



KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ

e-ISSN 1309-1751

Mühendislik Bilimleri Dergisi Journal of Engineering Sciences

2022

SAYI / NUMBER : 4

CILT / VOLUME : 25



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Yazışma Adresi / Corresponding Address

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi
Mühendislik Bilimleri Dergisi
46050, Onikişubat/Kahramanmaraş
TÜRKİYE

E - Posta

jes@ksu.edu.tr

Web

<http://jes.ksu.edu.tr/>

Bu dergi hakemli olup yılda 4 kez yayınlanır.

This journal is peer - reviewed and published 4 issues per year.



Sahibi / Owner

Prof.Dr. Alptekin YASIM
KSU Rector

Baş Editör / Editor in Chief

Prof. Dr. Hüseyin TEMİZ
htemiz@ksu.edu.tr

Baş Editör Yardımcısı / Vice Editor in Chief

Assist. Prof. Dr. Zeynep Banu ÖZGER
zeynepozger@ksu.edu.tr

Editörler / Editors

Prof. Dr. Ahmet Serdar YILMAZ
Electrical and Electronics Eng.
KSU Univ. TURKEY
asyilmaz@ksu.edu.tr

Prof. Dr. Ahmet ALKAN
Electrical and Electronics Eng.
KSU Univ. TURKEY
aalkan@ksu.edu.tr

Prof. Dr. Mehmet ÜNSAL
Civil Eng.
KSU Univ. TURKEY
munsal@ksu.edu.tr

Prof. Dr. Ahmet KAYA
Mechanical Eng.
KSU Univ. TURKEY
kaya38@ksu.edu.tr

Prof. Dr. Remzi ŞAHİN
Civil Eng.
Atatürk Univ.,TURKEY
rsahin@atauni.edu.tr

Prof Dr. Yücel ÖZMEN
Mechanical Eng.
Karadeniz Teknik Univ.,TURKEY
yozmen@ktu.edu.tr

Prof.Dr. Özlem TURGAY
Food Eng.
KSU Univ. TURKEY
ozlem@ksu.edu.tr

Prof. Dr. Fatih MENGELOĞLU
Landscape Arc.
KSU Univ. TURKEY
fmengelo@ksu.edu.tr

Prof. Dr. Tahir Çetin AKINCI
Electrical Eng.
İstanbul Teknik Univ, TURKEY
akincitc@itu.edu.tr

Prof. Dr. Kristina SARIC
Geological Eng.
University of Belgrade, SERBIA
kristina.saric@rgf.bg.ac.rs

Prof. Dr. Ramazan GÖKÇE
Food Eng.
Pamukkale Univ., TURKEY
rgokce@pau.edu.tr

Prof. Dr. A. Mehmet YÜCEER
Chemical Eng.
İnönü Univ., TURKEY
mehmet.yuceer@inonu.edu.tr

Assoc. Prof.Dr.Tamer RIZAOĞLU
Geological Eng.
KSU Univ., TURKEY
tamer@ksu.edu.tr

Assist.Prof.Dr. Fethullah GÖÇER
Industrial Eng.
KSU Univ. TURKEY
fgocer@ksu.edu.tr

Assist.Prof.Dr. Yakup CUCİ
Environmental Eng.
KSU Univ. TURKEY
cuci@ksu.edu.tr

Assoc.Prof.Dr. Erdem SELVER
Textile Eng.
KSU Univ. TURKEY
esilver@ksu.edu.tr

Assist. Prof. Dr. Hasan BADEM
Computer Eng.
KSU Univ. TURKEY
hbadem@ksu.edu.tr

Assist. Prof. Dr. Beril ÖZÇELİK
Mechanical Eng.
KSU Univ. TURKEY
bozcelik@ksu.edu.tr

Assist. Prof. Dr. Özdeş ÇERMİK
Language Editor
KSU Univ. TURKEY
ozdescermik@ksu.edu.tr

Research Assist. Fahriye GEMCİ
Technical Manager
KSU Univ. TURKEY
fahriyegemci@ksu.edu.tr

Res. Assist. Dr. S.Hatice GÖKLER
Technical Manager
KSU Univ. TURKEY
sedahaticegokler@ksu.edu.tr

Res. Assist. Elif ÇELİK
Technical Manager
KSU Univ. TURKEY
elifcelik@ksu.edu.tr

Res. Assist. Sermet AYMAN
Technical Manager
KSU Univ. TURKEY
sayman@ksu.edu.tr

Danışma Kurulu / Advisory Board

Prof. Dr. Cetin Kaya KOC

Dep. of Computer Eng.
Univ Of Cal.
Santa Barbara. USA
koc@cs.ucsb.edu

Prof. Dr. Ayhan ÖZDEMİR

Dep. of Elect. & Elcn Eng.
Sakarya Univ. Sakarya,
TURKEY
aozdemir@sakarya.edu.tr

Prof. Dr. Hüseyin AKILLI

Dep. of Mechanical Eng.
ÇU Univ.
Adana, TURKEY
hakilli@cu.edu.tr

Prof. Dr. Mehmet KORÜREK

Dep. Of Elcn & Comm Eng.
İTU Univ.
İstanbul. TURKEY
korurek@itu.edu.tr

Prof. Dr. Yasemin KORKMAZ

Dep. of Textile Eng.
KSU Univ.
TURKEY
ykorkmaz@ksu.edu.tr

Prof. Dr. Ahmet PINARBAŞI

Dep. of Mechanical Eng.
Alanya Alaaddin Keykubat
Univ. Antalya, TURKEY
apinarbasi@alanya.edu.tr

Prof. Dr. S. Serhat ŞEKER

Dep. Of Elect. Eng.
İTU Univ. İstanbul.
TURKEY
sekers@itu.edu.tr

Prof. Dr. Şerafettin EREL

Dep. of Elect. & Elcn Eng.
YBU Univ.
Ankara, TURKEY
serel@ybu.edu.tr

Assoc. Prof. Dr. Mustafa ONAT

Dep. of Computer Eng.
Marmara Univ.
İstanbul. TURKEY
monat@marmara.edu.tr

Prof. Dr. Eyüp DEBİK

Dep. of Environmental Eng.
Yıldız Technical Univ.
İstanbul. TURKEY
debik@yildiz.edu.tr

Prof. Dr. Fan MIZI

Dep. of Civil Eng.
Brunel Univ.
Uxbridge, UK
mizi.fan@brunel.ac.uk

Prof. Dr. A. Fevzi BABA

Dep. of Elect. & Elcn. Eng.
Marmara Univ. İst.,
TURKEY
fbaba@marmara.edu.tr

Dr. Amit CHAUDHRY

Dep. of Microelectronics
Panjab Univ,
Chandigarh, India
amit_chaudhry01@yahoo.com

Assoc. Prof. Dr. Nazmi EKREN

Dep. of Elect. & Elcn. Eng.
Marmara Univ.
İstanbul, TURKEY
nekren@marmara.edu.tr

Prof. Dr. Mustafa YAZICI

Dep. of Physics Education.
KSU Univ.
K.Maras. TURKEY
yazici@ksu.edu.tr

Prof. Dr. Selim AY

Dep. Of Elect. Eng.
YTU Univ.
İstanbul. TURKEY
selimay@yildiz.edu.tr

Prof. Dr. Musa GÖĞEBAKAN

Dep. of Physics
KSU Univ.
K.Maraş, TURKEY
gogebakan@ksu.edu.tr

Prof. Dr. Murat PALA

Dep. of Civil Eng.
Adıyaman Univ.
Adıyaman. TURKEY
pala@adiyaman.edu.tr

Prof. Dr. İ.Taner OKUMUŞ

Dep. of Computer Eng
KSU Univ.
K.Maraş. TURKEY
iokumus@ksu.edu.tr



Düzeltilme Yazısı / Erratum

CEYHAN, A., SEVİNÇ, A. H., & URAS Y., (2022). İKİ FARKLI POMZA AGREGASI İÇEREN CAM TOZU KATKILI BETONLARIN FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 25(3), 472-479.
DOI:<https://doi.org/10.17780/ksujes.1141965>.

KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi'nin 2022 yılı, 23. Cilt 3. Sayısında yer alan CEYHAN, A., SEVİNÇ, A. H., & URAS Y., (2022). İKİ FARKLI POMZA AGREGASI İÇEREN CAM TOZU KATKILI BETONLARIN FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 25(3), 472-479. DOI:<https://doi.org/10.17780/ksujes.1141965> referanslı makalenin kaynak gösterme bölümünde yer alan yıl bilgisinde sehven yazım hatası tespit edilmiş olup düzeltilmiş şekli aşağıda sunulmuştur.

- ToCite kısmında "CEYHAN, A., SEVİNÇ, A. H., & URAS Y., (202x). İKİ FARKLI POMZA AGREGASI İÇEREN CAM TOZU KATKILI BETONLARIN FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 25(3), 472-479." şeklinde yer alan metinde "**(202x)**" ifadesi "**(2022)**" olarak düzeltilmiştir.



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



BU SAYIYA (CİLT 25 SAYI 4) KATKI VEREN HAKEMLER

Nusret BOZKURT	Rıza POLAT
Serkan SUBAŞI	Ahmet Şahin ZAIMOĞLU
Selim ALTUN	Suat AKBULUT
Ayhan DURAN	Esra TUNCER
Türkey KOTAN	İbrahim TÜRKMEN
İsmail YILDIZ	Feza GEYİKÇİ
Yağmur UYSAL	Fatma Elçin ERKURT
Zeynep ZAIMOĞLU	Ali ÖZTÜRK
Ulaş KILIÇ	Mehmet Kenan DÖŞOĞLU
Anıl NİŞ	Süleyman ÖZEN
Buğra SARPER	Onur ÖZSOLAK
Sait Dünder SOFUOĞLU	Saadettin ONAT
Davut ERTEKİN	Mücahid GÜNAY
Özer OĞUZ	Levent UĞUR
Engin NAS	Arif GÖK
Mehmet ORHAN	Fatma Nur PARIN
Nehir TOKGÖZ	Mehmet BİLGİLİ
Şaban ÜNAL	Muharrem KARABÖRK
Süleyman KERLİ	Müslüm Murat MARAŞ
Esmâ Gizem AYDIN	Muhammet KÖSE
Handan ÖZLÜ TORUN	Fethullah GÖÇER
Murat OTURAKÇI	Celil DURDAĞ
Elifcan GÖÇMEN	Nurullah DEMİR
Seydi YIKILMIŞ	Hatice KARA
Mehmet Ali ERTÜRK	Mustafa ÇEŞME
İdris YAZGAN	Sami ŞİT
Ökkeş Fatih KEÇECİOĞLU	Ege KİPMAN
Yurdagül MERAL	Yavuz CANBAY

Onur KARDEŐ
Babak KARIMI GHALEHJOUGH

Zeynep NeŐe KURT ALBAYRAK
Harun AKOĐUZ



İÇİNDEKİLER

ARAŞTIRMA MAKALESİ – RESEARCH ARTICLE

Elbistan Bölgesinden Çıkarılan Agregaların Mühendislik Özellikleri Ve Beton Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması

Investigation of the Engineering Properties of Aggregate Obtained in Elbistan Region And Usability in Concrete Production 503-515

Ela AVŞAROĞLU, Mustafa EKEN, Emre ESER

Mikrogrid Donatılı Zeminde Ring Temel Taşıma Kapasitesinin Deneysel Olarak İncelenmesi

Experimental Investigation Of The Ring Footing Bearing Capacity Rested On Microgrid Reinforced Soil 516-527

Mehmet Şerif KAHRAMAN, Ömer YEŞİLTEPE, Yakup TÜREDİ, Murat ÖRNEK

Sadeyağın Farklı Bitkisel Yağlarla Kimyasal İnteresterifikasyonu

Chemical Interesterification of Ghee With Different Vegetable Oils 528-536

Ayşe Burcu AKTAŞ, Büşra Nur OKÇU, Deniz YAMAN, Bilge Başak BAYRAM

Kâgir Blok Üretiminde Farklı Orijinli İki Pomzanın Performansları Üzerine Karşılaştırmalı Bir Analiz: Tomarza Ve Tatvan Örneği

A Comparative Analysis on the Performances of Different Originated Two Pumice in Production of Masonry Blocks: Tomarza and Tatvan Sample 537-555

Lütfullah GÜNDÜZ, Şevket Onur KALKAN

Investigation of the Use of Walnut Shells as a Natural Biosorbent for Zinc Removal

Ceviz Kabuğunun Doğal Biyosorbent Olarak Çinko Gideriminde Kullanılmasının Araştırılması 556-564

Sevda Esmâ DARAMA, Başak MESCİ OKTAY, Semra ÇORUH

Investigation of Biofilm Formation on Kaldnes K1

Kaldnes K1 Üzerinde Biyofilm Oluşumunun İncelenmesi 565-569

Melike KOZAK, Serdar GÖÇER, Ahmet DUYAR, İrem AYRANPINAR, Emre Oğuz KÖROĞLU, Kevser CIRIK

Application of Titanium Dioxide(TiO₂) Nanoparticle Materials on Domestic Wastewater: Removal of Pollutants

Titanyum Dioksit(TiO₂) Nanopartikül Maddelerin Eysel Atıksular Üzerine Uygulanması: Kirleticilerin Giderimi 570-576

Serdar GÖÇER, Melike KOZAK, İrem AYRANPINAR, Ahmet DUYAR, Emre Oğuz KÖROĞLU, Kevser CIRIK

Zayıf Ac Sistemlere Bağlı VSC-HVDC'nin Vektörel Kontrolü Vectorial Control Of VSC-HVDC Connected To Weak Ac Systems Kadir ABACI, Volkan YAMAÇLI, Aykan BÖLÜKBAŞI	577-590
Alçı Esaslı Karışımlarda Mikronize Cam Küreciklerinin Değerlendirilmesi Evaluation Of Glass Microspheres in Gypsum-Based Mixtures Orkun DEVREK, Ahmet Hayrullah SEVİNÇ, Muhammed Yasin DURGUN, Yusuf URAS	591-601
İşlevsel Derecelendirilmiş Dairesel Bir Kanatçığın Termoelastik Davranışının Sayısal İncelenmesi Numerical Investigation of Thermoelastic Behavior Of A Functionally Graded Annular Fin Ali YILDIRIM, Mehmet EKER, Durmuş YARIMPABUÇ, Volkan ARIKAN, Kerimcan ÇELEBİ	602-614
CNC Makinesi İle İşlenmiş Lif Levhaların Yüzey Pürüzlülüğü Ve İşlem Süresi Üzerine İşleme Parametrelerinin Etkileri Effects Of Machining Parameters On The Processing Time And Surface Roughness Of Fiberboards Formed By CNC Machine Fevzi DUMANOĞLU, Bekir Cihad BAL	615-621
Evaluation of Performance of Classification Algorithms in Prediction of Heart Failure Disease Kalp Yetmezliği Hastalığının Tahmin Edilmesinde Sınıflandırıcı Algoritmalarının Performanslarının Değerlendirilmesi Cevdet COŞKUN, Fatma KUNCAN	622-632
Serbest Formlu İnce Cidarlı AA 5083-H111 Alaşımının Frezelenmesinde Kesme Parametrelerinin Form Hatasına Etkisini Üç Boyutlu Koordinat Ölçme Ve Lazer Tarama İle Karşılaştırılması Comparison With Three-Dimensional Coordinate Measuring and Laser Scanning of Effect of Form Error of Cutting Parameters in Milling Freeform Thin-Walled AA 5083-H111 Alloy Uğurcan ÇELİK, Barış ÖZLÜ, Halil DEMİR	633-642
Electroconductive Polyamide Yarns With Green Synthesized Silver Nanoparticles Gümüş Nanopartikülün Green Sentezi İle Etletoiletken Poliamid İplikler Şeyma Kanara, Neslihan Okyay, Fatih Işık, Suat Cetiner	643-654
İki Buharlaştırıcı Karbondioksit (CO ₂) - Amonyak (NH ₃) Kaskad Soğutma Sisteminin Termodinamik Analizi Ve Optimum Tasarım Parametrelerinin Belirlenmesi Thermodynamic Analysis of Two-Evaporator Carbon Dioxide (CO ₂) – Ammonia (NH ₃) Cascade Cooling System and Determination of Optimum Design Parameters Muhammet Nasif KURU, Mehmet Tahir ERDİNÇ	655-669
Çinko Hidroksit Sülfat (Zn ₄ (OH) ₆ SO ₄)'In Üç Farklı Bazik Ortamda Sentezi, Karakterizasyonu Ve Termal Bozunması Synthesis, Characterization and Thermal Decomposition of Zinc Hydroxide Sulfate (Zn ₄ (OH) ₆ SO ₄) in Three Different Basic Environments Abdulkadir ÖZER	670-680
Farklı Tane Boyutuna Sahip Öğütülmüş Atık Mısır Koçanının Alçı Esaslı Kompozitlerde Değerlendirilmesi Evaluation of Ground Corn Cob With Various Grain Sizes in Gypsum-Based Composites Mert Sinan TÜRK, Ahmet Hayrullah SEVİNÇ, Muhammed Yasin DURGUN, Yusuf URAS	681-690

- Termogravimetrik Analiz İle Farklı Kömürlerin Yanma Prosesinin İncelenmesi**
Investigation of Combustion Processes of Different Coals By TGA Analysis 691-701
Jale NAKTİYOK, Abdulkadir ÖZER
- Dematel Tabanlı Topsis Yöntemi Ve Küme Kapsama Modeli İle Afet Lojistiği İçin Depo Yeri Seçimi: Ege Bölgesi Örneği**
Warehouse Location Selection For Disaster Logistics With Dematel Based Topsis Method And Set Covering Model: A Case Study of Aegean Region 702-713
Onur DERSE
- Karabuğday (Fagopyrum Esculentum) Unu İle Zenginleştirilmiş Dut Pestillerinin Bazı Fiziko-Kimyasal, Renk, Biyoaktif Ve Duyusal Özelliklerinin Araştırılması**
The Investigation of Certain Physico-Chemical, Color, Bioactive And Sensory Properties of Mulberry Pestils Enriched With Buckwheat (Fagopyrum Esculentum) Flour 714-723
Okan LEVENT, Ferhat YÜKSEL
- Dadağlı (Kahramanmaraş) Bölgesinde Karbonatlı Kayaçlar İle İlişkili Epijenetik Pb Cevherleşmesinin Alterasyon Jeokimyası**
Alteration Geochemistry of Carbonate Hosted Epigenetic Pb Mineralization in Dadağlı (Kahramanmaraş) District 724-732
Yusuf URAS, Cihan YALÇIN
- Deniz Suyunun Pervaporasyon İle Desalinasyonu İçin ZIF-8 Yüklü PVA Hibrit Membranların Geliştirilmesi**
Development Of ZIF-8 Loaded PVA Hybrid Membranes for The Desalination of Seawater by Pervaporation 733-745
Zeynep SIĞIN, Gözdenur GÜVENÇ, Nagihan ÇAKMAKÇI, Derya ÜNLÜ
- Meteorolojik Veriler Kullanılarak Güneş Işınım Tahmininde Yapay Sinir Ağları Parametrelerinin Değerlendirilmesi**
Evaluation of Artificial Neural Network Parameters in Solar Radiation Prediction Using Meteorological Data 746-759
Erşan Ömer YÜZER, Altuğ BOZKURT
- An Intelligent System For Document-Based Banking Processes**
Belge Tabanlı Bankacılık Süreçleri İçin Akıllı Sistem Tasarımı 760-773
Ozge DOGUC
- DERLEME MAKALESİ – REVIEW ARTICLE***
- Geoteknik Uygulamalarda Geopolimerlerin Kullanılabilirliğinin İncelenmesi: Literatür Çalışması**
Investigation Of The Usability Of Geopolymers In Geotechnical Applications: A Review 774-789
Muhammet ÇINAR, Büşra ERBAŞI



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 03.03.2022
Kabul Tarihi : 08.09.2022

Received Date : 03.03.2022
Accepted Date : 08.09.2022

ELBİSTAN BÖLGESİNDEN ELDE EDİLEN AGREGALARIN MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİ VE BETON ÜRETİMİNDE KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

INVESTIGATION OF THE ENGINEERING PROPERTIES OF AGGREGATE OBTAINED IN ELBİSTAN REGION AND USABILITY IN CONCRETE PRODUCTION

Ela Bahşude GÖRÜR AVŞAROĞLU^{1*} (ORCID: 0000-0001-9373-1192)
*Mustafa EKEN*² (ORCID: 0000-0002-7559-876X)
Emre ESER,³(ORCID: 0000-0001-6944-7765)

¹ Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, İnşaat Bölümü Kahramanmaraş, Türkiye

² İstiklal Üniversitesi, Elbistan Meslek Yüksek Okulu, İnşaat Bölümü, Elbistan, Kahramanmaraş, Türkiye

³ Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği A. B. D., Kahramanmaraş, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Ela Bahşude GÖRÜR AVŞAROĞLU, ela_gorur@hotmail.com

ÖZET

Beton tüm dünyada yaygın olarak kullanılan kompozit bir yapı malzemesi olarak adlandırılmaktadır. Betonun hacimsel olarak % 75 gibi yüksek bir oranını temsil eden malzeme ise agregalardır. Agregalar betonun kimyasal, fiziksel ve mekanik özelliklerini direkt olarak etkileyen malzemelerdir. Bu çalışmada Elbistan bölgesinde mevcut bulunan 3 farklı agrega ocağından elde edilen agregaların beton üretiminde kullanılabilirliği incelenmiştir. Agregalar üzerinde birim hacim ağırlığı, özgül ağırlık deneyi, su emme oranları, metilen mavisi deneyi, organik madde oranı tayini, parçalanma miktarının tayini, elek analizi ve donma çözülme etkisine karşı dayanımları deneysel olarak uygulanmıştır. Ayrıca agregaların beton üretiminde kullanılabilirliğini belirlemek amacıyla 350 kg/dm³ çimento dozajında beton numuneler üretilmiştir. Üretilen beton numunelerin 7, 28 ve 90 gün sonunda beton deneyleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen veriler agrega ocaklarında çıkarılan agregaların TS 706 EN 12620+A1 (2009) standartı içerisinde kabul edilebilir sınır şartları sağladığı ve bu agregaların beton üretiminde kullanılabilirliğini ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: Agregalar, mühendislik özellikleri, beton üretimi, Elbistan

ABSTRACT

Concrete is called a composite building material that is widely used all over the world. Aggregates are the material that represents a high proportion of concrete as 75% by volume. Aggregates are materials that directly affect the chemical, physical and mechanical properties of concrete. In this study, the usability of aggregates obtained from 3 different aggregate quarries in Elbistan region in concrete production was investigated. Unit volume weight, specific gravity test, water absorption rates, methylene blue test, determination of organic matter ratio, determination of the amount of disintegration, sieve analysis and resistance to freeze-thaw effect were applied on the aggregates experimentally. In addition, concrete samples were produced at a cement dosage of 350 kg/dm³ in order to determine the usability of aggregates in concrete production. Concrete tests were carried out at the end of 7, 28 and 90 days of the produced concrete samples. The data obtained as a result of the study revealed that the aggregates extracted from the aggregate quarries provide acceptable boundary conditions within the TS 706 EN 12620+A1 (2009) standard and that these aggregates can be used in concrete production.

Keywords: Aggregate, engineering properties, concrete production, Elbistan

ToCite: GÖRÜR AVŞAROĞLU, E.B., & EKEN, M., & ESER, E., (2022). ELBİSTAN BÖLGESİNDE ELDE EDİLEN AGREGALARIN MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİ ve BETON ÜRETİMİNDE KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 25(4), 503-515.

GİRİŞ

Hızlı nüfus artışı, sürekli gelişen sanayi, ulaşım yapıları gibi alanlardaki ihtiyaçları karşılamak için inşaat sektöründeki gereksinimler her geçen gün artmaktadır. Bu ihtiyaçların karşılanmasında beton en önemli yapı malzemesi grubundadır. Betonun oluşturan malzeme grupları içerisinde %75'lik pay ile en büyük orana sahip agregalar stratejik öneme sahip malzeme olarak tanımlanmaktadır (Şengül, Taşdemir, Kuruç, & Yüceer 2003). Beton agregaları çimento, su ve katkı maddeleri ile bir araya getirilen betonun iskeletini oluşturan yapı malzemeleridir. Sertleşmiş betonun hacim olarak %60-70'ini agregaya, geri kalan %30'luk oranı ise çimento ve hava oluşturmaktadır. Agregaları bir arada tutan ve bağlayıcı olarak kullanılan malzeme ise çimentodur. Çimento hamuruna agreganın dolgu maddesi olarak eklenmesi betonun ekonomik hale getirmede en önemli faktördür. Ayrıca agreganın çimentoya göre daha kolay elde edilmesi, ucuz olması, aşınmaya karşı daha dayanıklı olması, kimyasal etkilere karşı dayanıklı olması vb. özelliklere sahip olması agreganın beton üretiminde ne kadar önemli olduğu bir kez daha göstermektedir (Güner & Sümme., 2001). Agregaların sahip olduğu bazı özellikler betonun işlenebilirlik oranını, dayanımını ve dayanıklılığını etkilemektedir. Özellikle belirlenen kalitede beton elde etmek için, üretimde kullanılması planlanan agregaların fiziksel, mekanik ve kimyasal özelliklerinin analiz edilmesi gerekmektedir.

