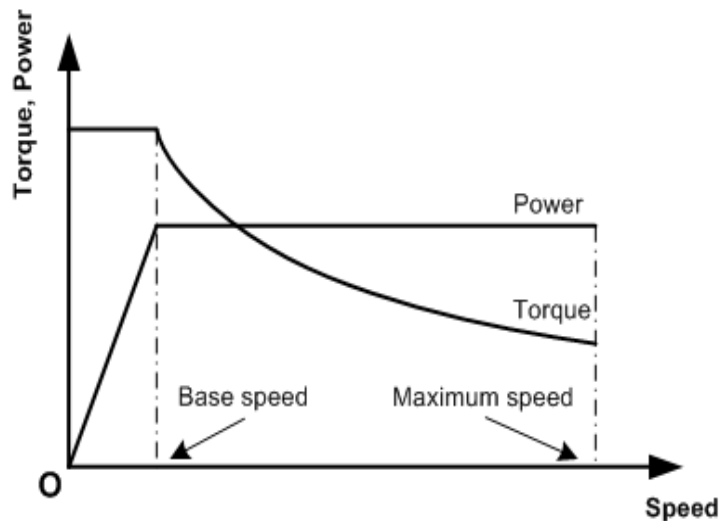


Figure 1. Speed-dependent torque and power characteristics of driver-operated electric motors in electric vehicles

In the PMSM design to be used for the electric vehicle, first of all, the fundamental frequency value, from which the nominal power value is desired, must be determined. The point to be considered

here is that the motor operating frequency range does not reach high values when determining the number of poles. This causes an increase in the frequency-dependent losses in the motor design. In addition, the maximum operating speed of the motor is directly related to the overturning torque. It is desired that the engine overturning torque be high in order to offer the appropriate maximum working speed. Leakage inductances are attempted to be reduced as much as feasible in the design in order to accomplish this. Second, the design takes into account the lowest and highest voltage values that the electric car battery can provide.

2.2. Mathematical Model

The voltage equations in the d-q reference plane of the motor examined by FEM are different from the voltage equations designed for the general equivalent circuit.

$$\lambda = \int_1 \Phi dl \quad (1)$$

where, λ flux, Φ vector potential and l is the length of the line line. The Fourier expansion of the magnet flux used in the motor is given in equation (2).

$$\lambda_m = \sum_{n=1}^{\infty} \lambda_{m(2n-1)} \sin((2n-1)\theta_r) \quad (2)$$

It is considered sufficient to use harmonic coefficients up to the 7th harmonic in the modeling of magnet fluxes.

$$\lambda_m = \lambda_{m1} \sin\theta_r + \lambda_{m3} \sin 3\theta_r + \lambda_{m5} \sin 5\theta_r + \lambda_{m7} \sin 7\theta_r \quad (3)$$

If equation 4, which is given as the Park transformation equation, is applied to equation 3, the expression of the fluxes passed by the magnets through the stator windings in the rotor reference plane is given in equation 5.

$$\begin{bmatrix} f_q \\ f_d \\ f_0 \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos(\theta_r) & \cos\left(\theta_r - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta_r + \frac{2\pi}{3}\right) \\ \sin(\theta_r) & \sin\left(\theta_r - \frac{2\pi}{3}\right) & \sin\left(\theta_r + \frac{2\pi}{3}\right) \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_a \\ f_b \\ f_c \end{bmatrix} \quad (4)$$

Here f represents one of the motor current, voltage and flux variables. Motor magnets are modeled by equation 5 and equation 6.

$$\lambda_{mq} = \lambda_{m5} \sin(6\theta_r) + \lambda_{m7} \sin(6\theta_r) \quad (5)$$

$$\lambda_{md} = \lambda_{m1} - \lambda_{m5} \cos(6\theta_r) + \lambda_{m7} \cos(6\theta_r) \quad (6)$$

The total flux values passing through the windings of the motor are given in equation 7 and equation 8.

$$\lambda_q = L_q i_q + \lambda_{mq} \quad (7)$$

$$\lambda_d = L_d i_d + \lambda_{md} \quad (8)$$

The simplified d-q equivalent circuit of the motor model obtained by FEM is given in Figure 2.

In Figure 2, $v_{q\lambda}$ ve $v_{d\lambda}$ are voltages resulting from flux changes and are given in equation 9 and equation 10.

$$v_{q\lambda} = w_r (L_d i_d + \lambda_{m1} + 5\lambda_{m5} \cos(6\theta_r) + 7\lambda_{m7} \cos(6\theta_r)) \quad (9)$$

$$v_{d\lambda} = w_r (L_q i_q - 5\lambda_{m5} \sin(6\theta_r) + 7\lambda_{m7} \sin(6\theta_r)) \quad (10)$$

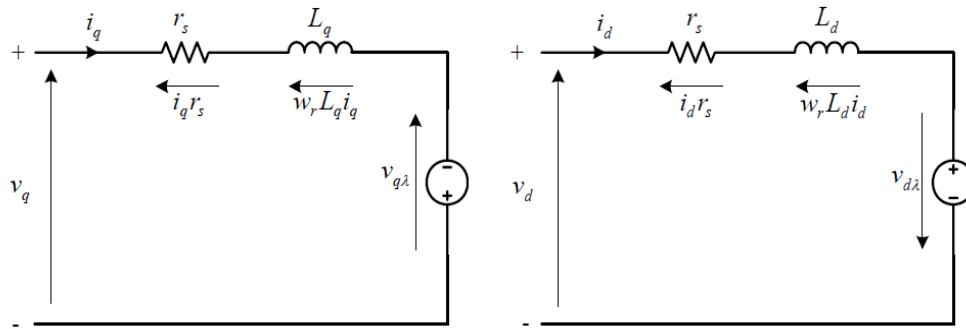


Figure 2. Simplified d-q equivalent circuit of the motor model obtained by FEM.

The voltage equations of the motor are presented in equation 11 and equation 12.

$$v_{q\lambda} = r_s i_q + L_q p i_q + w_r (L_d i_d + \lambda_{m1} + 5\lambda_{m5} \cos(6\theta_r) + 7\lambda_{m7} \cos(6\theta_r)) \quad (11)$$

$$v_{d\lambda} = r_s i_d + L_d p i_d - w_r (L_q i_q - 5\lambda_{m5} \sin(6\theta_r) + 7\lambda_{m7} \sin(6\theta_r)) \quad (12)$$

The electrical moment expression is given in equation 13.

$$T_e = \frac{3P}{2} [(\lambda_{m1} + 5\lambda_{m5} \cos(6\theta_r) + 7\lambda_{m7} \cos(6\theta_r)) i_q - 5\lambda_{m5} \sin(6\theta_r) - 7\lambda_{m7} \sin(6\theta_r)] i_d \quad (13)$$

2.3. Design Parameters

The electric drive motor is one of the subsystems of the electric vehicle such as battery, driver, control unit and battery control system. For this reason, there are also constraints related to other subsystems in engine design. Data affecting engine design depending on other subsystems are given in Table 1.

Table 1. Basic parameters of the motor

Name	Value
"Operation Type"	Motor
"Load Type"	"Const Power"
"Rated Output Power"	85.98 kW
Maximum power	110kW
"Rated Voltage"	220 V
"Maximum Speed"	13300 rpm
Tork	185 Nm
Efficiency	96.2 %
"Operating Temperature"	75 cel

Before starting the motor design, in addition to the performance values specified in Table 1, electrical and magnetic parameters should also be determined. These values used in the design are given in Table 2.

The nominal voltage value used in the design was chosen as 220 V, which is the lowest voltage value of the battery. Thus, the motor is designed to provide the desired torque value even at the lowest battery voltage. The electrical design of the motor was balanced between nominal and maximum power values, and parameters that directly impact the thermal performance of the motor, such as current

density, were not selected too closely to the maximum permitted values for nominal operation. Thus, it is aimed to ensure that the maximum power that can be drawn from the engine is as long as possible.

Table 2. Electrical and magnetic parameters of the motor

Name	Value
Stator-Teath Flux Density	0.78 T
Stator-Yoke Flux Density	0.79 T
Rotor-Yoke Flux Density	0.43 T
Air-Gap Flux Density	0.63 T
Magnet Flux Density	0.98 T
Stator Teath Ampere Turn	2.4 A.T
Stator Yoke Ampere Turn	2.7 A.T
Rotor Yoke Ampere Turn	0.96 A.T

The dimensions of the motor were determined depending on the values specified in Table 1 and Table 2. While determining the dimensions of the motor, the output coefficient method was used [18,19]. Depending on the predetermined design values, the dimensioning of the motor, stator and rotor design were carried out. The thickness of the lamination material to be used is 0.3 mm, the magnetic saturation value is 2.4 T and the iron loss is 1.043 kW. Depending on the analytical and magnetic analysis results, improvements were made in the design. ANSYS RMxprt and Maxwell-2D computer packages were used for analytical and magnetic design. The lamination geometry of the designed electric motor and the parameters related to the geometry are presented in Figure 3 and Table 3, respectively.

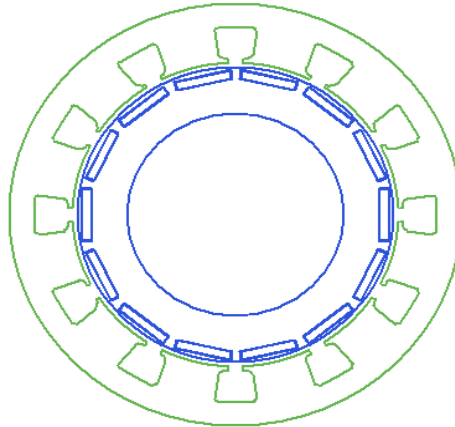


Figure 3. Stator and rotor geometry

Table 3. Mechanical design parameters of the motor

Name	Value
Outer diameter of the stator core	300mm
Inner diameter of the stator core	217mm
Length of the stator core	75mm
Stacking Factor	0.95
Steel type of the stator core	M27_29G
Outer diameter of the rotor core	210mm
Inner diameter of the rotor core	145mm
Length of the rotor core	75mm
Steel type of the rotor core	M27_29G

3. Result and Discussion

3.1. Analysis of PMSM with Particle Swarm Optimization Algorithm

Particle Swarm Optimization (PSO) was developed in 1995 by J. Kennedy and R. C. Eberhart [24]. It is a heuristic algorithm inspired by the behavior of bird flocks. When looking for food, birds follow the bird (leader) that is thought to be closest to the food. The leader may change during the search for food. The new bird leader that sees the food is selected and all the birds in the flock continue their search for food by turning to the new leader. They communicate among themselves to determine the leader. Each bird in the flock is called a particle and represents a solution. The current position of each bird is an entry for the function whose solution is sought. Therefore, while the bird moves, it transmits each position to the function and a solution is produced for the current position. The obtained solution is evaluated and the fitness value of that solution is obtained. The fitness value is a measure of whether the result has been achieved or not. If a suitable result is found in line with the criteria, the search ends. If no suitable result is found, the birds continue to wander in the search space. A general block diagram of the PSO is given in Figure 4 [25]. Before the algorithm starts to run, a crowd is created and initial values such as speed and position are assigned. The most important feature that distinguishes PSO from classical optimization algorithms is that it has a simpler structure because the number of parameters to be adjusted is low and it does not need derivative information.

In Particle Swarm Optimization, a randomly determined set of possible solutions is first generated. Each row of the solution set created here constitutes a particle, and each column constitutes the swarm. The matrix created here is actually randomly determined values of K_p , K_i and K_d [26].

Each element of this matrix is applied to the system to be optimized and $pbest$, which is the best of the applied particles, and $gbest$, which is the best of the swarm, are calculated. In the first iteration, the $pbest$ of each particle is equal to itself. The particle corresponding to the best value obtained from here is chosen as $gbest$. After these two best values are found; The particle, its velocity and position are updated according to equations (14) and (15) below, respectively. After calculating the new position values, these values are used to return to the beginning of the iteration, and the fitness values are calculated and the $pbest$ and $gbest$ values are updated. The proceedings are continued until the termination condition is met [26].

$$v_i^{k+1} = v_i^k + c_1 * rand_1^k * (pbest_i^k - X_i^k) + c_2 * rand_2^k * (gbest^k - X_i^k) \quad (14)$$

$$X_i^{k+1} = X_i^k + V_i^{k+1} \quad (15)$$

Where, a randomly generated number between rand (0-1), i represents the particle number, and k represents the number of iterations. c_1 and c_2 are learning factors. These are constants that orient particles towards the $pbest$ and $gbest$ positions. c_1 directs the movement according to the experience of the particle itself, and c_2 according to the experiences of other particles in the swarm. Choosing lower values allows particles to circulate far from the target area before being drawn towards it. However, it may take longer to reach the target. On the other hand, choosing high values may cause unexpected movements to occur and the target area to be bypassed, while accelerating reaching the target.

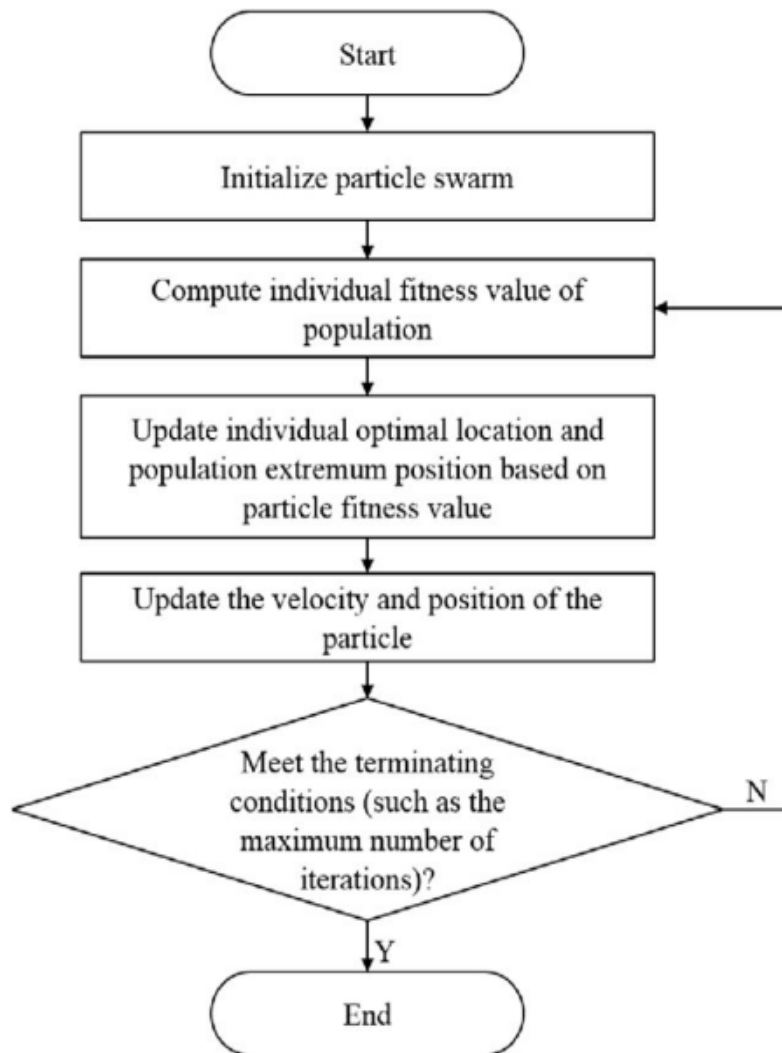


Figure 4. Flowchart of the PSO algorithm

The optimum parameter values for the particle swarm optimization algorithm in the developed Matlab program are given in Table 4. The optimum engine values were obtained by running the program 30 times.

Table 4. Parameters and values used in the particle swarm optimization algorithm

Parameter	Value
Population size	100
Maximum iteration	100
Number of runs	30
Cognitive constant	2
Social constant	2
Max inertia weight	0,9
Min inertia weight	0,4

Figure 5 displays the efficiency of the electric motor created using these parameters, along with iron and copper losses.

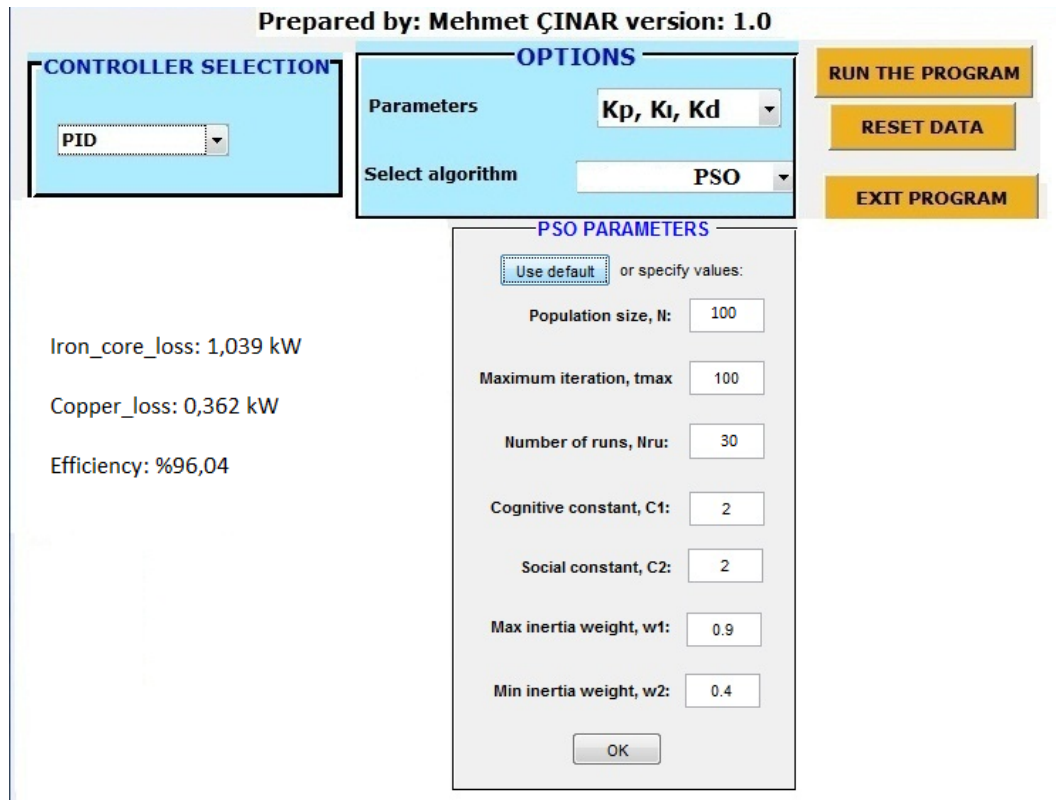


Figure 5. Motor parameter values were obtained with the help of the developed program

3.2. ANSYS Analysis Results

According to the structural parameters given in the previous section, the Finite Element Model of the engine was created and electromagnetic field finite element analysis was performed on the first structural design results and the simulation parameters of the first design results were obtained. In Figure 6, the swing torque is given when the motor is running at no load. It can be seen from the figure that this torque is small and has a peak-to-peak value of 0.35 Nm.

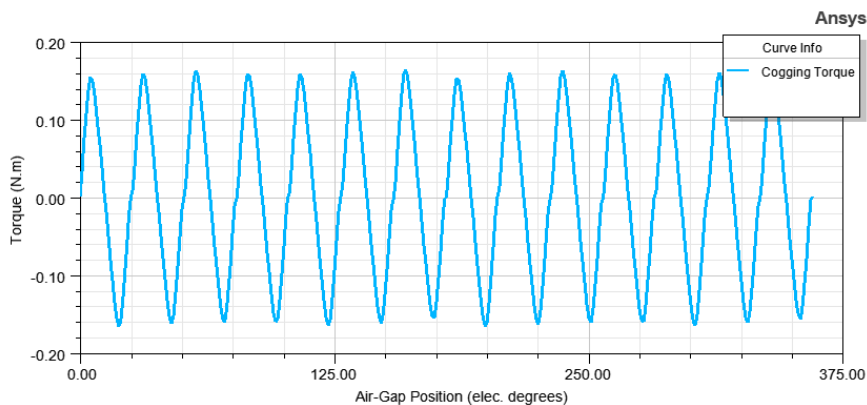


Figure 6. Torque curve in gears

The air gap-flux density value of the motor is given in Figure 7. In Figure 8, the curve of the torque ripple is presented. The torque ripple here is due to the instantaneous values of the current.

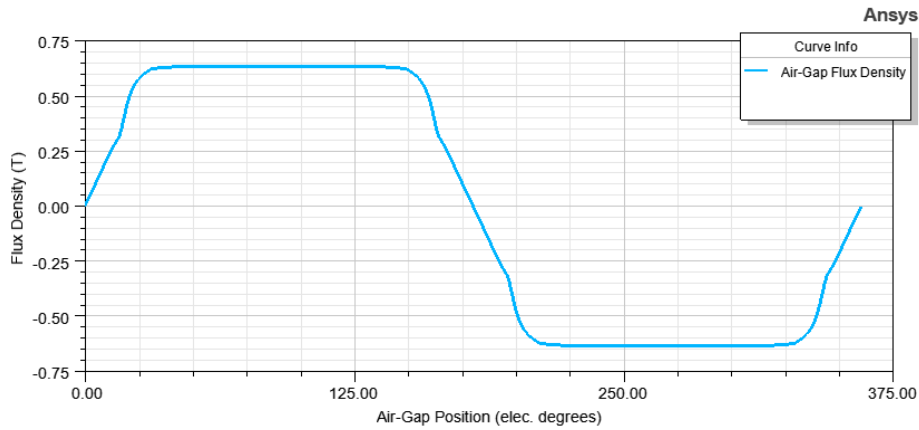


Figure 7. Air gap-flux density plot

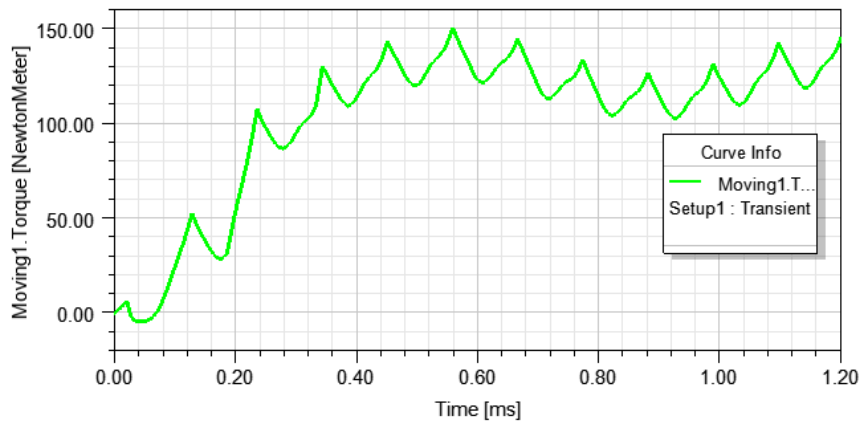


Figure 8. Torque curve at rated operating condition

As can be seen, the torque value reaches the desired nominal torque value in the nominal operating condition. The vibration value on the torque chart is within acceptable limits. The distribution of flux lines obtained when the analytically calculated currents shown in Figure 9 are applied to the motor windings for the nominal operating condition are shown in Figure 10.

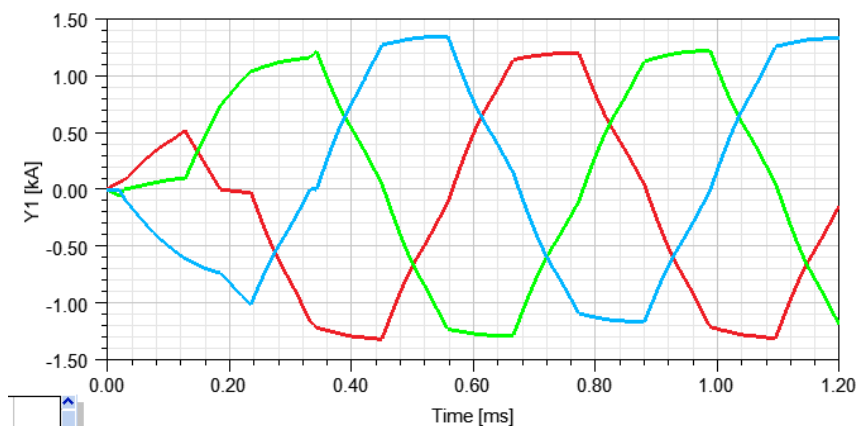


Figure 9. Winding currents at rated operating condition

The maximum inrush current value can be up to 1.2 kA. This current value is not a continuous operating current. Litz conductor is used. The conductor cross section is determined in the ANSYS program depending on the electrical values of the motor.

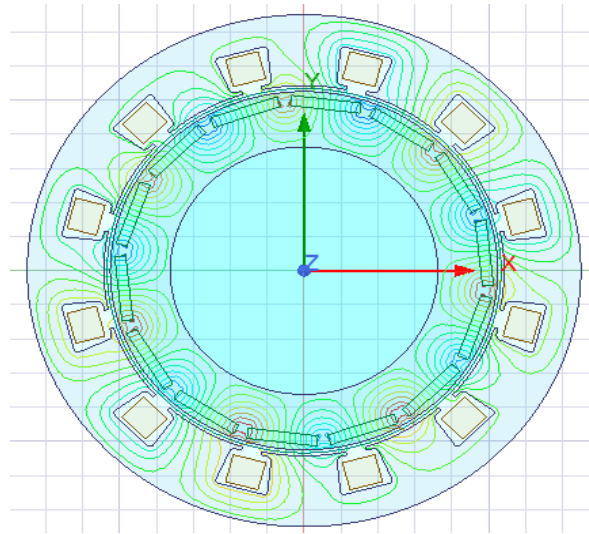


Figure 10. Distribution of flux lines at nominal operating condition

As can be seen, the flux lines are evenly distributed and the desired winding poles are formed. The magnetic flux density distribution in the motor core in the rated operating condition is given in Figure 11.

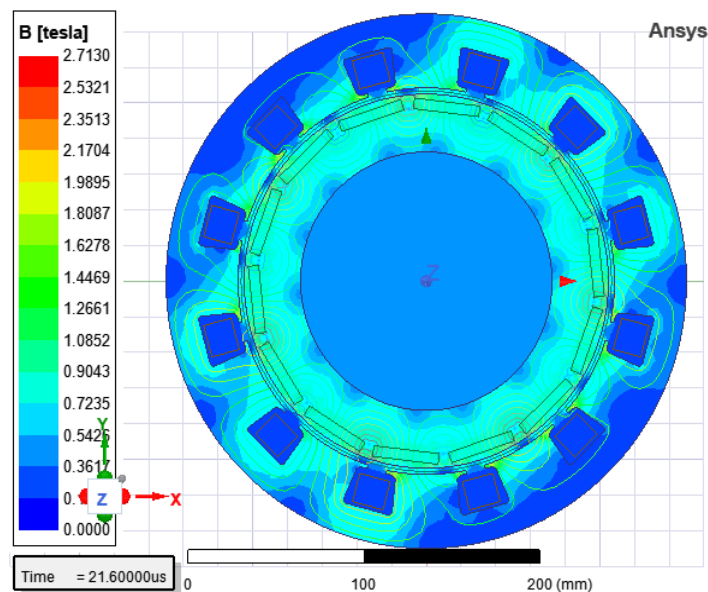


Figure 11. Flux density distribution at rated operating condition

As can be seen, flux densities in general do not exceed 2T. Although there are occasional overhangs in narrow areas such as the openings of the gutters, these are below the magnetic saturation value of the material used, which is 2.3T. The efficiency-torque curve obtained in the nominal operating condition is presented in Figure 12.

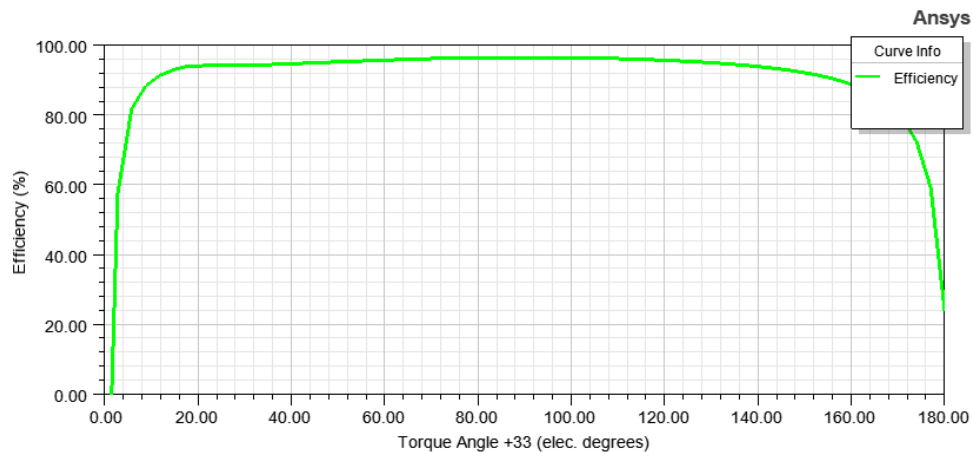


Figure 12. Efficiency of the engine

Finally, the general analysis results for the motor design for rated operation are given in Table 5.

Table 5. Analysis results of PMSM performed with ANSYS-Maxwell and MATLAB-PSO

Parameter	ANSYS-Value	MATLAB-PSO
Input power	89.6 kW	89.6 kW
Rated Moment	186.7 Nm	185.4 Nm
Electrical output power	85.98 kW	86,05 kW
Iron-core loss	1.043 kW	1.039 kW
Copper loss	0.35 kW	0.362 kW
Efficiency	96.2 %	96.04 %
Rated speed	5840 rpm	5819
Maximum speed	13300 rpm	13300

As seen in Table 5, the targeted power, torque and efficiency values were obtained. For a nominal input voltage of 220 V and a nominal power of 85.98 kW, the overturning torque and maximum operating speed of the motor meet the desired design values. In addition, current densities are below the values specified in the design criteria. Thus, the designed motor meets all the desired design criteria electrically and magnetically. Current densities are lower than the maximum allowable values in the design. The reason for this is that a balanced design is desired considering the maximum power requirement. Forcing the design limit values for the nominal operating condition shortens the maximum power draw time from the motor, depending on the current density value that will increase in case of maximum power demand.

3.3. Investigation of Motor Performance Based on Voltage, Frequency and Power Variation

In electric vehicle applications, the frequency and torque value of the engine are constantly changing, depending on the instantaneous driving performance parameters. In addition to these variables, the voltage that the battery module can provide in the vehicle decreases gradually depending

on the power consumption. While performing the motor design, it is desired that the motor data remain within the specified design constraints at different operating points depending on these three basic variables. In Table 6, the performance values obtained when the voltage and output power change from the nominal value to their maximum values are given.

Table 6. Motor ratings at nominal and maximum power operating conditions

V_s (V)	P_0 (kW)	B_t (T)	Efficiency (%) (ANSY)	Efficiency (%) (PSO)
220	85.98	1.84	96.28	96.04
220	110	1.82	95.49	95.1
250	85.98	2.13	95.98	95.52
250	110	2.09	95.71	95.34

V_s given in the table shows the input voltage, P_0 shows the output power, B_t shows the flux density in the teeth. As can be seen, if the input voltage and the desired output power requirement change from their nominal values to their maximum values, both electrical and magnetic values of the designed motor remain within the design limits. This shows that a balanced engine design has been carried out. Thus, when needed, maximum power from the engine will be provided for a longer period of time without forcing the engine. This helps in improving the thermal performance of the motor.

4. Conclusion

In this study, PMSM design and analysis results to be used in electric vehicle propulsion systems are presented. First of all, the performance parameters of the engine and the values related to other subsystems such as the battery were determined and the design of the engine was carried out considering these. As a result of the computer aided analytical and magnetic analyzes carried out, it has been seen that the designed engine provides the desired performance values in the nominal operating condition in accordance with the determined criteria. The performance of the motor is also investigated depending on the changing voltage, power and frequency values. When the engine parameters obtained in Figure 5 with the help of the particle swarm optimization algorithm are examined, the efficiency of the engine is calculated as 96.04%. In addition, it is seen that the other calculated motor parameters are close to the values calculated as a result of the ANSYS program. With these analyzes, it has been observed that a balanced design has been carried out to preserve the performance of the motor depending on these changes, and the motor data does not exceed the specified electrical and magnetic design limits.

Acknowledgment

This study; It was supported by Dicle University Scientific Research Project unit within the scope of the project numbered SILVAN-MYO.22.001.

References

- [1] Lee J.H., Kim D., Song J., Jung S., Kim Y., (2016) Design of 100kW Propulsion Motor for Electric Conversion Vehicle Based on Vehicle Driving Performance Simulation, IEEE Transportation Electrification Conference and Expo, Busan-Korea (South), 412-416, 1-4.
- [2] Bouscayrol A., Boulon L., Hofman T., Chan C.C., (2016) Special Section on Advanced Powertrains for More Electric Vehicles, IEEE Transactions on Vehicular Technology, 6 (3), 995 – 997.