Dünya genelinde beton tüketim miktarının 2012 verilerine göre 10 milyar metreküp miktarını aştığı bilinmektedir (Miller, Horvath, & Monteiro, 2016). Bu tüketim miktarı giderek artmakta ve 2050 yılı için 18 milyar ton tahmini verilerine ulaşılacağı ifade edilmektedir (Aprianti, 2017). Agregaların beton üretiminde ekonomik olması ve yüksek dayanıma sahip olması ile en çok kullanılan malzeme durumunda bulunması beton üretimi için tedarik sorunu oluşturacağı düşünülmektedir. Bu sebepten dolayı farklı türdeki ve kaynaktaki agregaların beton üretiminde kullanımının araştırılması elzemdir. Bu amaçla farklı agregaların beton üretiminde kullanımının araştırılması ile ilgili çeşitli çalışmalar mevcuttur. Agregalar elde edilmiş şekillerine göre üç gruba ayrılmaktadır. Bu agregalar; doğal, yapay ve geri kazanılmış agregalar olarak adlandırılmaktadır. Nehir, deniz, çöl, dere ve taş ocaklarından elde edilen agregalar doğrudan agregaya, yüksek fırın cürufu gibi sanayi yan ürünü olarak elde edilen agregalar doğrudan agregaya, daha önce herhangi bir yapı grubunda kullanılmış olup bazı işlemlerden geçerek yeniden kullanılan agregalar doğrudan agregaya olarak adlandırılmaktadır (Özkul, Taşdemir, Tokyay, & Uyan, 1999). Doğal agregaların zamanla azalması, doğal çevrenin bozulma sürecine girmesi, agregaların talebinin artması ile yükselen beton maliyetleri geri kazanılmış agregaların değerlendirilmesinin önemini ortaya çıkarmaktadır (Durmuş, Şimşek, & Dayı, 2008). Literatürde geri kazanılmış agregalar ile ilgili farklı çalışmalar mevcuttur. Bir çalışmada traverten atıklarının beton agregası olarak kullanılabilirliği ve bu atıklar ile beton üretiminin gerçekleşmesi amaçlanmıştır. Üretilen beton numuneleri üzerinde mekanik ve geçirimsizlik deneyleri uygulanmıştır. Çalışma sonucunda traverten atıklarının beton üretiminde kullanılabilirliği ifade edilmiştir (Kızıltepe & Şahin, 2021). Farklı bir çalışmada ise, geri dönüştürülmüş beton ve tuğla agregalarının beton üretiminde kullanılması araştırılmıştır. Bu agregalar ile üretilen beton numuneleri üzerinde fiziksel ve mekanik deneyler uygulanmıştır. Sonuç olarak, bu iki atık malzemenin beton üretiminde agregalar olarak kullanılacağı belirtilmiştir (Aydın, Çelik, & Güneş, 2021). Yapılan farklı bir çalışmada ise, Kahramanmaraş ve çevresindeki kireçtaşlarının mühendislik özellikleri ve agregalar olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. K. Maraş ve çevresinde 5 farklı kireçtaşı seçilmiş ve bu kireçtaşlarının petrografik özellikleri, fiziksel ve mekanik özellikleri araştırılmıştır. Çalışma sonucunda, elde edilen veriler kireçtaşlarının beton agregası olarak kullanılabilmesini ortaya çıkarmıştır (Özbek, 2016). Bir başka çalışmada araştırmacılar belirledikleri karışım oranlarına göre farklı türdeki agregaların beton üretiminde kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Ürettikleri beton numunelerin basınç dayanım değerlerine göre değerlendirdiklerinde kireçtaşı ve diyabaz agregaları ile ürettikleri beton numunelerinin, granit ve dere agregası ile ürettikleri beton numunelerinden daha yüksek basınç dayanım değerine ulaştıklarını ifade etmişlerdir (Aitcin & Mehta, 1990). Araştırmacılar tarafından kalker ve metagabro agregaları kullanılarak yüksek dayanımlı beton üretimi amaçlanmıştır. Çalışma neticesinde hem metagabro hem de kalker tipi agregalar ile normal agregalara kıyasla yüksek dayanımlı beton üretiminin gerçekleştirilebileceği ek olarak da kalker tipi agregalar ile üretilen beton numunelerinin basınç dayanımları % 15'e yakın daha yüksek basınç dayanım değeri elde edilebileceğini ifade etmişlerdir (Atabey, Çelikten, & Yurt, 2020). Farklı bir çalışmada, Isparta ili sınırları içerisinde bulunan Atabey, Gümüşgün, Güneykent, Kılıç ve Merkez bölgelerinden temin edilen beş farklı agregadan çıkarılan agregaların beton üretiminde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Araştırmacılar agregalara ait fiziksel ve mekanik özellikler sonrasında belirledikleri karışım oranları ile beton numuneleri üretmişlerdir. Elde edilen deneysel veriler ile Atabey bölgesinden temin edilen agregalar ile üretilen beton numunelerinin en yüksek basınç dayanım değerine ulaştığı ve beton üretiminde kullanılması için gerekli özellikleri taşıdığını ifade etmişlerdir (Çomak, Kadayıfçı, & Morova, 2010). Bir diğer çalışmada, Adıyaman bölgesinden dört farklı ocaktan temin edilen agregalar ile beton üretimi gerçekleştirilmiş ve üretilen beton örneklerinin tahribatlı/tahribatsız yöntemlerle uygunlukları belirlenmiştir. Çalışma sonucunda dört farklı ocaktan alınan agregalar ile standartlara uygun beton üretiminin gerçekleştirildiği ve beton

üretiminde kullanılacağı belirtilmiştir (Güçlüer, Günaydın, Tekin, & Şahan, 2017). Farklı bir çalışmada, Elâzığ ili Maden ilçesinde bulunan doğal bazalt kayalarının agrega olarak kullanılabilmesi ve beton üretiminde değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bazalt agregaları ile üretilen beton örneklerinin ısı iletkenlik değerleri, mekanik özellikleri ve mikroorganizmalara karşı davranışları incelenmiştir. Çalışma neticesinde bazalt agregası ile üretilen beton numunelerinin normal mukavemete sahip olduğu, *Clastridium* bakterilerine karşı dirençli olduğu ve yalıtım özelliği taşıdığı ifade edilmiştir (Orhan, Ak, Erensoy, & Çek, 2020). Bir farklı çalışmada Afyonkarahisar ili Emirdağ-Adaçal bölgesinden temin edilen kireçtaşlarının fiziksel, mekanik ve petrografik özellikleri incelenerek beton agregaları standardına uygunluğu araştırılmıştır. Çalışma neticesinde elde edilen deneysel veriler bu bölgeden temin edilen kireçtaşlarının beton üretiminde agrega olarak kullanılabilmesi kanısına varmıştır (Yılmaz, Koltka, & Sabah, 2011). Yapılan farklı çalışmada bir grup bilim adamı Kahramanmaraş doğal agregalarının mühendislik özelliklerini incelemiştir. Deneysel veriler neticesinde agregaların düzenli granülometriye sahip olduğu ve donma-çözülme direncine karşı dayanıklı olduğunu belirtmişlerdir (Temiz, Binici, Bodur, & Kara, 2006). Bu çalışmada araştırmacılar Kütahya ili Ilıca bölgesine ait olan bazaltlardan üretilen kırmataş agregalarının beton agregası standardına uygunluğu incelemiştir. Elde edilen agregaların petrografik, mineralojik, kimyasal, fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemiştir. Deneysel verilerden elde edilen rapor doğrultusunda bu bölgeden temin edilen agregaların standartlara uygun olduğu ve beton üretiminde agrega olarak kullanılabilirliği tespitinde bulunmuşlardır (Çelik & Şahbaz, 2016).

TS 706 EN 12620+A1(2009) standardına göre ise betonda kullanılan agrega türü üçe ayrılmaktadır. Bunlar ince, iri ve tüvenan agrega olarak adlandırılmaktadır. İnce agrega; doğal, kırma kum ya da bu iki malzemenin karışımından meydana gelen 4 mm'lik elekten geçebilen malzeme grubuna, iri agrega; çakıl, kırmataş ya da bu iki malzeme karışımından meydana gelen 4 mm'lik elek üstünde kalan malzeme grubuna ve tüvenan agrega ise; agrega ocaklarında eleme işlemine tabi tutulmuş ya da tutulmamış ince ve iri agrega karışımına denilmektedir (Caymaz, 2009). Agregaya temini, genellikle akarsu, dere ve taş ocaklarından yapılmaktadır. Özellikle son yıllarda çevre kanunlarının yürürlüğe girmesi ile akarsu yataklarından agrega temini azalma eğilimi göstermektedir. Bu nedenle taş ocaklarından agrega temini büyük önem teşkil etmektedir.

Standartlara uygun beton üretimi için uygun agrega kullanımı kaçınılmaz bir gerekliliktir. Agregaların sertliği, özgül ağırlığı, dayanımı, beton kalitesinin etkilemektedir (Yılmaz & Arıoğlu, 2006). İlgili standartlarda belirtilen özelliklere göre beton üretiminde kullanılan agregalar; basınç dayanımı yüksek, aşınmaya karşı dirençli, boşluk içermeyen, sert, çimento ile reaksiyon göstermeyen, donatıda korozyon riski taşımayan, içerisinde yabancı madde miktarı taşımayan özellikte olmalıdırlar (Mehta & Monteiro, 2006; Erdoğan, 2003). Beton agregalarının özellikleri TS 706 EN 12620+A1 (2009) standardında belirlenmiştir.

Bu çalışmada Elbistan bölgesinde bulunan ocaklardan elde edilen agregaların mühendislik özellikleri ile bu agregalardan oluşturulan betonların basınç dayanımları test edilerek beton teknolojisinde kullanılabilirlikleri ile ilgili standartlarda verilen değerler karşılaştırılmıştır.

MATERYAL VE METOD

Materyal

Bu çalışmada, bağlayıcı malzeme olarak TS EN 197- 1 (2012) standardına uygun CEM I 42,5 R tipi çimento kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan çimentoya ait fiziksel ve kimyasal özellikler Tablo 1 ve 2'de verilmiştir.

Tablo 1. Çimentonun Kimyasal Bileşimi

Oksit	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Diğer
Oran (%)	18,97	3,85	4,28	63,80	3,45	2,52	0,32	2,81

Tablo 2. Çimentonun Fiziksel Özellikleri

Fiziksel Özellikler		Sonuçlar
Özgül ağırlık	g/cm ³	3,09
Priz süresi	Priz başlangıcı (dk.)	125
	Priz bitişi (dk.)	190
İncelik	cm ² /g	3420
K. kaybı	%	2,81

Metod

Çalışmada kullanılan agrega numuneleri Elbistan bölgesinde bulunan üç farklı taş ocağından temin edilmiştir. Agrega numuneleri ocaklardan TS EN 932-1(1997)' de verilen yöntemle uygun bir şekilde temin edilmiş, TS EN 932-2 (1999)'e uygun çeyrekleme yöntemiyle eksiltilmiş ve yaklaşık 50 kg örnek üzerinde agrega deneyleri yapılmıştır. Ocak 1, Ocak 2 ve Ocak 3 ten alınan numuneler İstiklal Üniversitesi Elbistan MYO İnşaat Bölüm laboratuvarına getirilmiştir.

Deneysel Çalışma

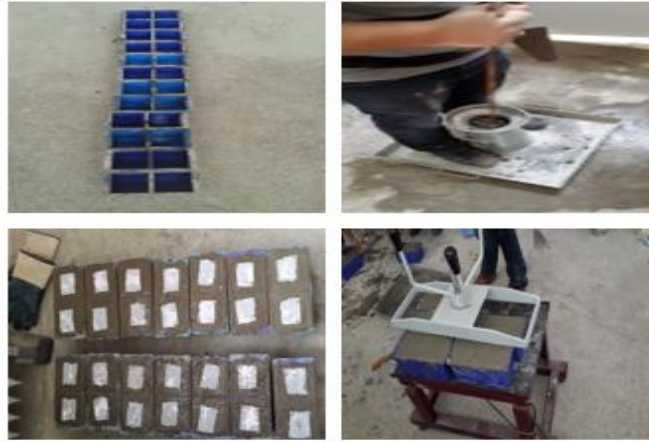
Bu numuneler üzerinde; Elek analizi; agrega yığınları içerisinde bulunan tanelerin dizilişlerini TS EN 933-1(2012), standardına uygun olarak belirlemek amacıyla yapılır. Tane şekli sınıfı; Agregaların sahip oldukları tane şekli ile ilgilidir ve betonların işlenebilirlik özelliklerini etkileyen önemli bir parametredir. Agrega tane şekli TS EN 933-3 (2009) standardına uygun olarak yapılmıştır. Sıkışık birim ağırlık ve gevşek birim ağırlık; Agregaların sıkışık ve gevşek birim ağırlık olarak kaplayacağı hacimsel alanı saptamak için TS EN 1097-3(1999) standardına uygun olarak saptamak için yapılmaktadır. Özgül ağırlık; Agregaların hacimsel olarak hesaplandığı ağırlığıdır. Bu deney yöntemi ile çalışmada kullanılacak agregaların kökeni ve beton karışım hesabında kullanılma oranı tayin edilir. Deney TS EN 1097-6(2013)'ya uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Su emme oranı; Agregaların su emme miktarı TS EN 1097-6 (2013) standardına uygun olarak belirlenmesiyle beton karışımında kullanılacak su miktarı oranı tayin edilir. Agreganın su emme miktarının belirlenmesi Su/Çimento oranını doğrudan etkiler ve betonun slump değerinin belirlenmesinde önemli bir pay sahibidir. Hafif madde tayini; agrega taneleri içerisinde kendisinden daha düşük yoğunlukta olan maddelerin TS 3528 (2017) standardına uygun olarak belirlenme yöntemidir. Agrega içerisinde hafif madde oranının fazla miktarda bulunmaması betonun dayanım ve dayanıklılık özellikleri açısından önemlidir. Organik madde tayini; bu deney yöntemi ile agrega içerisinde zararlı olarak kabul edilebilecek madde oranının tayini TS EN 1744-1+A1(2013) standardına uygun olarak yapılmaktadır. Hazırlanan çözelti ile yapılan renklendirme agrega içerisinde bulunan organik madde hakkında bilgi vermektedir. Parçalanma tayini; agregaların dinamik darbe yöntemi ile parçalanma direnç tayini TS EN 1097-2(2020), standardına uygun olarak belirlenme yöntemidir. Parçalanma direncine karşı gösterilen direnç agregaların sert, dayanıklı olduğunu göstermekte ve bu agregalarla üretilen betonların da mekanik özelliklerinin iyileşmesinde katkı sağladığı bilinmektedir. Dona dayanıklılık; agregaların dona karşı dayanıklılık deneyi TS EN 1367-2(2010) standardı baz alınarak uygulanmıştır. Soğuk iklim bölgelerinde kullanılacak betonlar için üretimde kullanılacak agregaların dona karşı dayanıklı olması istenmektedir. İnce madde tayini; TS EN 933-10(2010) standardında verilen bilgilere göre 0,063 mm'den küçük olan malzemelere ince madde denilmektedir. Bu maddelerin çok fazla olması istenmemektedir. Aksi takdirde ince madde oranı yüksek agregalarla üretilen betonların dayanım ve dayanıklılık özellikleri düşük çıkmaktadır. Bu çalışmada yapılan deneyler standartlara uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada Elbistan bölgesinde çıkarılan (Şekil 1) ve 3 farklı ocaktan çıkarılan agregalar ile üretilen beton numuneler TS EN 12390-2 (2019)'da verilen talimatlara uygun olarak hazırlanmıştır. Beton tasarımı TS 802 (2016) standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Beton karışımına katılacak tüm malzemeler hassas terazi ile tartılarak karışıma hazır hale getirilmiştir. Agregalar belirlenen granülometri eğrilerine göre boyutlara ayrılmış biçimde eklenmiştir. Uygun granülometri özellikle betonun boşluk oranı, geçirimsizliği ve ekonomik olması ile yakından ilgilidir. Agrega granülometrisin de ince agrega ya da iri agreganın fazla oranda kullanılması betonun boşluk miktarını dolayısıyla da geçirimsizliği artırır ve çimento miktarının fazla kullanılması sonucu ile ekonomik beton üretimi gerçekleşmez. Çalışmada çimento dozajı 350 kg/m³ olarak belirlenmiştir. Ayrıca hapsolmuş hava miktarı oranı da TS 802 (2016) standardına uygun olarak hesaplanmıştır. Üretilen betonlar 10x10x10 cm boyutlarındaki

plastik kaplara konulmuş ve numunelerde boşluk oluşmaması için laboratuvar tipi vibratör ile sıkıştırma yapılmıştır. Laboratuvar şartlarında 24 saat bekletilen numuneler plastik kaplardan çıkarıldıktan sonra ± 23 °C'deki kür havuzunda bekletilmiştir. Her gruba ait numuneler deney gününden önce çıkarılıp laboratuvar şartlarında bekletilmiştir. Taze betonun işlenebilme özelliğinin belirlenebilmesi için slump deneyi yapılmış ve değerler kaydedilmiştir. Farklı ocaklardan alınan agregalarla beton üretim aşamaları Şekil 2'de gösterilmiştir. 1 m³ Beton Karışımı İçin Malzeme Miktarları Tablo 3'te verilmektedir.



Şekil 1. Agrega Temin Edilen Ocaktan Görünüm (Çiçek Mahallesi / Nurhak Yolu Üzeri 3. Km / Kurtluburun Mevkii)



Şekil 2. Farklı Ocaklardan Alınan Agregalarla Beton Üretim Aşamaları

Tablo 3. 1m³ Beton Karışımı İçin Malzeme Miktarları (kg/m³)

Agrega	İnce agregası (0-5mm)	Orta agregası (5-12mm)	İri agregası (12-22mm)	Çimento (kg)	Su (kg)	Hava (%)
Ocak-1	658	615	422	362	185	23
Ocak-2	689	675	329	362	185	23
Ocak-3	748	863	279	362	185	23

Beton numuneler için basınç dayanım deneyleri, üretilen 10x10x10 cm ebatlarında olan 7, 28 ve 90 gün süre ile kür edilen 3' er adet numune üzerinde TS EN 12390-3 (2019) standardına uygun bir şekilde uygulanmıştır. Her bir ocaktan alınan agregası numune grubu için 3 farklı kütleme zamanına ait 9'ar adet küp numuneler üzerinde beton basınç dayanımı deneyi gerçekleştirilmiştir.

BULGULAR ve TARTIŞMA***Agregaların Kimyasal Özellikleri***

Çalışmada Ocak 1, Ocak2 ve Ocak 3'e ait agreg a örneklerin kimyasal bileşimlerini belirlemek amacıyla farklı alanlardan örnekler alınmış ve bu örnekler üzerinde ICP-AES yöntemi ile kimyasal analizler gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucunda elde edilen ana oksitler Tablo 4'te verilmiştir. Tabloda görüldüğü gibi agreg a örnekleri % 64-71 oranlarında CaO içermektedir. SiO₂ miktarı her üç ocakta da %16 civarındadır. MgO miktarı %2 ile %2,2 arasında, Fe₂O₃ oranı %0,1 ile %3 arasında değişim göstermektedir.

Kimyasal özellikleri bakımından ocaklardan alınan agregaların yüksek oranda içerdiği CaO bu agregaların betonda kullanılabilirlik performansını artırmaktadır (Zarif et al., 2003).

Tablo 4. Agregalara Ait Kimyasal Özellikler

Agrega	Ocak-1	Ocak-2	Ocak-3
CaO	64,12	65,46	71,41
MgO	2,13	2,012	2,2
Fe ₂ O ₃	0,16	0,1	0,39
Al ₂ O ₃	0,335	0,2236	1,206
SiO ₂	16,24	16,82	16,19
K ₂ O	4,5	4,7	4,19
Na ₂ O	2,3	2,6	2,8
TiO ₂	0,0182	0,013	0,0184
SO ₃	0,24	0,3	0,18
Klorür (Cl ⁻)	0,002	0,0025	0,0018
BaO	0,09	0,085	0,07
SrO	0,025	0,026	0,021
ZrO ₂	0,017	0,015	0,011
Çözünmeyen Kalıntı	9,8	7,6	1,3

Agregaların Fiziksel Özellikleri

Elbistan yöresinde üç farklı ocaktan temin edilen agreg a numunelerine ait fiziksel özellikleri ile ilgili yapılan deneyler neticesinde ortaya çıkan sonuçlar Tablo 5'te verilmektedir.

Tablo 5. Agregalara Ait Fiziksel Özellikleri ile İlgili Yapılan Deney Sonuçları

Deney Adı		Ocak 1	Ocak 2	Ocak 3	Sınır Değerler	İlgili Standart
Birim Ağırlık(g/cm ³)	Sıkışık	1,78	1,79	1,85	1,5-1,9	TS EN 1097-3 (1999)
	Gevşek	1,59	1,61	1,70		
Görünen Özgül Ağırlık	İnce agreg a	2,66	2,66	2,69	2,4-2,8	TS EN 1097-6 (2013)
	İri agreg a	2,72	2,73	2,76		
DKY Özgül Ağırlık	İnce Agreg a	2,70	2,70	2,74	2,4-2,8	TS EN 1097-6 (2013)
	İri Agreg a	2,76	2,76	2,79		
Su Emme Oranı	İnce agreg a	1,13	1,07	0,96	Max %10	TS EN 1097-6 (2013)
	İri agreg a	0,48	0,68	0,33		
MgSO ₄ ile	16/31.5 mm	3,2	3,1	3	Max % 18	TS EN 1367-2 (2010)
Don Kaybı Oranı	8/16mm	3,8	3,9	3,5		
	4/8mm	4,1	4,3	4		

Los Angeles Parçalanma Kaybı Oranı (%)	100 devir sonunda	7,08	7,10	5,78	Max % 10	TS EN 1097-2 (2020)
	500 devir sonunda	22,65	22,69	21,10	Max % 50	
Tane Şekli Sınıfı Oranı	16/31.5mm	2	8	23	Max % 55	TS EN 933-3 (2012)
	8/16mm	5	29	39		
	4/8mm	4	25	36		
İnce madde oranı		3,5	3,2	3,3	Max % 4,0	TS EN 933-10 (2010)
Hafif madde oranı		0,25	0,33	0,36	Max % 0,5	TS 3528 (2017)
Organik madde durumu		1-2	1-2	1-2	0-1 Çok İyi 1-2 İyi 2-3 Orta 3-4 Fena 4-5 Çok Fena	TS EN 1744-1+A1 (2013)

Çalışmada kullanılan agregaların birim ağırlıkları incelendiğinde; Ocak-1'den alınan numunelerin sıkışık ağırlığı $1,78 \text{ g/cm}^3$, gevşek ağırlığı $1,59 \text{ g/cm}^3$ değerlerde, Ocak-2'den alınan numunelerin sıkışık ağırlığı $1,79 \text{ g/cm}^3$, gevşek ağırlığı $1,61 \text{ g/cm}^3$ değerlerinde, Ocak-3'ten alınan numunelerin sıkışık ağırlığı $1,85 \text{ g/cm}^3$, gevşek ağırlığı $1,70 \text{ g/cm}^3$ değerleri elde edilmiştir. Agregaların gevşek birim ağırlığı agreganın tane şekli ve agrega yoğunluğu ile ilgilidir. Agregada bulunan kusurlu tane miktarının fazla olması boşluk miktarının artmasına ve gevşek birim ağırlığın düşmesine neden olmaktadır. Bu durum betonun boşluklu olmasına dolayısı ile de dayanımının düşmesine sebep olur (Çelik & Şahbaz, 2017). Çalışmada kullanılan agregaların gevşek ve sıkışık birim hacim değerleri TS EN 1097-3(1999) standartlara uygun olduğu ve beton üretiminde kullanılabilirliği ifade edilmiştir.

Agregaların özgül ağırlıkları kayaçların sahip olduğu mineral içerikleri ile alakalıdır. Agreganın kökeninin içeriğinde ağır minerallerin bulunması özgül ağırlığın yüksek olmasının bir göstergesi olarak kabul edilmektedir. Agreganın kalitesinin belirlenmesinde özgül ağırlık belirleyici bir ölçüt değildir. Ancak betonun mekanik özelliklerini belirlemede bağlantılı olduğu bilinmektedir (Usta, 2012). Bu çalışmada kullanılan agregaların özgül ağırlık deney verileri incelendiğinde; TS EN 1097-6(2013) standardına uygun bir şekilde deney gerçekleştirilmiş ve üç farklı ocaktan alınan numunelerin beton üretiminde olması gereken sınır değerlere ($2,4-2,8 \text{ g/cm}^3$) uygun olduğu görülmüştür.

Su emme değerleri agregaların fiziksel özellikleri, basınç dayanımı, donma-çözülme gibi durabilite özelliklerinin belirlenmesinde ve direnç göstermesinde önemli bir etkiye sahiptir (Çelik & Şahbaz, 2017). Ocaklardan alınan agrega numunelerinin su emme değerleri incelendiğinde Ocak-1 ince agrega %1,13 iri agrega %0,48, Ocak-2 ince agrega %1,07 iri agrega %0,68, Ocak-3 ince agrega %0,96 iri agrega %0,33 değerleri elde edilmiştir. Deney verilerinin su emme değerlerinin standartta belirtilen sınır değerlere uygun olduğu görülmektedir. Malzemelerin özgül ağırlığı ile su emme değeri arasında doğrusal-ters bir bağlantı vardır (Gezer, Şişman, & Kurç, 2016). Özgül ağırlığın artması malzemenin boşluk oranının azaldığının gösterir. Malzemenin özgül ağırlığı arttıkça su emme oranı da düşecektir (Aydın, Evcim, & Başpınar, 2014).

Üç ocaktan alınan agrega örneklerinin donma çözünme dayanımlarını belirlemek amacıyla çabuklaştırılmış deney yöntemi olan magnezyum sülfat deneyi TS EN 1367-2(2010)'e göre yapılmış ve 4/8 mm, 8/16 mm ve 16/31.5 mm agregalar üzerinde yapılarak bulunan sonuçların ortalaması alınmış ve bulunan sonuçlar tabloda gösterilmiştir. Ocak-1 16/31,5 mm %3,2, 8/16 mm için %3,8 ve 4/8mm %4,1, Ocak-2 16/31,5 mm %3,1, 8/16 mm için %3,9 ve 4/8mm %4,3, Ocak-3 16/31,5 mm %3, 8/16 mm için %3,5 ve 4/8mm %4 değerleri elde edilmiştir. Elde edilen değerlerin standardına uygun olarak %18'in altında kaldığı belirlenmiştir. Agreganın yapısının az gözenekli olması su emme oranının azalmasına ve bu sebepten dolayı donma çözünme etkisi ile agreganın tahribatının azalmasına neden olmaktadır (Yılmaz vd., 2011). Bu sebeple su emme oranı en düşük olan Ocak 3 agregasının donma çözünme dayanımı daha yüksek çıkmıştır.

Los Angeles deney cihazı ile agregaların parçalanma mukavemetleri saptanmıştır. Ocak-1'den elde edilen agregaların 100 devir sonunda %7,08, 500 devir sonunda %22,65, Ocak-2'den elde edilen agregaların 100 devir sonunda %7,10, 500 devir sonunda %22,69, Ocak-3'den elde edilen agregaların 100 devir sonunda %5,78 500 devir sonunda %21,10 aşınma kaybı değerleri elde edilmiştir. Bu değerler TS EN 1097-2 (2020) standardının öngördüğü 100 devir ve 500 devir için verilen maksimum %10 ve %50 aşınma değerlerinin çok altında kaldığını göstermektedir. Kılıç & Kahraman (2017) yaptıkları çalışmada Los Angeles aşınma direnciyle basınç dayanımı arasında ters ilişki olduğunu göstermişlerdir. Yapılan çalışmada da en yüksek dayanıma sahip olan Ocak 3'te aşınma oranı en düşüktür. Bunun da agreganın kimyasal yapısıyla alakalı olduğunu söyleyebiliriz.

Agrega tanelerinin sahip olduğu şekil üretilen taze betonun işlenebilirlik özelliğini etkilemektedir. Agregalar için yassılık indeksi tane büyüklüğü 4-80 mm arası agregalar için belirlenmesi gereken bir özelliktir. Yassılık indeksi tayini için denet TS EN 933-3(2012)'e göre yapılmış ve deney sonunda bulunan değerleri standartta belirtilen sınır değerlerin altında olduğu görülmüştür. Bu nedenle 3 ocaktan çıkan agrega örneklerinin beton üretiminde kullanımının uygun olduğu belirlenmiştir.

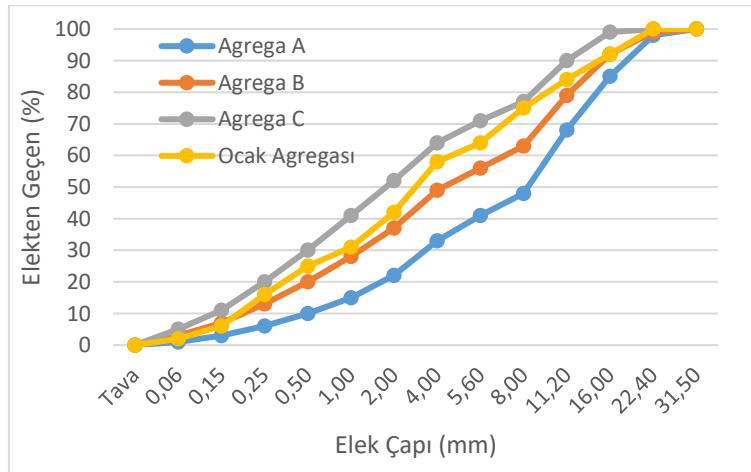
Farklı ocaklardan alınan numunelerde ince madde oranı Ocak-1'de %3,5, Ocak-2'de %3,2 ve Ocak-3'de %3,3 değerleri TS EN 933-10 (2010)'da belirtilen %4 ün altında çıkmıştır.

Ocaklardan alınan örneklerde en yüksek hafif madde %0,36 ile Ocak 3 numunelerinde, en düşük hafif madde ise %0,25 ile Ocak 1'den alınan numunelerde gözlemlenmiştir. Bu değerler TS 3528 (2017) de belirtilen %0,5'ten düşük olduğu için her 3 ocaktan alınan agregaların betonda kullanımında bir sıkıntı bulunmamaktadır.

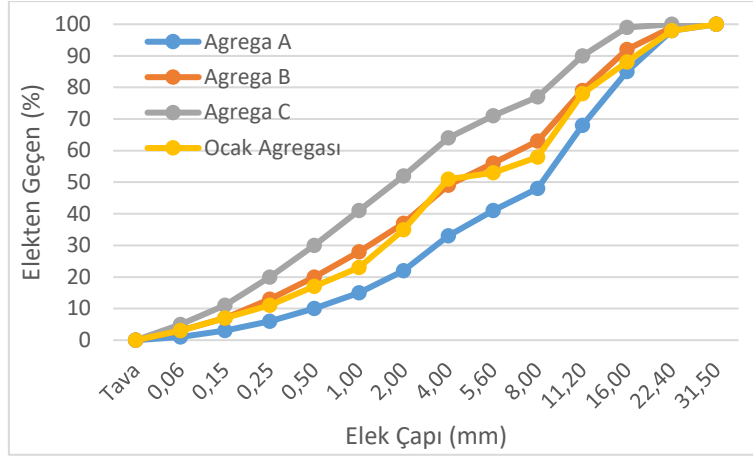
Agrega numunelerinde TS EN 1744-1+A1 (2013)'e göre sodyum hidroksit çözeltisi ile yapılan deneylerde çözelti rengi her 3 numune içinde 1-2 referans renk aralığında (açık sarı) bulunmuştur. Bu sonuç örneklerde zararlı denecek oranda organik madde bulunmadığı ve her türlü beton-betonarme elemanlarda güvenle kullanılabilmesi anlamına gelmektedir.

Agregaların Granülometrik Dağılımı

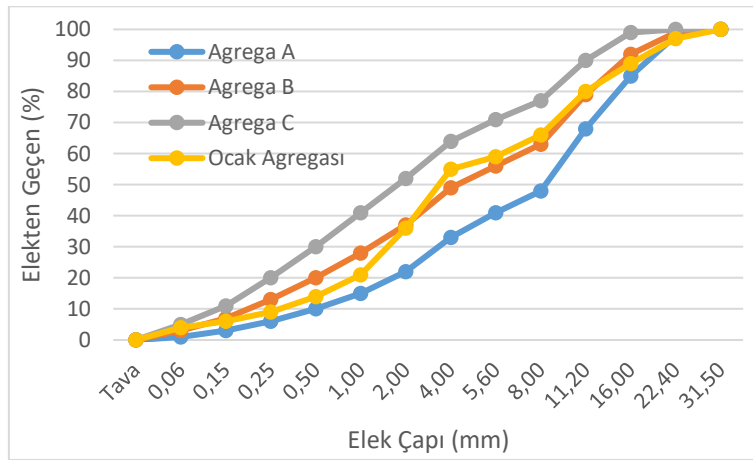
Ocak 1, Ocak 2 ve Ocak 3'ten alınan agrega örneklerine ait granülometri eğrileri Şekil 3, 4 ve 5'te görülmektedir.