- [3] Zhu S., Hu Y., Liu C., Wang K., (2018) Iron Loss and Efficiency Analysis of Interior PM Machines for Electric Vehicle Applications, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 65 (1), 114-124.
- [4] Özüpak Y. (2022) Efficiency Analysis of BLDC for variable magnetic field. 2022. *MANAS Journal of Engineering*, Volume 10 (Issue 1).
- [5] A. Belmondo, F. Giuggioli, and B. Giorgi, (1983) Optimization of ferrographic oil analysis for diesel engine wear monitoring,” *Wear*, vol. 90, no. 1, pp. 49 – 61.
- [6] J. J. Kim and H. Y. Kim, (1997) Shape design of an engine mount by a method of parameter optimization,” *Computers & Structures*, vol. 65, no. 5, pp. 725 – 731.
- [7] C. Gagne, M. Gravel, and W. L. Price, (2006) Solving real car sequencing problems with ant colony optimization,” *European Journal of Operational Research*, vol. 174, no. 3, pp. 1427 – 1448, 2006.
- [8] D. Lowe and K. Zapart, (1997) Validation of neural networks in automotive engine calibration,” in *fifth International Conference on Artificial Neural Networks (Conf. Publ. No. 440)*, pp. 221–226.
- [9] K. Zeng, S. Lv, B. Liu, F. Ma, and Z. Huang, (2006) Development and calibration on an electronic control system of cng engine,” in *IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety. ICVES*, pp. 204–208.
- [10] C. Vong, P. Wong, and H. Huang, (2009) Case-based reasoning for automotive engine electronic control unit calibration,” in *Information and Automation, 2009. ICIA '09. International Conference on*, pp. 1380–1385.
- [11] A. Rosato and S. Sibilio, (2012) Calibration and validation of a model for simulating thermal and electric performance of an internal combustion engine-based micro-cogeneration device,” *Applied Thermal Engineering*, vol. 45-46, pp. 79 – 98.
- [12] L. Brzozowska, K. Brzozowski, and J. Nowakowski, (2005) An application of artificial neural network to diesel engine modelling,” in *Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications. IDAACS 2005. IEEE, 2005*, pp. 142–146.
- [13] K. Atashkari, N. Nariman-Zadeh, M. Golcu, A. Khalkhali, and A. Jamali, (2007) Modelling and multi-objective optimization of a variable valvetiming spark-ignition engine using polynomial neural networks and evolutionary algorithms,” *Energy Conversion and Management*, vol. 48, no. 3, pp. 1029 – 1041.
- [14] C. Hametner and S. Jakubek, (2011) Combustion engine modelling using an evolving local model network,” in *Fuzzy Systems (FUZZ), IEEE International Conference on, 2011*, pp. 2802–2807.
- [15] Liu J., Gong C., Wu Z., (2017) Influence Research of Rotor Structure Parameters on the Performance of IPMSM, *20th International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS), Sydney-Australia, 1-5*, 11-14.
- [16] Rakesh K., Sanjeevikumar P., (2019) Electric Vehicles for India: Overview and Challenges , *IEEE India Info. Vol. 14 No. 2*.
- [17] Bozhidar S., George T., Plamen R., Gerasimos P., Leonidas D., (2017) Finite element analysis of rotating electrical machines- an educational approach, *IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*.
- [18] Chan-B. P., Geochul J., (2017) Design and Analysis of Magnetic-Geared Permanent Magnet Synchronous Motor for Driving Electric Vehicles, *IEEE - International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS)*.
- [19] Emma A., G., Torbjörn T., (2016) Performance Analysis of Current BEVs Based on a Comprehensive Review of Specifications, *IEEE transactions on transportation electrification*, vol. 2, no. 3.
- [20] Yamano, K., Morimoto, S., Sanada, M., Inoue Y., (2016) Basic Study on Design of Surface Permanent Magnet Synchronous Motor Using Design Assist System of PMSM, *IEEE - International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS)*.
- [21] Yamazaki K, Kumagai M, Ikemi T and Ohki S., (2013) *IEEE Transactions on Industry Applications* vol 49 pp 2478–86
- [22] Özüpak, Y., (2022) Investigation of the Effect of Design Parameters of Small Brushless DC Motors on Motor Performance by Finite Element Method, *Brilliant Engineering*, 3, 4658. <https://doi.org/10.36937/ben.2022.4658>.

- [23] Claudio B, Fabio I, Emilio L, Alberto B and Matteo D (2012) IEEE Transactions on Magnetics vol 48 pp 2685-93
- [24] Federico Marini, Beata Walczak, (2015) Particle swarm optimization (PSO). A tutorial, Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, Volume 149, Part B, Pages 153-165, ISSN 0169-7439, <https://doi.org/10.1016/j.chemolab.2015.08.020>.
- [25] M. Reyes-Sierra and C. A. C. Coello, (2006) Multi-Objective Particle Swarm Optimizers: A Survey of the State-of-the-Art,” International Journal of Computational Intelligence Research, Vol. 2, No. 3, 2006, pp. 287-308.
- [26] T. M. Shami, A. A. El-Saleh, M. Alswaitti, Q. Al-Tashi, M. A. Summakieh and S. Mirjalili, (2002) Particle Swarm Optimization: A Comprehensive Survey, in *IEEE Access*, vol. 10, pp. 10031-10061, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3142859

MODEL ASORTİ RAPORU HESAPLANMASINA YÖNELİK YAZILIM GELİŞTİRİLMESİ

Raşit ARSOY^{1*}, Selçuk ASLAN²

¹ Kafkas Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, Tekstil ve Moda Tasarımı Bölümü, Kars, 36100, Türkiye

² Kafkas Üniversitesi, Güzel Sanatlar Meslek Yüksekokulu, Tasarım Bölümü, Kars, 36100, Türkiye

Geliş Tarihi/Received Date: 27.01.2023 Kabul Tarihi/Accepted Date: 24.08.2023 DOI: 10.54365/adyumbd.1243415

ÖZET

İşletmelerdeki dikiş ürünleri, ticaret yapan kuruluşların taleplerine uygun olarak üretilmekte ve ürün verileri modelin asorti raporu (MAR) olarak düzenlenmektedir. Manuel olarak yapılan asorti hesaplamaları çoğu zaman büyük sapmalara, dolayısıyla kumaş israfının artmasına neden olmaktadır. Bu çalışmada, MAR hesaplamalarını pratik bir şekilde yapabilecek bir yazılım geliştirilerek kumaş israfının azaltılması amaçlanmıştır. Yazılım, kalıp yerleştirme işlemini verilen beden-ürün sayısına göre minimum pastal dağılım ve serim sayısına ulaşmasına olanak sağlayacak şekilde geliştirilmiştir. Yazılımın verimliliğini test etmek amacıyla, daha sonra manuel olarak MAR yapılmış ve üretimi tamamlanmış ürünler için kullanılan kumaş miktarı yazılımdan elde edilen MAR ile hesaplanan değerlerle karşılaştırılmıştır. Bu işlem sonucunda, geliştirilen yazılım sayesinde serimi gerçekleştirilmiş olan kumaş katlarının sayısının yaklaşık olarak %35 oranında düşürülebileceği ve %3,8 oranında kumaş tasarrufu sağlanabileceği görülmüştür. Sonuç olarak, manuel hesaplamalar yerine geliştirilen yazılımın kullanılmasının hem MAR'ın daha hızlı hesaplanmasına hem de işletmelerin sarftan kaynaklı ekonomik kayıplarının azalmasına neden olacağı görülmüştür. Ayrıca bu iyileştirmelere paralel olarak kumaş serimi için gerekli zaman ve iş gücünün azalmasından dolayı üretim verimliliğinin de artacağı öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Hazır Giyim, Asorti Raporu, Serim, Sarf

DEVELOPMENT OF SOFTWARE FOR CALCULATION OF MODEL CUT ORDER PLAN

ABSTRACT

The sewing products in the manufacturers are produced in accordance with the orders of the trading organizations and the product data is prepared as an cut order planning (COP). Manual COP calculations often cause large deviations, thus increasing fabric wastage. In this study, it is aimed to reduce fabric waste by developing a software that can perform COP calculations in a practical way. The software has been developed in a way that allows the marker placement process to reach the minimum cloth spreading and laying number according to the given size-product number. Then, in order to test the efficiency of the software, COP was made manually and the amount of fabric used for the finished products was compared with the values calculated with the COP obtained from the software. As a result of this process, it has been seen that the number of fabric layers that have been laid can be reduced by approximately 35% and a fabric savings of 3.8% can be achieved thanks to the developed software. As a result, it has been seen that using the developed software instead of manual calculations will cause both the faster calculation of the COP and the reduction of the economic losses of the manufacturers due to consumption. In addition, in parallel with these improvements, it is predicted that production efficiency will increase due to the decrease in the time and labor required for fabric laying.

Keywords: Apparel, Cut Order Plan, Plies, Consumption

*e-posta¹ : rasit.arsoy@kafkas.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/my-orcid?orcid=0000-0003-3118-7739> (Sorumlu Yazar)

e-posta² : selcukaslan@kafkas.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/my-orcid?orcid=0000-0002-2430-1882>

1. Giriş

Hazır giyim endüstrisinde verimliliğin odak noktası, malzeme maliyetlerini azaltmaktır. Kumaş maliyeti, giyim maliyetinin yaklaşık yarısı kadardır. Üretimden önce belirlenen beden dağılımı modelin asorti raporu (MAR), kumaş maliyetlerini yönetmede ve üretim sürecinde önemli bir rol oynar [1]. Ekonomik kesim planlaması, malzemelerin en iyi şekilde kullanılması ve kesim işleminin verimliliği açısından büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle, giyim için kumaş maliyetini doğru bir şekilde hesaplamak önemlidir [2]. Verimli bir MAR çözümü, giyim endüstrisindeki toplam üretim maliyetini önemli ölçüde azaltabilir [3]. Etkili bir pastal, kesim sırasında kumaş kaybını en aza indirir [4]. MAR, beden kalıplarının kumaş üzerindeki yerleşiminin en iyi kombinasyonunu bulmaktan ibarettir. En iyi kombinasyon malzeme kullanımını optimize eder [5]. Giyim işletmeleri, üretim sürecinin ilk aşamasını planlarken bu zorlukla karşılaşır. Bu, iş akışının düzgünlüğünü ve kumaş kullanımını etkiler. Türkiye’de MAR genel olarak manuel hesaplama yöntemleri kullanılarak elde edilmektedir. MAR Birkaç varyasyonda hesaplanıp, alınan verilerden optimum değer baz alınarak kesim atölyesine gönderilmektedir. Hazır giyim atölyelerinde bu manuel hesaplamalardaki sapmalar gereğinden fazla kumaş seriminin yapılması, kumaş israfı, stoktaki kumaşın yetmemesi ve zaman kaybı gibi birçok etkiye yol açabilmektedir. Bu durum, aynı zamanda hem sarf miktarının artmasına hem de önemli ölçüde ekonomik kayıpların yükselmesine neden olmaktadır. Tekstil sektöründe üretim süreçlerinin çoğunlukla geleneksel yöntemlerle yürütülmesi ve çalışanların performansına bağlı olması, verimliliği olumsuz etkileyen en önemli etkenlerden biridir [6].

Son yıllarda dijitalleşmenin artması ile birlikte birçok sektör bilgisayar ve otomasyon sistemleri yardımıyla verimini artırma yoluna gitmektedir. Tekstil sektöründe de üretim verimliliğini artırmak ve finansal kazanım sağlamak için bu yeni teknolojilere adapte olmaya ihtiyaç vardır [7, 8]. Günümüzde, dünya çapında MAR hesaplamaları artık ileri bir seviyeye ulaşmıştır ve dijital platform bu alanda önemli bir rol oynamaktadır. Bu nedenle maliyetinin tam olarak hesaplanması için giyim fabrikalarında kumaş sarfiyatını hesaplayacak yazılımın geliştirilmesi önem arz etmektedir [2]. Söz konusu kumaş tüketim miktarı ve ekonomik kazanç Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD - Computer Aided Design) ortamında hesaplanabilir [9]. Hesaplamalarda bilgisayar kullanımı; zamandan tasarruf, daha fazla olanak ve kesinlik gibi avantajlar sağlamaktadır. Archana Puri [10] çalışmasında, manuel yöntemin CAD ile karşılaştırılması sonucunda ortaya çıkan farkın CAD lehine olduğunu göstermiştir.

Kesimhanenin görevi, dikim atölyelerinin ihtiyaç duyduğu ürünleri senkronize bir şekilde kaliteli ve eksiksiz olarak sağlamaktır. Organizasyon ve iş akış şeması oluşturulurken kesim atölyesinin verimlilik ve kesim çıktısının artması, üretim döngüsü sürelerinin kısaltılması, işçinin/makine-teçhizatların çalıştırılma süresinin azaltılması ve kesim ünitesi maliyetinin düşürülmesi gibi koşulların göz önünde bulundurulması gerekmektedir [11]. Kesim bölümünün iş yükü deneysel atölyede modelist tarafından gerçekleştirilen serilerin hesaplamasına göre belirlenir [12]. Kesim atölyesi için model serileri hesaplanırken, öncelikle üretimin rasyonel organizasyonu ile ilgili olarak manuel işlemlerin mekanizasyonu ve otomasyonu, kesim kalitesinin iyileştirilmesi, ilerici emek organizasyonu yöntemlerinin kullanılması gibi durumlar ele alınmalıdır [13].

Kesim süreci; her modelin beden dağılımının yapılmasını, her bedenden kaç adet olacağının hesaplanmasını ve kumaşın toplam uzunluğunu en aza indirmek için uzunluk ve kat sayısının belirlenmesini içerir. Giysi kalıpların alanı, ürün başına minimum kumaş tüketimini belirler ve ürünün bedenine, ebatlarına, ürün modeline ve dağılımına bağlı olarak değişkenlik gösterir. MAR hazırlanırken model her yönden incelenerek tüm detayları doğru tanımlanmalıdır [14]. MAR, zorlu doğrusal olmayan bir optimizasyon problemi olduğundan, bazı araştırmacılar [3, 15-19], yapay zekanın gelişmesiyle birlikte sezgisel ve genetik algoritma yöntemleri üzerine çalışma yapmışlardır. Bu yöntemlerle elde edilen sonuçların optimal çözüme yakın olduğu görülmüştür.

Konuyla ilgili piyasada bulunan asorti raporu yazılımlarının [20-22] kullanımı pahalı ve kendi ana işletim programları ile sınırlıdır. Bu yazılımlar şirketlerin kalıp hazırlama ana programlarına entegre

olduklarından bu programlara sahip olmayan fabrika ve atölyelerde kullanımları imkansızdır. Sektörde faaliyet gösteren işletmelerin çoğu, küçük ve orta büyüklükteki işletmeler niteliğindedir [23]. Türkiye, 2020 yılı dünya tekstil ihracatında ülke bazlı sıralamada 5., dünya hazır giyim ihracatında 6. büyük ihracatçı konumundadır [24]. Bunlara rağmen hazır giyim sektöründe kullanılan program ve yazılımlar konusunda hala dışa bağımlı durumdadır. Ayrıca bu programları kullanabilmek için çalışanların eğitim alması da gerekmektedir. Bu nedenle de birçok işletmede hala manuel hesaplama yöntemleri kullanılmakta ve manuel hesaplarda çoğu zaman önemli ölçüde sapmalar olmaktadır. Bu etkenler göz önünde bulundurulduğunda, yerli bir yazılım geliştirilerek, kullanıcının herhangi bir kalıp programı eğitimi almasına da gerek kalmadan hazır giyim işletmelerinde çalıştırılabilmesi, ekonomik açıdan büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmada, asorti raporunda kumaş kat sayısı belirlemede ve kumaş tüketim değerlerinde yapılabilecek değişiklikler sayesinde önemli oranda kumaş israfını azaltacak ve hem ekonomik hem de iş yükü anlamında verimliliği artıracak bir yazılım geliştirilmiştir ve etkinliğini belirlemek için elde edilen değerler manuel asorti raporu hesaplamaları ile karşılaştırılmıştır.

2. Materyal ve Metod

Bu çalışma, yazılım geliştirme ve test etme aşamalardan oluşmaktadır. Araştırma kapsamında, kumaş serimi öncesi ihtiyaç duyulacak ürün adedi, beden dağılımı, beden sayısı vb. gibi bilgiler için Minaz Tekstil A.Ş.'nin üretim süreçlerinden elde edilen gerçek veriler kullanılmıştır. Ayrıca bu veriler geliştirilen yazılımda da işlenerek manuel ve yazılım ile hesaplanan değerlerin karşılaştırılması yapılmıştır. Materyal olarak fabrikada ağırlıklı olarak viskon ve elastan içerikli örme kumaşlardan üretilmiş 10 model üzerinde denemeler yapılmıştır. Her bir model için biri manuel diğeri yazılım ile olmak üzere iki ayrı MAR hazırlanmıştır.

Geliştirilen yazılım, Windows işletim sistemi üzerinde çalışacak şekilde tasarlandığından işletim sistemine uyumlu yazılım dili tercih edilmiştir. Kullanım kolaylığı, basit yapısı ve geliştirilen yazılımın hızlı çalışmasını sağlayacak özellikler göz önünde bulundurularak Microsoft Visual Studio programının kullanılması tercih edilmiştir.

Asorti hesaplamalarındaki kumaş kayıplarını minimuma indirmek için amaca yönelik 3 farklı algoritma içeren ara yüz programı geliştirilmiştir (Şekil 1).

Şekil 1. Geliştirilen programa ait ekran görüntüsü

2.1. Yazılımın Çalışma Prensipleri

Geliştirilen yazılım içerisinde hesaplamalar 3 farklı algoritmaya göre sonuç üretmektedir. 1. Algoritma (v1) ve 2. Algoritma (v2), istenen bedenlerin en düşük pastal ve serim sayısını üretmeye yönelik en uygun kombinasyonuna ait dağılımı baz alarak hesaplama yapmaktadır. 3. Algoritma (rastgele) ise hiçbir kural olmadan, kullanıcının belirttiği deneme sayısı kadar rastgele dağılım yaparak ve pastal ve serim sayısına göre sonuçları küçükten büyüğe doğru sıralayarak sonuç üretmektedir. Bu da kullanıcılara, istediği yöntemle hesaplama yapabilmelerinin yanı sıra farklı algoritmaların sonuçlarını karşılaştırarak en iyi sonucu elde etme olanağı sağlamaktadır.

Geliştirilen programa veri girişi sağlandıktan sonra elde edilen değerlerin gösterildiği bir ekran görüntüsü Şekil 2’de yer almaktadır.

The screenshot shows a software window titled 'Form1'. It contains the following elements:

- Section 1 (Input Fields):** A row of input fields for body sizes: XS (12), S (30), M (42), L (60), XL (60), XXL (52), 3XL (52), and 4XL. Below these are 'Adet' (5) and 'Max Katman' (20000). There are radio buttons for 'v1' and 'v2', and a checkbox for 'rastgele'. A 'Hesapla' button is also present.
- Section 2 (Table):** A table with columns for body sizes (XS, S, M, L, XL, XXL, 3XL) and a final column for quantity. The table shows the following data:

	XS	S	M	L	XL	XXL	3XL	
	1			1	1	1	1	12
		1	1	1	1		1	30
				1		3	1	10
			1	1	1	1		10
			1		4			2
Toplam:								64
- Section 3 (List):** A list of generated fabric pieces, each with a body size and a quantity. The list starts with '5 64:20000' and continues with various combinations like '5 70:15248', '5 89:15075', etc., ending with '7 145:6869'.