Şekil 3. Ocak 1 Agregasına Ait Granülometri Eğrisi



Şekil 4. Ocak 2 Agregasına Ait Granülometri Eğrisi



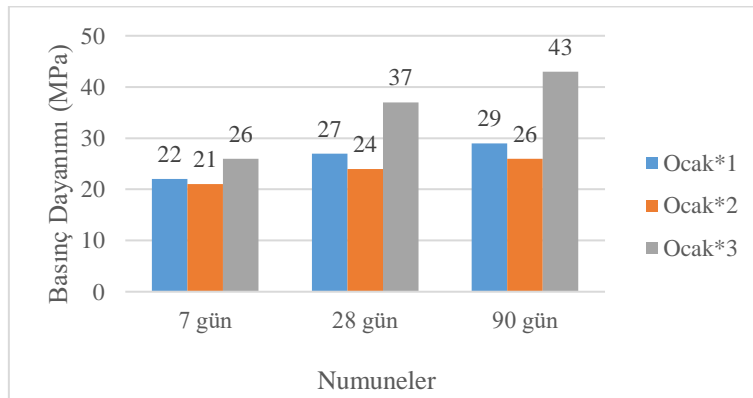
Şekil 5. Ocak 3 Agregasına Ait Granülometri Eğrisi

Şekil 3, 4 ve 5'te görülen eğriler, her ocaktan alınan agrega örneğine ait üç adet analizin ortalama değerleri alınarak elde edilmiştir. Tüm örneklerin dane dağılımlarının referans eğrileri ile sınırlanan uygun alanda ve sürekli olduğu görülmüştür TS 706 EN 12620+A1 (2009).

Tüm bu deney sonuçları dikkate alındığında; Elbistan bölgesinde bulunan üç farklı ocaktan alınan agrega numunelerinin TS 706 EN 12620+A1(2009) standardında belirtilen özelliklere sahip olduğu ve bu ocakta üretilen agregaların beton agregası olarak kullanılabilceği tespit edilmiştir.

Basınç Dayanım Bulguları

Üç farklı ocaktan alınan agrega örnekleriyle üretilen beton örneklerde basınç dayanım değerleri 7, 28, ve 90 günlük standart kür koşullarına maruz kaldıktan sonra tespit edilmiş olup, elde edilen sonuçlar Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. 7, 28 ve 90 Gün Küre Tabi Tutulan Beton Örneklerin Basınç Dayanımı Ölçüm Değerleri

Agregaların sağlam ve ekonomik olmaları beton yapımında kullanılmalarının en önemli amaçlarından birini taşımaktadırlar. Agregaların sahip olduğu özellikler betonun fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesinde önemli bir etki göstermektedir (Arslan & Demir, 2006). Beton basınç dayanımına tabi tutulduğunda çatlak ilerlemesinin agrega-çimento yüzeyindeki bağ çatlaklarından başladığı düşünüldüğünde agrega granülometrisinin, agrega yapısının, agrega özgül ağırlığı vb. özelliklerin basınç dayanımının belirlenmesinde etkilidir (Chen & Lui, 2004). Şekil 6'da verilen beton basınç dayanım değerleri dikkate alındığında standartlarda belirtilen 25 MPa nihai basınç dayanımı ocakların tümünden elde edilen agregalar ile üretilen beton numunelerin sağladığı görülmektedir. Kütleme süresinin beton basınç dayanım değerleri ile doğru orantılı olduğu görülmektedir. Ocak 1'den alınan numunelerin 7 gün sonunda basınç dayanımı 22 MPa, 28 gün sonunda 27 MPa ve 90 gün sonunda ise 29 MPa olarak tespit edilmiştir. Ocak 2'den alınan numunelerin 7 günlük kür sonunda basınç dayanımı 21 MPa, 28 günlük kür sonunda 24 MPa ve 90 günlük kür sonunda 26 MPa olarak tespit edilmiştir. Ocak 3'den alınan numunelerin 7 gün sonunda basınç dayanımı 26 MPa, 28 gün sonunda 37 MPa ve 90 gün sonunda 43 MPa basınç dayanım değeri elde edilmiştir. Elde edilen verilere göre en yüksek basınç dayanım değerine Ocak 3'den alınan agregalarla üretilen beton numunelerinden elde edilmiştir. Bu durumu agreganın sahip olduğu mekanik ve fiziksel özelliklerine bağlamak mümkündür. Ocak 3'ten alınan agreganın özgül ağırlığının yüksek olması, Los Angeles aşınma oranının düşük olması ile açıklanabilir (Kılıç ve Kahraman, 2017). Aynı zamanda CaO içeriğinin yüksek olması basınç dayanım değeri üzerine olumlu etkide bulunmuştur (Zarif, Tuğrul, & Dursun, 2003).

SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada Elbistan bölgesinde beton üretiminde kullanılan üç farklı agrega ocağından alınan agrega numuneleri ile agrega deneyleri yapılmış, agregalara ait mekanik ve fiziksel özellikler tespit edilmiş, üç değişik agrega ocağının agregaları hakkında yorum yapılmıştır. Bu agrega ocaklarından temin edilen agregalar ile laboratuvar ortamında betonlar üretilmiştir. Temin edilen agregalar üzerinde yapılan deney sonuçlarına göre,

- Fiziksel özellikler incelendiğinde,

Her üç ocaktan alınan agrega örneklerinin birim ağırlık değerlerine bakıldığında agregaların sıkışık ve gevşek birim ağırlıklarının standartta verilen değerlerin altında kaldığı görülmektedir.

Ocaklardan alınan agregaların özgül ağırlık değeri incelendiğinde bu değerlerin standartta verilen ($2,4-2,8 \text{ g/cm}^3$) değerine uygun olduğu ve agregaların kaliteli olduğu görülmektedir.

Ocaklardan alınan örneklerin su emme değerleri standarda uygundur.

Her üç ocaktan alınan agrega örneklerinin don kaybı oranları standartta verilen max. % 18 değerinin altında kaldığı ve betonda kullanımında sakınca olmadığı görülmektedir.

Ocaklardan alınan agrega örneklerinin Los Angeles parçalanma kaybı oranları incelendiğinde her üç ocaktan alınan agregaların 100 devir aşınma sonunda kaybının %10'un altında, 500 devir aşınma sonucunda ise kaybının %50 altında olduğu görülmektedir.

Agrega örneklerinin ince ve hafif madde miktarlarına bakıldığında standartta verilen değerlerin altında malzeme içerdikleri görülmektedir.

Ocaklardan alınan agrega örneklerine ait organik madde sonuçlarına bakıldığında zararlı denecek oranda organik madde bulunmadığı görülmektedir.

- Beton deneylerinden mekanik özellikleri incelendiğinde ise,

Her üç ocaktan alınan agregalar ile üretilen beton örneklerinin 7., 28. ve 90. Günlük basınç dayanım değerleri standartta verilen talimatlara uygun değerler çıkmıştır.

Agrega örneklerinin granülometri eğrileri incelendiğinde,

Her üç ocağa ait agrega örneklerinin granülometri eğrisinin standartta verilen sınır değerler içerisinde kaldığı ve kusurlu tane içermediği gözlenmektedir.

KAYNAKLAR

- Aitcin, P. C., & Mehta, P. K. (1990). Effect of coarse aggregate characteristics on mechanical properties of high strength concrete. *ACI Mater J*, 87(2), 103–7. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(01\)00588-9](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(01)00588-9)
- Aprianti, E. (2017). A huge number of artificial waste material can be supplementary cementitious material (scm) for concrete production – a review part II. *Journal of Cleaner Production*, 142(4), 4178-4194. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.115>
- Arslan, M., & Demir, İ. (2006). Kırşehir yöresi kırmataşlarının beton agregası olarak kullanılabilirliği. *J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ.*, 21 (3), 489-497.
- Atabey, İ. İ., Çelikten, S., & Yurt, Ü. (2020). Farklı mineral katkılı yüksek dayanımlı betonlarda metagabro agregalarının kullanılabilirliğinin araştırılması. *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, 8(3), 514-522. <https://doi.org/10.21541/apjes.708245>
- Aydın, A., Evcin, A., & Başpınar, S. (2014). Kâğıt fabrikası atığının alçı panellerin fiziksel özelliklerine etkisi. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 10(2), 19-26.
- Aydın Ş., Çelik, G. A., & Güneş, İ. (2021). Geri dönüştürülmüş beton ve tuğla agregalarının beton üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılması. *Yer Altı Kaynakları Dergisi* 10(20), 11-22.
- Caymaz, M. (2009). Baritin beton agregası olarak kullanılabilirliği ve kalker ile dere malzemesi agregalarıyla karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı Konya, 96s.
- Chen, B. & Liu, J. (2004). Effect of aggregate on the fracture behavior of high strength concrete. *Construction and Building Materials*, 18(8), 585-590. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2004.04.013>
- Çelik, M. Y., & Şahbaz, A. (2017). Ilica (Kütahya) bazaltının beton agregası olarak kullanılabilirliğinin araştırılması. *Politeknik Dergisi*, 20(4), 887-898. <https://doi.org/10.2339/politeknik.369061>
- Çomak, B., Kadayıfçı, A., & Morova, N. (2010). Isparta yöresinde çıkarılan bazı agregaların mühendislik özellikleri ve betonda kullanımının araştırılması. *Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 14(3), 279-284.
- Durmuş, G., Şimşek, O., & Dayı, M. (2008). Geri dönüşümlü iri agregaların beton özelliklerine etkisi. *Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak Dergisi*, 24(1), 183-189.
- Erdoğan, T. (2003). Beton. *Metu Press*, Ankara.
- Gezer, E., Şişman, C. B., & Kurç, H. C. (2016). Tuğla kırıklarının betonun dayanım özellikleri üzerine olan etkisinin belirlenmesi. *Bilimsel Araştırma Projesi Sonuç Raporu*, Namık Kemal Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi.
- Güçlüer, K., Günaydın O., Tekin, F. Ö., & Şahan F. M. (2017). Farklı tipte agrega kullanımının betonun mekanik özelliklerine etkisinin araştırılması. *Ömer Halisdemir University Journal of Engineering Sciences*, 6(1), 107-114. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.297962>
- Güner M. S., & Süme, V. (2001). Yapı malzemesi ve beton, *Aktif Yayınevi*, İstanbul, 336 s.
- Kılıç, A. M., & Kahraman, E. (2017). Çukurova Bölgesi kireçtaşlarının los angeles aşınma direnci ile fiziko-mekanik özellikleri arasındaki ilişkinin incelenmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Dergisi*, 32(4), 31-38. <https://doi.org/10.21605/cukurovaummfd.371033>
- Kızıltepe, U., & Şahin, Y. (2021). Traverten artıklarının beton agregası olarak kullanılabilirliğinin araştırılması. *Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi*, 33(2), 413-420. <https://doi.org/10.35234/fumbd.850026>
- Mehta, P. K., & Monteiro J. M. P. (2006). Concrete. *Microstructure-Properties and Materials*, Mc Graw Hill, (3rd ed.).
- Miller, S. A., Horvath, A., & Monteiro, P. J. M. (2016). Readily implementable techniques can cut annual CO₂ emissions from the production of concrete by over 20%. *Environmental Research Letters*, 11(7), 074029.

Orhan A., Ak, N., Erensoy, A., & Çek, N. (2020). Betonda bazalt agreganın kullanımı ve özellikleri. *European Journal of Science and Technology*, (19), 524-532. <https://doi.org/10.31590/ejosat.735019>

Özbek, A. (2016). Kahramanmaraş ve çevresindeki kireçtaşlarının mühendislik özellikleri ve agrega olarak kullanılabilirliği. *KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19(3), 146-156.

Özkul, H., Taşdemir, M. A., Tokyay, M., & Uyan, M.(1999). Her yönüyle beton. *Türkiye Hazır Beton Birliği*, İstanbul.

Şengül, Ö., Taşdemir, C., Koruç, Ş., & Yüceer Z. (2003). Agrega türünün farklı beton sınıflarının aşınma dayanımına etkisi. 5. Ulusal Beton Kongresi, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, (pp, 525–534). İstanbul.

Temiz, H., Binici, H., Bodur, M. N., & Kara, O. (2006). Kahramanmaraş doğal agregalarının mühendislik özellikleri. *KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi*, 9(2), 61-65.

TS 706 EN 12620+A1, (2009). Beton agregaları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS 802, (2016). Beton karışım tasarımı hesap esasları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 197–1, (2012). Çimentoların bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 932-1, (1997). Agregaların genel özellikleri için deneyler-Kısım 1 numune alma metotları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 932-2, (1999). Agregaların genel özellikleri için deneyler Bölüm 2: Laboratuvar numunelerin azaltılması metodu, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 933-1, (2012). Agregaların geometrik özellikleri için deneyler Bölüm1: Tane büyüklüğü dağılımı tayini-Elleme metodu, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 933-3, (2012). Agregaların geometrik özellikleri için deneyler Bölüm3: Tane şeklinin tayini-yassılık indeksi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 933-10, (2010). Agregaların geometrik özellikleri için deneyler Bölüm10: İnce malzeme tayini-İnce dolgu malzemelerinin tane büyüklüğüne göre sınıflandırılması (hava jetiyle eleme), Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 1097-2, (2020). Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler Bölüm 2 : Parçalanma direncinin tayini için metotlar, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 1097-3 (1999). Beton agregalarının birim ağırlıklarının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 1097-6, (2013). Agregaların mekanik ve eksik özellikleri için deneyler Bölüm 6: Taneleri ve su emme öğretim tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 1367-2, (2010). Agregaların termal ve bozunma özellikleri için deneyler- Bölüm 2: Magnezyum Sülfat Deneyi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS 3528, (2017). Agrega- betonda kullanılan hafif madde tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 1744-1+A1, (2013). Agregaların kimyasal özellikleri için deneyler- Bölüm 1: Kimyasal analiz, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 12390-2, (2019). Beton – sertleşmiş beton deneyleri- Bölüm 2: Dayanım deneylerinde kullanılacak deney numunelerinin hazırlanması ve küre tabii tutulması, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 12390-3, (2019). Beton – sertleşmiş beton deneyleri- Bölüm 3: Deney numunelerinde basınç dayanımının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

Usta, S. (2012). Agrega granülometrisinin beton bileşimindeki teorik malzeme miktarları ile betonun kompozite ve porozite değerleri üzerindeki etkilerinin incelenmesi. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 8(1), 1-15.

Yılmaz, F., Koltka, S., & Sabah, E. (2011). Emirdağ-Adaçal (Afyonkarahisar) kireçtaşlarının beton agregaları standardına uygunluğunun araştırılması. *Afyon Kocatepe University Journal of Sciences*, 11(1), 1-12.

Yılmaz, A. O., & Arioğlu, E. (2006). Taşocağında üretim maliyetlerinin matematiksel modelinin oluşturulması ve örnek uygulama. IV. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, (pp, 265-276). İstanbul.

Zarif, İ. H., Tuğrul, A., & Dursun, G. (2003). İstanbul'daki kireçtaşlarının agrega kalitesi yönünden değerlendirilmesi. *İstanbul Üniversitesi Müh. Fak. Yerbilimleri Dergisi*, 16(2), 61-70.



Kahramanmaraş Sütçü İmam University Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 18.04.2022
Kabul Tarihi : 28.09.2022

Received Date : 18.04.2022
Accepted Date : 28.09.2022

MİKROGRİD DONATILI ZEMİNDE RİNG TEMEL TAŞIMA KAPASİTESİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE RING FOOTING BEARING CAPACITY RESTED ON MICROGRID REINFORCED SOIL

Mehmet Şerif KAHRAMAN¹ (ORCID: 0000-0003-3382-6266)

Ömer YEŞİLTEPE^{2*} (ORCID: 0000-0002-9337-9157)

Yakup TÜREDİ¹ (ORCID: 0000-0001-9197-5214)

Murat ÖRNEK¹ (ORCID: 0000-0002-0809-2531)

¹ İskenderun Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İskenderun, Hatay, Türkiye

² Kilis 7 Aralık Üniversitesi, İnşaat Teknolojisi Programı, Kilis, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Ömer YEŞİLTEPE, omeryesiltepe@kilis.edu.tr

ÖZET

Gevşek zemin koşullarında inşa edilecek yapılarda temellerin tasarımı inşaat mühendisleri için önemli bir problem oluşturmaktadır. Bu problemi çözmek için ya derin temel uygulaması tercih edilmeli ya da zeminde iyileştirme yöntemleri uygulanmalıdır. Zemin iyileştirme yöntemlerinden biri olan donatılı zemin uygulamasında zemine geosentetik donatılar yerleştirilip taşıma gücü ve oturma problemlerine karşı çözüm üretilebilmektedir.

Bu çalışmada kare ve daire kesitli mikrogrid donatı ile güçlendirilmiş gevşek kuru kum zemine oturan ring temellerin aksel basınç yükü altındaki davranışı 30 adet laboratuvar deneyi ile analiz edilmiştir. İlk donatı derinliği, donatı çapı/genişliği, donatı geometrileri değiştirilerek taşıma gücü için optimum donatı parametreleri laboratuvar deneyleri ile araştırılmıştır. Model deneyler mikrogrid donatıların ring temel taşıma gücünü arttırdığını göstermiştir. Çalışmanın sonunda zemine yerleştirilen mikrogrid donatılara ait optimum tasarım parametreleri belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Mikrogrid donatı, ring temel, taşıma gücü, zemin iyileştirme, laboratuvar deneyi

ABSTRACT

The design and construction of footings in buildings to be built in areas where loose soil conditions result an important problem for civil engineers. To eliminate this problem, either deep foundation systems or soil improvement methods should be applied on the foundation soil. In soil reinforcement applications, geosynthetic reinforcements can be placed in the soil against bearing capacity and settlement problems.

In this study, the behavior of ring footings on loose dry sand soil reinforced with square and circular microgrid reinforced under axial compression load was analyzed with 30 laboratory tests. The optimum reinforcement parameters were investigated with laboratory tests by changing the first reinforcement depth, the diameter/width of the reinforcement, the reinforcement geometry. Model tests have shown that microgrid reinforcements increase the bearing capacity of the ring footings. At the end of the study, the optimum design parameters of the microgrid reinforcement placed on the soil were determined.

Keywords: Microgrid reinforcement, ring footing, bearing capacity, soil improvement, laboratory test

ToCite: KAHRAMAN, M., Ş., & YEŞİLTEPE, Ö., & TÜREDİ, Y., & ÖRNEK, M., (2022). MİKROGRİD DONATILI ZEMİNDE RİNG TEMEL TAŞIMA KAPASİTESİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 25(4), 516-527.

GİRİŞ

Temeller, yapıdan aktarılan yükleri zemine ileten yapı elemanlarıdır. Zeminden beklenen ise temelin aktardığı yükü izin verilebilir oturma değerlerini aşmayacak şekilde taşıyabilmesidir. Doğal ortamda her zemin türünün aynı geoteknik özelliklere sahip olmadığı bilinmektedir. Dolayısıyla her zemin türünün yük taşıma kapasitesi ve oturma karakteristikleri birbirinden farklıdır. Zayıf zemin durumunun hâkim olduğu arazide yapı inşa etmek, ya o zemin ortamının kaldırılıp yerine nitelikli bir malzemenin getirilmesi ya temelin sağlam zemine kadar indirilmesi ya da mevcut zeminin mühendislik yöntemleri ile güçlendirilip nitelikli hale getirilmesi ile mümkündür.

Zemin iyileştirme yöntemlerinden biri olan donatılı zemin uygulamalarında zemin içerisine özelliklere sahip donatılar yerleştirilip taşıma gücü ve oturma problemlerine karşı çözüm üretilebilmektedir. Geosentetik donatılar çekme dayanımı yüksek malzemelerden üretilmektedir. Zeminlerin çok düşük olan çekme dayanımından dolayı yetersiz olan taşıma gücü değeri, geosentetik donatılar ile artırılabilir. Literatürde farklı temel çeşitlerinde geosentetik donatılar ile güçlendirilmiş zeminler ile ilgili yer alan çalışmalardan bazıları aşağıda verilmiştir.

Binquet & Lee (1975) tarafından donatılı zeminler üzerine yapılan laboratuvar çalışmaları, donatılı zeminler ile ilgili ilk detaylı bilimsel çalışma olarak literatürde yerini almıştır. Bu çalışmada donatı ile güçlendirilen kum zemine oturan şerit temellerin taşıma kapasitesi laboratuvar ortamında yapılan model deneyler ile incelenmiştir. Deneylerde alüminyum şeritlerin yerleştirildiği üç farklı zemin modeli üzerinde aşağıda bahsedilen üç seride model deneyler yapılmıştır. Deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçların karşılaştırılması için boyutsuz bir sayı olan Taşıma Kapasitesi Oranı (BCR) tanımlanmıştır. Bu değer, geogrid donatı tabakası ilavesinin taşıma gücü üzerinde meydana getirdiği iyileşmelerin derecelerini belirlemek amacıyla tanımlanmıştır.

$$BCR = \frac{Q_{u(r)}}{Q_{u(o)}} \quad (1)$$

$Q_{u(r)}$: Geogrid donatı tabakası ile güçlendirilmiş kum zeminde elde edilen nihai taşıma gücü değeri, $Q_{u(o)}$: Donatısız kum zeminde elde edilen nihai taşıma gücü değeridir. Çalışmadaki bütün deneylerde, donatı kullanıldığı durumlar için zeminin donatısız duruma göre taşıma kapasitesinin arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca BCR değerinin, donatı sayısının minimum 4 olduğu durumda optimum değere ulaştığı belirtilmiştir.

Boushehrian & Hataf (2003) tarafından yapılan çalışmada, güçlendirilmiş kum üzerinde dairesel ve ring temellerin taşıma gücü kapasiteleri sayısal ve model laboratuvar deneyleri ile analiz edilmiştir. Deneysel ve sayısal çalışmalara göre tek bir donatı tabakası yerleştirildiğinde optimum donatı derinliğinde maksimum taşıma kapasitesine ulaşılmıştır. Ayrıca sayısal analizlerde ring temeller için maksimum taşıma kapasitesi oranı (BCR), $n = 0,40$ durumunda elde edilmiştir. Burada n , ring temelin iç çapının dış çapına oranı olarak kabul edilmiştir.

Laman & Babacan (2004) tarafından yapılan çalışmada, deneylerde biri tam dolu daire kesit olmak üzere, diğer dördü farklı iç çaplarda ring temeller kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan tüm temellerin kalınlığı 20mm olup, dış çapları 85 mm'dir. İç çapları ise, 15 mm, 25 mm, 35 mm ve 45 mm olarak tasarlanmıştır. Farklı iç çaplardaki model temellerle yapılan deney sonuçlarından faydalanarak her bir temele ait taban basıncı-oturma grafikleri çizilmiş ve bu grafiklerden faydalanarak göçme yükleri tespit edilmiştir. Bu deneyler Plaxis sonlu elemanlar programında da analiz edilmiş ve deney ile analiz sonuçları birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Deneysel çalışma sonunda zemin içerisine yerleştirilen donatıdan dolayı zeminin taşıma gücünde meydana gelen artış değeri, $BCR=3,02$ olarak elde edilmiştir. Analizler sonucunda donatıdan dolayı zeminin taşıma gücünde meydana gelen artış değeri ise $BCR=3,20$ olmuştur.

Demiröz (2008) tarafından yapılan çalışmada, geogrid donatı ile güçlendirilmiş kum zemine yerleştirilmiş olan sürekli temellerde taşıma gücüne etki eden tasarım parametreleri deneysel olarak incelenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde temel genişliği ve temel derinliği arttıkça taşıma gücünün arttığı belirlenmiştir. Ayrıca taşıma gücü üzerindeki en etkili parametrenin %39 oranda temel genişliği olduğu tespit edilirken, %27 oranla temel derinliği bir diğer önemli parametre olarak belirlenmiştir.

Moayed, Rashidian & Izadi (2012) tarafından yapılan deneylerde ring temellerin iki katmanlı zemin üzerindeki taşıma kapasitesini araştırmak için bazı sayısal analizler yapılmıştır. Kil tabakası kalınlığının ve halkanın iç yarıçapı ile halkanın dış yarıçapı (r_i/r_o) oranının etkileri incelenmiştir. Sayısal analiz sonuçlarından (r_i/r_o) değerinin artmasıyla taşıma kapasitesinin azaldığı tespit edilmiştir.

Davarcı (2014) tarafından donatılı gevşek kum zemine oturan çok kenarlı yüzeysel temellerin taşıma gücü davranışı laboratuvar ortamında yapılan model deneylerle araştırılmıştır. Çalışmada temel geometrisi (H, +, T ve kare kesitli), zemin türü (gevşek kum), geogrid donatı yerleşimi (ilk donatı derinliği, donatılar arası mesafe, donatı sayısı) gibi parametrelerin çok kenarlı yüzeysel temellere ait taşıma gücü karakteristikleri üzerindeki etkileri araştırılmış ve göçme mekanizmaları tespit edilmiştir. Deney sonuçlarından; geogrid donatı ilavesinin gevşek kumun taşıma gücünü artırdığı, ilk donatı derinliği (u) arttıkça +, H, T ve kare kesitli temeller için zeminin taşıma gücünün azaldığı tespit edilmiştir.

Rowshanzamir & Karimian (2016) tarafından yapılan laboratuvar çalışmasında geogrid donatı konfigürasyonlarının temellerin taşıma kapasitesine ilişkin olası etkilerini irdelenmiştir. Belirli genişliklere sahip geogrid donatıların konfigürasyonları ile güçlendirilmiş kum zemine oturan temel modellerinin taşıma kapasiteleri belirlenmiş ve karşılaştırılmıştır. Deney sonuçlarından en büyük taşıma kapasitelerinin donatı çapının, derinlik arttıkça azaldığı yamuk düzenlemeler durumunda elde edildiği gösterilmiştir.

Anıl, Akbaş, Babagiray, Gel & Durucan (2017) tarafından yapılan çalışmada, düzensiz şekilli altı adet temelin kum zemindeki taşıma gücü kapasiteleri ve yük-oturma ilişkileri sayısal ve deneysel olarak araştırılmıştır. Deneyler Plaxis 3D programı ile modellenmiştir. Deney sonuçları ile sayısal analiz sonuçları arasında uyum olduğu tespit edilmiştir. Temellerin geometrik özelliklerinin, taşıma kapasiteleri ve oturma değerlerini önemli ölçüde etkilediği belirtilmiştir.

Sargazi & Hosseininia (2017) tarafından yapılan çalışmada, kohezyonsuz zemin üzerine yerleştirilmiş eksantrik yüklü pürüzlü ring temellerin taşıma kapasitesi ele alınmıştır. Bu amaçla, sonlu farklar yöntemi kullanılarak bir dizi üç boyutlu sayısal modelleme gerçekleştirilmiştir. Yük dışmerkezliliğinin etkisini dikkate almak için indirgeme faktörü yöntemi uygulanmıştır. Çalışma sonuçları, sayısal modelleme analitik çözümleri ve deneysel veriler arasında iyi bir uyum olduğunu göstermiştir.

Geogrid donatılarla güçlendirilen zeminlere oturan farklı geometrilere sahip temellerin davranışının konu edildiği çalışmalar literatürde güncelliğini korumaktadır (El Sawwaf & Nazir, 2012; Kadhum & Albusoda, 2021; Abdolhosseinzadeh vd., 2022; Shende vd., 2022; Kirtimayee & Samadhiya, 2022).

Literatürdeki çalışmalarda genel olarak, laboratuvar ortamında model boyutlarda temellerin kullanıldığı ancak geogrid donatılar için model boyutların kullanılmadığı belirlenmiştir. Buradan yola çıkarak yapılan deneysel çalışmalarda ölçek sınırlaması geogrid donatılar üzerinde de uygulanmıştır. Başka bir ifadeyle laboratuvar ortamında yapılan deneylerde temelin yanı sıra geogrid donatı açıklığında da belli bir ölçekte küçülmeye gidilmiş, sonuçlar bu doğrultuda yorumlanmaya çalışılmıştır. Bu husus çalışmanın özgün bir yanı olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca yapılan deneyler esnasında sınır etkisinin oluşmaması için ring temel deney kasasının cidarından temel çapının en az 3 katı uzaklıkta olacak mesafede konumlandırılmıştır (El Sawwaf & Nazir, 2012).

Bu çalışmada laboratuvar ortamında yapılan model deneyler ile mikrogrid donatı kullanılarak iyileştirilen gevşek kum zeminin donatı parametrelerinin taşıma gücüne etkisi araştırılmıştır. Deneylerde 4 mm elek açıklığına sahip mikrogrid donatı kullanılmıştır. Yapılan deneylerde kullanılan model ring temelin iç çapının dış çapına oranı (r/R), literatür çalışmaları esas alınarak 0,4 şeklinde seçilmiştir (Boushehrian & Hataf, 2003). Yüzeysel model temel olarak 20 cm dış çapa 8 cm iç çapa sahip ring kesitli rijit plakalar kullanılmıştır. Model deneylerde mikrogrid donatıların ilk donatı derinliği, donatı çapı/genişliği, donatı geometrisi gibi parametreler değiştirilerek donatıların, zeminin taşıma gücüne katkısı incelenmiştir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Deneylerde gevşek kum zemin kullanılmıştır. Kullanılan zeminin endeks özelliklerini belirlemek amacıyla elek analizi deneyi yapılmıştır. Kum zeminin dane çapı dağılım eğrisinden zemin sınıfı, Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi'ne (USCS) göre kötü derecelenmiş ince ve temiz kum (SP) olarak belirlenmiştir. Kullanılan zemine ait parametreler Tablo 1'de verilmiştir. Model deneyler, İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Geoteknik Laboratuvarı'nda yapılmıştır.

Tablo 1. Deneyleerde Kullanılan Kum Zemine Ait Parametreler

Özellik	Değer
Kaba dane miktarı (%)	0,00
Orta büyüklükteki dane miktarı (%)	65,00
İnce dane miktarı (%)	35,00
D ₁₀ (mm)	0,16
D ₃₀ (mm)	0,28
D ₆₀ (mm)	0,58
Üniformluk katsayısı, C _u	3,63
Derecelenme katsayısı, C _c	0,84
Özgül ağırlık	2,75
Maksimum kuru birim ağırlık (kN/m ³)	17,11
Minimum kuru birim ağırlığı (kN/m ³)	15,44
Deneyde kullanılan birim hacim ağırlık (kN/m ³)	15,84
Maksimum boşluk oranı e _{max}	1,108
Minimum boşluk oranı e _{min}	0,902
Rölatif sıkılık Dr (%)	25,7
Kohezyon, c (kPa)	0,00
Kayma mukavemeti açısı, φ (derece)	36,00
Zemin sınıfı (USCS)	SP

Kuru kum zemin deney kasasına daha önceden belirlenmiş olan 5cm'lik yatay çizgilere göre gerekli miktarlarda (kuru birim hacim ağırlık 15,84 kN/m³ olacak şekilde) tabakalar halinde yerleştirilmiştir. Bu amaçla (1,25mx1,0mx0,05m) hacme sahip dilimlere denk gelecek şekilde sabit bir yoğunluk için gerekli kum miktarı 100 kg olarak tartılmış, ardından serim işlemine geçilmiştir. Kum serim işleminin ardından zemin yüzeyinin mastarlama işlemi yapılmış, yatay çizgiler hizasında düz bir zemin elde edilmiştir. Deneyleerde 3mm/dak hızla yükleme yapılmıştır. Zemin ile geogrid arasındaki sürtünmenin, deneyleerde kullanılan kum zeminin (D_{max}:2mm) yükleme esnasında mikrogridin (gözenek açıklığı:4mm) gözeneklerine gireceğinden oluşacak olan kenetlenmeden meydana geldiği öngörülmektedir.

Model Ring Temel

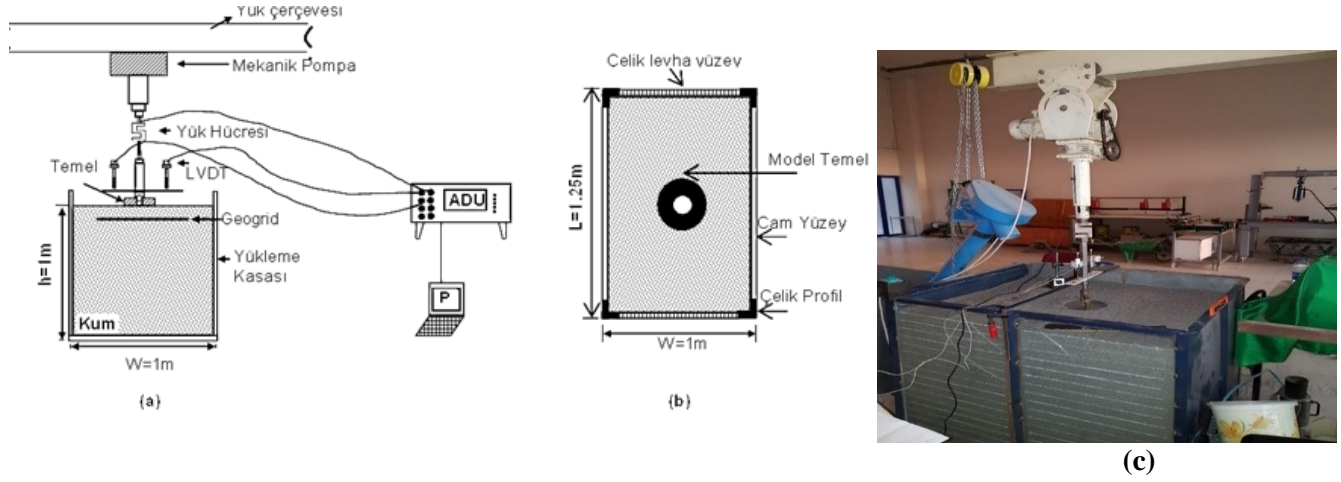
Ring temeller halka temeller olarak da adlandırılmaktadırlar. Laman ve Babacan (2004) tarafından ring temellerin üzerine yapılan deneysel çalışmada temel iç çapının dış çapına oranının optimum (r/R) değeri 0,29 olarak, teorik çalışma sonucunda ise 0,41 olarak bulunmuştur. Bu kaynak esas alınarak çalışmada ring temel için ölçüsünün dış ölçüsüne oranı 0,4 olarak seçilmiştir. Bu doğrultuda model boyutlarda temel dış çapı 20 cm, iç çapı ise 8 cm olan rijit bir metal plaka üretilmiştir (Şekil 1).

**Şekil 1.** Model Ring Temel

Deney Düzenegi

Deney düzenegi, yük çerçevesi, mekanik pompa, yük hücresi, deplasman ölçer ve deney kasasından oluşan bir yükleme düzenegidir. Kum zemin deney kasasına kademeler halinde eklenerek deney kasası doldurulmuştur. Kum

zemin üzerine terazi yardımıyla yüzeysel temel yatay olarak yerleştirilmiş ve yük çerçevesine bağlı bulunan mekanik pompaya bağlı basınç kolu vasıtasıyla temele yük uygulanmıştır. Uygulanan yük değeri yük hücresi tarafından, temeldeki oturmalar da deplasman ölçerler tarafından kaydedilerek veri işleme ünitesine aktarılmıştır. Bu şekilde yükleme yapılarak yük-oturma eğrileri elde edilmiştir. Deney düzeneğine ait kesit görünümü ve yükleme düzeneği Şekil 2’de yer almaktadır.



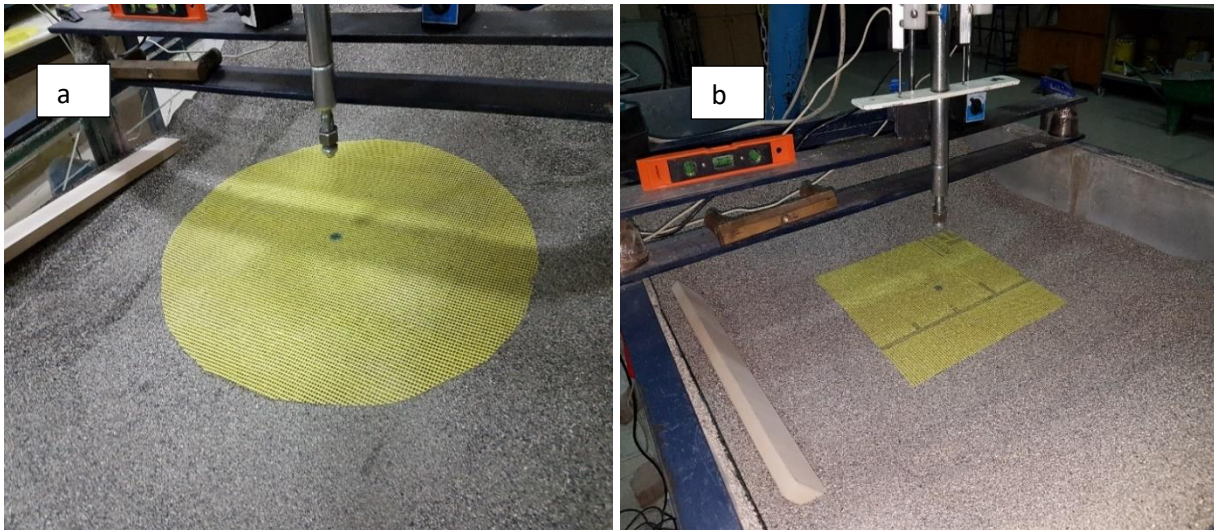
Şekil 2. (a) Deney Düzeneği Kesit Görünüş (b) Üstten Görünüş (c) Yükleme Düzeneği

Mikrogrid Donatı

Bu çalışmada mikrogrid olarak nitelendirilen elek açıklığı 4 mm olan çift eksenli çalışan geogrid donatı kullanılmıştır (Tablo 2). Mikrogrid donatılar, kare ve daire şeklinde kesilerek farklı çap ve genişliklerde kullanılmıştır (Şekil 3).

Tablo 2. Mikrogrid Donatının Özellikleri

Parametre	Değer
Cinsi	Polimer kaplamalı cam yünü
Elastisite modülü (kN/m)	40
Ağırlık (gr/m ²)	160
Elek açıklığı (mm)	4
Çalışma eksen	Çift



Şekil 3.a. Daire Kesitli Mikrogrid b. Kare Kesitli Mikrogrid

Deney Programı

Zemine yerleştirilen donatıların ilk donatı derinliği (u) ve çap (d) parametreleri değiştirilerek kare ve daire mikrogridler kullanılmış ve yük-oturma ilişkileri belirlenmiştir. Burada değişken parametreler olarak kabul edilen d ve u değerleri deneylerde kullanılan ring temel dış çapına (R=20 cm) bağlı olarak tanımlanmıştır. Deneyler seri setleri şeklinde yapıp yük ve oturma değerleri grafikler halinde çizilerek analiz edilmiştir. Model temel ve mikrogrid donatıların deney parametreleri aşağıda sunulmuştur (Tablo 3). Zeminlerde donatı etkisinin taşıma gücüne olan katkısını görmek ve hangi mertebelerde iyileştirme sağladığını belirleyebilmek amacıyla donatısız durumlar için de deneyler yapılmıştır.

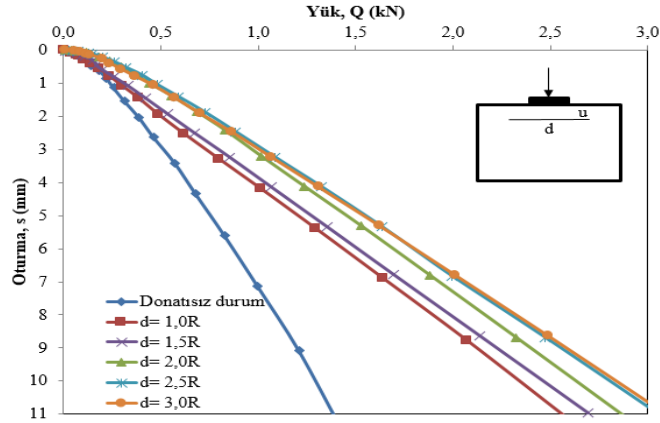
Tablo 3. Deney Programı

Seriler	Deney adı	Temel tipi	Donatı geometrisi	Donatı sayısı (N)	Donatı genişliği (d)	İlk donatı derinliği (u)
Seri 1	D1	Ring	Donatısız	-	-	-
	D2	Ring	Kare	1	1,0 R	0,2 R
	D3	Ring	Kare	1	1,5 R	0,2 R
	D4	Ring	Kare	1	2,0 R	0,2 R
	D5	Ring	Kare	1	2,5 R	0,2 R
	D6	Ring	Kare	1	3,0 R	0,2 R
	D7	Ring	Kare	1	1,0 R	0,4 R
	D8	Ring	Kare	1	1,5 R	0,4 R
	D9	Ring	Kare	1	2,0 R	0,4 R
	D10	Ring	Kare	1	2,5 R	0,4 R
	D11	Ring	Kare	1	3,0 R	0,4 R
	D12	Ring	Kare	1	1,0 R	0,6 R
	D13	Ring	Kare	1	1,5 R	0,6 R
	D14	Ring	Kare	1	2,0 R	0,6 R
	D15	Ring	Kare	1	2,5 R	0,6 R
	D16	Ring	Kare	1	3,0 R	0,6 R
Seri 2	D17	Ring	Daire	1	1,0 R	0,2 R
	D18	Ring	Daire	1	1,5 R	0,2 R
	D19	Ring	Daire	1	2,0 R	0,2 R
	D20	Ring	Daire	1	2,5 R	0,2 R
	D21	Ring	Daire	1	3,0 R	0,2 R
	D22	Ring	Daire	1	1,0 R	0,4 R
	D23	Ring	Daire	1	1,5 R	0,4 R
	D24	Ring	Daire	1	2,0 R	0,4 R
	D25	Ring	Daire	1	2,5 R	0,4 R
	D26	Ring	Daire	1	3,0 R	0,4 R
	D27	Ring	Daire	1	1,0 R	0,6 R
	D28	Ring	Daire	1	1,5 R	0,6 R
	D29	Ring	Daire	1	2,0 R	0,6 R
	D30	Ring	Daire	1	2,5 R	0,6 R
	D31	Ring	Daire	1	3,0 R	0,6 R

BULGULAR**Kare Kesitli Donatıların İlk Donatı Derinliği ve Donatı Çapı Analizi**

Gevşek kum zemine yerleştirilen kare kesitli mikrogrid donatının ilk donatı derinliği (u) ve donatı genişliği (d) değiştirilerek ayrı ayrı yükleme deneyleri yapılmıştır. Bu aşamada ring kesitli model temeller kullanılmıştır.

Bu serideki (Seri 1) deneylerin ilk bölümünde zemine $0,2R$ kadar derinliğe yerleştirilen kare donatının genişliği (d), $1,0R$; $1,5R$; $2,0R$; $2,5R$ ve $3,0R$ olarak değiştirilerek beş farklı yükleme deneyi yapılmıştır. Deneylerden elde edilen yük-oturma eğrileri grafik üzerinde karşılaştırılarak optimum donatı çapı (kare donatıda donatı genişliği de denilebilir) araştırılmıştır (Şekil 4).

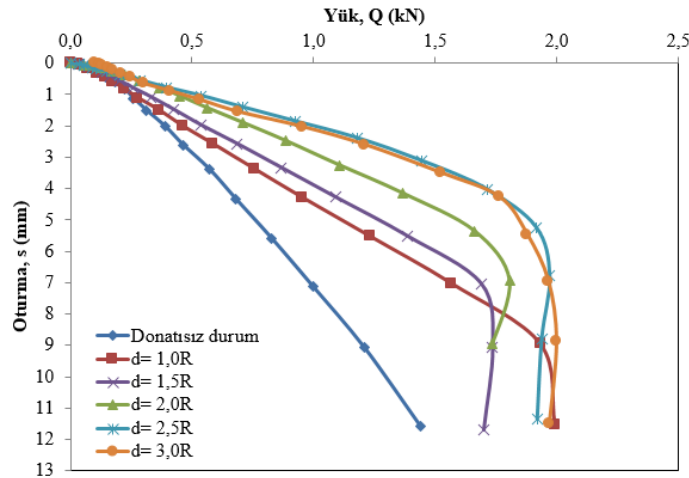


Şekil 4. Kare Donatı $u = 0,2R$ için Yük-Oturma Grafiği

Şekil 4'den donatı genişliği arttıkça ring temelin yük taşıma kapasitesinin de arttığı tespit edilmiştir. Fakat donatı genişliği artışının $d > 2,5R$ olması durumunda taşıma gücüne katkısı azalmıştır. Dolayısıyla optimum donatı genişliği, kare kesitli mikrogridin $u=0,2R$ derinliğe yerleştirilmesi durumunda $d_{opt}=2,5R$ olarak belirlenmiştir.

Her bir deneyde göçme yükü (sınır taşıma gücü) temel dış çapının (20cm) $\%2,5$ 'ine eşdeğer deplasman ($5,0\text{mm}$) değerine karşılık gelen yük değeri olarak kabul edilmiştir (Briaud & Jeanjean, 1994; Örnek, 2009). Bu veriler ışığında göçme yükünün stabil hale geldiği yük değerini veren donatı konfigürasyonu optimum olarak kabul edilmiştir.

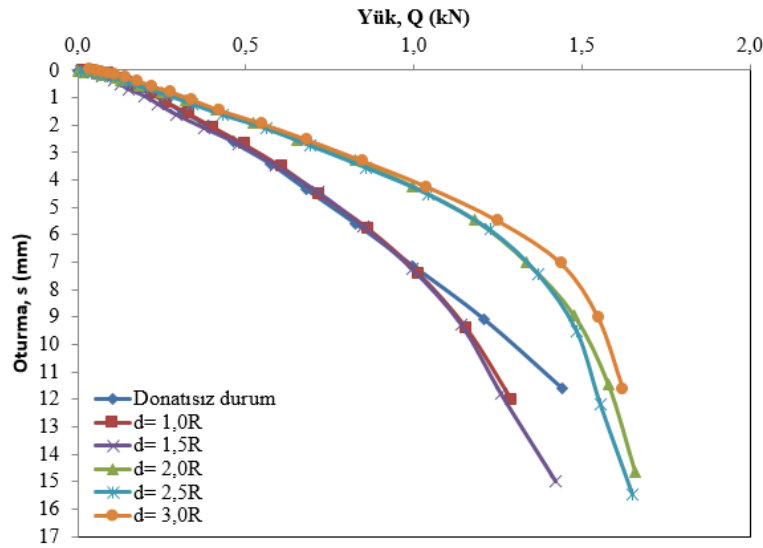
Bu serideki deneylerin ikinci bölümünde ilk donatı derinliğinin $u=0,4R$ olduğu durumda kare donatının genişliği (d), $1,0R$; $1,5R$; $2,0R$; $2,5R$ ve $3,0R$ olarak değiştirilerek beş farklı yükleme deneyi yapılmıştır. Deneylerden elde edilen yük-oturma eğrileri grafik üzerinde karşılaştırılarak optimum donatı genişliği araştırılmıştır (Şekil 5).



Şekil 5. Kare Donatı $u = 0,4R$ için Yük-Oturma Grafiği

Şekil 5'den donatı genişliği arttıkça ring temelin yük taşıma kapasitesinin de arttığı tespit edilmiştir. Fakat $d=2,5R$ ve $d=3,0R$ durumlarında yaklaşık olarak aynı taşıma gücü değerlerine ulaşıldığı görülmüştür. Dolayısıyla optimum donatı genişliği, kare mikrogridin $u=0,4R$ derinliğe yerleştirilmesi durumunda $d_{opt}=2,5R$ olarak belirlenmiştir.

Bu serideki deneylerin üçüncü bölümünde ilk donatı derinliğinin $u=0,6R$ olduğu durumda kare donatının genişliği (d), $1,0R$; $1,5R$; $2,0R$; $2,5R$ ve $3,0R$ olarak değiştirilerek beş farklı yükleme deneyi yapılmıştır. Deneylerden elde edilen yük-oturma eğrileri grafik üzerinde karşılaştırılarak optimum donatı genişliği araştırılmıştır (Şekil 6).

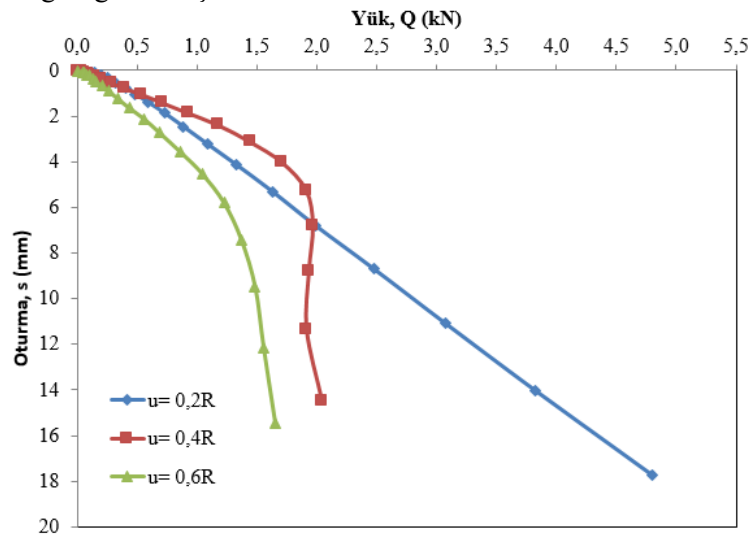


Şekil 6. Kare Donatı $u = 0,6R$ için Yük-Oturma Grafiği

Şekil 6'dan anlaşıldığı üzere, $d=1,0R$ ve $d=1,5R$ durumlarında ring temel in taşıma kapasitesi, yaklaşık olarak donatısız durumdaki taşıma gücü değeri ile aynıdır. Donatı genişliği $d=2,0R$, $d=2,5R$ ve $d=3,0R$ durumlarında donatıların taşıma gücünü artırdığı görülmüştür. Fakat yaklaşık olarak aynı taşıma gücü değerlerine ulaşıldığı görülmüştür. Dolayısıyla optimum donatı genişliği, kare mikrogrid $u=0,6R$ derinliğe yerleştirilmesi durumunda $d_{opt}=2,0R$ olacağı kanaatine varılmıştır.

Bu değerlendirmeler ($u=0,2R$; $u=0,4R$ ve $u=0,6R$) ışığında optimum donatı genişliği $d_{opt}=2,5R$ olarak kabul edilip sonraki deney etapları kurgulanmıştır.

Kare kesitli mikrogrid donatının donatı genişliği $2,5R$ olarak sabit tutularak ilk donatı derinliği $0,2R$; $0,4R$ ve $0,6R$ olacak şekilde yapılan deneylerden elde edilen eğriler grafiksel olarak karşılaştırılmıştır (Şekil 7). Sonuçlar, donatı genişliği $2,5R$ olarak sabit tutulduğunda kare kesitli mikrogridin optimum ilk donatı derinliği optimum değerinin $0,4R$ olarak kabul edilebileceğini göstermiştir.



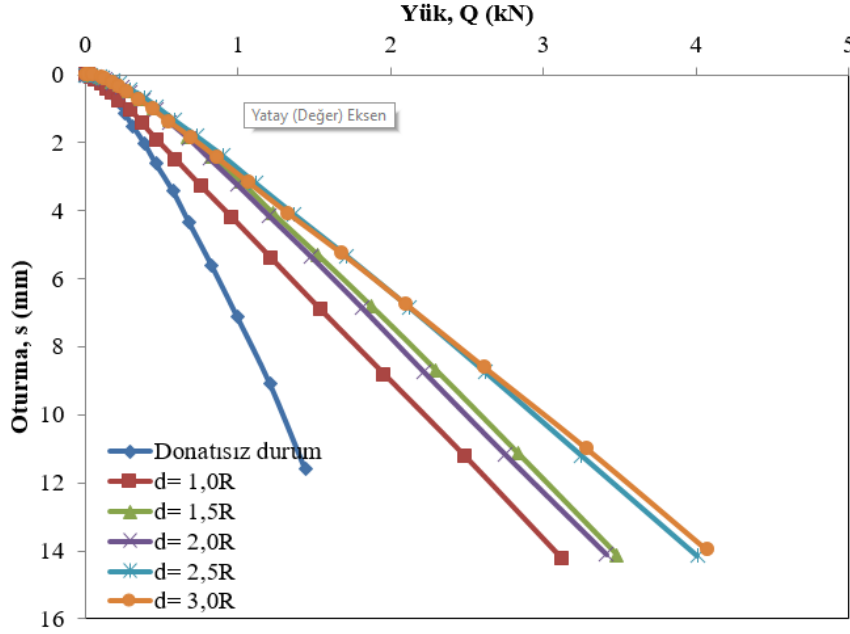
Şekil 7. Kare Donatı $d=2,5R$ için İlk Donatı Derinliğine Bağlı Yük-Oturma Grafiği

Özetle; model boyutlarda kare kesitli donatı ve ring temel in kullanıldığı laboratuvar deneylerinde (Seri 1) optimum değerler $u_{opt}=0,4R$ ve $d_{opt}=2,5R$ olarak önerilmiştir.

Daire Kesitli Donatıların İlk Donatı Derinliği ve Donatı Çapı Analizi

Gevşek kum zemine yerleştirilen daire kesitli mikrogrid donatının ilk donatı derinliği (u) ve donatı çapı (d) değiştirilerek ayrı ayrı yükleme deneyleri yapılmıştır. Bu aşamada ring kesitli model temeller kullanılmıştır.

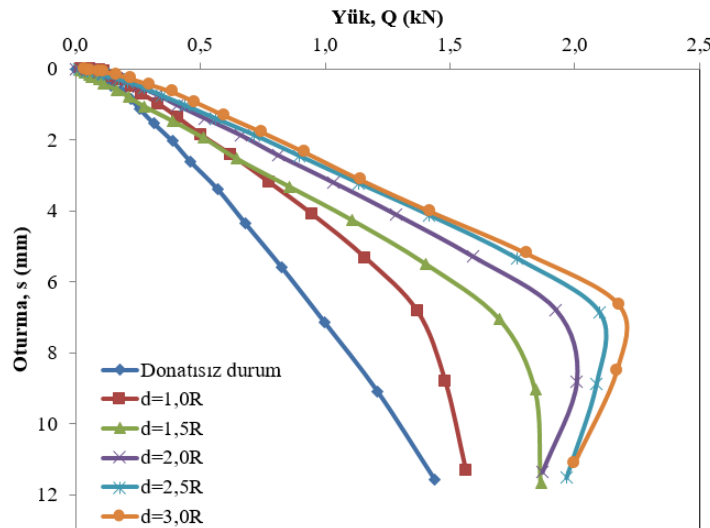
Bu serideki deneylerin ilk etabında ilk donatı derinliği $0,2R$ olan daire donatının çapı (d), $1,0R$; $1,5R$; $2,0R$; $2,5R$ ve $3,0R$ olarak değiştirilerek beş farklı yükleme deneyi yapılmıştır. Deneylerden elde edilen yük-oturma eğrileri grafik üzerinde karşılaştırılarak optimum donatı çapı (d_{opt}) araştırılmıştır (Şekil 8).



Şekil 8. Daire Donatı $u=0,2R$ İlk Donatı Derinliği İçin Yük-Oturma Grafiği

Deney sonuçlarından, daire donatının çapı arttıkça ring temelin yük taşıma kapasitesinin de arttığı belirlenmiştir. Optimum donatı çapı, daire mikrogridin $u=0,2R$ derinliğe yerleştirilmesi durumunda $d_{opt}=2,5R$ olarak belirlenmiştir.

Bu serinin ikinci etap deneylerinde ilk donatı derinliğinin $u=0,4R$ olduğu durumda daire kesitli donatının çapı (d), $1,0R$; $1,5R$; $2,0R$; $2,5R$ ve $3,0R$ olarak değiştirilerek beş farklı yükleme deneyi yapılmıştır. Deneylerden elde edilen yük-oturma eğrileri grafik üzerinde karşılaştırılarak optimum donatı çapı araştırılmıştır (Şekil 9).

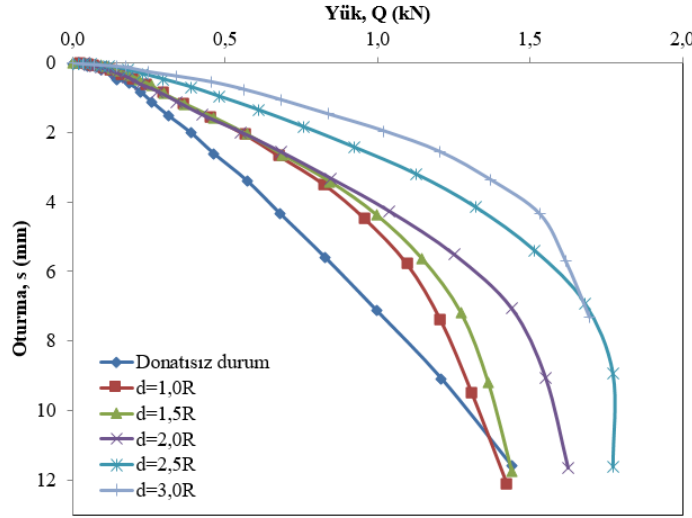


Şekil 9. Daire Donatı $u=0,4R$ İlk Donatı Derinliği İçin Yük-Oturma Grafiği

Deney sonuçlarından, daire donatının çapı arttıkça ring temelin yük taşıma kapasitesinin de arttığı tespit edilmiştir (Şekil 9). Ancak $d=2,5R$ ve $d=3,0R$ durumlarında yaklaşık olarak aynı taşıma gücü değerlerine ulaşıldığı

görülmüştür. Dolayısıyla optimum donatı çapı, daire mikrogridin $u=0,4R$ derinliğe yerleştirilmesi durumunda $d_{opt}=2,5R$ olarak belirlenmiştir.