Şekil 2. Veri girişi sağlandıktan sonra elde edilen değerlerin gösterildiği bir ekran

Aşağıda, Şekil 2’de üç bölüm halinde gösterilen ara yüz komutları ve bu komutların açıklamaları yer almaktadır:

1. bölüm parametrelerinin belirlenmesi:

- Bedenler – üretilecek ürünün beden dağılımındaki sayısı;
- Adet – pastalda kullanılacak toplam beden dağılımı sayısı,
- Max Katman – serimde kullanılacak maksimum pastal sayısı,
- Deneme Sayısı – rastgele beden dağılımı hesaplamaları,
- Rastgele – tek serimdeki beden dağılımı sayısını kendisi belirler,
- v1 – yazılım için iki hesaplama yöntemlerinden birincisi (varsayılan),
- v2 – yazılım için iki hesaplama yöntemlerinden ikincisi.

2. bölüm parametrelerinin belirlenmesi:

Bu bölümde, örneğin, seçilen “5 64;20000” değerlerini şu şekilde okuyabiliriz:

- 5 – yapılması gereken serim sayısı,
- 64 – serilen toplam kumaş sayısı,

- 20000 – denemenin sıralaması.

Buradaki sıralama önce en düşük serim sayısından başlamaktadır. Serim sayısı az olduğunda kumaş tasarrufu sağlanmaktadır.

3. bölüm parametrelerinin belirlenmesi:

- Birinci bölümde girilen değerle yazılım tarafından hesaplanarak atılması gereken pastal sayısı ve beden dağılımı belirlenmektedir. Her bir satır, bir pastal için farklı bedenlerdeki kesim sayısını ve ona karşılık gelen kumaş serim sayısını göstermektedir.

Şekil 2’de görüldüğü üzere program ara yüzünde “1” ile tanımlı bölgede ihtiyaç duyulan beden, serim ve maksimum katman sayısı bilgilerini girdi olarak kabul etmektedir. Hesapla butonuna tıkladığında bu değerler tanımlı algoritmaya girmektedir.

2. bölümünde ise bu hesaplamalardan doğan sonuçlar sıralı şekilde verilmiştir.

3. bölümünde her bedenden kaç adet olacağı gösterilmiştir. Algoritma sıralı olarak her bedenden azaltma yaptığı için ilk aşamada her bedenden 1 kez XS, L, XL, XXL ve 3XL’den 12’şer adet üretim yapıldığı görülmektedir. Aynı bölmede 3. satıra bakıldığında ise 1 kez L, 3 kez XXL ve 1 kez 3XL bedeninden 10’ar adet üretim yapılmıştır. En sağdaki sayılar dikkate alındığında 5 kesimde toplam 64 katmanlı işlem yapıldığı görülmektedir.

Şekil 2’deki 2. bölümde sırasıyla serim sayısı, katman sayısı, kaçınıcı döngüde sonucun alındığı gösterilmiştir. Bu örnekte en iyi sonuç Algoritma 1’in işletilmesiyle 5 serim 64 katmanlı sonuç bulunmaktadır. İkinci en iyi sonuç ise 15248’dir. Döngüde elde edilen 5 serim 70 katman sonucu vardır. Kullanıcı bu verilere bakarak serim sayısı ve katman sayısına bağlı olarak hangi üretim modelini tercih edeceğine karar verecektir.

Yazılımın pratik uygulaması Minaz Tekstil firmasında gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda, Tasarım ve Kalıp bölümünün CAD programında bulunan çeşitli elbise modellerinin kalıp ve asorti raporları incelenmiştir. Hesaplamaların ilk aşamasında, her bir model için beden dağılımı, ürün sayısı gibi ilk veriler belirlenmiştir.

Araştırmada elde edilmiş sonuçlara göre ortalama kat sayısındaki azalma yüzdesi (Çizelge 4 ve 5),

$$x_{ki} = \frac{(K_{kei} - K_{kyi}) * 100}{K_{kei}} \quad (1)$$

$$x_{k.or} = \frac{\sum_{i=1}^n x_{ki}}{n} = \frac{x_{k1} + x_{k2} + \dots + x_{kn}}{n} \quad (2)$$

denklemleri ile ve kumaş tasarrufu ve kumaş tasarruf yüzdesi,

$$l_{ti} = l_{yi} - l_{ei} \quad (3)$$

$$L_{tt} = \sum_{i=1}^n l_{ti} = l_{t1} + l_{t2} + \dots + l_{tn} \quad (4)$$

$$x_{Li} = \frac{L_{tt} * 100}{L_{tk}} \quad (5)$$

denklemleri ile hesaplanmıştır.

Denklemlerde: x_{ki} – kat sayısı azalma yüzdesini, K_{ke} – eski yöntem kullanıldığında serimdeki kumaş kat sayısını, K_{ky} – yazılım kullanıldığında serimdeki kumaş kat sayısını, l_{ti} – i model üretiminde kumaş tasarrufunu (m), l_{ei} – üretim için gereken eski kumaş miktarı (m), l_{yi} – üretim için gereken yeni

kumaş miktarı (m), L_{tt} – toplam kumaş tasarrufunu (m), x_{Li} – kumaş tasarruf yüzdesini ve L_{tk} – tüm modellerin manuel yöntemle hesaplanıp üretiminde kullanılan kumaş uzunluğunu ifade etmektedir.

3. Bulgular

Bu araştırmada öncelikle fabrikada manuel olarak hesaplanmış asorti raporuna dayanarak elde edilen kat, uzunluk ve sarf verileri 10 farklı model için temin edilmiştir. Kesimhaneye kesim işlemlerinin gerçekleştirilmesi için gönderilen ve üretimi tamamlanmış bir modele ait asorti raporu örneği Çizelge 1’de verilmiştir. Çizelgede de görüldüğü gibi bu modelin kesimi için toplamda 4 pastal ve 83 kat kumaş serimi yapılması gerekmektedir. Bu rapora göre yapılan manuel hesaplamalar sonucu ürün başına sarf, 1,03 m; talep edilen kumaş, 313,15 m; stok miktarı, 340 m; ve üretim sonrası kalan kumaş, 26,85 m’dir.

Çizelge 1. Üretimi yapılan model 1’in fabrikada uygulanan manuel yapılan hesaplamalar sonucu asorti raporu [25].

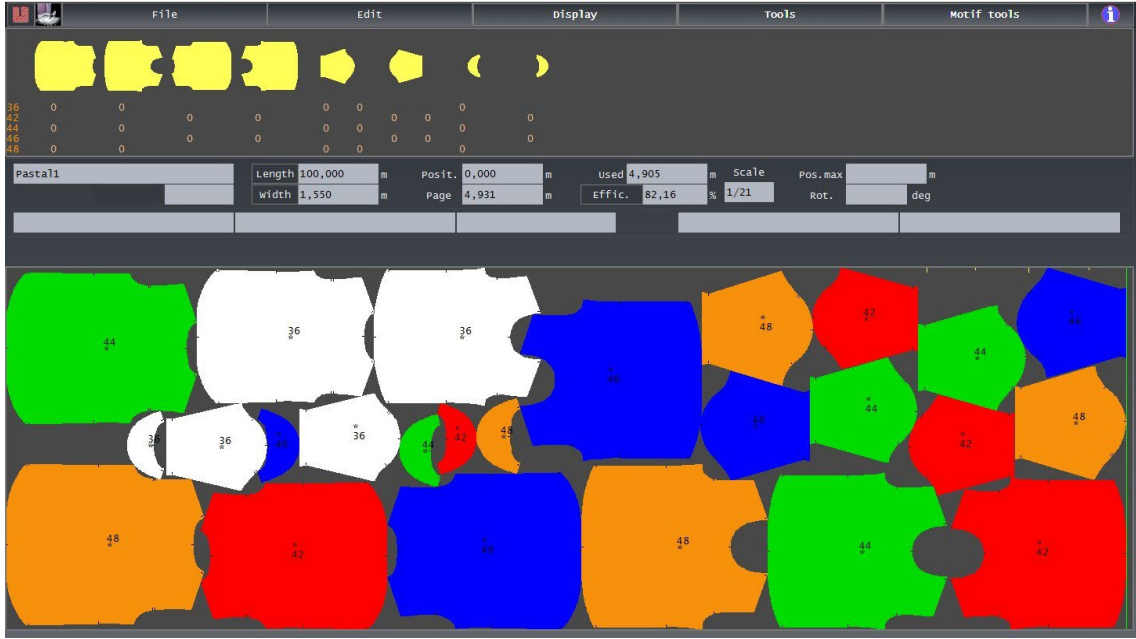
MODEL 1												
	Beden	36	38	40	42	44	46	48	Toplam			
Kumaş eni, m	Sayı	12	30	42	60	60	52	52	308	Kat	Uzunluk, m	Sarf
1,55	Pastal 1	1		1						12	1,78	1,03
	Pastal 2		2	2						15	3,51	
	Pastal 3				2	2				30	4,08	
	Pastal 4						2	2		26	4,49	
Hesaplanan kumaş, m	313,15											
Stoktaki kumaş, m	340											
Kalan kumaş, m	26,85											

Çizelge 2’den de görüldüğü gibi yazılım verilerine göre toplamda 5 pastal ve 64 kat kumaş serimi yapılması gerekmektedir. Böylece, asorti raporuna göre ihtiyaç duyulan kumaş miktarı 309,73 metre olarak hesaplanmıştır. Bu değer, üretilmesi gereken toplam ürün sayısına bölündüğünde, sarf miktarı 1,01 metre ürün başına 2 cm kumaş tasarruf edilmiştir. Yapılan manuel hesaplama (Çizelge 1) ve yazılım hesaplamaları (Çizelge 2) karşılaştırıldığında, 19 kat daha az kumaş serilmesi gerektiği ve stokta geriye 3,42 metre daha fazla kumaşın kaldığı görülmektedir.

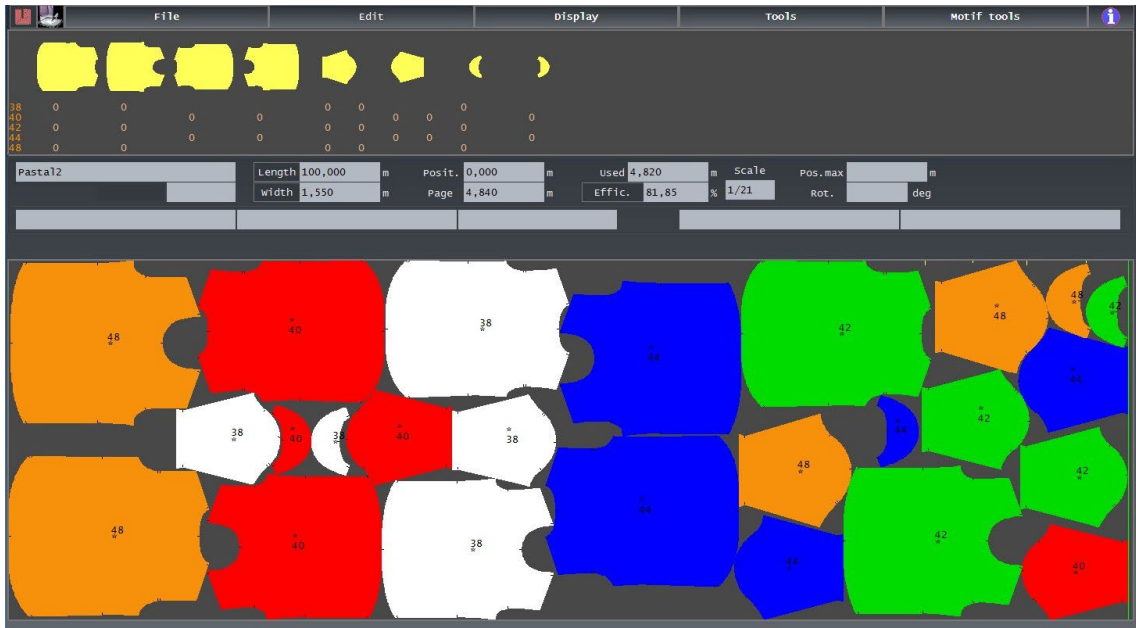
Çizelge 2. Model 1’in Yazılım ile hesaplanmış asorti raporu.

MODEL 1												
	Beden	36	38	40	42	44	46	48	Toplam			
Kumaş eni, m	Sayı	12	30	42	60	60	52	52	308	Kat	Uzunluk, m	Sarf
1,55	Pastal 1	1			1	1	1	1		12	4,91	1,01
	Pastal 2		1	1	1	1		1		30	4,82	
	Pastal 3				1		3	1		10	5,24	
	Pastal 4			1	1	1	1			10	3,99	
	Pastal 5			1		4				2	5,08	
Hesaplanan kumaş, m	309,73											
Stoktaki kumaş, m	340											
Kalan kumaş, m	30,27											

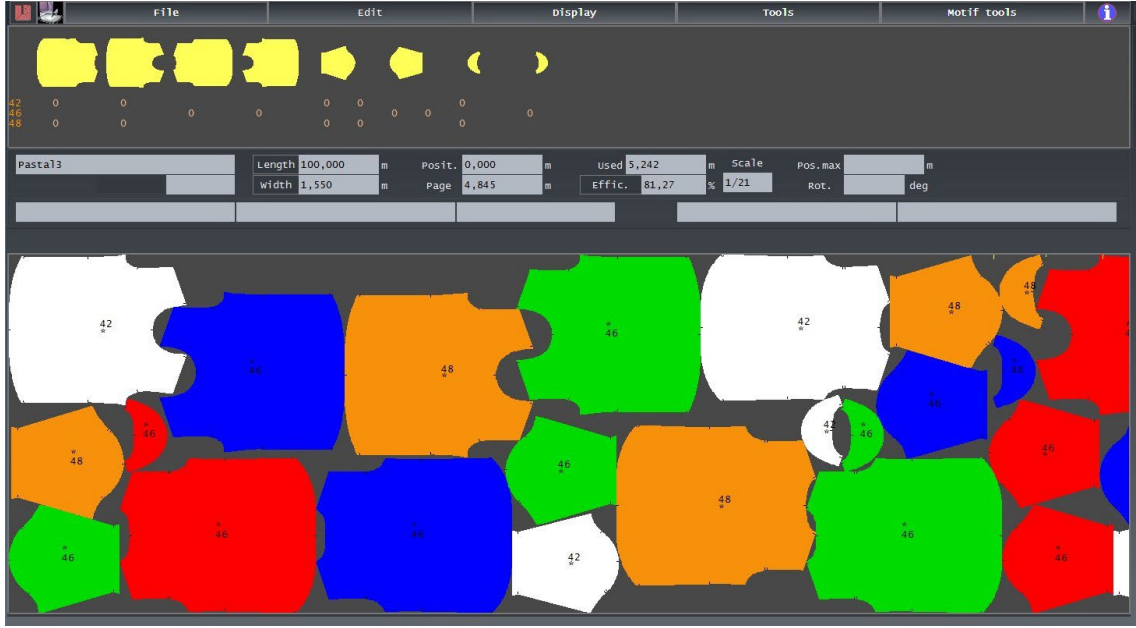
Şekil 3-7’de gösterilen asorti raporunun geliştirilen yazılım kullanılarak tekrar hesaplanması sonucu elde edilen ve Şekil 2’nin 3. kısmında yer alan veriler kullanılarak kalıp serim programında (Lectra Diamino) yapılan serim örneği gösterilmiştir.