Bu seri deneylerin üçüncü etabında ilk donatı derinliğinin $u=0,6R$ olduğu durumda daire donatının çapı (d), $1,0R$; $1,5R$; $2,0R$; $2,5R$ ve $3,0R$ olarak değiştirilerek beş farklı yükleme deneyi yapılmıştır. Deneylerden elde edilen yük-oturma eğrileri grafik üzerinde karşılaştırılarak optimum donatı çapı (d_{opt}) araştırılmıştır (Şekil 10).

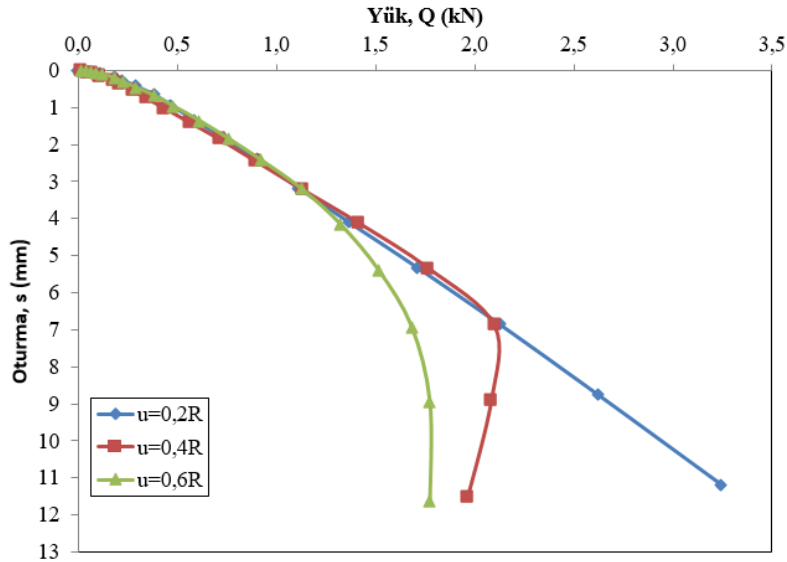


Şekil 10. Daire Donatı $u=0,6R$ İlk Donatı Derinliği İçin Yük-Oturma Grafiği

Şekil 10'dan, donatı çapı arttıkça ring temelin yük taşıma kapasitesinin de arttığı tespit edilmiştir. Optimum donatı çapı, daire mikrogridin $u=0,6R$ derinliğe yerleştirilmesi durumunda $d_{opt}=2,5R$ olarak belirlenmiştir.

Bu değerlendirmeler ($u=0,2R$; $u=0,4R$ ve $u=0,6R$) esas alınarak optimum donatı genişliği $d_{opt}=2,5R$ şeklinde kabul edilip sonraki deney süreci planlanmıştır.

Daire kesitli mikrogrid donatının çapı $2,5R$ olarak sabit tutularak ilk donatı derinliği $0,2R$, $0,4R$ ve $0,6R$ olacak şekilde yapılan deneylerden elde edilen eğriler grafik olarak sunulmuştur (Şekil 11).



Şekil 11. Daire Donatı $d=2,5R$ İçin İlk Donatı Derinliğine Bağlı Yük-Oturma Grafiği

Donatı çapı $d=2,5R$ olarak sabit tutulduğunda genel olarak ilk donatı derinliği arttıkça taşıma gücünde azalma olduğu görülmüştür. İlk donatı derinliği $u=0,4R$ olduğu durumlarda diğer durumlara göre biraz daha fazla taşıma gücü değerleri elde edilmiştir. Ancak bu ihmal edilecek kadar az olduğundan dolayı optimum ilk donatı derinliği $u_{opt}=0,2R$ olarak kabul edilmiştir.

Özetle; model boyutlarda daire kesitli donatı ve ring temelin kullanıldığı laboratuvar deneylerinde (Seri 2) optimum değerler $u_{opt}=0,2R$ ve $d_{opt}=2,5R$ olarak önerilmiştir.

TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada kare ve daire kesitli mikrogrid donatı ile güçlendirilmiş gevşek kum zemine oturan ring temellerin aksel basınç yükü altındaki davranışı 30 adet laboratuvar deneyi ile analiz edilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen bulgulardan çıkarılan sonuçlar aşağıda verilmiştir;

Seri 1'deki deney sonuçları incelendiğinde donatı genişliği arttıkça taşıma gücünde de artış gerçekleşmiştir ancak tüm donatı derinliklerinde $d=2,5R$ değerinden sonra artış gerçekleşmediğinden dolayı optimum değer $d_{opt}=2,5R$ olarak tespit edilmiştir. Üç farklı derinliğe yerleştirilen donatılar için optimum donatı derinliğinin $u_{opt}=0,4R$ olduğu görülmüştür.

Seri 2'deki deney sonuçları incelendiğinde de donatı çapı arttıkça taşıma gücünde de artış gerçekleşmiştir ancak tüm donatı derinliklerinde $d=2,5R$ değerinden sonra artış gerçekleşmediğinden dolayı optimum değer $d_{opt}=2,5R$ olarak tespit edilmiştir. Üç farklı derinliğe yerleştirilen donatılar için optimum donatı derinliğinin $u_{opt}=0,2R$ olduğu görülmüştür.

Her iki donatı geometrisi için de optimum donatı çapı/genişliği değeri $2,5R$ olarak tespit edilmesine rağmen daire donatı yerleşiminde ki ilk donatı derinliğinin kare donatı değerinden farklı olduğu görülmektedir. Buradan da anlaşılacağı üzere yerleştirilecek donatının geometrisinin ilk donatı derinliği seçiminde önemli bir parametre olduğu açıktır.

Çalışma özelinde geogridlerin kötü derecelenmiş kuru kum zeminlerde taşıma gücünün artırılması için kullanılabileceği ve önemli artışlar sağlayabileceği laboratuvar ölçeğinde yapılan model deneyler sonucunda ortaya konmuştur. Deneysel sonuçların büyük ölçekli arazi deney sonuçları ile karşılaştırılıp temel-donatı ölçeğinde bir korelasyon elde edilmek suretiyle gerçek uygulamalarda geogrid donatılarının taşıma gücü performansı hakkında bir fikir sahibi olunmasında faydalı olabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Abdolhosseinzadeh, A., Samui, P., Samaei, M., & Garousi, A. (2022). Numerical analysis of bearing capacity of circular footing reinforced with geogrid layers. *Arabian Journal of Geosciences*, 15(8), 1-10. <https://doi.org/10.1007/s12517-022-10030-8>
- Anıl, O., Akbaş, S. O., Babagiray, S., Gel, A. C., & Durucan, C. (2017). Experimental and finite element analyses of footings of varying shapes on sand, *Geomech. Eng.*, 12(2), 223-238. <https://doi.org/10.12989/gae.2017.12.2.223>
- Binquet, J., & Lee, K. L. (1975). Bearing Capacity Tests on Reinforced Earth Slabs, *Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE*, 101(12), 1242-1255, 1975. <https://trid.trb.org/view/36761>
- Boushehrian, J.H. & Hataf, N. (2003). Experimental and numerical investigation of the bearing capacity of model circular and ring footings on reinforced sand, *Geotext. Geomembranes*, 21(4), 241-256. [https://doi.org/10.1016/S0266-1144\(03\)00029-3](https://doi.org/10.1016/S0266-1144(03)00029-3)
- Briaud, J.L., & Jeanjean, P. (1994). Load settlement curve method for spread footings on sand. Vertical and Horizontal Deformations of Foundations and Embankments, *ASCE*, Vol. 2:1774-1804. <https://trid.trb.org/view/450797>
- Davarcı, B. (2014). Geogrid donatılı gevşek kum zemine oturan çok kenarlı yüzeysel temellerin deneysel analizi. Yüksek Lisans Tezi. Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı. Hatay.
- Demiröz, A. (2008). Geogrid donatılı kum zemine oturan sürekli temellerde taşıma gücünü etkileyen tasarım faktörlerinin deneysel olarak araştırılması. Doktora Tezi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı. Konya. 2008
- El Sawwaf, M., & Nazir, A. (2012). Behavior of eccentrically loaded small-scale ring footings resting on reinforced layered soil. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 138(2), 376-384. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)GT.1943-5606.0000593](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0000593)

Kadhun, M. Q., & Albusoda, B. S. (2021). A review on the performance of ring foundations resting on reinforced and unreinforced soil. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 1105, No. 1, p. 012086). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1105/1/012086>

Kirtimayee, B., & Samadhiya, N. K. (2022). Performance of loosely skirted shallow foundation resting on reinforced sand under vertical loading. *International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering*, 8(1), 1-17. <https://doi.org/10.1007/s40891-022-00359-1>

Laman, M., & Babacan, Ş. D. (2004). Donatılı kum zemin üzerine oturan ring (halka) temellerin analizi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*. 19(2), 282-287. <https://doi.org/10.21605/cukurovaummf.242816>

Moayed, R.Z., Rashidian, V., & Izadi, E. (2012), Evaluation on bearing capacity of ring foundations on two-layered soil, *World Acad. Sci. Eng. Technol.*, 61, 954-958. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1329410>

Rowshanzamir, M. A., & Karimian, M. (2016). Bearing capacity of square footings on sand reinforced with dissimilar geogrid layers. *Scientia Iranica A*. 23(1), 36-44. <https://doi.org/10.24200/SCI.2016.2095>

Örnek, M. (2009). Yumuşak kil zeminlerin geogrid donatı ile güçlendirilmesi. Doktora Tezi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı. Adana.

Sargazi, O., & Hosseininia, E.S. (2017). Bearing capacity of ring footings on cohesionless soil under eccentric load. *Comput. Geotech.*, 92, 169-178. <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2017.08.003>.

Shende, R. P., Swarnkar, D. C., & Singh, A. K. (2022). Numerical analysis of ring foundation fixed with geogrid. In *Dynamics of Soil and Modelling of Geotechnical Problems* (pp. 111-121). Springer, Singapore.



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 26.04.2022
Kabul Tarihi : 31.10.2022

Received Date : 26.04.2022
Accepted Date : 31.10.2022

SADEYAĞIN FARKLI BİTKİSEL YAĞLARLA KİMYASAL İNERESTERİFİKASYONU

CHEMICAL INTERESTERIFICATION OF GHEE WITH DIFFERENT VEGETABLE OILS

Ayşe Burcu AKTAŞ¹ (ORCID: 0000-0003-2520-0976)

Büşra Nur OKÇU² (ORCID: 0000-0002-6289-1000)

Deniz YAMAN² (ORCID: 0000-0002-1719-5364)

Bilge Başak BAYRAM² (ORCID: 0000-0001-9925-9749)

¹ Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Biyokimya Bölümü, Sivas, Türkiye,

² Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Sivas, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Ayşe Burcu AKTAŞ, burcuaktas@cumhuriyet.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada, sadeyağın farklı bitkisel yağlarla kimyasal interesterifikasyonu sonucu yeni bir yapılandırılmış yağ üretimi gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla bitkisel yağ tipi (ayçiçek ve fındık yağı) ve karışım oranları (50:50, 60:40, 70:30 g/g) faktör olarak dikkate alınarak bir faktöriyel deneme deseni oluşturulmuş ve 9 adet yapılandırılmış yağ üretilmiştir. Üretilen yağların serbest yağ asitliği, peroksit sayısı, kayma erime sıcaklıkları ve mono-di-trigliserit miktarları belirlenmiştir. Ayrıca, Fourier dönüşümlü kızıl ötesi spektrofotometresi ile spektralar toplanarak interesterifikasyon sırasında yağların kimyasal yapılarında oluşan değişimler incelenmiştir. Veriler, varyans analizi (ANOVA) ve çok değişkenli (PCA) istatistiksel yöntemler kullanılarak yorumlanmıştır. Yapılandırılmış yağ üretiminde seçilen her iki yağ tipi de sadeyağın yeniden yapılandırması açısından uygundur. İnteresterifiye yağlar oksidatif stabilite açısından değerlendirildiğinde 60:40 karışım oranının daha uygun olduğu bulunmuştur. Kimyasal interesterifikasyon sonrası üretilen yağların kayma erime sıcaklığı 22.65-28.35 °C aralığında değişmektedir. Üretilen yağlar, gıda sanayiinde, bisküvi, kraker, milföy üretimi gibi unlu mamüller sektöründe kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: Sadeyağ, kimyasal interesterifikasyon, fındık yağı, infrared spektra

ABSTRACT

This study aims at production of structured lipids by chemical interesterification of ghee with different vegetable oils. For this purpose, a factorial experimental design was created by considering oil type (sunflower and hazelnut oil) and oil ratios (50:50, 60:40, 70:30 w/w) as processing factors and according to this design table 9 different structured lipids were manufactured. Free fatty acidity, peroxide value, slip melting point and mono-di-triglyceride contents of produced lipids were determined. Moreover, the infrared spectra were also collected by Fourier transform infrared spectrophotometer in order to better analyze the changes in the chemical structure of lipids during interesterification. The data were analyzed by analysis of variance (ANOVA) and multivariate (PCA) statistical techniques. The both oil types could be used for restructuring ghee. Moreover, the interesterified lipids with 60:40 oil ratio had better oxidative stability compare to other samples. The slip melting point of the structured lipids changed in the range of 22.65-28.35 °C after chemical interesterification. The manufactured lipids could be used as an alternative lipid source for bakery products.

Key words: Ghee, chemical interesterification, hazelnut oil, infrared spectra

GİRİŞ

Kimyasal interesterifikasyon yağların bir alkali metilat reaksiyonu sonucu trigliserit yapılarında bulunan yağ asitlerinin birbirleri ile rasgele yer değiştirilmesi reaksiyonudur. Bu yöntem, yağların kimyasal ve fiziksel özelliklerinin değiştirilmesi ile birlikte farklı alanlarda kullanımı mümkün olan yapılandırılmış yağların üretimine olanak sağlamaktadır (Motamedzadegan vd., 2020; Sivakanthan ve Madhujith, 2020). Kimyasal interesterifikasyon yöntemi ile yağların kayma erime noktası, oksidatif stabilite, katı yağ içeriği, kristalizasyon, kıvam ve plastisite gibi trigliserit profili ile ilişkili gibi özellikleri geliştirilmektedir (Farajzadeh vd., 2019). Buna ek olarak, kimyasal interesterifikasyon ile yapılandırılmış yağlar düşük miktarlarda (< % 1) trans yağ içerirler (Ornla-ied vd., 2022; Li vd., 2018). Gıda endüstrisinde yapılandırılmış yağlar, ayçiçek, mısır, aspir, kanola ve pamuk yağı gibi çeşitli bitkisel yağların palm yağı ya da palm yağı bileşenleri ile kimyasal interesterifiye edilmesi yöntemiyle üretilirler. Kimyasal interesterifikasyon tekniği çoğunlukla, margarinlerin, şorteninglerin, çeşitli kızartma yağlarının ve salata soslarının üretiminde kullanılır (Rozendaal ve Macrae, 2018; Kadhum ve Shamma, 2017).

Sadeyağ, Türk Gıda Kodeksine göre; 'süt ve/veya süt ürünlerinden elde edilen, su ve yağsız kuru madde bileşenlerinin tamamına yakın bölümü uzaklaştırılmış, ağırlıkça en az % 99 oranında süt yağı içeriğine sahip ürün' olarak tanımlanır (TGK, 2005). Sadeyağ farklı hayvan sütlerinin ya da bu sütlerden elde edilen yoğurtların yayılanması sonucu üretilen tereyağlarının 100 °C'nin altındaki sıcaklıklarda eritilmesi, su ve yağsız kuru madde bileşenlerinin uzaklaştırılması yoluyla üretilir. Benzer ürünler Asya, Orta Doğu ve Afrika ülkelerinde de üretilmektedir. Bu ürünler, Hindistan'da "ghee", Orta Doğu'da "maslee" veya "samn", İran'da ise "roghan" olarak bilinir (Kumar vd., 2010). Uluslararası literatürde ise genellikle "ghee", "clarified butter oil" ya da "butter oil" olarak adlandırılmaktadır. Sadeyağ, uluslararası standartlara göre en az %96 oranında süt yağı içermelidir. Nem ve serbest yağ asitliği oranı en fazla % 0.3 ve peroksit sayısı değeri ise en çok 1 meq O₂/kg sadeyağ olmalıdır (Yokuş vd., 2019; Atasoy ve Türkoğlu, 2010). Sadeyağ, yüksek sıcaklıklara karşı dirençli, oda sıcaklığında katı halde bulunan, vücut sıcaklığında kolaylıkla eriyebilen bir yağdır. Nem içeriğinin düşük oluşu ve antioksidan maddeler içermesi nedeniyle buzdolabı sıcaklığında depolandığında yaklaşık 1 yıl raf ömrü bulunmaktadır (Kumbhare vd., 2021).

Sadeyağ yaklaşık % 60 oranında doymuş, % 40 oranında ise tekli doymamış yağ asitlerini içerir. Çoklu doymamış yağ asitleri ise çok az miktarlarda (% 0.8 civar) bulunur. Sadeyağda bulunan baskın yağ asitleri palmitik, stearik, oleik ve miristik asittir. Ayrıca, içeriğinde yüksek oranda bulunan konjuge yağ asitleri nedeniyle de antikanserojenik etkiye sahip olduğu da daha önceki çalışmalarla ortaya konulmuştur (Kwak vd., 2013; Atasoy ve Türkoğlu, 2010).

Gıda endüstrisinde yapılandırılmış yağların üretiminde yaklaşık % 50 oranında doymuş yağ asitleri içeren palm yağı kullanılmaktadır (Zang vd., 2019). Ülkemizin iklimsel koşulları palm yağı ağaçlarının yetiştirilmesine uygun değildir. Bu nedenle gıda üretimlerinde kullanılan palm yağı yurtdışından ithal edilmektedir. Sadeyağ ise palm yağına oranla daha yüksek miktarlarda doymuş yağ asitleri içermekle birlikte ülkemizde üretilen bir yağ tipidir (Kwak vd., 2013; Atasoy ve Türkoğlu, 2010). Ayrıca, sadeyağın yüksek sıcaklıklarda stabil kalabilmesi ve su içeriğinin düşük olması gibi özellikleri, gıda endüstrisi açısından palm yağı ikamesi olarak kullanılabilme potansiyeli olduğunu göstermektedir. Literatürde sadeyağın kimyasal interesterifikasyon yöntemi ile yapılandırılması ile ilgili çalışmalar bulunmamaktadır. Sadeyağın farklı bitkisel yağlarla kimyasal interesterifiye edilmesi, erime noktası düşük, kıvam ve plastisite özellikleri gıda endüstrisi için uygun ve çoklu doymamış yağ asitlerince zengin yeni bir yapılandırılmış yağ üretimini mümkün kılacaktır. Bu çalışmanın amacı, sadeyağın fındık ve ayçiçek yağları ile kimyasal interesterifikasyon yöntemi kullanılarak yeniden yapılandırılmasıdır. Yağ tipi ve karışım oranının faktör olarak belirlendiği bir deneme deseni oluşturulmuş ve 9 farklı interesterifiye yağ üretilmiştir. Üretilen yağların bazı kimyasal ve fiziksel özellikleri hem analitik yöntemlerle hem de kızılötesi spektrumla analiz edilmiştir. Ayrıca seçilen yağ tipleri ve karışım oranlarına göre en uygun üretim parametreleri tespit edilmiştir.

MATERYALLER VE YÖNTEMLER

Materyaller

Yapılandırılmış yağların üretiminde kullanılan sadeyağ (Yörük Çiftliği, Türkiye), rafine fındık (Fiskobirlik, Ordu, Türkiye) ve ayçiçek yağları (Orkide, İzmir, Türkiye) süpermarketten satın alınmıştır. Kimyasal katalist olarak kullanılan sodyum metilat (CH₃NaO) (Solem Kimya, Türkiye) yerel bir yağ üretim tesisinden temin edilmiştir. Kimyasal analizlerde kullanılan diğer kimyasal maddeler ve solventler analitik olarak uygun nitelik ve saflıktadır.

Yapılandırılmış Yağların Üretimi

Sadeyağın kimyasal interesterifikasyon reaksiyonu ile yeniden yapılandırılması işleminde, karışım oranının (Sadeyağ:bitkisel yağ; 50:50-60:40-70:30 g/g) ve yağ tipinin (fındık ve ayçiçek yağları) etkilerini ölçmek üzere bir deneme deseni oluşturulmuştur. Bu deneme desenine göre 9 farklı yağ karışımı elde edilmiştir (Tablo 1). 100 g yağ karışımı rotary evaporatörde (Heidolph, Almanya) 70°C'de vakum altında yaklaşık 30 dakika boyunca kurutulmuştur. Kimyasal interesterifikasyon reaksiyonlarının başlatılması için, 100 g yağ karışımına % 0.75 (g/g) oranında sodyum metilat ilavesi yapılmıştır. Kimyasal interesterifikasyon, rotary evaporatörde 70 °C'de ve 50 rpm dönme hızıyla 30 dakika boyunca gerçekleştirilmiştir. Belirtilen sürenin sonunda, sodyum metilatın inaktif hale getirilmesi için sıcak su ve yıkama çözeltileri (tuzlu su, seyreltik fosforik asit çözeltisi, saf su) ile yıkama işlemi yapılmıştır. Her bir yıkama çözeltisinden yaklaşık 100 ml kullanılmıştır. Yıkama çözeltileri ve interesterifiye yağlar ayırma hunisi yardımıyla birbirinden ayrılmıştır. Ortamda kalan su, rotary evaporatörde 70 °C'de vakum altında 30 dakika tutularak uzaklaştırılmıştır. Yapılandırılmış yağlar, kimyasal analizler tamamlanıncaya kadar -20 °C'de amber cam şişelerde muhafaza edilmiştir (Aktaş ve Özen, 2021).

Tablo 1. Yapılandırılmış Yağların Üretimi İçin Düzenlenen Faktöriyel Deneme Deseni

Örnek Kodları	Yağ Tipi	Karışım Oranı (%)
A50	Ayçiçek yağı	50
F50	Fındık yağı	50
A60	Ayçiçek yağı	60
F60	Fındık yağı	60
A70	Ayçiçek yağı	70
F70	Fındık yağı	70
ON1	Ayçiçek yağı	60
ON2	Ayçiçek yağı	60
ON3	Ayçiçek yağı	60

*A= Ayçiçek yağı, *F=Fındık yağı, ON=orta nokta

%Serbest Yağ Asitliği Tayini

Yapılandırılmış yağ örneklerinin serbest yağ asitliği yüzdesi (% SYA) AOCS (1997) Official Method Ca 5a-40'a göre yapılmıştır. Örneklerin serbest yağ asitliği % oleik asit cinsinden hesaplanmıştır. Analiz iki kez tekrarlanmıştır.

Peroksit Sayısı Tayini

Yapılandırılmış yağ örneklerinin peroksit değerleri (PS) AOCS (1993) Official Method Cd 8-53 ile belirlenmiştir. Örneklerin peroksit değeri sonuçları 1 kg yağda bulunan peroksit oksijenin mili eşdeğer oksijen cinsinden verilmiştir. Analiz iki tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir.

Mono-di- ve Trigliseritlerin Tayini

Üretilen yağların içerdiği mono-di ve trigliseritlerin (% MAG-DAG-TAG) miktarlarının belirlenmesi için AOCS (2002) Cd11bc-93 kolon kromatografisi methodu kullanılmıştır. Bu amaçla cam kromatografi kolonu 30 gr petrol eteri ile ıslatılmış silika ile doldurulmuştur. 0.9 gr yağ örneği tartılarak 3 ml of kloroformda çözülmüştür. Kolondan 3 farklı fraksiyondaki 250 ml dietil eter-petrol eteri karışımı geçirilmiştir. İlk fraksiyon trigliseritlerin, ikinci fraksiyon digliseritlerin, üçüncü fraksiyon ise monogliseritlerin ayrılmasını sağlamıştır. Fraksiyonlar ve içerdiği gliseridler cam balonlarda toplanmıştır. Fraksiyonların içerdiği dietil eter ve petrol eteri 50 °C'deki rotary evaporatör (Heidolph, Almanya) yardımıyla uzaklaştırılmış, etüvde yapılan kurutma işlemi ardından tartım yapılarak balonda kalan mono-di ve trigliseritlerin % miktarları hesaplanmıştır.

- Fraksiyon-I (trigliseritler-TAG)-250 ml (10% dietil eter-%90 petrol eteri)
- Fraksiyon-II (digliseritler-DAG)-250 ml (25% dietil eter- %75 petrol eteri)
- Fraksiyon-III (monogliseritler-MAG)-250 ml dietil eter

Kayma Erime Noktası Tayini

Yapılandırılmış yağların kayma erime sıcaklıklarının (KEN) belirlenmesinde AOCS (1989) Cc 3-25 methodu kullanılmıştır. İki ucu açık kapiler tüp içerisine 60 °C'de eritilmiş yağ doldurularak bir gece +4 °C'de bekletilmiştir. Yağ ile doldurulmuş kapiler tüpler oda sıcaklığındaki su banyosuna termometre ile birlikte yerleştirilmiş ve su banyosunun sıcaklığı kademeli olarak yükseltilirken, termometre üzerinden katı yağın kapiler tüp içerisinde ilk hareket ettiği sıcaklık değeri kaydedilmiştir. Ölçümler iki tekrarlı olarak tamamlanmıştır.

Yapılandırılmış Yağların Kızıl Ötesi Spektrumlarının Toplanması

İnteresterifiye yağların kızılötesi spektralleri 4000-650 cm^{-1} dalga boyu aralığında Fourier Dönüştürümlü Kızılötesi Spektrometre (FTIR) (Bruker Tensor II) ile toplanmıştır (Bruker Inc., Billerica, MA, USA). Kızılötesi spektraller tek yansımali ATR hücresi ile 4 cm^{-1} çözünürlükte ve 32 kez taramalı olarak ölçülmüştür (Aktas vd., 2019). Örneklerin kızıl ötesi spektralleri iki tekrarlı olarak toplanmıştır.

İstatistiksel Analizler

Faktöriyel deneme deseninde belirtilen faktörlerin (yağ tipi ve karışım oranı) interesterifiye yağların kimyasal ve fiziksel özelliklerine olan etkisi varyans analizi (ANOVA) ile açıklanmıştır (MODDE 11, MKS Umetrics, Umea, Sweeden). Ayrıca, yağların kimyasal ve fiziksel yapılarında gerçekleşen değişimlerin daha iyi açıklanabilmesi ve örneklerin sınıflandırılması için verilere Temel Bileşenler Analizi (PCA) uygulanmıştır (SIMCA 14.1, MKS Umetrics, Umea, Sweeden).

BULGULAR VE TARTIŞMA

Yapılandırılmış Yağların % Serbest Yağ Asitliği Sonuçları

Yapılandırılmış yağların % SYA değerleri % oleik asit cinsinden hesaplanarak Tablo 2' de gösterilmiştir. Kimyasal interesterifikasyon reaksiyonlarında kullanılan fındık, ayçiçek ve sadeyağın başlangıç serbest yağ asitlikleri sırasıyla % 1.01, % 0.83 ve % 1.83 olarak bulunmuştur. Genel olarak, yapılandırılmış yağların % SYA değerleri, sadeyağın SYA değerinden daha düşüktür. %50 oranında ayçiçek yağı ile interesterifiye edilen örneklerin interesterifikasyon sonrası % SYA değerleri bir miktar artış göstermektedir. 60:40 ve 70:30 oranlarında ayçiçek yağı içeren karışımların % SYA değerleri, kimyasal interesterifikasyon öncesi oldukça yüksekken, reaksiyon sonrası azalma göstermektedir (Tablo 2). Çikolata üretiminde kullanılmak üzere, sadeyağ ile palm yağının karıştırıldığı bir çalışmada, karışımların SYA değerlerinin palm yağının % SYA'den daha düşük olduğu bulunmuştur (Prasanth Kumar vd., 2016).Yapılandırılmış yağ üretiminde fındık yağı kullanıldığında ise, interesterifikasyon öncesi ve sonrası yağların % SYA değerlerinin değişmediği görülmektedir (Tablo 2). SYA değerlerinin interesterifikasyon reaksiyonları sonrasında değişmediği, palm yağının susam yağı ile kimyasal interesterifiye edildiği başka bir çalışmada da görülmüştür (Tourchi Rudsari vd., 2019).