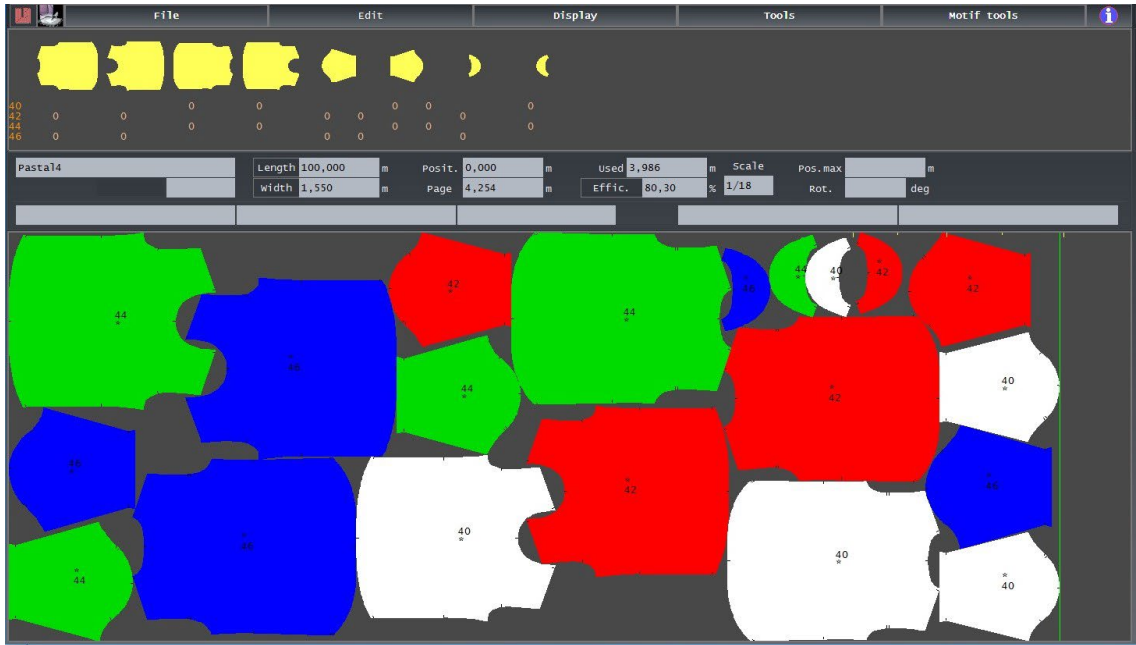
Şekil 3. 36, 42, 44, 46 ve 48 beden Pastalın serimi



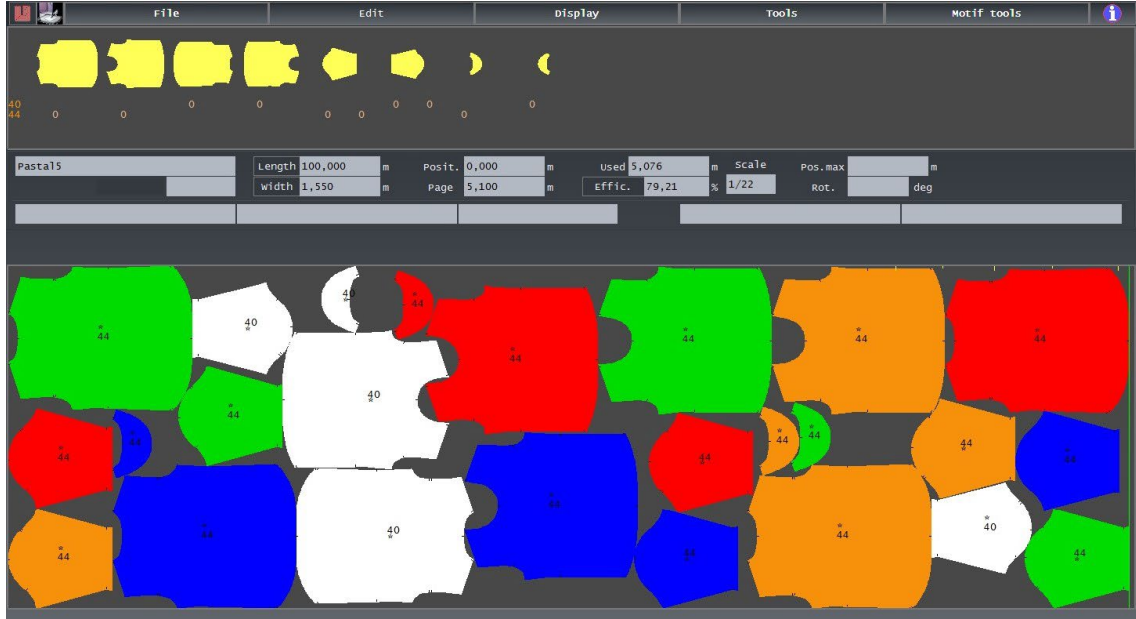
Şekil 4. 38, 40, 42, 44 ve 48 beden Pastalın serimi



Şekil 5. 42, 46 ve 48 beden Pastanın serimi



Şekil 6. 40, 42, 44 ve 46 beden Pastanın serimi



Şekil 7. 40 ve 44 beden Pastalın serimi

Çizelge 3. Fabrikada üretimi yapılan modellerin manuel olarak yapılmış asorti raporu sonuçları

	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5	Model 6	Model 7	Model 8	Model 9	Model 10
Kumaş katı toplamı	83	146	160	138	102	337	319	88	135	155
Her bir pastaldaki kumaş boyu (m)	1,78	1,95	3,51	3,51	2,66	3,86	2,63	3,96	1,61	2,79
	3,51	2,01	2,44	2,46	2,6	3,71	2,58	2,53	2,32	1,85
	4,08	2,31	2,75	2,77	4	3,86	3,97	-	-	-
	4,49	2,55	2,3	2,31	-	1,96	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Üretim için gereken kumaş (m)	313,15	367,34	446,58	388,58	390	1106	1145	318	297	410
Stoktaki kumaş (m)	340	356	448	644	400	1206	1305	355,8	295,7	520
Sarf miktarı (m)	1,03	1,18	1,28	1,29	0,34	0,98	0,67	0,83	0,8	0,95

Çizelge 4. Fabrikada üretimi yapılan modellerin asorti raporunun yazılım ile elde edilen optimal sonuçları

	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5	Model 6	Model 7	Model 8	Model 9	Model 10
Kumaş katı toplamı	64	57	102	66	76	292	235	66	68	104
Her bir pastaldaki kumaş boyu (m)	4,91	6,41	3,38	4,86	3,7	3,72	3,81	3,17	2,94	4,34
	4,82	6,38	4,71	4,64	5,2	3,84	5,16	4,5	4,34	2,62
	5,24	4,49	4,91	6,04	2,61	3,84	3,88	-	-	-
	3,99	2,26	2,34	3,73	-	3,81	-	-	-	-
	5,08	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Üretim için gereken kumaş (m)	309,73	340,15	424,52	364,78	379	1098,94	1117,35	298,7	275	385,16
Stoktaki kumaş (m)	340	356	448	644	400	1206	1305	355,8	295,7	520
Sarf miktarı (m)	1,01	1,08	1,21	1,21	0,33	0,97	0,65	0,77	0,74	0,89

Çizelge 4. Devamı

Çizelge 4 ve Çizelge 5'te görüldüğü gibi yazılımın gerçekleştirdiği hesaplamalar sonucu sarf miktarı ve serim sayısı azalmakta olup, stokta kalan kumaş miktarı artmaktadır. Bu bulgulara göre, 10 model üzerinden yapılan hesaplamalar; serilmiş kumaş kat sayısında azalma yüzdesinin %35, kumaş tasarrufunun $L_{tt} = 198 m$, kumaş tasarruf yüzdesinin ise %3.8 olduğunu ve bu nedenle kumaş serimi için harcanan sürenin azaldığını ve üretim verimliliğinin arttığını göstermiştir (Çizelge 6).

Çizelge 5. Formüllerden elde edilen sonuçlar

Modeller	Kat sayısı azalma yüzdesi, %	Kat sayısı azalma yüzdesi ortalaması, %	Kumaş tasarrufu (m)	Toplam kumaş tasarrufu (m)	Kumaş tasarruf yüzdesi (%)
M1	22,89	35	3,42	198	3,8
M2	60,96		27,19		
M3	36,25		22,06		
M4	52,17		23,8		
M5	25,49		11		
M6	13,35		7,06		
M7	26,33		27,65		
M8	25		19,3		
M9	49,62		22		
M10	32,9		34,84		

4. Tartışma ve Sonuç

Üretim sürecinde kumaş serim işlemleri en çok zaman alan işlemlerdir ve kesim öncesi işlemlerinde harcanan toplam sürenin %25-%40'ını oluşturmaktadır. Seri üretimi organize etmek için üretimin hazırlanmasını önemli ölçüde hızlandırmak ve malzemelerin ekonomik kullanımını sağlamak gerekmektedir.

Yapılan ön araştırmalar, atölyede kesim ve dikim işlemi tamamlanan sadece tek bir model üzerindeki çizim asorti raporunda uygulanan yeni beden dağılımı yönteminin daha verimli sonuçlar ürettiğini göstermiştir. Geliştirilen yazılımın; serilecek kumaş kat sayısını önemli ölçüde düşürdüğü, kumaş tasarrufunu sağlandığı, işçinin pastal serimi için harcadığı zamanı ve gücü azalttığı görülmüştür. Böylece, asorti raporu verilerinin otomatik hesaplanması için geliştirilen bu yazılım, ticaret yapan kuruluşların siparişlerine uygun olarak daha verimli çalışmalarının önünü açmaktadır.

Üretimi tamamlanmış ürünlerin geliştirilen yazılım ile tekrardan asorti planlaması yapılarak serilmiş kumaş kat sayısının ortalama %35 düşmesi, ortalama %3,8 kumaş tasarrufunun sağlanması, işçinin kumaş serimi için harcadığı zaman ve gücün azalması uygulamalı olarak hesaplanmıştır.

Bu kapsamda geliştirilen yazılımın, tekstil işletmelerinde kullanılması sonucu verimliliğin artması öngörülmektedir. Yazılım, hazır giyim üretimi ve özellikle dikiş atölyeleri için eksiksiz veri desteği sağlamaktadır. Böylece geliştirilen program, hızlı ve eksiksiz bir biçimde üretilecek ürünlerin asorti raporunu hesaplayacaktır. Ayrıca bu yazılım, tasarım programlarına entegre edilerek kalıpları hazırlanan ürünlerin verileri, otomatik olarak sisteme aktarılabilir.

Mevcut yazılımlar, işletmeleri dışa bağımlı hale getirmekte ve yüksek ücretler gerektirmektedir. Bu yazılım, işletmecilere dışa bağımlı olmak yerine yerli ve mevcut yazılımlar gibi ana işletim sistemine

bağımlı kılmadan bağımsız olarak çalışabildiği için ekonomik bir alternatif sunmaktadır. Bu yazılım, pastal ve serim sayısı açısından ele alınarak diğer yazılımlarla karşılaştırıldığında, üreticiler açısından daha verimli sonuçlar üretmektedir. Ayrıca, programın basit ara yüzü sayesinde kullanıcılara hiçbir eğitim almadan kolayca kullanabilme olanağı sağlamaktadır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları herhangi bir kurum, kuruluş, kişi ile kişisel ve finansal çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedirler.

Teşekkür

Bu çalışmanın gerçekleşmesi için veri toplama sürecindeki katkılarından dolayı Minaz Tekstil İmalat Sanayi ve Ticaret LTD. ŞTİ. yetkili ve çalışanlarına teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- [1] MEGEP. Giyim üretim teknolojisi. Pastal planı I. Ankara 2006; 3–14.
- [2] Yesilpınar S, Aytaç V, Khalilova F, Bozkurt L. Development of software that calculates the fabric consumption of garments in clothing factories. The Journal of the Textile Institute 2009; Vol. 100, No. 7: 626–632.
- [3] Yu-Chung T, Thuy-Linh V, Liao LW. Hybrid heuristics for the cut ordering planning problem in apparel industry. Computers & Industrial Engineering 2020; 144.
- [4] Rahman M.F, Rashid M.F, Haque E, Hasan Md.Z. Effect of garment size ratio and marker width variation on marker efficiency for both manual and computerized marker. European Journal of Advances in Engineering and Technology 2017; 4(10): 765–772.
- [5] Bouziri A, M’hallah R. A hybrid genetic algorithm for the cut order planning problem. H.G. Okuno and M. Ali (Eds.), IEA/AIE 2007; LNAI 4570: 454–463.
- [6] Sertkaya C, Akçay S. Giysi endüstrisinde üretim performansının tahmininde yapay sinir ağlarının kullanılması. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi 2021; 28: 34–39.
- [7] Yankın F. B. Dijital dönüşüm sürecinde çalışma yaşamı. Trakya Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, E-Dergi 2019; 7(2): 1–38.
- [8] İlhami İ. Tekstil üretim süreçleri açısından endüstri 4.0 kavramı. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 2019; 25(7): 810–823.
- [9] Özkan M. Türkiye’de hazır giyim sektöründe kullanılan bilgisayar destekli kalıp hazırlama sistemlerinden Assyst, Konsanad ve Lectra sistemlerinin karşılaştırılması. The Journal of Academic Social Science Studies 2014; 26: 457–471.
- [10] Puri A. Efficacy of pattern making software in product development. Cloud Publications, International Journal of Advanced Quality Management 2013; 1(1): 21–39.
- [11] Хисамикова Л.Г, Зиятдинова Д.Р, Азанова А.А. Расчет и проектирование раскройного производства швейного предприятия, КГТУ, Казань 2010.
- [12] Баландина Е.А, Косова Е.В, Лашина И.В, Немирова Л.Ф, Ревякина О.В, Рашева О.А, Фот Ж.А. Кострирование Изделий Легкой Промышленности, Омск 2017.
- [13] Arsoy R, Aslan S. Development of software to calculate the amount of consumables for textile/ready-to-wear industry. 12th International Conference On Engineering & Natural Sciences, Bingöl 2021; 24–25.
- [14] МЕВ. Giyim üretim teknolojisi. Kesim. 542TGD003, Ankara 2011; 3–19.
- [15] M’Hallah R, Bouziri A. Heuristics for the combined cut order planning two-dimensional layout problem in the apparel industry. International Transactions in Operational Research 2016; 23: 321–353.

- [16] Abeysooriya R.P, Fernando T.G.I. Hybrid approach to optimize cut order plan solutions in apparel manufacturing. *International Journal of Information and Communication Technology Research* 2012; 2(4).
- [17] Vorasitchai S, Madarasmi S. Improvements on layout of garment patterns for efficient fabric consumption. *IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS) 2003*; 552–555.
- [18] Tsao Y.C, Delici M, Vu T.L. Marker Planning problem in the apparel industry: hybrid PSO-based heuristics. *Applied Soft Computing* 123 2022; 1–16.
- [19] Wong W.K, Kwong C.K, Mok P.Y, Ip W.H, Chan C.K. Optimization of manual fabric-cutting process in apparel manufacture using genetic algorithms. *International Journal Advanced Manufacturing Technology* 27 2005; 152–158.
- [20] <https://optitex.com/products/cutplan/>
- [21] <https://geminicad.com/products/cut-planner/>
- [22] https://www.lectra.com/sites/default/files/lectra/press_detail/lectra_optiplan_v3r4_en_tcm31-242134.pdf.
- [23] Hazirgiyim sektör raporu. Türkiye Cumhuriyeti-Ticaret Bakanlığı İhracat Genel Müdürlüğü 2022; 1–12.
- [24] Tekstil, hazirgiyim ve deri ürünleri sektörleri raporu. T.C. Sanayi Genel Müdürlüğü. Sektör Bazlı Raporlar ve Analizler Serisi 2021; 7–40.
- [25] Minaz Tekstil İmalat Sanayi ve Ticaret LTD. ŞTİ. Ready-to-Wear Garment Manufacturer, Antalya 2022.

İNSANSIZ HAVA ARACI İLE PAKET DAĞITIMINDA GEZGİN SATICI PROBLEMİNİN GENETİK VE PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYON ALGORİTMALARI İLE ÇÖZÜMÜ

Enes Buğra ACAR^{1*}, Cumali KARABEY², Bayram KÖSE³

^{1,2,3}İzmir Bakırçay Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, İzmir, 35660, Türkiye
Geliş Tarihi/Received Date: 09.02.2023 Kabul Tarihi/Accepted Date: 31.08.2023 DOI: 10.54365/adyumbd.1249391

ÖZET

Bu makalede kargo alanında kullanılmak üzere insansız hava aracının (İHA), polinom olmayan (Non-polynomial) zor problemler arasındaki gezgin satıcı problemi (GSP) Genetik Algoritma (GA) ve Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) Algoritması ile çözülmüştür. Bu çalışma, kargo lojistiği ve taşımacılığında yeni yöntemler arayan araştırmacılar ve endüstri uzmanları için önemli bir değer taşımaktadır. İHA tabanlı paket dağıtımının etkin bir şekilde optimize edilmesi, lojistik sektörünün verimliliğini artırma potansiyeli taşımaktadır. Öncelikle veri seti olarak TSPLIB'den EIL51 verileri kullanılmıştır. Sonrasında gerçek hayattan kargo teslimatına örnek olarak sıhhi paket taşınması için İzmir ili Menemen ilçesindeki eczanelerin lokasyonları alınmıştır. Bulunan rota sonuçları ile İHA paket teslimatında optimal yol haritası çıkartılmıştır. Sonuçlara bakıldığında, GA'nın algoritma içeriğinden dolayı daha uzun sürdüğü ve GA'nın PSO'ya göre daha optimize edilmiş bir rota sağladığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Gezgin Satıcı Problemi (GSP), Genetik Algoritma (GA), Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritma (PSO), Kargo İHA

SOLUTION OF THE TRAVELING SALESMAN PROBLEM IN PACKAGE DISTRIBUTION WITH DRONE WITH GENETICS AND PARTICLE SWARM OPTIMIZATION ALGORITHMS

ABSTRACT

In this article, the use of emergency medicine and treatment kits in the field of health is solved using Genetic Algorithm (GA) and Particle Swarm Optimization (PSO) Algorithm as a traveling salesman problem among non-polynomial hard problems. This work is of significant value to researchers and industry professionals looking for new methods of cargo logistics and transportation. Effectively optimizing package delivery by UAV has the potential to increase the efficiency of the logistics industry. With the route results found, an optimal roadmap for drone package delivery was created. Firstly, EIL51 data from TSPLIB used as the data set. After that, the locations of the pharmacies in the Menemen district of İzmir were taken from real life. We evaluate the results, it was seen that GA took longer due to the algorithm content and GA provided a more optimized route than PSO.

Keywords: Traveling Salesman Problem (GSP), Genetic Algorithm (GA), Particle Swarm Optimization Algorithm (PSO), Cargo Drone

1. Giriş

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte günümüzde birçok alanda kullanılan insansız hava araçlarının sayısı gün geçtikçe artmaktadır. Savunma sanayide, tarımda, ulaşımda, güvenlikte gibi pek çok alanda hizmet veren insansız hava araçları, sağlık alanında olay yerine otomatik kalp şok cihazı (Automated External Defibrillator: AED) ulaşımının kolaylaştırılmasında, ilaç/doku/kan ürünlerinin ulaşımında,

*e-posta¹ : enesb.acar@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4145-7950> (Sorumlu Yazar)

e-posta² : cumali.karabey@bakircay.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8413-6148>

e-posta³ : bayram.kose@bakircay.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0256-5921>

travma kiti vb. medikal malzeme ulaşımında ve daha birçok sektörde fayda sağlamaktadırlar. Bu sektörlerden biri de medikal kargo sektörüdür. İHA ile paket dağıtımıyla da kargo yoğunluğunun önüne geçilmesi ve sürecin kolaylaştırılması hedeflenmiştir [1-4].

Gelişen teknolojiyle, birçok sektörde teknolojiyle doğru orantılı bir şekilde uyum yakalanmaya çalışılmıştır. Bu sektörlerden biri olan kargo dağıtımlarında, insanların bu hizmete yetişememesi, artan müşteri talepleri, siparişlerin karmaşıklığı, artan ulaşım yolları ile başa çıkılmasında, kargo ve lojistik destek firmalarını teknoloji arayışına itmiştir. Bu firmaların daha kısa sürede, daha kısa menzil ve daha az enerji tüketimi ile dağıtım süreçlerini optimize hale getirmeleri gerekmektedir.

Bu konuda önerilen teknolojilerden biri de insansız hava araçları (İHA/Drone) ile kargo taşımada zaman ve menzil avantajı sağlanabilir. İHA'lar günden güne isimlerini her sektörde duyurduğu gibi bu sektörde de başarılı bir giriş yapmıştır. Kara yollarındaki trafik problemlerinden bağımsız bir şekilde havadan teslimatın yapılmasını sağlamaktadır. Bu özelliği ile hızlı ve esnek bir dağıtım sürecini oluşturmaktadır. Fakat insansız hava araçlarıyla paket dağıtımı bir Gezgin Satıcı Problemi (GSP) olarak çözülmesi çok önemlidir.

Turgut ve Şeker yaptıkları çalışmada İHA'nın taşımacılık sektöründeki yansımalarını araştırmışlardır; yaygınlaştığını ve kullanımının artmaya başladığının tespit etmişlerdir [5]. Nakiboğlu, ürünlerin üreticiden tüketiciye son adım teslimatında yasal düzenlemelerin eksikliğini ve gereğine vurgu yapmıştır [6]. Uslu ve Tekin'in çalışmasında pandemi süreciyle gelişen kargo teknolojisinde dijitalleşme ve temassız teslimatta internet üzerinden araştırma ve literatür tarama sonucuna göre sektörde insansız hava araçlarının kargoda kullanımının artacağı fikri öngörülmüştür [7]. Yetiş ve arkadaşları, araç-İHA iş birliği ile yapılan hibrit kargo dağıtımda optimum mesafe ve maliyette azalma elde edildiğini göstermişlerdir [8].

GSP, aralarındaki uzaklık mesafesi bilinen n adet noktanın her bir noktadan bir kez geçme/uğrama şartı ile en kısa sürede veya en az maliyette rotayı oluşturmasıdır. İHA'larla paket dağıtımında GSP kullanılarak, paketleri sahiplerine teslim etmek için en verimli rotayı nasıl bulacağını belirleme sorununu temsil etmektedir [1-8]. Ayrıca İHA bataryalarından kaynaklı olarak uçuş mesafesi, menzil kısıtı altında optimizasyon problemi olarak gezgin satıcı problemi yardımıyla çözülebilir.

Bu makalede insansız hava araçlarının kısa sürede tüm noktalara gidebilmesi için Gezgin Satıcı Problemi /GSP) olarak çözümünü için birçok algoritma önerilmiştir. Bu makalede iyi bilinen ve yaygın kullanılan Genetik Algoritma ve Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritması çözümleriyle, İHA ile paket teslimatında en hızlı ve en optimal dağıtım haritası çıkarılarak teslimat noktaları rotası ile problemi çözüme süreleri hesaplanmıştır.

2. Materyal ve Metod

Gezgin satıcı probleminde, satıcının alacağı yolun tamamının mesafesini azaltmaktır. Burada amaç satıcının uğraması gereken noktaların rotasını belirleyerek ve satıcının bu rotada belli bir sıra ile uğraması ile katedilen mesafenin en aza indirilmesidir. Bu problem için birçok optimizasyon algoritmaları önerilmiştir; Angeniol ve ark. (1988)[9], gezgin satıcı problemini çözmek için kendi kendini organize eden özellik haritalarını kullanan bir yöntem sunmuştur. Problemi çözmek için veriye dayalı bir yaklaşım sunar. Optimizasyon için kendi kendini organize eden özellik haritalarının kullanılması, genellikle hızlı ve etkilidir. Problemin karmaşıklığına bağlı olarak, özellik haritalarının eğitimi ve oluşturulması zaman alabilir. Yeterli miktarda veri olmadığında veya veri kalitesi düşük olduğunda performansı etkilebilir. Somhom ve ark. (1997)[10], yine, kendi kendini organize eden bir model kullanarak probleme yaklaşır, veriye dayalı bir çözüm sunar. Bu tür modeller, karmaşık problemlerde etkili olabilir ve çözümün iyileştirilmesine izin verebilir. Modelin oluşturulması ve eğitilmesi için çok fazla zaman ve kaynak gerekebilir. Ayrıca, modelin karmaşıklığı nedeniyle, büyük veri kümeleri veya yüksek boyutlu problemlerle başa çıkmak zor olabilir. Ellabib ve ark. (2007)[11], gezgin satıcı problemini çözmek için değişim stratejileri ile çoklu bir karınca kolonisi sistemi sunmuştur.

Karınca kolonisi algoritmaları, doğadan ilham ile geliştirilen algoritmalar ve karmaşık optimizasyon problemleri için etkili olabilmektedir. Çoklu karınca kolonisi sistemi, çözüm alanında daha iyi keşifler yapabilir ve daha çeşitli çözümler üretebilir. Karınca kolonisi algoritmalarının performansı, parametre ayarlarına ve problem özelliklerine bağlıdır. Ayrıca, büyük veri setleri veya yüksek boyutlu problemlerle başa çıkmak için hesaplama kaynakları gerekebilir. Nguyen ve ark. (2007)[12], gezgin satıcı problemini çözmek için bir genetik algoritma önermişlerdir ve farklı varyasyon operatörleri kullanarak çözümün çeşitliliğinin artırılabilirliğini bulmuşlardır. Genetik algoritmaların performansı, parametre ayarlarına ve genetik operatörlerin seçimine bağlı olup popülasyon tabanlı yaklaşım olarak, büyük veri setleri veya yüksek boyutlu problemlerle çalışırken hesaplama kaynakları gerektirmektedir. Sauer ve Coelho (2008)[13], gezgin satıcı problemini çözmek için yerel bir arama yöntemi ile ayrık bir diferansiyel evrim algoritması sunmuştur. Shi ve ark. (2008)[14], ödül toplayan gezgin satıcı problemini çözmek için zaman pencereli bir karınca kolonisi optimizasyon yöntemi sunmuştur. Xie ve Liu (2008)[15], gezgin satıcı problemini çözmek için çok etmenli bir optimizasyon sistemi sunmuştur. Yi ve ark. (2008)[16], gezgin satıcı problemini çözmek için hızlı elastik bir ağ yöntemi sunmuştur. Chien ve Chen (2009)[17], paralelleştirilmiş genetik karınca kolonisi sistemine dayalı gezgin satıcı problemini çözmek için bir yöntem sunmuştur. Cheng ve Wang (2009)[18], zaman pencereli araç rotalama problemini çözmek için ayrıştırma tekniğine sahip bir genetik algoritma sunmuştur. Liu ve Zeng (2009) [19], gezgin satıcı problemini çözmek için pekiştirmeli öğrenmeli bir genetik algoritma sunmuştur. Naimi ve Taherinejad (2009)[20], GSP çözmek için yerel bir güncelleme sürecinin yeni bir yorumuyla bir karınca kolonisi algoritması sunmuştur. Marinakis ve Marinaki (2010)[21], araç rotalama problemini çözmek için genetik algoritmaları ve parçacık sürüsü optimizasyon algoritmalarını birleştirerek hibrit bir algoritma sunmuştur. Chang ve ark. (2010)[22], gezgin satıcı probleminde aranmamış çözüm uzayını aramak için genetik algoritmalarda dinamik bir çeşitlilik kontrol tekniği sunmuştur [23].

2.1. Gezgin Satıcı Probleminin Matematiksel Modeli

$$\text{Minimize} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1, i \neq j}^n x(i, j) d(i, j) \quad (1)$$

$$\text{Kısıtlar :} \quad \sum_{j=1, j \neq i}^n x(i, j) = 1, i = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

$$\sum_{i=1, i \neq j}^n x(i, j) = 1, i = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

$$\sum_{i, j \in S, i \neq j} x(i, j) \leq |S| - 1, \forall S \subset \{1, 2, \dots, n\} \quad (4)$$

$$x(i, j) = \begin{cases} 1, & i \text{ noktasından } j \text{ noktasına gidiliyor ise} \\ 0, & i \text{ noktasından } j \text{ noktasına gidilmiyor ise} \end{cases} \quad (5)$$

GSP'nin amaç fonksiyonu Denklem 1'de verilmektedir. Burada $d(i, j)$ ifadesi i ve j noktaları arasındaki mesafeyi göstermektedir. $x(i, j)$ ise i noktasından j noktasına gidilip gidilmediğini ifade etmektedir. Denklem 2 ve Denklem 3'de her bir noktaya yalnız bir kez uğranacağını garanti altına almaya yöneliktir. Denklem 2'ye göre her noktadan sadece bir kez çıkılacak, Denklem 3'e göre her noktaya yalnızca bir kez gidilecektir. Denklem 4'de ise oluşabilecek alt turlardan kurtulmaya yönelik olan alt tur eleme kısıtıdır. Denklem 5'de $x(i, j)$ 'nin 1 olması i noktasından j noktasına gidildiğini, 0 olması ise gidilmediğini göstermektedir [24].

3. Veri

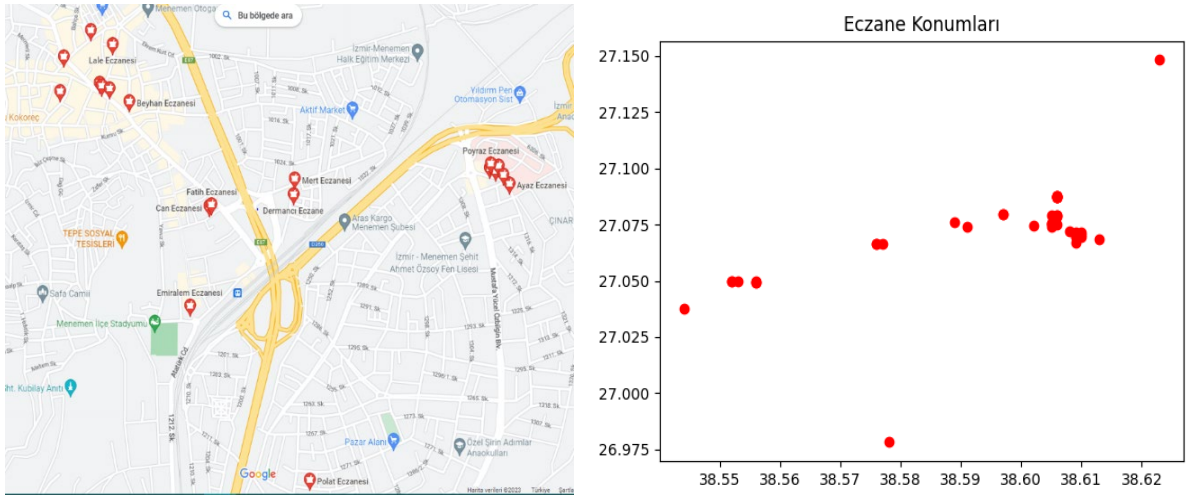
Makalenin bu bölümünde gerçekleştirilen uygulamada kullanılan veriler dair bilgiler verilmiştir. Çalışmada veri seti olarak; TSPLIB'den EIL51 verileri ve İzmir ili Menemen ilçesindeki eczanelerin lokasyonları verileri kullanılmıştır.

3.1. EIL51 Veri Seti

TSPLIB (Travelling Salesman Problem Library), seyahat eden satıcı problemi (Traveling Salesman Problem - TSP) ve benzeri kombinatoriyel optimizasyon problemleri için bir dizi örnek veri seti içeren bir koleksiyondur. EIL51, TSPLIB veri setlerinden biridir ve bu veri seti, 51 şehir (lokasyon) için her şehir için x ve y koordinatları belirtilir. Veri setinde genellikle herhangi bir arazi tipi veya şehir özelliği belirtilmez. Sadece şehirlerin koordinatlarına odaklanılır. EIL51 veri seti, gezgin satıcı problemi (TSP) gibi bir problemi incelemek ve çözmek isteyen araştırmacılar için kullanışlı bir örnek sunmaktadır [31,32].

3.2. İzmir ili Menemen ilçesi Eczaneleri Veri Seti

Bu makalede gerçek veri seti olarak İzmir/Menemen ilçesine ait eczane konumları Şekil 1'de görülmektedir. Bazı eczanelerin birbirine oldukça yakın olduğu ve bu nedenle tüm eczaneleri almak için harita küçültüldüğünde 45 adet eczanelerin yerine yaklaşık 20 adet kadar gözüktüğü gözlenmiştir. Haritanın ölçeği büyütüldüğünde uzakta kalan eczanelerin görünmemesi sebebiyle, tüm eczane lokasyonlarını gösteren kuşbakışı harita resmi kullanılmıştır. İzmir/Menemen ilçesindeki Eczanelerin konumları Google haritalardan alınmış olup x ve y olarak koordinat düzlemine çevrilerek veri seti oluşturulmuştur.



Şekil 1- İzmir Menemen İlçesi Eczaneleri Konumları (Tüm konumlar gösterilmemektedir.)

4. Gezgin Satıcı Problemi İçin Çözüm Algoritmaları

Gezgin satıcı problemi, satıcının alacağı minimum mesafeli yol güzergâhı, aynı zamanda satıcının uğraması gereken noktaların sırasını belirlemektedir. Bu çalışmada insansız hava araçlarının güzergah belirlenmesinde Gezgin Satıcı Problemi /GSP) olarak ele alınmıştır. Diğer taraftan literatürde GSP çözümü için birçok algoritma önerilmiştir [9]. Bu makalede iyi bilinen ve yaygın kullanılan Genetik Algoritma ve Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritması ile sağlık sektöründe İHA ile ilaç ve tıbbi malzemelerin acil taşınmasına çözüm olarak ele alınmıştır.

4.1. Genetik Algoritma

İlk olarak 1970’li yıllarda John Holland ve arkadaşlarının yaptığı çalışmalarda ortaya çıkan Genetik Algoritmalar (GA), Yapay Zekâ’nın hızlı gelişen alanlarından [3]. Genetik algoritma, biyolojik evrimi yönlendiren süreçte doğal seçilime dayanan hem kısıtlı hem de kısıtsız optimizasyon problemlerini çözmek için önerilmiş bir yöntemdir. Genetik algoritma, bireysel çözümlerden oluşan bir popülasyonu tekrar tekrar değiştirir. Her adımda mevcut popülasyondan bireyleri ebeveyn olarak seçer ve onları gelecek neslin çocuklarını üretmek için kullanır. Ardışık nesiller boyunca, popülasyon optimal bir çözüme doğru gelişir. Basit bir ifadeyle, bir problemi çözmek için ardışık nesildeki bireyler arasında “en uygun olanın hayatta kalması” simülasyonunu yaparlar. Her nesil, bir popülasyonundan oluşur ve her birey, arama uzayında ve olası çözümde bir noktayı temsil eder. Her birey, dizi olarak temsil edilir ve dizi kromozoma benzer [25].

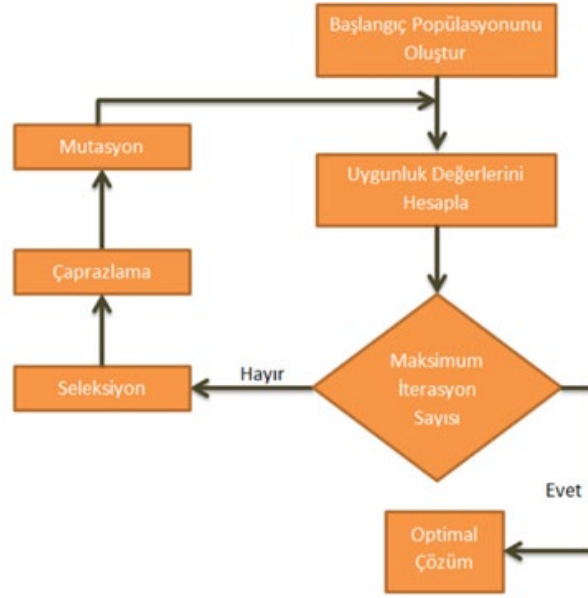
Genetik algoritmalarda kromozomlar, problemde rotayı göstermektedir. Bu rotaların her biri çözümü temsil eder. Kromozomların bir araya gelmesiyle oluşan topluluğa popülasyon denir. Uygunluk fonksiyonunun kullanılması ile hesaplanan Uygunluk değeri çözümün kalitesini belirler. Genetik bilimene benzer şekilde uygulanan Çaprazlama ve mutasyon işlemleri bireylerden daha iyi çözümler elde etmek için yapılır. Oluşan yeni nesiller eski nesil ile karşılaştırılır ve çözümün kalitesine göre eski bireylerin yerine geçerler. Böylelikle yeni bir kromozom popülasyonunun oluşması sağlanır. Problemin çözümünde kullanılan Genetik Algoritmanın Şekil 2’de ki gibi akış diyagramı ve sözde kodu aşağıda verilmiştir [3,4,24,25,26,27]:

Genetik Algoritmanın sözde kodu;

- 1) N adet kromozomlu başlangıç popülasyonunu oluştur.
 - 2) Popülasyonda yer alan kromozomların uygunluk değerlerini hesapla.
 - 3) Yeni topluluğu oluşturmak için aşağıdaki adımları tekrarla:
 - 3.1) Popülasyon içerisinden iki kromozom seç.
 - 3.2) Ebeveynlerden gelen kromozomları çaprazla.
 - 3.3) Oluşan yeni bireye belirli bir olasılıkta mutasyona uğrat.
 - 4) Oluşturulan yeni bireyler ile eski popülasyonun en iyi bireyleri bir oranda karıştırarak yeni bir popülasyonu elde et. (Elitizm).
 - 5) Durdurma koşulu sağlandıysa en iyi çözümü göster. Sağlanmadıysa Adım 2 ye git.
-

4.1.1. Başlangıç Popülasyonunun Oluşturulması

Çözüm bilgileri içeren kromozomların bir araya gelmesiyle oluşan topluluğa popülasyon denir. Genetik algoritmanın başlangıcında popülasyonun oluşturulması gerekmektedir. Popülasyon büyüklüğü, problemin çözüm süresini oldukça etkilemektedir. Popülasyondaki birey sayısının artması çözüm süresini artırırken, birey sayısının azalması istenilen çözüm değerine ulaşamamasına sebep olabilir. Seçilecek probleme göre belirlenen popülasyon büyüklüğü genetik algoritmayı kullanan kişi tarafından iyi belirlenmelidir [3,4,24-28].