SYA için yapılan varyans analizi % 95 güven aralığında gerçekleştirilmiş ve oluşturulan modelin istatistiksel olarak anlamlı olmadığı tespit edilmiştir. ANOVA tablosunda görüldüğü üzere, tüm faktörlerin ve interaksiyonlarının p değerleri 0.05'den büyük çıkmıştır (Tablo 3). Kimyasal interesterifikasyon reaksiyonları için faktör olarak belirlenen yağ tipi ve karışım oranının, yapılandırılmış yağların SYA içeriğine önemli bir etkisi olmadığı istatistiksel olarak bulunmuştur.

Yapılandırılmış Peroksit Sayısı Değerleri

Yapılandırılmış yağların PS değerleri miliekivalen O_2/kg yağ cinsinden hesaplanarak Tablo 2'de verilmiştir. İnteresterifiye yağların üretiminde kullanılan ayçiçek, fındık ve sadeyağın başlangıç PS değerleri sırasıyla 2.12, 9.55, 1.03 miliekivalen O_2/kg olarak hesaplanmıştır. % 50 ve % 40 oranlarında fındık yağı içeren örneklerin PS değerlerinin nispeten daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Fındık yağı tekli doymamış yağ asidi olan oleik asit bakımından zengin bir yağ çeşidi iken, ayçiçek yağı çoklu doymamış yağ asitlerinden linoleik asidi yüksek oranlarda içermektedir. Ayçiçek yağı, çoklu doymamış yağ asitleri bakımından zengin olduğu için oksidasyon reaksiyonlarına daha kolay girmektedir. Bu nedenle ayçiçek yağı ile interesterifiye edilen yağların PS değerleri daha yüksek çıkmıştır. Türk Gıda Kodeksi tarafından yemeklik yağların PS için limit değer 10 miliekivalen O_2/kg yağdır (TGK, 2010). %40 oranında ayçiçek yağı ve % 40-50 fındık yağı ile interesterifiye edilen örneklerin PS değerleri limit değerinin altındadır. Ayrıca %40 ve 50 oranında fındık yağı içeren yapılandırılmış yağların interesterifikasyon öncesi ve sonrası PS değerleri birbirine çok yakındır (Tablo 2). Benzer bir trend daha önceki bir çalışmada da görülmüştür (Tourchi Rudsari vd., 2019). Yapılandırılmış yağlar PS açısından değerlendirildiğinde, % 60 sadeyağ- % 40 bitkisel yağ oranının her iki yağ tipi için de uygun olduğu tespit edilmiştir (Tablo 2). Ayrıca, peroksit sayısının düşürülebilmesi için yağlara interesterifikasyon sonrası nötralizasyon işlemi uygulanabilir.

ANOVA tablosu PS için oluşturan modelin istatistiksel olarak önemli olmadığını işaret etmektedir (Tablo 3). Yapılandırılmış yağların PS değerleri için yağ tipi ve karışım oranının kayda değer bir etkisi olmadığı istatistiksel olarak bulunmuştur ($p>0.05$).

Yapılandırılmış Yağların Mono-di ve Trigliserit Miktarları

Kimyasal interesterifiye yağların üretiminde kullanılan ayçiçek, fındık yağlarının ve sadeyağın başlangıç % TAG değerleri sırasıyla 93.79, 11.29, 5.03, %DAG değerleri 4.75, 4.34, 7.77, %MAG 2.50, 3.31, 3.05 değerleri ise olarak hesaplanmıştır (Tablo 2). Kimyasal interesterifikasyon sonrası yağ karışımlarının trigliserit yüzdelerinde çok önemli değişimler gerçekleşmezken, digliserit miktarları önemli ölçüde farklılıklar göstermiştir. 50:50 ayçiçek yağı ve sadeyağ karışım oranında, DAG yüzdesinde interesterifikasyon sonrası hafif bir artış söz konusu iken, aynı karışım oranında fındık yağı kullanıldığında DAG yüzdesinde azalma olduğu görülmektedir. 60:40 ve 70:30 konsantrasyonlarında ise reaksiyon sonrası ayçiçek yağı içeren örneklerin DAG miktarlarında azalma, fındık yağı ile hazırlanan örneklerin DAG yüzdelerinde ise artış olduğu tespit edilmiştir.

İnteresterifikasyon reaksiyonu öncesi yağ karışımlarının monogliserit miktarları incelendiğinde, fındık yağı içeren tüm örneklerin MAG yüzdelerinin, ayçiçek yağı örneklerine göre oldukça yüksek olduğu görülmektedir (Tablo 2). Bununla birlikte kimyasal interesterifikasyon sonrası, fındık yağı içeren örneklerin MAG yüzdelerinde karışım oranından bağımsız olarak azalma gözlemlenmektedir. 50:50 ve 70:30 sadeyağ ve ayçiçek yağı karışım oranında, MAG yüzdesi interesterifikasyon sonrası minik bir artış gösterirken, 60:40 karışım oranında ise MAG miktarında hafif bir düşüş olduğu tespit edilmiştir.

Kimyasal interesterifikasyon reaksiyonlarında kullanılan kimyasal katalistler, trigliserit molekülündeki bağları kopararak, yağ asitlerini bırakırlar. Reaksiyonun ilerleyen aşamalarında ise, ortamda serbest halde bulunan yağ asitleri trigliserit, digliserit ve monogliserit formu oluşturacak şekilde gliserolle tekrar esterleşirler. Reaksiyonun rasgele gerçekleşiyor olması oluşan trigliserit, digliserit ve monogliserit miktarları ve çeşitliliği üzerinde farklılıklar göstermiştir. Ayrıca MAG ve DAG yüzdelerindeki artış hidrolitik acılaştırmanın da göstergesidir. Elde edilen sonuçlar kimyasal interesterifikasyon reaksiyonları ile ilgili yapılan farklı çalışmalarla uyum göstermektedir (Oliveira vd., 2017; Kowalska vd., 2005).

TAG-DAG-MAG analizi için yapılan varyans analizi % 95 güven aralığında gerçekleştirilmiştir. ANOVA tablosunda görüldüğü üzere tüm faktörlerin ve interaksiyonlarının p değerleri 0.05'den büyük çıkmıştır (Tablo 3). İnteresterifiye yağlar için faktör olarak seçilen yağ tipi ve karışım oranının, yapılandırılmış yağların %TAG-DAG-MAG miktarları üzerine önemli etkileri olmadığı istatistiksel olarak bulunmuştur.

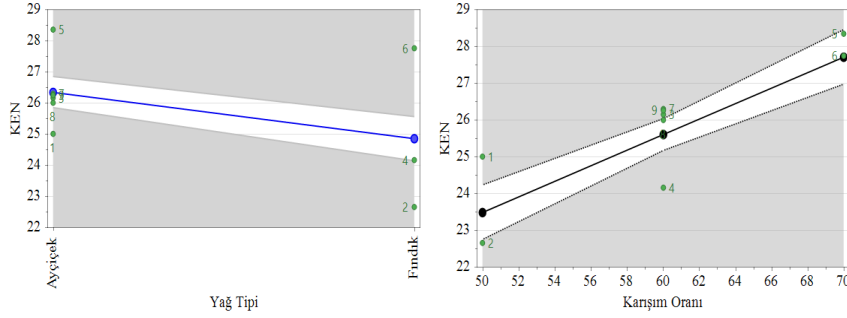
Yapılandırılmış Yağların Kayma Erime Noktası

Yapılandırılmış yağların kayma erime sıcaklıkları Tablo 2'de gösterilmektedir. Sadeyağın KEN 28.5 °C olarak ölçülmüştür. Sadeyağın bitkisel yağlarla karıştırılması ve interesterifiye edilmesi kayma erime sıcaklıklarında bir miktar azalmalara sebep olmuştur. Kayma erime noktasındaki bu düşüş yağların trigliserit yapılarındaki yağ asitlerinin değişimden kaynaklanabilmektedir. Benzer bir düşüş literatürdeki diğer kimyasal interesterifiye yağlarda da görülmektedir (Oliveira vd., 2017; Kowalska vd., 2007). Bununla birlikte interesterifikasyon sonrası örneklerin erime sıcaklıklarında çok az artış olduğu görülmektedir. Üretilen tüm interesterifiye yağlar vücut sıcaklığında (<37 °C) eriyebilecek aralıktadır (Tablo 2). KEN için yapılan varyans analizi %95 güven aralığında gerçekleştirilmiştir. ANOVA tablosu tüm faktörlerin p değerlerinin 0.05'den küçük çıktığını göstermektedir (Tablo 3). İnteresterifiye yağların üretimi için faktör olarak seçilen yağ tipi ve karışım oranının, yapılandırılmış yağların kayma erime noktası üzerine önemli etkileri olduğu istatistiksel olarak ispatlanmıştır. Seçilen yağ tipinin KEN'e etkisi incelendiğinde, interesterifikasyon reaksiyonlarında ayçiçek yağı kullanılması halinde KEN'in daha yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 1). Karışım oranının KEN'e olan etkisi analiz edildiğinde ise, sadeyağın oranı arttıkça, kayma erime sıcaklığının da arttığı görülmektedir (Şekil 1). KEN için oluşturulan modelin anlamlı olması ve özellikle de üretimde kullanılan sadeyağ oranındaki artışa bağlı olarak KEN değerlerinin değişim göstermesi, sadeyağın yapılandırılmış yağ üretiminde kullanılabileceğinin bir göstergesidir.

Yapılandırılmış Yağların Kızılötesi Spektroskopik Ölçüm Sonuçları

Kızılötesi spektroskopik analiz yöntemleri, analitik yöntemlere alternatif olarak kullanılabilen, sonuçların daha hızlı elde edildiği, analizler için örnek hazırlama basamaklarının oldukça basit olduğu ve özellikle örneklerin zarar görmeden analiz edilebildiği yöntemlerdir (Upadhyay vd., 2018). Fourier Dönüşümlü Spektrofotometre ile yağların kızıl ötesi spektralleri toplandığında, 1743 cm⁻¹ dalga boyunda alifatik esterlerin C=O bantlarının absorbans elde edilir. 2922 and 2852 cm⁻¹ dalga boyu aralığında ise simetrik ya da asimetrik C-H bağları görülmektedir (Aktas vd., 2019)

Yapılandırılmış yağların FTIR spektralleri Şekil 2’de verilmiştir. Kızılötesi spektrada, ayçiçek yağı ile interesterifiye edilen örnekler kırmızı, fındık yağı ile yapılandırılan örnekler ise mavi renkle gösterilmiştir (Şekil 2). Piklerin yoğun olarak görüldüğü bölge aynı zamanda parmak izi bölgesi olarak da bilinen 1250-700 cm^{-1} dalga boyu aralığıdır. 2950-2850 cm^{-1} dalga boyu aralığındaki değişimler genellikle CH_2 bağlarındaki titreşimlerden kaynaklanmaktadır. 1746 cm^{-1} boyundaki pikler ise aldehitlerin ve sekonder oksidasyon ürünlerinin göstergesidir. Bu dalga boyunda çoğunlukla C=O bağları yani trigliseritleri ester bağları gözlemlenir. Parmak izi bölgesinde, 1163 cm^{-1} civarlarında piklerin büyüklüğü ve yoğunluğu oksidatif reaksiyonlar hakkında bilgi vermektedir. Yapılandırılmış yağların kızılötesi spektralleri daha önceki çalışmalarla benzerlik göstermektedir (Upadhyay vd., 2018; Upadhyay vd., 2016).



Şekil 1. Yağ Tipinin ve Karışım Oranının Yapılandırılmış Yağların Kayma Erime Noktası Üzerine Etki Grafiği

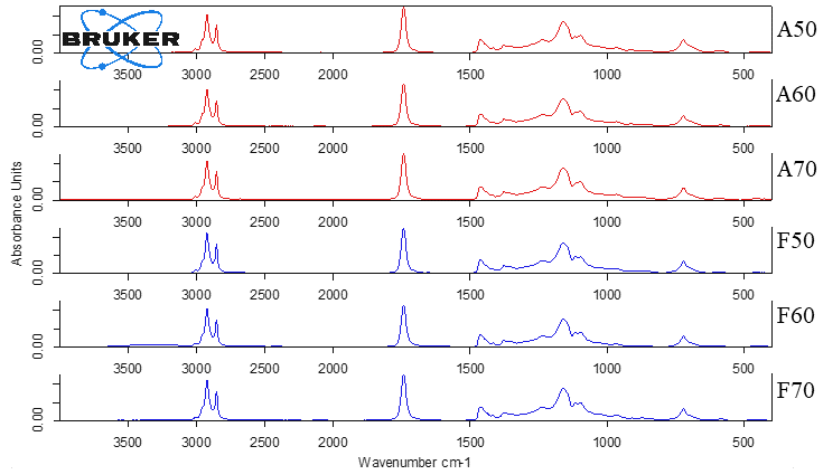
Tablo 2. Yapılandırılmış Yağların ve Yağ karışımlarının Kimyasal ve Fiziksel Analiz Sonuçları

Örnek Kodları	%SYA	PS (miliekivalen O ₂ /kg yağ)	%TAG	%DAG	%MAG	KEN (°C)
İnteresterifiye Yağlar						
A50	1.78	11.88	91.77	4.45	2.29	25
F50	1.24	6.80	93.57	1.77	1.63	22.65
A60	1.18	7.12	92.68	3.17	1.19	26.15
F60	1.62	5.56	93.82	7.32	0.30	24.15
A70	1.65	12.38	91.84	4.36	0.81	28.35
F70	1.65	16.73	89.40	5.76	2.09	27.75
ON1	0.95	8.22	86.38	9.95	1.71	26.30
ON2	1.22	9.73	91.61	5.40	1.83	26
ON3	0.92	10.35	90.52	4.56	1.90	26.25
İnteresterifiye edilmemiş Yağ Karışımları						
NA50	1.27	7.45	92.54	3.70	1.92	24.60
NA60	1.95	7.64	91.27	5.59	1.63	25.85
NA70	2.26	11.45	93.12	5.63	1.02	26.50
NF50	1.23	8.48	91.22	6.13	1.66	18.5
NF60	1.53	8.62	92.05	4.38	2.34	22.5
NF70	1.66	12.48	93.23	4.58	1.96	26.5

*NA=interesterifiye edilmemiş ayçiçek-sadeyağ karışımı. Rakamlar sadeyağ oranını belirtmektedir. *NF= interesterifiye edilmemiş fındık-sadeyağ karışımı. Rakamlar sadeyağ oranını belirtmektedir. *ON=orta nokta. Standart sapmalar (SS) orta noktalar üzerinden 2 tekrarlı hesaplanmıştır. $SS_{SYA}=0.16$; $SS_{PS}=1.01$; $SS_{TAG}=2.76$; $SS_{DAG}=2.90$; $SS_{MAG}=0.09$; $SS_{KEN}=0.16$

Tablo 3. Yapılandırılmış Yağlar için Oluşturulan ANOVA Tablosu

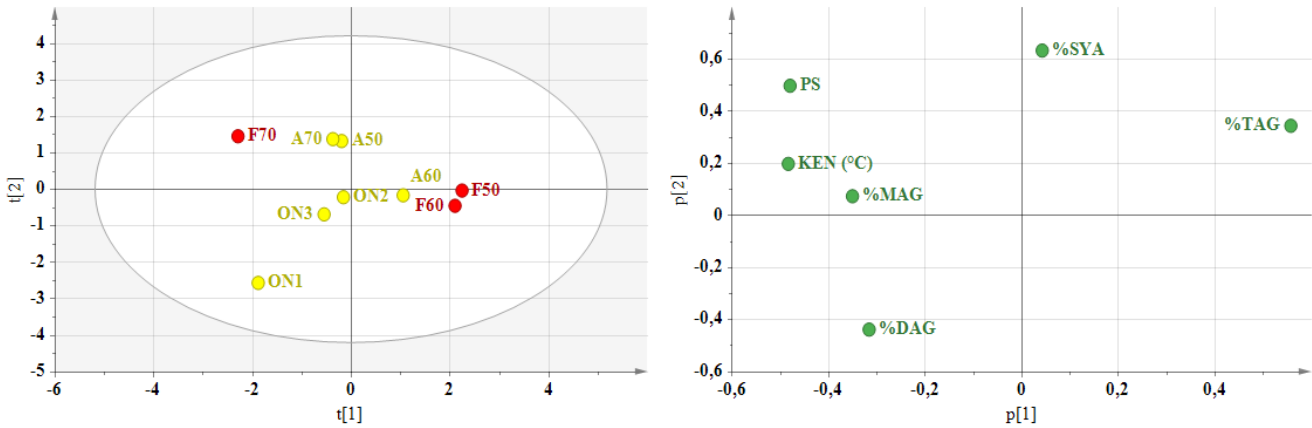
	%SYA	PS	%TAG	%DAG	%MAG	KEN (°C)
Modelin p değerleri	0.71	0.27	0.58	0.78	0.41	0.00
Modelin uyum eksikliği	0.04	0.05	0.68	0.59	0.06	0.01
R²	0.23	0.52	0.31	0.18	0.41	0.95
R_{adj}²	-0.24	0.23	-0.11	-0.31	0.06	0.93
Q²	-3.76	-3.67	-1.39	-2.71	-5.79	0.50
Faktörlerin p değerleri						
Karışım Oranı (KO)	0.71	0.15	0.44	0.50	0.45	0.00
Yağ Tipi (YT)						
Ayçiçek Yağı	0.43	0.91	0.43	0.86	0.55	0.01
Fındık Yağı	0.43	0.91	0.43	0.86	0.55	0.01
İnteraksiyonların p değerleri						
YT(ayçiçek)*KO	0.49	0.18	0.42	0.49	0.18	0.12
YT(fındık)*KO	0.49	0.18	0.42	0.49	0.18	0.12



Şekil 2. Yapılandırılmış Yağlarının Orta Kızıl Ötesi Spektraları

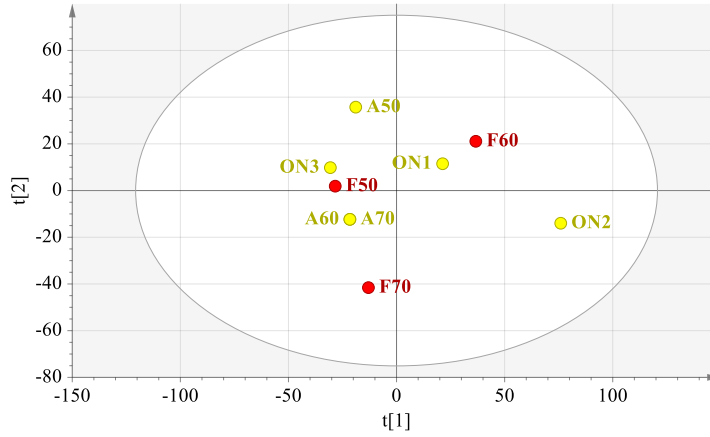
Yapılandırılmış Yağların Temel Bileşenler Analizi Sonuçları

Yapılandırılmış yağların üretiminde seçilen faktörlerin etkisini daha iyi analiz edebilmek için verilere temel bileşenler analizi uygulanmıştır. SYA, PS, % TAG-DAG-MAG miktarları ve KEN değerleri kullanılarak oluşturulan modelin içerdiği bileşen sayısı 4, $R^2=0.98$ $Q^2=0.56$ olarak bulunmuştur. Şekil 3’de verilen dağılım grafiğinde görüldüğü üzere, interesterifiye yağlar yağ tipine göre gruplanmaktadır. Sarı renkle belirtilen örnekler ayçiçeği yağı ile, kırmızı ile gösterilen örnekler fındık yağı ile interesterifiye edilmiştir. Ayçiçeği içeren örnekler elipsin merkez çevresinde kümelenirken, fındık yağı örnekleri elipsin sağ ve sol tarafına dağılmıştır. Ayrıca % 50 ve % 60 oranında sadeyağ içeren örnekler elipsin sağ, % 70 sadeyağ içeren interesterifiye yağlar ise sol tarafında bulunmaktadır. Şekil 3’de verilen ağırlık düzleminde de görüldüğü üzere, yağ tipine göre gerçekleşen bu ayrım çoğunlukla serbest yağ asitliği ve trigliserit değerlerinden ileri gelmektedir.



Şekil 3. Temel Bileşenler Analizi için Oluşturulan Dağılım Grafiği ve İki Temel Bileşen Tarafından Açıklanan Ağırlık Düzlemindeki Yapılandırılmış Yağların Özellikleri

Yapılandırılmış yağların üretiminde seçilen faktörlerin etkisini daha iyi açıklayabilmek için temel bileşenler analizi kızılötesi spektra ile SYA, PS, % TAG-DAG-MAG miktarları ve KEN sonuçlarının birleştirilmesiyle tekrarlanmıştır. Oluşturulan modelin içerdiği bileşen sayısı 4, $R^2=0.94$ $Q^2=0.54$ olarak bulunmuştur. Şekil 4’te verilen dağılım grafiğinde görüldüğü üzere, interesterifiye yağlar arasında keskin bir ayrım bulunmamaktadır. Sarı renkle belirtilen örnekler ayçiçeği içeren interesterifiye yağları, kırmızı renkle boyanmış örnekler ise fındık yağı ile yapılandırılan örnekleri göstermektedir. Ayçiçeği içeren örnekler çoğunlukla elipsin sol çevresinde kümelenirken, fındık yağı örnekleri elipsin üst ve alt tarafına dağılmıştır. % 60 ve % 70 oranında sadeyağ içeren örnekler çoğunlukla elipsin alt kısmında kümelenirken, % 50 oranında sadeyağ yağ içeren örneklerin elipsin sol üst tarafında yer aldığı görülmektedir (Şekil 4).



Şekil 4. Yapılandırılmış Yağların Kızılötesi Spektra ve Diğer Tüm Veriler Kullanarak Oluşturulmuş Dağılım Grafiği

SONUÇ

Sadeyağın farklı yağlarla kimyasal olarak interesterifiye edilmesi yeni bir ürün üretimine olanak sağlamıştır. Üretim faktörlerinin genel olarak yapılandırılmış yağların kimyasal özelliklerine önemli ölçüde bir etkisinin olmadığı istatistiksel olarak açıklanmıştır. Üretim parametrelerinin sadece kayma erime sıcaklıkları üzerine önemli bir etkisi olduğu bulunmuştur. Sadeyağın başlangıç kayma erime sıcaklığı, kimyasal interesterifikasyon reaksiyonları ile düşürülmüştür. Sadeyağın erime sıcaklığının optimum aralığa düşürülmesi, bu yağ tipinin yapılandırılmış yağ üretiminde palm yağı ikamesi olabileceğini işaret etmektedir. Sadeyağın, kimyasal interesterifikasyon reaksiyonu ile yapılandırılması için seçilen her iki yağ tipi ile başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Üretilen yağların oksidatif stabiliteleri değerlendirildiğinde 60:40 karışım oranının seçilmesi daha uygundur. İlerleyen çalışmalarda sadeyağın yeniden yapılandırılması için farklı üretim parametrelerinin ve farklı üretim tekniklerinin etkisi ve üretilen yağlarda depolama koşulları altındaki değişimler araştırılabilir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarların makale ile ilgili başka kişiler veya kurumlar ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK 2209/A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri kapsamında tamamlanmıştır. Bu projeye verdikleri desteklerinden dolayı Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na teşekkürlerimizi sunarız. Ayrıca FTIR analizlerine yardımcı oldukları için Sivas Cumhuriyet Üniversitesi İleri Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi'ne de teşekkür ederiz.

KAYNAKÇA

Aktas, A. B., & Ozen, B. (2021). Chemical and physical properties of fats produced by chemical interesterification of tallow with vegetable oils. *Grasas y Aceites*, 72(3), e418-e418.

Aktas, A. B., Alamprese, C., Fessas, D., & Ozen, B. (2019). IR spectroscopy and chemometrics for physical property prediction of structured lipids produced by interesterification of beef tallow. *LWT*, 110, 25-31.

AOCS. (1993). AOCS Official Method Cd 8-53. Official methods and recommended practices of the American oil chemists' society method Cd 8-53. Peroxide value acetic acid-chloroform method.

AOCS. (1997). AOCS official method Ca 5a-40. Official methods and recommended practices of the American oil chemists' society method 5a-40. Free fatty acids.

AOCS. (1989). AOCS official method Cc 3-25. Official methods and recommended practices of the American oil chemists' society method Cc 3-25. Slip Melting Point.

AOCS. (2002). AOCS Official Method Cd11bc-93 by column chromatography. Official methods and recommended practices of the American oil chemists' society method Cd11bc-93 Determination of Mono-di-triacylglycerol content.

- Atasoy, A., & Türkoğlu, H. (2010). Şanlıurfa'da Üretilen ve Satışa Sunulan Sadeyağların (Urfa Yağı) Serbest Yağ Asitleri Bileşiminin Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 14(2), 9-12.
- Farajzadeh Alan, D., Naeli, M. H., Naderi, M., Jafari, S. M., & Tavakoli, H. R. (2019). Production of Trans-free fats by chemical interesterified blends of palm stearin and sunflower oil. *Food Science & Nutrition*, 7(11), 3722-3730.
- Kadhun, A. A. H., & Shamma, M. N. (2017). Edible lipids modification processes: A review. *Critical reviews in food Science and Nutrition*, 57(1), 48-58.
- Kowalska, M., Bekas, W., Gruczynska, E., & Kowalski, B. (2005). Modification of beef tallow fractions by chemical and enzymatic interesterification with sunflower oil. *J Food Technol*, 3, 404-409.
- Kowalska, M., Bekas, W., Kowalska, D., Lobacz, M., & Kowalski, B. (2007). Modification of beef tallow stearin by chemical and enzymatic interesterification with rapeseed oil. *Am. J. Food Technol*, 2(6), 521.
- Kumar, M., Sharma, V., Lal, D., Kumar, A., & Seth, R. (2010). A comparison of the physico-chemical properties of low-cholesterol ghee with standard ghee from cow and buffalo creams. *International journal of Dairy Technology*, 63(2), 252-255.
- Kumbhare, S., Prasad, W., Khamrui, K., Wani, A. D., & Sahu, J. (2021). Recent innovations in functionality and shelf life enhancement of ghee, clarified butter fat. *Journal of Food Science and Technology*, 1-13.
- Kwak, H. S., Ganesan, P., & Mijan, A. M. (2013). Butter, ghee, and cream products. *Milk and Dairy Products in Human Nutrition: Production, Composition and Health*, pp. 390-411.
- Li, Y., Zhao, J., Xie, X., Zhang, Z., Zhang, N., & Wang, Y. (2018). A low trans margarine fat analog to beef tallow for healthier formulations: Optimization of enzymatic interesterification using soybean oil and fully hydrogenated palm oil. *Food Chemistry*, 255, 405-413.
- Motamedzadegan, A., Dehghan, B., Nemati, A., Tirgarian, B., & Safarpour, B. (2020). Functionality improvement of virgin coconut oil through physical blending and chemical interesterification. *SN Applied Sciences*, 2(9), 1-18.
- Oliveira, P. D., Rodrigues, A. M., Bezerra, C. V., & Silva, L. H. (2017). Chemical interesterification of blends with palm stearin and patawa oil. *Food Chemistry*, 215, 369-376.
- Ornla-ied, P., Podchong, P., & Sonwai, S. (2022). Synthesis of cocoa butter alternatives from palm kernel stearin, coconut oil and fully hydrogenated palm stearin blends by chemical interesterification. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 102(4), 1619-1627.
- Prasanth Kumar, P. K., Jeyarani, T., & Gopala Krishna, A. G. (2016). Physicochemical characteristics of phytonutrient retained red palm olein and butter-fat blends and its utilization for formulating chocolate spread. *Journal of Food Science and Technology*, 53(7), 3060-3072.
- Rozendaal, A., & Macrae, A. R. (2018). Interesterification of oils and fats. In *Lipid technologies and applications* (pp. 223-263). Routledge.
- Sivakanthan, S., & Madhujith, T. (2020). Current trends in applications of enzymatic interesterification of fats and oils: A review. *Lwt*, 132, 109880.
- TGK (2005). Türk Gıda Kodeksi. Tereyağı, Diğer Süt Yağı Esaslı Sürülebilir Ürünler ve Sadeyağ Tebliği (Tebliğ No: 2005/19). Tarım ve Köyişleri Bakanlığı. 12 Nisan 2005 tarih ve 25784 sayılı Resmî Gazete, Ankara.
- Upadhyay, N., Jaiswal, P., & Jha, S. N. (2016). Detection of goat body fat adulteration in pure ghee using ATR-FTIR spectroscopy coupled with chemometric strategy. *Journal of Food Science and Technology*, 53(10), 3752-3760.
- Upadhyay, N., Jaiswal, P., & Jha, S. N. (2018). Application of attenuated total reflectance Fourier Transform Infrared spectroscopy (ATR-FTIR) in MIR range coupled with chemometrics for detection of pig body fat in pure ghee (heat clarified milk fat). *Journal of Molecular Structure*, 1153, 275-281.
- Yokuş, D., Karakuş, M. Ş., & Atasoy, A. F. (2019). Koyun ve inek sütlerinden üretilen Şanlıurfa Sadeyağlarının fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik özelliklerinin belirlenmesi. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 23(4), 463-476.
- Zhang, Z., Lee, W. J., Zhou, H., & Wang, Y. (2019). Effects of chemical interesterification on the triacylglycerols, solid fat contents and crystallization kinetics of palm oil-based fats. *Food & Function*, 10(11), 7553-7564.