Şekil 2- Genetik Algoritma Akış Diyagramı

4.1.2. Uygunluk Fonksiyonu

Başlangıç popülasyonu oluşturulduktan sonra kromozomların uygunluk değerleri hesaplanır. Gezgin satıcı problemindeki uygunluk değeri, en kısa mesafe olan kromozom baz alınarak hesaplanır. Yani her kromozom ve ya birey çözüme aday bir güzergâhtır. Çaprazlama sonrası oluşan yeni kromozomlarda da bu şekilde uygunluk değeri hesaplanmaktadır [3,4,24-28].

4.1.3. Seçilim

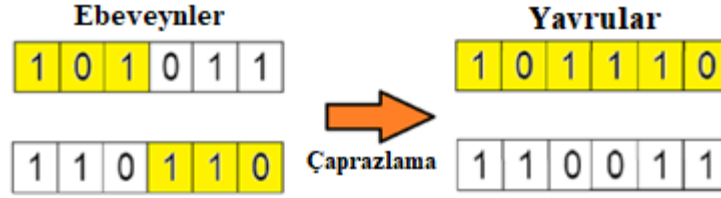
Yeni topluluğu oluşturabilmek için çaprazlama ve mutasyon işlemine alınacak bireyler seçilir. Seçim aşamasında uygunluk değeri fazla olan kromozomların seçilmesi olasılığı yüksektir. En bilinen seçilim yöntemleri; Turnuva Seçilimi, Sıralı Seçilim ve Rulet Seçimidir [24-29].

Rulet seçimi yönteminde popülasyondaki kromozomların uygunluk değerleri toplanır. Burada her bir kromozomun seçilme şansı, kendi uygunluk değerinin tüm bireylerin uygunluk değerlerinin toplamına oranı kadardır. Sıralı seçim yönteminde popülasyondaki kromozomlar, uygunluk değerlerine göre küçükten büyüğe sıralanır. Bu sıraya göre her bir kromozoma sıra numarası verilir. Bu sayede bütün kromozomlara seçilme şansı verilir. Fakat bu durum çözümün geç yakınsamasına sebep olabilir. Turnuva yönteminde ise popülasyondaki kromozomlardan k adet birey rastgele seçilir. Bu bireylerden uygunluk değeri en iyi olan birey alınır. Benzer şekilde bu işlem tekrar uygulanarak ikinci ebeveyn seçilir.

4.1.4. Çaprazlama

Seçim aşamasından sonra seçilen bireyler çaprazlamaya tabi tutulurlar. Çaprazlamadaki amaç, uygunluk değerleri yüksek olan bireylerin çaprazlanarak daha iyi çözümü olan yeni bireyler üretmektir. Literatürde birçok örneği bulunan çaprazlama yönteminin en basiti tek noktali çaprazlamadır. Bu yöntemde ebeveynler üzerinde ortak bir nokta belirlenir. Oluşacak birinci çocuk için; çaprazlama noktasına kadar gelen genleri ilk ebeveynden, diğer genleriyse

ikinci ebeveynden sırayla alır. Kalan genler ikinci çocukta benzer işlem uygulanır. Aşağıdaki Şekil 3'te örnekte verilen ebeveynlerin ortak noktası 3 kabul edilip tek noktalı çaprazlama işleme tabi tutulmuştur [24-29].



Şekil 3- Genetik Algoritma Çaprazlama Operatörü Örneği

4.1.5. Mutasyon

Oluşturulan yeni bireylerin genlerinin bir ya da birkaçında rastgele değişiklik yapılmasına mutasyon denir. Mutasyonun amacı, oluşan yeni çözümlerin önceki çözümlerle aynı olmasını engelleyerek genetik çeşitliliği sağlamak ve optimal çözüme kısa sürede ulaşmaktır. Böylelikle oluşan yeni bireyler bir sonraki nesle aktarılabilirler. Mutasyon oranı çok düşük (%0.01) tutulmalıdır [3,4,24-30]

4.1.6. Yeni Neslin Oluşturulması

Tüm işlemlerden sonra oluşturulan yeni nesil bireylerin ne yapılacağı belirlenmelidir. Popülasyondaki kötü ebeveynler ile iyi çocukların yer değiştirilebilir, tüm ebeveynler ile tüm çocukların yer değiştirilebilir veya ebeveynler ile çocukların birleştirilerek bütün bir popülasyon oluşturulabilir. Eğer iyi çözümlü çocuklar kötü ebeveynlerin yerine geçerse çözüm süresi kısalmır. Bu şekilde işlem durdurma kriteri sağlanıncaya kadar tekrar edilir [3,4,24-29].

Popülasyondaki mevcut bireyleri yeni popülasyona belirli bir ölçütle seçerken; elitizm, bir stratejisi olarak en iyi bireylerin korunmasını amaçlamaktadır. Sonuçta GA'nın başrimında seçilimin rolü önemlidir. Çaprazlama sonucu oluşan evlat bireyler ile oluşturulan popülasyona eski popülasyondaki en iyi bireylerin belli miktarda karıştırılması yoluyla yeni bir popülasyon oluşturulması (Elitizm) GA da genel bir yaklaşımdır [30].

4.2. Parçacık Sürü Optimizasyonu Algoritması

Parçacık sürü optimizasyonu (PSO) orijinal olarak Kennedy ve Eberhart tarafından önerilmiştir. Balık veya kuş gibi hayvan sürülerinin sosyal faaliyetlerinden esinlenmiştir. Sistem önce ilk iterasyon için konumları potansiyel çözümleri temsil eden bir parçacık grubunu rastgele oluşturur. Diğer iterasyonlarda bu global çözüme ait bilgiler tutulur ve sürü içerisindeki parçacıklar yeni bir lokal arayışa giderler. Parçacıkların hareketlerini kendi optimum çözümleri ve en iyi global çözümü etkiler ve geçmişe bağlı kalarak optimum çözüm arayışı yapmaktadır. Parçacıklara ait çözümler kıyaslanır ve en iyi çözüm tutulur, tutulan çözüm eski global çözüm ile kıyaslanır ve en iyi global çözüm elde edilmiş olur belirlenen iterasyon sayısına göre bu parçacıklar arayışa devam eder. D boyutlu arama uzayında m parçacık olduğunu varsayalım. i 'inci parçacığın konumu ve hızı şu şekilde temsil edilir; $X_i = (xi_1, xi_2, xi_3, \dots, xi_D)$, $V_i = (vi_1, vi_2, vi_3, \dots, vi_D)$. Her parçacığın hızı en iyi konum bilgisi tarafından güncellenir. ' $pBest$ ' i 'inci parçacığın o ana kadar aranan en iyi konumudur ' $gBest$ ' ise o ana kadar aranan yakındaki parçacıkların en iyi konum bilgisidir [23]. i 'inci parçacığın konumu ve hızının güncelleme kuralları Denklem (1) ve Denklem (2) deki gibidir [28];

$$V_i = V_i + C1R1(pBest - X_i) + C2R2(gBest - X_i) \quad (6)$$

$$X_i = X_i + V_i \quad (7)$$

Burada $C1$ ve $C2$ pozitif sabitlerdir, ivme katsayıları olarak adlandırılabilir. $R1$ ve $R2$ rastgele sayılardır ve 0-1 aralığında sayılardır. Algoritmanın akış diyagramı Şekil 4’de verilmiştir [29].



Şekil 4- PSO Akış Diyagramı [28]

PSO Algoritmasının sözde kodu;

1. Kontrol parametrelerinin değerlerini belirle
 2. Başlangıç popülasyonu için parçacıkları rastgele seç ve başlangıç koşullarını belirle, değerleri ata
 3. Maksimum iterasyon sayısına ulaşana veya minimum hata koşulu sağlanana kadar
 4. Her parçacığın uygunluk değerini hesapla P_{best} 'ten iyiyse onunla değiştir
 5. Tüm parçacıkların bulunduğu P_{best} değerlerinin en iyisini, tümünün P_{best} 'i olarak ayarla
 6. Her parçacık için parçacık hızını hesapla
 7. Parçacık pozisyonu güncelle
-

5. Uygulama

Problemin ilk veri setinin çözümünde Genetik Algoritma kullanılırken öncelikle yapılması gereken, Genetik Algoritmanın sonuçlarını önemli derecede etkileyen parametrelerden birisi olan popülasyon büyüklüğünün belirlenmesidir. Bu çalışmada popülasyon büyüklüğü, değişken olarak her simülasyonda farklı girilmiştir. Böylelikle Python program ile yazılan kodlarla hangi iterasyon ve popülasyon büyüklüğünde en iyi çözüm verdiği sonuçlara bakılarak anlaşılmıştır. Daha sonra mutasyon oranı için farklı değerler denenerek sonuçlarına bakılmış ve uygun mutasyon oranı 0.008 olarak belirlenmiştir. Problemden permütasyon kodlamalı GA kullanılmıştır. Koda girdi olarak 51 adet nokta verilmiştir. İterasyon sayısı optimumu bulduğunda durdurulma kriterini içerdiğinden değişken olarak verilmiştir.

Problemin ikinci veri setinin Genetik ve Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritmaları ile çözümünde ise koordinatları verilen 45 adet eczanenin girdi değerleri bir önceki veri seti ile benzerlik göstermektedir. Bu 45 adet eczanenin koordinatlara göre yerleşiminde bazı eczaneler aynı lokasyonda 3 tane, 4 tane yan yana konumlu olduğundan grafik ve haritada yaklaşık 20 adet kadar gözükmektedir. Bu eczaneler arasında menzil belirlemede, PSO için, popülasyon büyüklüğü her simülasyonda farklı girilmiştir. Böylelikle en iyi çözüm sonuçları; iterasyon sayısı, popülasyon büyüklüğü menzil mesafesi ve süre açısından karşılaştırılarak değerlendirilmesi sağlanmıştır.

6. Optimizasyon için Simülasyon Sonuçları ve Analizi

Makalenin bu bölümünde gerçekleştirilen uygulamaya ait çıktılar bulunmaktadır. Genetik algoritma ve Parçacık Sürü Optimizasyonu algoritması karşılaştırılması yapılırken performans başarısı için “Rota Mesafesi” ve “Başarı Süresi” kriterleri dikkate alınmıştır. Her iki algoritma da iterasyon değerleri ve popülasyon büyüklükleri sabit tutularak karşılaştırmalar yapılmıştır.

6.1. EIL51 Verileri Kullanılarak Elde Edilen Sonuçlar

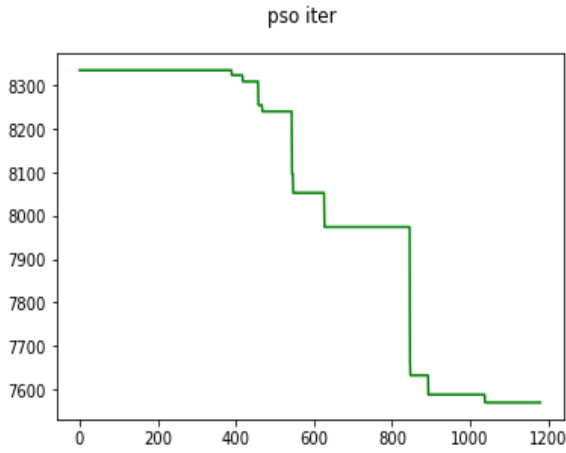
Hazır veriler (EIL-51) kullanılarak yapılan PSO algoritma programı test edilmiştir[31]. Tablo-1 incelendiğinde, PSO ile 1200 iterasyon ve 300 parçacıkla yapılan simülasyon sonucunda 22sn de en kısa mesafeyi 7570 m civarında hesaplanmıştır. Her iterasyon değerinde popülasyon sayısı arttıkça bulunan rota mesafesi kısalmaktadır fakat zaman maliyeti artmaktadır. Tablo-2 incelendiğinde, iterasyon sayısı arttıkça GA ile optimum rotaya daha yaklaşılmaktadır fakat süre maliyeti artışı da beraberinde gelmektedir. Tüm bunlara karşın GA'nın popülasyon büyüklüğünün artışının optimum mesafeye belirgin bir etkisi olmadığı görülmüştür.

Tablo 1 - EIL51 Veri Seti ile PSO Algoritması Sonuçları

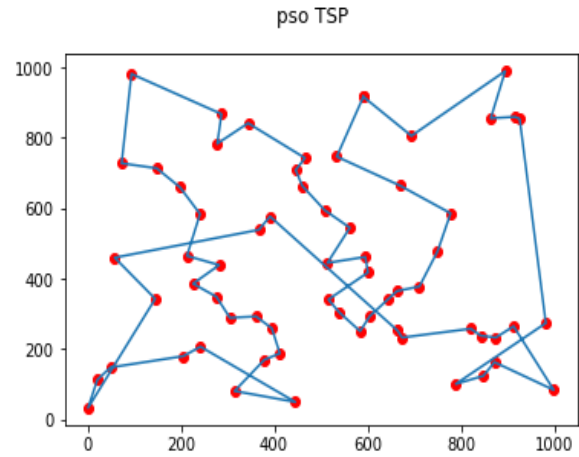
		PARAMETRELER		SONUÇLAR	
		İterasyon Sayısı	Popülasyon Büyüklüğü	Bulunan Rota Mesafesi	Arama Süresi
Başlangıç Rota Mesafesi = 8335,256	100	100	100	8335,256	2.5 sn
		175	175	8335,256	3s
		250	250	8335,256	4.5 sn
		300	300	8335,256	7s
	500	100	100	8335,256	7s
		175	175	8300.06	8s
		250	250	8298,301	9s
		300	300	7956,312	11s
	1000	100	100	8099,967	9.5 sn
		175	175	7778.530	13.5 sn
		250	250	7842,764	16.5 sn
		300	300	7794.566	19s
	1200	100	100	8238,405	14s
		175	175	7852,773	15.5 sn
		250	250	7587,580	19.5 sn
		300	300	7569.426	22s

Tablo 2 - EIL51 Veri Seti ile Genetik Algoritma Sonuçları

		PARAMETRELER		SONUÇLAR	
		İterasyon Sayısı	Popülasyon Büyüklüğü	Bulunan Rota Mesafesi	Arama Süresi
Başlangıç Rota Mesafesi = 8335,256	100	100	100	8264.709	6s
		175	175	7430.007	13s
		250	250	7761.664	25s
		300	300	7559.561	40s
	500	100	100	7649.889	25s
		175	175	7409.437	1dk 8s
		250	250	7302.052	2dk 8s
		300	300	7026.819	3dk
	1000	100	100	6936.572	1dk
		175	175	7420.367	2dk 16s
		250	250	7382.446	4dk 12s
		300	300	7301.284	6dk
	1200	100	100	7361.819	1dk 12
		175	175	7050.740	2dk 45s
		250	250	6710.492	5dk 10s
		300	300	6896.164	7dk 12s

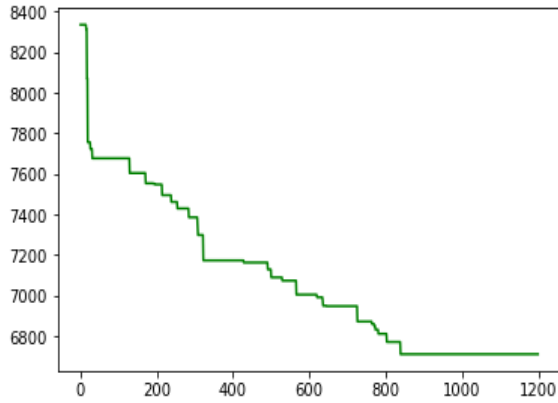


Şekil 5- PSO Algoritma optimum değere yaklaşım grafiği

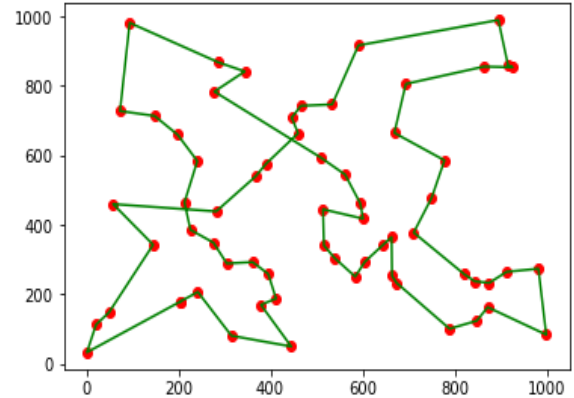


Şekil 6- PSO Algoritma Araması Sonucunda Bulunan Rota

İterasyonla mesafe düşümü, Şekil-5’de 0-1200 aralığı jenerasyonla 7600-8300 aralık ile temsil etmektedir.



Şekil 7- Genetik Algoritma optimum değere yaklaşım grafiği



Şekil 8- Genetik Algoritma Araması Sonucunda Bulunan Rota

Şekil-7 de 0-1200 jenerasyonu, 6800-8400 aralığı mesafeyi temsil etmektedir.

6.2. Gerçek Verileri Kullanarak Uygulama

Gerçek veriler kullanılarak Genetik ve PSO Algoritmaları ile optimum sonuçlara ulaşılmıştır. Bir önceki veri setine göre kullanılan girdi parametrelerinde değişenler sadece şehir yerine Eczane gelmiş ve lokasyon sayısı değişmiştir. Diğer parametreler bir önceki veri seti ile aynı tutulmuştur. Türkiye Cumhuriyeti coğrafi konum olarak, 26-45 doğu meridyenleri ve 36-42 kuzey paralelleri tarafından çevrelenmektedir. Yani 19 meridyen, 6 paralel ile ölçeklendirilmektedir. Türkiye'nin güneyde 36° lik paralel üzerinde bulunan ardışık iki meridyen 81 km ve kuzeyinde ise 42°lik paralel üzerindeki iki meridyen arası ise 74 km'dir. Ekvator paraleli üzerinde iki meridyen arası mesafe 111 km dir[33,34]. Algoritmaların çalışmaları coğrafi konum cinsinden, açısız konum olarak hesaplamalar yapılmıştır. Bu yaklaşımla menziller yaklaşık metrik olarak hesaplanabilir. Tablo 3 ve Tablo 4 incelendiğinde, ilk bakışta en kısa mesafe 1200 iterasyon ve 100 popülasyon büyüklüğü ile 1 dk 39 sn'de GA ile elde edilmiştir. PSO algoritması ile en kısa menzil 1000 iterasyon 100 popülasyonla 14.2 sn'de elde edilmiştir. Yapay zeka temelli olan, sezgisel yapıya bütün algoritmalar genel olarak kesin çözüme yakınsamayı garanti etmezler, ancak gerçek çözüm çok çok küçük hatayla yaklaşabilirler. Bunun için

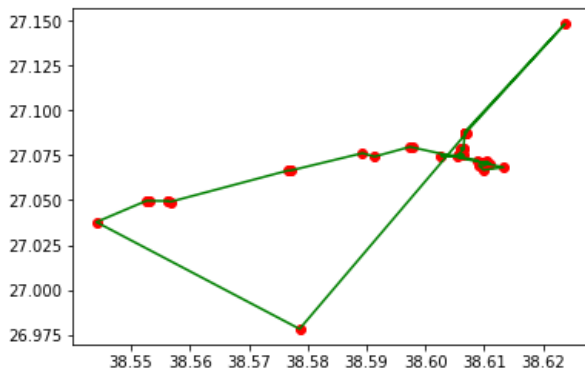
yeterince deneme yapılmalı ve algoritma ile problem modelinin optimum parametreleri elde edilmelidir. Bu süreç zorlu bir süreç olsa da çözüme oldukça yakın sonuçlar, günlük yaşamdaki problemlerimizi çözmeye yeter. Özellikle analitik çözümün olmadığı, matematiksel modeli bir fonksiyon şeklinde ifade edilemeyen problemlerde bu sezgisel yöntemler kullanmak çözüm için çok önemlidir. Bu çalışmada GA ve PSO algoritmaları ile sağlık sektörü için zaman, kargo ağırlığı ve İHA'nın enerji kısıtı altında optimum çözümler üretilebilir.

Tablo 3 - Eczane Konumları ile PSO Algoritma Sonuçları

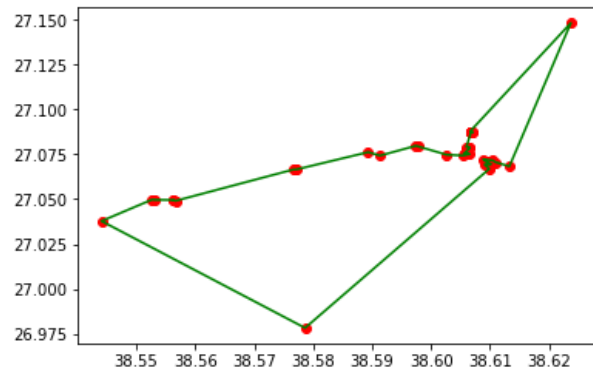
		PARAMETRELER		SONUÇLAR	
		İterasyon Sayısı	Popülasyon Büyüklüğü	Bulunan Rota Mesafesi	Arama Süresi
Başlangıç Rota Mesafesi = 0.4383216461701235	Şehir Sayısı = 45	100	100	0.438321646170	1.6 sn
			175	0.438321646170	1.9 sn
			250	0.438321646170	2.2 sn
			300	0.438321646170	2.5 sn
		500	100	0.437577095647	7.3 sn
			175	0.436800663821	8.6 sn
			250	0.435270717610	10.5 sn
			300	0.434697110422	11.4 sn
		1000	100	0.434314445052	14.2 sn
			175	0.435814669247	15.2 sn
			250	0.435981190229	17.8 sn
			300	0.435570588256	21.5 sn
1200	100	0.436718550590	22.7 sn		
	175	0.437214091859	20.4 sn		
	250	0.4350305874813	22.7 sn		
	300	0.4359089829906	24 sn		

Tablo 4 - Eczane Konumları ile Genetik Algoritma Sonuçları

		PARAMETRELER		SONUÇLAR	
		İterasyon Sayısı	Popülasyon Büyüklüğü	Bulunan Rota Mesafesi	Arama Süresi
Başlangıç Rota Mesafesi = 0.4383216461701235	Şehir Sayısı = 45	100	100	0.4216141576094	8.9 sn
			175	0.4202002744885	25.6 sn
			250	0.4189672619183	38.5 sn
			300	0.4242203103298	50.4 sn
		500	100	0.4226159248675	41.8 sn
			175	0.4174078320156	1 dk 33 sn
			250	0.4173056232760	2 dk 55 sn
			300	0.4166072174686	4 dk 17 sn
		1000	100	0.4157284632578	1 dk 24 sn
			175	0.4180074280467	3 dk 30 sn
			250	0.4181365055331	6 dk 31 sn
			300	0.415352133474	9 dk 40 sn
1200	100	0.4147512988456	1 dk 39 sn		
	175	0.415276421963012	3 dk 54 sn		
	250	0.41486437436170	7 dk 40 sn		
	300	0.41730562327605	10 dk 25 s		



Şekil 9 - PSO Algoritma Araması Sonucunda Bulunan Rota



Şekil 10 - Genetik Algoritma Araması Sonucu Bulunan Rota

7. Sonuç ve Değerlendirme

Bu makalede insansız hava araçlarının kargo taşıma rotasını en kısa sürede tüm noktalara gidebilmesi için Gezgin Satıcı Problemi ele alınmıştır. Problemin çözümü birçok algoritmayla çözümlenmesine karşın bu çalışmada Genetik Algoritma ve Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritması

kullanılmıştır. İHA ile ürün teslimatında en hızlı ve en optimal dağıtım haritası çıkarılarak teslimat noktalarına en kısa sürede ve en az iş gücüyle varış rotaları belirlenmiştir.

Rastgele noktalar arasında en kısa mesafeyi bulabilmek için gerçekleştirilen algoritma çözümlerinde, tüm değerlerde Genetik algoritmanın daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. İlk veri seti kullanılarak çıkan sonuçların arasında en iyi çözümü veren ise 1200 iterasyonda, 250 popülasyon büyüklüğü olmuştur. İkinci veri seti kullanıldığında ise 1200 iterasyonda 100 popülasyon büyüklüğü en iyi çözümdür.

İki algoritmanın sonuçlarına bakıldığında Genetik algoritmanın parametrelerinden dolayı daha uzun sürmesine rağmen PSO'ya göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Buna göre Genetik Algoritmanın PSO'ya göre daha başarılı olduğu söylenilebilir. Gerçek verilerde popülasyon sayısının artırılması sonuca belirgin düzeyde iyileştirmemiştir. İki algortmada da iterasyon sayısının artması optimum sonucu iyileştirirken zaman maliyetini artırmıştır.

Bu makalede algoritmaların yazımı için Python programlama dili kullanılmıştır. Genetik algoritma çalıştırılırken oldukça uzun süreler harcanırken maliyeti oldukça arttırmıştır. Bu iki optimizasyon algoritmalarının farklı programlama dillerinde karşılaştırılması ve performans ölçümü daha sonraki çalışmalarda yapılabilir.

Gerçek verilerden alınmış bu sonuçlara bakılarak da Genetik Algoritmanın PSO'ya göre daha iyi sonuçlar verdiği söylenilebilir. Böylelikle literatüre, 'Gezgin satıcı problemini çözebilmek için genetik algoritmanın kullanılacağını ve böylelikle İHA kullanımında daha hızlı ve maksimum verim alınacağı ve katkı sağlayacağı öngörülmüştür.' cümlesinin silinmesi ve yerine 'Gerçek verilerle elde edilen rotalar incelendiğinde GA'nın PSO'ya göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. İki algoritmanın sonuçlarına bakıldığında GA'nın parametrelerinden dolayı daha uzun sürmesine rağmen PSO'ya göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Gerçek verilerde popülasyon sayısının artırılması sonucu belirgin düzeyde iyileştirmemiştir. İki algortmada da iterasyon sayısının artması optimum sonucu iyileştirirken zaman maliyetini artırmıştır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları herhangi bir kurum, kuruluş, kişi ile kişisel ve finansal çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedirler.

Kaynaklar

- [1] Çalışkan F., Yüksel H., Dayik M., Genetik Algoritmaların Tasarım Sürecinde Kullanılması, 2016
- [2] Yildirim T., Simetrik Gezgin Satıcı Problemi İçin Yeni Bir Meta-Sezgisel: Kör Fare Algoritması, Denizli, Şubat - 2014
- [3] Pulat M., Kocakoç D., Gezgin Satıcı Probleminin Genetik Algoritmalarla Çözümünde Başlangıç Popülasyonunun Belirlenmesi, July 2017
- [4] Kuzu S., Önay O., Şen U., Tunçer M., Yildirim B. F., Keskindürk T., Gezgin satıcı problemlerinin metasezgiseller ile çözümü, Cilt/Vol:43, Sayı/No:1, 2014, 1-27
- [5] Turğut, M. ve Şeker, B. (2022). İnsansız Hava Araçlarının (İha) Taşımacılıkta Kullanımına Yönelik Keşfedici Bir Araştırma: Drone Taşımacılığı Ve Uygulamaları. Akıllı Ulaşım Sistemleri Ve Uygulamaları Dergisi, 5 (2), 169-187. Doi: 10.51513/Jitsa.1146992
- [6] Nakiboğlu, G. (2020), Drone Taşımacılığı ve Son-Adım Teslimatta Kullanımı, Çukurova Üniversitesi İİBF Dergisi Cilt:24. Sayı:2, ss.285-298
- [7] Uslu, F., Tekin, Z. (2021), Pandemi Sürecinde Drone Kullanımı: Geleceğin Lojistik Teknolojileri, Uluslararası İktisadi ve İdari Bilimler Kongresi: Krizler, Belirsizlikler ve Arayışlar, 165

- [8] Yetiş, H., Güngör, Z. ve Karaköse, M. (2021). Araç-İHA İş birliği ile Kargo Teslimatları İçin Ortak Rota Optimizasyonu. *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 33 (2), 135-144. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/en/pub/fufbd/issue/64918/878774>
- [9] Angeniol, B., Vaubois, G. D. L. C., & Le Texier, J. Y. (1988). Self-organizing feature maps and the travelling salesman problem. *Neural Networks*, 1(4), 289-293.
- [10] Somhom, S., Modares, A., & Enkawa, T. (1997). A self-organising model for the travelling salesman problem. *Journal of the Operational Research Society*, 48(9), 919-928.
- [11] Ellabib, I., Calamai, P., & Basir, O. (2007). Exchange strategies for multiple ant colony system. *Information Sciences*, 177(5), 1248-1264.
- [12] Nguyen, H. D., Yoshihara, I., Yamamori, K., & Yasunaga, M. (2007). Implementation of an effective hybrid GA for large-scale traveling salesman problems. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics)*, 37(1), 92-99.
- [13] Sauer, J. G., & dos Santos Coelho, L. (2008, September). Discrete differential evolution with local search to solve the traveling salesman problem: Fundamentals and case studies. In 2008 7th IEEE international conference on cybernetic intelligent systems (pp. 1-6). IEEE.
- [14] Shi, X., Wang, L., Zhou, Y., & Liang, Y. (2008, October). An ant colony optimization method for prize-collecting traveling salesman problem with time windows. In 2008 Fourth International Conference on Natural Computation (Vol. 7, pp. 480-484). IEEE.
- [15] Xie, X. F., & Liu, J. (2008). Multiagent optimization system for solving the traveling salesman problem (TSP). *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics)*, 39(2), 489-502.
- [16] Yi, J., Bi, W., Yang, G., & Tang, Z. (2008, November). A fast elastic net method for traveling salesman problem. In 2008 Eighth International Conference on Intelligent Systems Design and Applications (Vol. 1, pp. 462-467). IEEE.
- [17] Chien, C. Y., & Chen, S. M. (2009, July). A new method for handling the traveling salesman problem based on parallelized genetic ant colony systems. In 2009 International Conference on Machine Learning and Cybernetics (Vol. 5, pp. 2828-2833). IEEE.
- [18] Cheng, C. B., & Wang, K. P. (2009). Solving a vehicle routing problem with time windows by a decomposition technique and a genetic algorithm. *Expert systems with applications*, 36(4), 7758-7763.
- [19] Liu, F., & Zeng, G. (2009). Study of genetic algorithm with reinforcement learning to solve the TSP. *Expert Systems with Applications*, 36(3), 6995-7001.
- [20] Naimi, H. M., & Taherinejad, N. (2009). New robust and efficient ant colony algorithms: Using new interpretation of local updating process. *Expert Systems with Applications*, 36(1), 481-488.
- [21] Marinakis, Y., & Marinaki, M. (2010). A hybrid genetic-Particle Swarm Optimization Algorithm for the vehicle routing problem. *Expert Systems with Applications*, 37(2), 1446-1455.
- [22] Chang, T. K., Huang, C. H., Huang, C. H., Chen, H. C., & Cheng, C. K. (2010). The influence of long-term treadmill exercise on bone mass and articular cartilage in ovariectomized rats. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 11(1), 1-7.
- [23] Chen, S. M., & Chien, C. Y. (2011). Solving the traveling salesman problem based on the genetic simulated annealing ant colony system with particle swarm optimization techniques. *Expert Systems with Applications*, 38(12), 14439-14450.
- [24] Çolak S, Genetik Algoritmalar Yardımı İle Gezgin Satıcı Probleminin Çözümü Üzerine Bir Uygulama, Ç.Ü. Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, Cilt 19, Sayı 3, 2010, Sayfa 423-438
- [25] Gerşil M., Alkaya A., Gezgin Satıcı Problemi İçin Sezgisel Metotların Performans Analizi, XI. Üretim Araştırmaları Sempozyumu, 23-24 Haziran 2011
- [26] Dikmen Ha., Dikmen Hü., Elbir A., Ekşi Z., Çelik F., Gezgin Satıcı Probleminin Karınca Kolonisi ve Genetik Algoritmalarla Eniyilemesi ve Karşılaştırılması, 18(1), 8-13, 2014
- [27] Cevre U., Özkan B., Uğur A., Gezgin Satıcı Probleminin Genetik Algoritmalarla Eniyilemesi ve Etkileşimli Olarak İnternet Üzerinde Görselleştirilmesi, Ege Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İzmir

- [28] Eberhart, R., & Kennedy, J. (1995, October). A new optimizer using particle swarm theory. In MHS'95. Proceedings of the sixth international symposium on micro machine and human science (pp. 39-43). Ieee.
- [29] Kennedy J., Elbarth R. (August 2002), Particle swarm optimization, Purdue School of Engineereing and Technology
- [30] Gencal, M. C. & Oral, M. (2022). Evrimsel algoritmalar için yeni bir meta-iyileştirici: bipolar eşleşme eğilimi . Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 28 (2) , 313-323 . Retrieved from <https://dergipark.org.tr/en/pub/pajes/issue/69632/1110433>
- [31] Onwubolu, G. C., Babu, B. V., & Clerc, M. (2004). Discrete particle swarm optimization, illustrated by the traveling salesman problem. New optimization techniques in engineering, 219-239.
- [32] url1, <http://comopt.ifi.uni-heidelberg.de/software/TSPLIB95/> (erişim: 15.02.2023)
- [33] url2, <https://www.yeniakit.com.tr/haber/turkiyenin-uzerinden-gecen-paralel-ve-meridyenler-hangileridir-1539841.html> (erişim:15.08.2021)
- [34] url3, <https://www.matematiklezzeti.com/post/meridyenler> (erşim:15.08.2023)