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 12.05.2022
Kabul Tarihi : 08.09.2022

Received Date : 12.05.2022
Accepted Date : 08.09.2022

KÂĞIR BLOK ÜRETİMİNDE FARKLI ORIJİNLİ İKİ POMZANIN PERFORMANSLARI ÜZERİNE KARŞILAŞTIRMALI BİR ANALİZ: TOMARZA VE TATVAN ÖRNEĞİ

A COMPARATIVE ANALYSIS ON THE PERFORMANCES OF DIFFERENT ORIGINATED TWO PUMICE IN PRODUCTION OF MASONRY BLOCKS: TOMARZA AND TATVAN SAMPLE

Lütfullah GÜNDÜZ¹ (ORCID: 0000-0003-2487-467X)
Şevket Onur KALKAN^{2*} (ORCID: 0000-0003-0250-8134)

^{1,2} İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Şevket Onur KALKAN, sevketonur.kalkan@ikcu.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada, ince, orta ve iri boyut pomza agrega olarak 0/4 mm, 4/8 mm 8/12 mm ebatlarda pomza agregalı hafif beton (PAHB) numuneleri üretilmiştir. Pomza agregaları Bitlis-Tatvan (BT) ve Kayseri-Tomarza (KT) olmak üzere iki farklı pomza ocağından elde edilmiştir. PAHB tasarımlarında ağırlıkça 30:50:20, 30:30:40 ve 20:50:30 olarak üç ince:orta:iri agrega oranı kullanılmıştır. Her bir grup için karışımda sırasıyla 130, 170, 200 ve 240 kg/m³ dozajlarında çimento kullanılmıştır. Çalışmanın ikinci aşamasında, pomza agregalı kâgir blok (PAKB), deneme küp numunelerinde kullanılan karışım oranları ile aynı şekilde tam ölçekli olarak üretilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre, BT ve KT agregası ile hazırlanmış PAHB küp örneklerinde en yüksek dayanım değerleri 2,27 ve 3,18 MPa ile 240 kg/m³ çimento dozajına ve sırasıyla, 30:30:40 ve 30:50:20 agrega kullanım oranına sahip karışımlarda elde edilmiştir. Betonun yoğunluk seviyesi arttıkça kuruma büzülmesinin ve rutubet genişemesinin arttığı ancak, agrega/çimento oranının artması ile azaldığı gözlemlenmiştir. Kâgir bloklarda en düşük ısı iletkenlik katsayısına 0,120 W/mK ile BT pomza agregalı blok numunelerinde tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kâgir blok, pomza, hafif beton, rötre, yalıtım

ABSTRACT

Pumice aggregate lightweight concretes (PAHB) were produced with fine, medium and coarse pumice aggregates as 0/4 mm, 4/8 mm and 8/12 mm. The pumice aggregates were obtained from two different pumice quarries, namely Bitlis-Tatvan (BT) and Kayseri-Tomarza (KT). Three different fine:medium:coarse aggregate ratios by weight, 30:50:20, 30:30:40 and 20:50:30 were used in PAHB designs. Also, four different cement dosages of 130, 170, 200 and 240 kg/m³ were used. In the second stage, pumice aggregate masonry block (PAKB) was produced in full scale with the same mixing ratios used in the cube samples. According to the results, the highest strength values in PAHB cube samples prepared with BT and KT aggregates were obtained as 2,27 and 3,18 MPa in mixtures with cement dosage of 240 kg/m³ and aggregate usage ratio of 30:30:40 and 30:50:20, respectively. As the density of concrete increased, the drying shrinkage and moisture expansion increased, but decreased with the increase of the aggregate/cement ratio. The lowest thermal conductivity coefficient in masonry blocks was found as 0,120 W/mK in BT aggregate block samples.

Keywords: Masonry block, pumice, lightweight concrete, shrinkage, insulation

ToCite: GÜNDÜZ, L., & KALKAN, Ş. O., (2022). KÂĞIR BLOK ÜRETİMİNDE FARKLI ORIJİNLİ İKİ POMZANIN PERFORMANSLARI ÜZERİNE KARŞILAŞTIRMALI BİR ANALİZ: TOMARZA VE TATVAN ÖRNEĞİ. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 25(4), 537-555.

GİRİŞ

Pomza tarihi süreç içerisinde inşaat sektöründe kullanılan en eski malzemelerden biridir. Dünyanın pomza kullanımının ilk referans örneği, Vitruvio'nun MÖ 1. yüzyıla ait mimari özetinde görülmektedir. Antik Romalılar döneminde, pomza termal banyo ve tapınakların yapımında yaygın olarak kullanılmıştır. En çarpıcı örneklerden biri kubbe yapımında pomza taneciklerinin kullanıldığı Roma Panteonu'dur (Anonim, 2021). Hafif beton üretiminde dayanıklılığı ve tokluğu nedeniyle pomza, iki bin yılı aşkın süredir kullanıldığı bilinen hafif agregata türlerinden biridir. Portland çimentosu, pomza agregası ve su karışımından oluşan harç karışımlarından çatı kiremitleri, hafif zemin dolguları, yapısal döşeme plakaları, prefabrik veya dış cephe yalıtım levha ürünleri, kâgir blok elemanları vb. bir dizi alternatif ürün geliştirilebilir ve uygulanabilir (Neville, 1996; Failla vd., 1997; Gündüz, 2005). Türkiye'nin farklı bölgelerinde oluşan pomza agregaları, uygun fiziksel ve kimyasal özelliklerinden dolayı uzun yıllardır dünyanın birçok ülkesine ihraç edilmekte ve farklı ürünlerde kullanılmaktadır (Gündüz, 2005b). Binanın ölü yükünü azaltmak için genellikle hafif agregalarla düşük yoğunluklu beton kullanımı bilinmektedir. Deprem ivmesinin neden olduğu riskleri azaltmak için bina ölü yükünün en aza indirilmesi son derece önemlidir (Yaşar vd., 2003). Bu nedenle yapılarda kullanılacak malzemelerin detaylı deneysel analizleri yapılmalı ve deprem risklerine karşı dayanımları incelenmelidir. Bu yaklaşım, projelerde ve inşaat mühendisliği uygulamalarında uygun malzeme seçiminin bel kemiğini oluşturmaktadır (Gündüz & Uğur, 2005).

Hafif agregadan üretilen yapı elemanları, taşıyıcı, yarı taşıyıcı ve/veya taşıyıcı olmayan duvar uygulamalarında kullanılmaktadır. Özellikle taşıyıcı olmayan ürünler, duvar birimlerinin ısı ve ses yalıtım özelliklerinin iyileştirilmesinde önemli bir etki sağlar. Türkiye'de ve dünyanın diğer ülkelerinde uzun yıllara dayanan deneyimler, farklı malzemelerden üretilen çok sayıda ve ağırlıktaki kâgir beton blokların bina yapımında tercih edildiğini göstermiştir (Gündüz, 2005b). Kâgir blok elemanlarının üretiminde ısı iletkenliği düşük hafif agregaların kullanılması da ürünlerin maliyetlerine etkin bir çözüm sunabilmektedir (Al-Jabri vd., 2005). Pomza agregalarıyla yapılan hafif duvar blokları, çoğu uygulamada yoğunluğu yüksek ürünlere kıyasla duvarların yalıtım performanslarının gelişimine önemli katkılar sağlamıştır. Hafif agregalı blok elemanlarıyla inşa edilen duvarların maliyetini diğer alternatif duvar sistemleriyle rekabet edebilir hale getirmiştir. Ancak yapısal yükün azaltılması, yangın dayanımının iyileştirilmesi, dayanım değerindeki artış ve ısı - akustik konfor özelliklerinin iyileştirilmesi göz önüne alındığında, hafif betondan yapılan kâgir bloklar uygulamalarda daha çok tercih edilen bir ürün olmuştur. Ayrıca bu tür blok elemanları maliyet değerlendirmeleri bağlamında daha aktif bir rol oynamaktadır (ESCSI, 1997).

Pomza agregalı kâgir duvar blokları, Türkiye'de geleneksel olarak kullanılan diğer alternatif yapı elemanlarına göre %60'a varan daha düşük yoğunluk değerleri göstermektedir. Pomza agregalı hafif betondan mamul kâgir blok elemanları, yüksek ısı direnç ve düşük ısı köprüleri oluşturarak duvar uygulamalarında üstün yalıtım performansı sağlar. Bununla birlikte, üstün yangın direnci, etkili ses emilimi, mükemmel sismik performans, düşük rötre davranış özellikleri sağlar (Gündüz, 2005b). Pomza agregalar, kırılmış ve boyutlandırılmış doğal şekilleri ile kâgir blok elemanlarının üretiminde kimyasal ve fiziksel olarak stabil bir malzeme olarak yıllardır kullanılmaktadır (LAVA, 1998).

Ülkemizde bulunan yerel kaynaklarının çimentolu ürünler gibi ülkemizde yoğun olarak kullanılan malzemeler dahilinde araştırılması ve ekonomiye kazandırılması oldukça önemli bir husustur. Bu tip yerel kaynaklardan bir tanesi ise pomza madenidir. Pomza agregalar doğal şekilleri itibarıyla gözenekli yapıya sahip inorganik kayaç yapıları gösterirler. Gözenek oluşumları pomzanın hafif agregata olarak kullanımını gündeme getirmesinin yanı sıra birim yoğunluk değerlerinin düşük oluşu, birçok endüstriyel alanda kullanımı sağlamaktadır. Günümüzde birim ağırlığı düşük ve gözenekliliği yüksek olan birden fazla pomza oluşumlarına rastlamak mümkündür. Ancak, bu oluşumlardaki malzemenin her ne kadar fiziksel görünümü ve oluşum mekanizmaları birbirlerine eşdeğer veya yakın olsa da yapısal ve mekanik özellikleri birbirinden farklılıklar göstermektedir. Bu farklılıkların ölçütleri ve ürünlere olan etkilerini belirlemek amacıyla bir dizi araştırma çalışması yapmak kaçınılmaz olmaktadır. Bu çalışmada, Türkiye'de iki farklı doğal karakteristiğe sahip Bitlis-Tatvan bölgesi ve Kayseri-Tomarza bölgesinde bulunan pomza agregalarının, taşıyıcı olmayan ve boşluklu geometrik tasarıma sahip kâgir blok elemanlarının üretiminde ürün performansına etkileri deneysel olarak karşılaştırmalı analiz edilmiştir. Agregata kullanımı açısından oluşan farklılıklar tartışılmıştır. Konu üzerine yeni araştırmalar yapacak araştırmacılara ışık tutulması amaçlanmıştır.

MATERYAL VE METOT

Test Örneklerinde Kullanılan Malzemeler

Pomza, inşaat endüstrisinde yaygın olarak kullanılan doğal gözenekli özellikte, volkanik kökenli inorganik hafif bir agregadır. İnşaat sektöründe hafif beton üretimleri yanı sıra daha çok kâgir blok elemanlarının üretiminde ve sıva ve/veya örgü harcı üretimlerinde ana agrega malzeme olarak kullanımları yaygındır. Pomza agregası, oluşum mekanizmasına ve volkanik orijinine bağlı olarak farklı fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikler gösterebilmektedir (Gündüz, 1998; Berge, 1983). Bu farklılık doğal olarak pomza agreganın kullanılmış olduğu yapı malzemelerinin karakteristiğinin de farklı olmasını sağlar. Pomza agregaların kâgir blok üretiminde performanslarının analizi amacıyla Türkiye'nin iki farklı coğrafik bölgesinde yer alan *Bitlis-Tatvan* ve *Kayseri-Tomarza* pomza ocaklarından doğal tüvenan formları korunarak tedarik edilen pomza agrega örnekleri laboratuvar ortamına getirilmiştir. Pomza ocaklarına ait sembolik görseller Şekil 1 ve Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Bitlis-Tatvan Bölgesi Pomza Ocağı Sembolik Görünümü



Şekil 2. Kayseri-Tomarza Bölgesi Pomza Ocağı Sembolik Görünümü

Ocaklardan temin edilen pomza agregaların doğal nemi korunması amacıyla naylon esaslı poşetlerde muhafaza edilmiştir. Laboratuvarda bu doğal nemleri korunarak pomza agrega malzemeler öncelikle bir kırıcıda kırılarak boyut ufalama işlemine tabi tutulmuşlardır. Kırma işlemi sonrası, pomza agrega örneklerinin genel görünümü Şekil 3'te verilmiştir. Sonrasında kırılmış her bir pomza agregası, üç ayrı boyut fraksiyonunda sınıflandırılmışlar: 0-4 mm, 4-8 mm ve 8-12 mm boyut aralıkları.



Şekil 3. Kırma İşlemi Sonrası Pomza Agrega Örneklerinin Genel Görünümü

Bu çalışmada Bitlis-Tatvan bölgesi pomza agrega örnekleri “BT”, Kayseri-Tomarza bölgesi pomza agrega örnekleri ise “KT” olarak kodlanmıştır. Bitlis-Tatvan bölgesi boyutlandırılmış pomza agrega örneklerinin doğal nem içerikleri sırasıyla 0-4 mm BT için %86, 4-8 mm BT için %75 ve 8-12 mm BT için %72’dir. Kayseri-Tomarza bölgesi boyutlandırılmış pomza agrega örneklerinin doğal nem içerikleri ise sırasıyla 0-4 mm KT için %9, 4-8 mm KT için %12 ve 8-12 mm KT için %15’tir. Boyutlandırılmış tüm pomza agrega örnekleri daha sonra bir etüv ortamında kurutulmuş, kuru durumdaki yığın yoğunluk değerleri belirlenmiştir. Pomza agregaların yığın yoğunlukları sırasıyla, 0-4 mm BT için 478 kg/m³, 4-8 mm BT için 282 kg/m³, 8-12 mm BT için 257 kg/m³, 0-4 mm KT için 624 kg/m³, 4-8 mm KT için 591 kg/m³ ve 8-12 mm KT için 503 kg/m³’tür.

Bu çalışmadaki tüm karışımlarda ASTM Tip I (42,5 MPa) çimento tipi kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan çimento ve pomza agregalarının kimyasal özellikleri Tablo 1’de verilmiştir. Bitlis-Tatvan pomzası Kayseri-Tomarza pomza örneklerine göre daha yüksek silis içeriğine sahiptir. Agreganın kimyasal bileşiminde yüksek oranlı silika içeriği genellikle kimyasal ortamlara karşı daha kararlı bir özellik sergileyebileceğini temsil edebilmektedir.

Tablo 1. Çimento ve Pomza Örneklerinin Kimyasal Özellikleri

Bileşen (%)	Çimento	BT	KT
SiO ₂	20,18	69,27	68,35
Al ₂ O ₃	5,79	13,16	15,34
Fe ₂ O ₃	4,34	1,90	3,23
CaO	62,27	0,84	2,94
Na ₂ O	0,14	3,81	4,04
K ₂ O	0,89	4,45	2,81
MgO	2,74	0,47	0,98
LOI	1,46	1,84	1,77

Kimyasal analiz içerikleri irdelendiğinde BT ve KT pomza agrega örneklerinin asidik karakterli olduğu ve alümina açısından zengin oldukları görülmektedir. Pomzanın silika içeriği ne kadar yüksek olursa, doğal görünüm rengi de o kadar açık olur. BT pomza agregalar bu bağlamda rengi KT pomza agregalara göre açık grimsi ve daha açık tonludur. Ancak, bünyesinde yüksek oranda su tuttukları için doğal nemli görünümleri KT pomza agregalara kıyasla ilk bakışta daha koyu grimsi bir renkte görülebilirler. Agrega kurutuldukça rengi daha açık tonda grimsi bir görünüm kazanır. Diğer taraftan KT pomza örnekleri daha az doğal nem içermekte olup, orijin görünümleri grimsi renktedir. Bileşiminde demir oksit içeriği BT pomza örneğine göre daha yüksek olduğu için grimsi bir renge sahiptir. Bununla birlikte KP agrega örnekleri daha yüksek magnezya içeriği sebebiyle agreganın daha parlak görünümüne etki eder. Pomzanın yüksek silika içeriği ve özellikle ince tane boyutlarındaki geniş yüzey alanı, nemin de bulunduğu kimyasal bir ortama maruz kaldığında alkalilerle oldukça kolay reaksiyona girmesine izin verir (Gündüz, 1998).

Karışım Tasarımı ve Örnek Hazırlama

Pomza agregaların kâgir blok harcı üretiminde uygunluğu, karışım oranlarının tasarımı ve agrega performansları arasındaki farklılığı ön tecrübe edinmek amacıyla kuru karışım sıfır slump kıvamında bir dizi pomza agregalı hafif beton örneklerinin (PAHB) tasarımı yapılarak beton test örnekleri hazırlanmıştır. Daha sonra, bu ön analizlerde

belirlenen karışım oranlarında tam ölçekli ve özel yarık geometrisine sahip bir kagir blok formu için pomza agregalı kagir blok (PAKB) prototip modeli üzerinde performans analizleri yapılmıştır.

Pomza agrega malzemelerin PAHB tasarımlarında fiziksel ve mekanik özelliklerinin etkisini incelemek amacıyla BT ve KT pomza agregalarının her biri ile agrega tane boyut aralıklarının kullanım oranlarına göre 3'er grup PAHB karışımları tasarlanmıştır. Her bir grupta 0-4 mm, 4-8 mm ve 8-12 mm agrega boyutları için kullanılan oranlar sırasıyla; 1. grup karışımında ağırlıkça 0-4 mm %30, 4-8 mm %50 ve 8-12 mm %20 oranlarında harmanlanmıştır. 2. grup karışımında ağırlıkça 0-4 mm %30, 4-8 mm %30 ve 8-12 mm %40 oranlarında, 3. grup karışımında ise ağırlıkça 0-4 mm %20, 4-8 mm %50 ve 8-12 mm %30 oranlarında harmanlanmıştır. Her bir grup karışımında sırasıyla dört farklı 130, 170, 200 ve 240 kg/m³ dozajlarında çimento kullanılarak kuru karışım kıvamında blok üretimini temsil edecek bir vibrasyon-sıkıştırma ünitesine sahip döküm makinesi yardımıyla laboratuvar ortamında ayrı ayrı 100x100x100 mm boyutlu küp örneklerin dökümleri yapılmıştır. PAHB karışımlarına ait karışım oranları BT ve KT pomza agrega kullanımları için Tablo 2 ve Tablo 3'te verilmiştir. Her bir karışıma ait 9 adet küp örnek dökümü yapılmış olup, her bir pomza agrega türü için 12 seri (BT 1 - BT 12 ve KT 1 - KT 12), 108 adet PAHB örneği hazırlanmıştır. Bu bağlamda çalışma kapsamında BT ve KT pomza agregalı hafif beton örnekleri için toplamda 24 seri, 216 test örneği hazırlanmıştır.

Tablo 2. BT Pomza Agregalı Karışım Oranları ve Beton Yoğunlukları

Karışım	Çimento (kg/m ³)	0-4 mm BT Pomza (kg/m ³)	4-8 mm BT Pomza (kg/m ³)	8-12 mm BT Pomza (kg/m ³)	Agrega/Çimento Oranı (A/C)	Taze Beton Yoğunluğu (kg/m ³)	Sertleşmiş Beton Yoğunluğu (kg/m ³)
BT 1	130	228	211	76	3,96	932	681
BT 2	170	217	201	72	2,88	964	703
BT 3	200	209	193	69	2,36	986	720
BT 4	240	199	184	66	1,87	1016	742
BT 5	130	228	126	151	3,89	920	672
BT 6	170	217	120	144	2,83	952	695
BT 7	200	209	116	139	2,32	975	712
BT 8	240	199	110	132	1,84	1005	734
BT 9	130	152	211	113	3,66	880	642
BT 10	170	145	201	108	2,66	914	667
BT 11	200	139	193	104	2,18	938	685
BT 12	240	133	184	99	1,73	970	708

Tablo 3. KT Pomza Agregalı Karışım Oranları ve Beton Yoğunlukları

Karışım	Çimento (kg/m ³)	0-4 mm KT Pomza (kg/m ³)	4-8 mm KT Pomza (kg/m ³)	8-12 mm KT Pomza (kg/m ³)	Agrega/Çimento Oranı (A/C)	Taze Beton Yoğunluğu (kg/m ³)	Sertleşmiş Beton Yoğunluğu (kg/m ³)
KT 1	130	174	283	99	4,28	903	722
KT 2	170	166	269	94	3,11	929	743
KT 3	200	160	259	91	2,55	948	758
KT 4	240	152	247	86	2,02	972	778
KT 5	130	174	170	198	4,17	885	708
KT 6	170	166	161	188	3,03	912	730
KT 7	200	160	156	181	2,49	931	745
KT 8	240	152	148	172	1,97	957	765
KT 9	130	116	283	148	4,21	892	714
KT 10	170	111	269	141	3,06	919	735
KT 11	200	107	259	136	2,51	938	750
KT 12	240	101	247	129	1,99	963	770

BT 1- BT 4 ve KT 1-KT 4 karışımlarında 4-8 mm boyut aralığındaki pomza agreganın karışımlar arasında en yüksek oranda kullanılması sebebiyle etkinliğinin incelenmesi amaçlanmıştır. BT 5 – BT 8 ve KT 4 – KT 8 karışımlarında 8-12 mm boyutlu pomza agreganın tane iriliğinin hafif beton özelliklerine etkisini irdelemek amacıyla tasarlanmıştır. Bununla birlikte BT 9 – BT12 ve KT 9 – KT 12 karışımlarında da 0-4 mm boyutunun azalması ince madde oranının düşük miktarda kullanımının beton özelliklerine etkisi irdelemek amaçlanmıştır. Bu bağlamda BT 1 – BT 12 karışımlarında Agregat/Çimento (A/Ç) oranları 1,73 – 3,96, KT 1 – KT 12 karışımlarında da A/Ç oranları 1,99 – 4,28

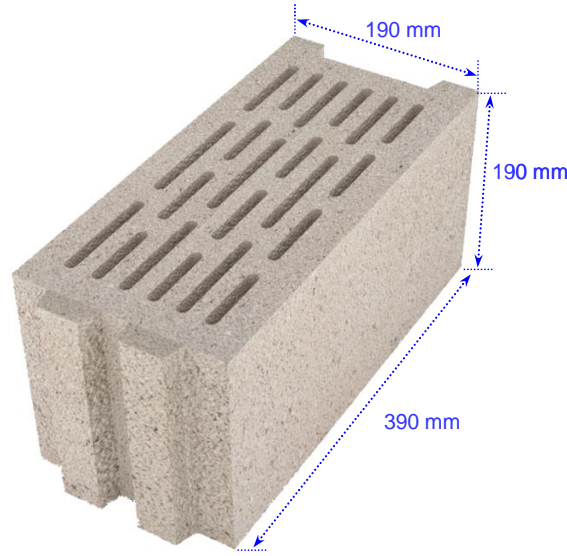
aralıklarında değişim göstermektedir. Karışımlarda kullanılan pomza agregaları tamamen suya doymuş olarak kullanılmıştır. Böylece karışıma giren karışım suyu sadece kimyasal reaksiyonu başlatmak amacıyla kullanılmıştır.

PAHB karışımları, karışım bileşimlerinin başlangıç fiziksel ve mekanik özelliklerini test etmek amacıyla deneme numunesi olarak önce 100x100x100 mm boyutlu küp kalıplara laboratuvar ortamında mevcut bulunan vibrasyon-sıkıştırma özelliğine sahip manuel kullanımlı bir döküm makinesi kullanılarak üretilmiştir. Üretilen PAHB test örnekleri, döküm presinde dolun-vibrasyon-yerleştirme ve basınçla presleme işlemlerinden sonra hemen kalıptan çıkartılıp laboratuvar ortamında normal hava koşullarında 28 gün boyunca kürlemeye bırakılmıştır. Her iki pomza agrega malzemeye ait PAHB test örneklerinin sembolik test örnekleri Şekil 4'te gösterilmiştir. Bu küp numunelerin test sonuçları, tam boyutlu kâgir blok elemanlarının üretiminde kullanılacak hafif harcın dayanım ve fiziksel özelliklerini ön analizlerle belirlemek amacıyla incelenmiştir. 28 gün kür sonrası herhangi bir kurutma işlemine tabi tutulmaksızın sertleşmiş beton yoğunlukları ölçülmüş ve basınç dayanım testleri yapılmıştır. Bu değerler her bir pomza türü ve karışım oranları açısından irdelenmiştir. Ayrıca bu çalışma kapsamında kuruma büzülmesi ve rutubet genişmesi özelliklerini belirlemek amacıyla her PAHB karışım için 10x10x40 cm prizma örnekleri hazırlanmıştır. Tüm hafif beton numunelerinin kür sonrası kuruma büzülmesi (rötresi) ve rutubet genişmesi özellikleri bu numuneler test edilerek ASTM C426'ya göre belirlenmiştir.



Şekil 4. PAHB Test Örneklerinin Sembolik Genel Görünümü

Farklı doğal özelliklere sahip BT ve KT pomza agrega türleri kullanılarak, PAHB'dan yapılmış, taşıyıcı olmayan ve duvarlarda ısı yalıtımı amacıyla da kullanılabilir kâgir blok elemanlarının geliştirilmesi üzerine yazarlar tarafından laboratuvar ortamında bir dizi araştırma çalışması yapılmıştır. PAHB küp örnekleri, araştırmada hafif agregalı kâgir beton elemanlarının üretilme olasılığı için öncelikle denemek üzere ön blok döküm denemeleri uygulanmıştır. Deneme küp numune testi sonuçlarına göre, küp numune testlerinde kullanılan tüm karışım oranları için tam ölçekli üretim koşulları altında pomza agregalı kâgir blok (PAKB) elemanlarının dökülmesine karar verilmiştir. PAKB elemanları daha sonra, BT ve KT iki farklı pomza agregası ile üretilerek teknik değerlendirmeleri yapılmıştır. Kâgir blok numunelerinin dökümünde her bir ayrı seride hafif agrega olarak BT ve KT pomza agregaları kullanılmıştır. PAKB örnekleri üretim tesislerinde olduğu gibi servo kontrollü yarı otomasyon bir blok üretim makinesinde üretilmiştir. PAKB örnekleri 190 × 390 × 190 mm (genişlik × uzunluk × yükseklik) anma boyutlarında olup, geometrik olarak 6 sıra boşluklu 21 gözlü sık dilimli (yarık tasarımlı) ve lamba zıvanalı formundadır. PAKB örneklerinde bu tasarımın kullanımı ile eşdeğer blok boyutlarına sahip ancak daha yüksek hacimsel oranda boşluk içeren blok tasarımlara nazaran daha yüksek değerlerde mukavemet ve daha iyi ısı yalıtım değerleri elde edilebilmesi amaçlanmıştır. Pomza agrega türünün PAKB elemanlarının fiziksel ve mekanik özellikleri üzerinde gerçek durumda analiz etmek için, deneme küp numunelerinde kullanılan karışım oranları ile aynı şekilde tam ölçekli blok formlarında her bir pomza agrega türü ve karışımlarında 3'er adet blok analiz edilmiştir. Analizlerde kullanılan PAKB tasarımının genel görünümü sembolik olarak Şekil 5'te verilmiştir. Kâgir blok analizlerinde TS EN 771-3 (2005) ve ilgili standartların öngördüğü prensipler kullanılmıştır.



Şekil 5. PAKB Tasarımının Sembolik Genel Görünümü

ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Tüm PAHB küp numunelerinin basınç dayanımı, kuruma büzülmesi, rutubet genleşme ve su emme değerleri detaylı bir özet olarak BT ve KT pomza agrega malzemeleri için sırasıyla Tablo 4 ve Tablo 5'te verilmiştir. Ayrıca tüm PAHB karışım bileşimleri için tam ölçekli PAKB elemanlarının kuru durumda birim ağırlığı, birim hacim kütlesi, basınç dayanımı ve ısı iletkenlik bulguları BT ve KT pomza agrega malzemeleri için sırasıyla Tablo 4 ve Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 4. BT Pomza Agregalı Hafif Beton Karışımlarının ve Kâgir Blok Elemanların Özellikleri

Özellikler	Karışımlar											
	BT 1	BT 2	BT 3	BT 4	BT 5	BT 6	BT 7	BT 8	BT 9	BT 10	BT 11	BT 12
PAHB Küp Test Örnekleri												
Agrega/Çimento Oranı	3,96	2,88	2,36	1,87	3,89	2,83	2,32	1,84	3,66	2,66	2,18	1,73
Su Emme Oranı, (%)	36,0	32,1	30,0	26,2	35,0	34,3	30,5	27,0	40,8	35,0	33,5	33,0
Basınç Dayanımı, (N/mm ²)	1,63	1,85	1,99	2,22	1,73	1,84	2,05	2,27	1,32	1,57	1,74	1,88
Kuruma Büzülmesi, (%)	0,047	0,055	0,059	0,063	0,048	0,057	0,057	0,061	0,049	0,056	0,057	0,062
Rutubet Genleşmesi, (%)	0,043	0,045	0,047	0,049	0,042	0,046	0,047	0,049	0,043	0,046	0,047	0,049
PAKB Kâgir Blok Örnekleri												
Birim Ağırlık, (kg)	6,65	7,08	7,39	7,80	6,59	7,02	7,33	7,75	6,38	6,81	7,13	7,56
Birim Hacim Kütle, (kg/m ³)	625	665	694	734	620	659	689	728	599	640	671	711
Basınç Dayanımı, (N/mm ²)	1,22	1,43	1,57	1,64	1,50	1,74	2,02	2,06	1,15	1,37	1,51	1,59
Isıl İletkenlik, (W/mK)	0,122	0,128	0,130	0,136	0,122	0,126	0,129	0,134	0,120	0,123	0,126	0,131

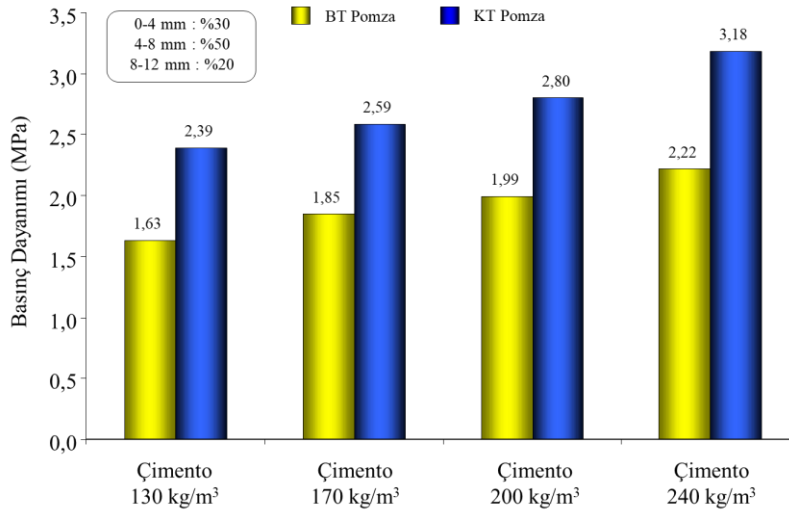
Tablo 5. KT Pomza Agregalı Hafif Beton Karışımlarının ve Kâgir Blok Elemanların Özellikleri

Özellikler	Karışımlar											
	KT 1	KT 2	KT 3	KT 4	KT 5	KT 6	KT 7	KT 8	KT 9	KT 10	KT 11	KT 12
PAHB Küp Test Örnekleri												
Agrega/Çimento Oranı	4,28	3,11	2,55	2,02	4,17	3,03	2,49	1,97	4,21	3,06	2,51	1,99
Su Emme Oranı, (%)	29,3	27,2	23,2	20,8	32,0	27,6	25,2	24,4	33,3	29,0	26,5	21,9
Basınç Dayanımı, (N/mm ²)	2,39	2,59	2,80	3,18	2,33	2,55	2,73	2,85	2,29	2,48	2,67	2,98
Kuruma Büzülmesi, (%)	0,038	0,048	0,051	0,054	0,040	0,048	0,051	0,053	0,039	0,050	0,050	0,055
Rutubet Genleşmesi, (%)	0,034	0,040	0,042	0,045	0,035	0,042	0,043	0,045	0,036	0,042	0,043	0,045
PAKB Kâgir Blok Örnekleri												
Birim Ağırlık, (kg)	9,13	9,39	9,58	9,83	8,94	9,20	9,40	9,66	9,01	9,27	9,46	9,73
Birim Hacim Kütle, (kg/m ³)	859	883	900	924	840	865	884	908	847	871	890	914
Basınç Dayanımı, (N/mm ²)	2,03	2,28	2,45	2,65	2,35	2,53	2,63	2,74	2,37	2,44	2,49	2,58
Isıl İletkenlik, (W/mK)	0,147	0,151	0,154	0,158	0,146	0,149	0,152	0,153	0,148	0,150	0,152	0,155

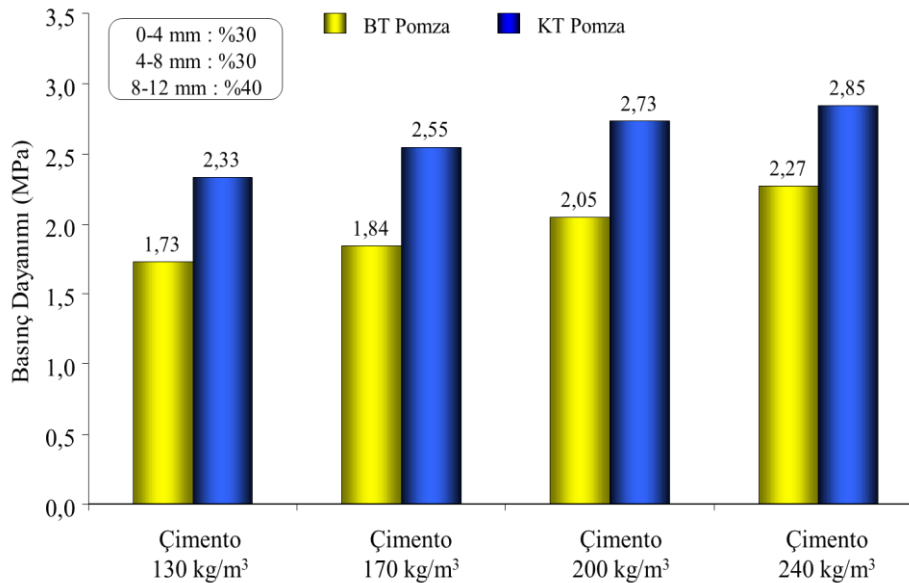
Küp Örneklerinin Analizi

Basınç dayanımı ve yoğunluk

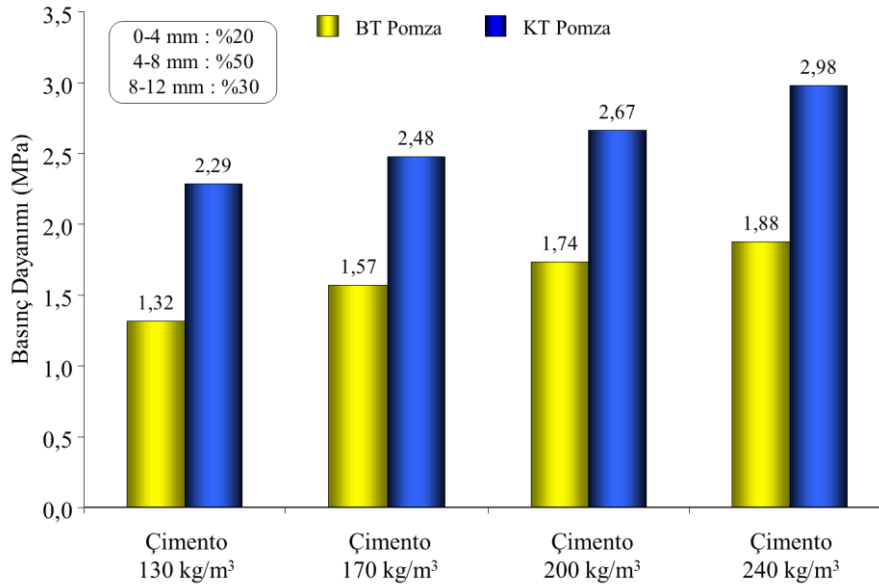
Tüm pomza agrega türleri için teknik olarak genel beklenti iri agrega oranı arttıkça basınç dayanım değerlerinin azalması eğilimindedir. Ancak, PAHB küp numunelerinin basınç dayanımı değerleri irdelendiğinde bu beklentiden farklı bir durumun olduğu gözlenmekle birlikte karışım tasarımındaki ince-orta ve iri boyut agrega dağılımının betonun mukavemetini doğrudan etkilediği belirlenmiştir. PAHB küp numunelerinin basınç dayanımı değerleri farklı çimento dozajlarına göre Şekil 6 – Şekil 8’de her bir seri için sırasıyla verilmiştir. Elde edilen basınç dayanım analiz bulguları irdelendiğinde, Bitlis-Tatvan bölgesi pomza agregası ile hazırlanmış PAHB küp örneklerinde en yüksek dayanım değerlerinin ikinci seri olarak tasarlandığı 30:30:40% oranlarında harmanlanmış ince-orta ve iri boyut BT pomza agregalı karışımlarda elde edilmiştir. Bu karışım serisinde 8-12 mm boyutlu iri agrega kullanımı diğer karışım serilerine kıyasla her ne kadar en yüksek oranda (%40) görülse de karışımdaki agregaların harmanlanması sonrası tane boyut dağılımının daha homojen bir forma ulaştığı ve yaş harcın kalıba vibrasyon ve presleme yöntemiyle yerleştirilmesi sürecinde iri boyut agreganın tane mukavemetinin düşük olması sebebiyle kısmen ufalanarak daha düşük boyutlu hale gelebildiği görülmüştür. Bu davranışın kısmen beton matrisinde daha sıkı bir hamur oluşturmasına neden olduğu tecrübe edinilmiştir. Çimento dozajı arttıkça bu seride basınç dayanımları 1,27 N/mm² ile 2,27 N/mm² arasında değişmektedir. Diğer BT-PAHB küp örneklerinin serilerinde ise çimento dozajı artışında basınç dayanımları 1,32 N/mm² ile 2,22 N/mm² arasında değişmiştir.



Şekil 6. Pomza Agregası Karışım Oranları ve Çimento Dozajına Bağlı Basınç Dayanım Değişimi



Şekil 7. Pomza Agregası Karışım Oranları ve Çimento Dozajına Bağlı Basınç Dayanım Değişimi



Şekil 8. Pomza Agregası Karışım Oranları ve Çimento Dozajına Bağlı Basınç Dayanım Değişimi

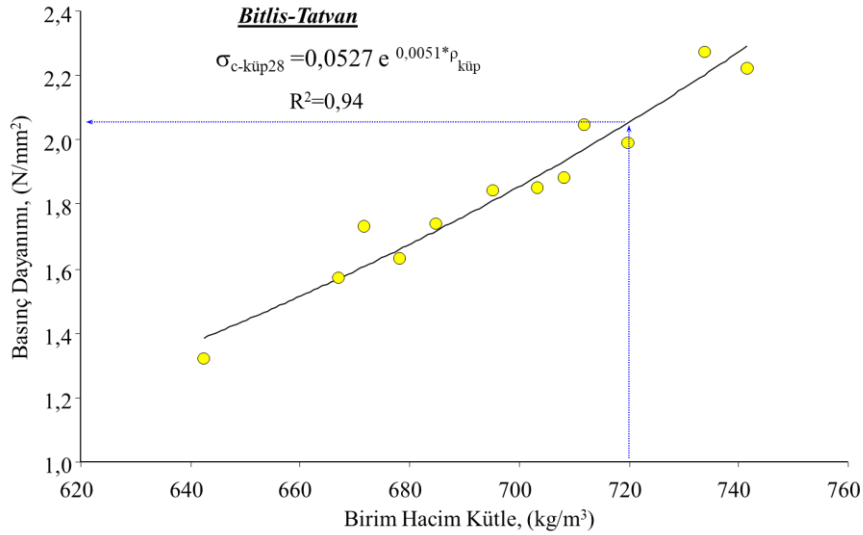
Diğer pomza agregası malzemesi için, Kayseri-Tomarza bölgesi pomza agregası ile hazırlanmış PAHB küp örneklerinde en yüksek dayanım değerlerinin ise birinci seri olarak tasarlandığı 30:50:20% oranlarında harmanlanmış ince-orta ve iri boyut KT pomza agregalı karışımlarda elde edilmiştir. Bu karışım serisinde 8-12 mm boyutlu iri agregası kullanımı diğer karışım serilerine kıyasla en düşük oranda (%20) olup, 4-12 mm orta boyut olarak da kabul agregası grubunun agregası harmanı içerisinde ağırlıkça %50 oranında yer alması PAHB küp örneklerinin mukavemetini doğrudan etkilemiştir. KT pomza agregası orta boyutta kırma işlemi sonrası ince madde oranının yüksekliği dikkat çekmiş olup, elde edilen PAHB matrisinde daha kompakt bir hamur oluşumunu sağlamıştır. KT pomza agregalarının gözenek oranının BT pomzalarından daha düşük oluşu, gözenek formlarının daha düzenli bir doğaya sahip olması, yığın yoğunluğunun daha yüksek oluşu gibi faktörlere bağlı olarak tane mukavemeti BT pomzalarından daha yüksektir. Bu da KT pomza agregalarının eşdeğer kullanımlarda dayanım iyileşmesi sağlayabileceğini temsil edebilmektedir. BT-PAHB küp örneklerinin değerlerine benzer bir davranışla çimento dozajı arttıkça bu seride de basınç dayanımları 2,39 N/mm² ile 3,18 N/mm² arasında değişmektedir. Diğer KT-PAHB küp örneklerinin serilerinde ise çimento dozajı artışında basınç dayanımları 2,29 N/mm² ile 2,98 N/mm² arasında değişmiştir. Bu serilerin tamamında elde edilen dayanım değerleri açısından iki farklı BT ve KT pomza agregaları mukayese edildiğinde KT pomza agregalı PAHB test örnekleri yaklaşık %40 daha yüksek mukavemet sağladığı belirlenmiştir. Bir diğer değerlendirme de tüm serilerde karışımdaki Agregası/Çimento (A/Ç) oranı düştükçe, PAHB test örneklerinin basınç dayanımları artmaktadır. Bu bağlamda, yüksek mukavemet elde edilmesi öngörülen kâğıt PAKB elemanların üretiminde A/Ç oranı düşük, homojen agregası boyut dağılıma sahip uygun bir pomza agregası türünün yapılacak ön testlerle belirlenerek karışım bileşenlerinin tasarlanması son önem kazanmaktadır.

Hafif agregalı betonların mukavemet değerleri esas alınarak RILEM (RILEM, 1978) tarafından üç farklı grup sınıflandırılmıştır. Bunlar: Sınıf I “Yapısal betonlar”, Sınıf II “Yapısal ve Yalıtım amaçlı betonlar” ve Sınıf III “Dolgu ve amaçlı yalıtım betonları”dır. Bu gruplar içerisinde yapısal betonlar genellikle taşıyıcı ve yüksek mukavemet gerektiren hafif beton türlerini temsil etmektedir. Ayrıca sertleşmiş hafif betonun basınç dayanımı, yoğunluk ve ısı iletkenlik değerleri bu sınıflandırma sisteminde temel parametreler olarak kabul edilir (RILEM, 1978). Kabul edilen bu teknik değer limitleri Tablo 6’da verilmiştir. Bu çalışmada PAHB test örneklerinin hiçbiri Sınıf I yapısal beton ve Sınıf II yapısal ve yalıtım amaçlı beton dayanım gereksinimleri ile eşleşmemiştir. PAHB test örneklerinin tamamı Sınıf III dolgu ve yalıtım amaçlı betonlar için öngörülen dayanım limitlerini kolaylıkla sağlamaktadır. RILEM limitlerine göre dolgu ve yalıtım amaçlı hafif betonlar için minimum öngörülen dayanım değerinin > 0,5 N/mm²’lik değeri esas alındığında, özellikle KT pomza agregalı karışımlar ile BT pomzalarına kıyasla bu grubun kendi içerisinde değerlendirilmesinde yüksek mukavemetli ürünlerin elde edilebileceği görülmektedir.

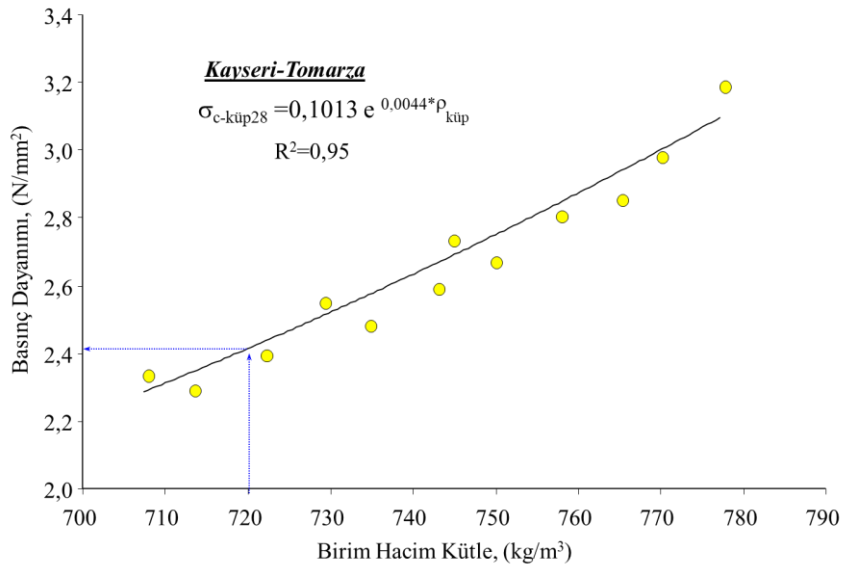
Tablo 6. Hafif Agregalı Beton Gereksinimleri (RILEM, 1978)

Sınıf	I	II	III
Hafif betonun amacı	Yapısal	Yapısal ve Yalıtım	Yalıtım
Basınç Dayanımı (N/mm ²)	> 15,0	> 3,5	> 0,5
Etüv kuru yoğunluk (kg/m ³)	< 2000	tanımlanmamış	tanımlanmamış
Isıl iletkenlik (W/mK)	-	< 0,75	< 0,30

Yang ve Huang (1996), hafif agregalı betonun dayanım değerinin, beton karışımında kullanılan agreganın teknik özelliklerinin ve hacim oranının bir fonksiyonu olarak değiştiğini incelemiştir. Bununla birlikte, matris yapısındaki düşük görünür özgül ağırlık ve yüksek gözeneklilik, hafif agregaların temel özellikleri olarak kabul edilebilir (Ünal vd., 2007). İri agreganın yüksek gözenekliliği ve düşük yoğunluğu, matris yapısından dolayı zayıf bir özellik gösterir. Buna göre, bu agrega kullanılarak hafif betonun mukavemeti nispeten düşüktür (Bremmer & Holm, 1986). Genel olarak, bir betondaki hafif iri agrega hacminin artmasının beton yoğunluğunun azalması nedeniyle beton mukavemetini azalttığı bilinmektedir. Bu nedenle hafif beton numunelerinin basınç dayanımındaki değişim, yoğunluğuna da bağlıdır. Bu çalışmada BT ve KT pomza agrega kullanımlarında sertleşmiş betonun etüv kuru yoğunluğunun artmasıyla PAHB küp numunelerin basınç dayanımındaki artış tüm numunelerde yaşanmıştır. BT ve KT pomza agrega PAHB küp numunelerin basınç dayanımı ve yoğunluğu arasındaki ilişki Şekil 9 ve Şekil 10'da verilmiştir.



Şekil 9. Birim Hacim Kütle-Basınç Dayanım İlişkisi (BT- PAHB Örnekleri)



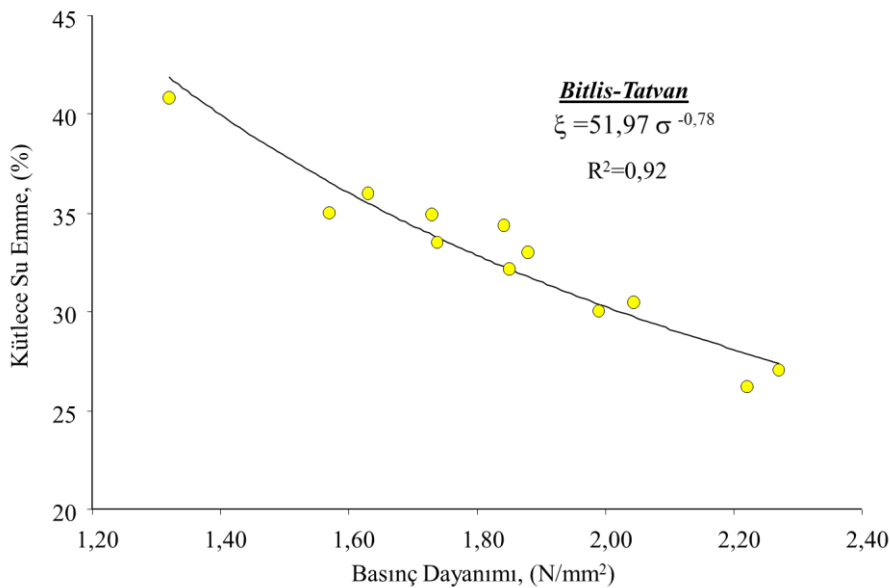
Şekil 10. Birim Hacim Kütle-Basınç Dayanım İlişkisi (KT- PAHB Örnekleri)

Grafiksel ilişkiler incelendiğinde BT ve KT pomza agregası türleri için dayanım ve beton yoğunluğu arasında lineer kabul edilebilecek bir ilişki görülmektedir. Bu ilişkiler için korelasyon katsayısı çok anlamlı olup, bu agregası malzemeleriyle üretilen PAHB örneklerinin basınç dayanımları bu analizlerde elde edilen regresyonel eşitlikler yardımıyla tahmin edilebilir. Dolgu ve yalıtım amaçlı kullanılacak hafif beton türleri için RILEM limitlerinde yoğunluk değeri ile ilgili bir sayısal değer deklere edilmemiş olmasına rağmen, endüstriyel uygulamalarda genel bir eğilim olarak sertleşmiş betonun etüv kuru yoğunluk değerinin $<1450 \text{ kg/m}^3$ 'ten düşük olması tecrübe edilmiştir. BT ve KT pomza agregalı hafif beton örneklerinde elde edilen en yüksek yoğunluk değeri 778 kg/m^3 'tür. Tüm karışımlara ait PAHB örneklerinin yoğunluk değerleri dolgu ve yalıtım amaçlı hafif betondan mamul ürünlerin elde edilebileceğini göstermektedir. BT ve KT agregasının betonun dayanım – yoğunluk ilişkisinin irdelenmesi amacıyla; örneğin her iki pomza türünde 720 kg/m^3 'lük eşdeğer bir beton yoğunluk değeri ele alındığında, bu yoğunlukta BT-PAHB örneklerinde eşdeğer kür süresinde $2,07 \text{ N/mm}^2$ 'lik bir dayanım elde edilirken, aynı yoğunlukta KT-PAHB örneklerinde $2,41 \text{ N/mm}^2$ 'lik bir dayanım elde edilmektedir. Bu yalnız irdeleme, KT pomzasının BT pomzasına göre beton örneklerinin mukavemetinde yaklaşık %16,4 kadar daha etken olduğunu göstermektedir.

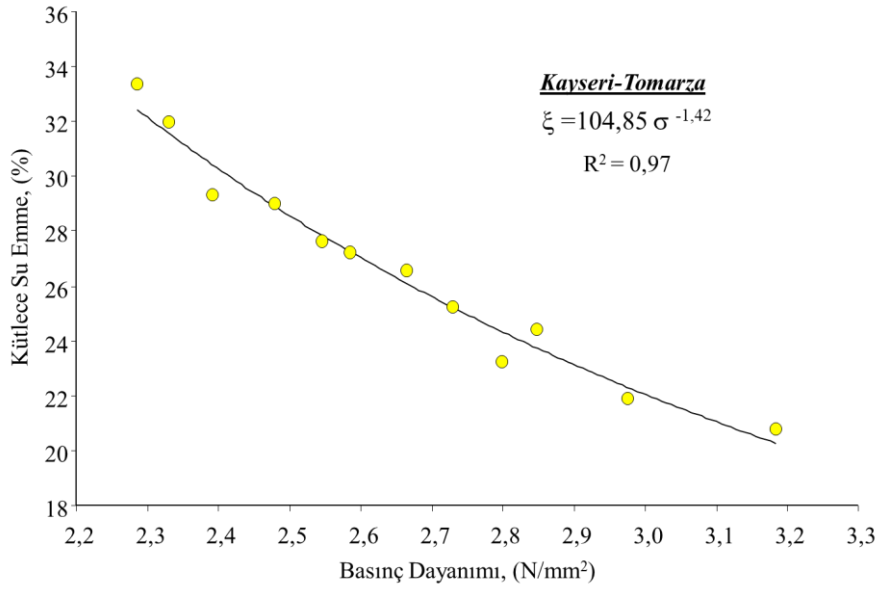
Pomza agregasının düşük özgül ağırlığı nedeniyle karışımlarda artan agregası/çimento oranıyla 28 günlük sertleşmiş PAHB örneklerinin kuru yoğunlukları azalmaktadır. Ayrıca, eşdeğer karışım bileşiminde BT ve KT pomza agregası türleri için PAHB örneklerinin kuru yoğunlukları değişken olmuştur. En yüksek yoğunluk, KT pomzası için birinci seri olarak tasarlanmış 30:50:20% oranlarında harmanlanmış ince-orta-iri boyut agregalı KT 4 karışımında 778 kg/m^3 olarak elde edilmiştir. KT pomza agregalı diğer sertleşmiş PAHB örneklerinin yoğunlukları bu değer ile 708 kg/m^3 aralığında değişmektedir. BT pomzası ile yapılmış sertleşmiş PAHB örneklerinin yoğunlukları KT pomzası değerlerinden genellikle düşük olup, en yüksek yoğunluk değeri birinci seri olarak tasarlanmış 30:50:20% oranlarında harmanlanmış ince-orta-iri boyut agregalı BT 4 karışımında 742 kg/m^3 olarak elde edilmiştir. En düşük yoğunluk değeri ise üçüncü seri olarak tasarlanmış 20:50:30% oranlarında harmanlanmış ince-orta-iri boyut agregalı BT 9 karışımında 642 kg/m^3 olarak elde edilmiştir. Eşdeğer bir karışım tasarımında BT ile KT pomza agregalı betonun yoğunlukları arasında yaklaşık %4,9'lük bir fark olup, BT pomza agregaları daha düşük yoğunluk değerleri sağlamaktadır.

Su emme

Hafif betonların analizinde beton karışımlarının su emme kapasitesi ve/veya su emme özelliği ilgi çekicidir. Genel olarak, su emme kapasitesinin yüksek olması, hafif betonların mukavemetini ve ısı iletkenliğini düşürür. Çalışma kapsamında yapılan test bulgularına göre, karışımdaki A/Ç oranı arttıkça, PAHB örneklerinin kütlece su emme oranları da artmaktadır (Tablo 4 ve Tablo 5). Bununla birlikte, çimento dozajının artması, betonun su emme kabiliyetini düşürmektedir. Bu bağlamda PAHB örneklerinin mukavemeti ile su emme kabiliyetleri arasında bir ilişkinin varlığı gözlenmiştir. BT-PAHB ve KT-PAHB örneklerinin dayanım – su emme ilişkisi sırasıyla Şekil 11 ve Şekil 12'de analiz edilmiştir.



Şekil 11. Basınç Dayanımı – Su Emme İlişkisi (BT-PAHB)



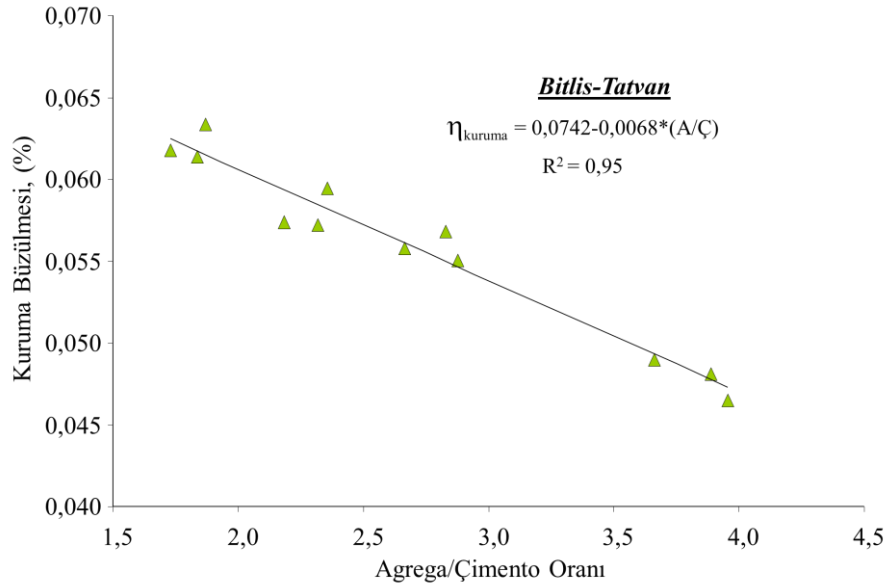
Şekil 12. Basınç Dayanımı – Su Emme İlişkisi (KT-PAHB)

En düşük su emme değeri, BT pomzası için BT 4 karışımında %26,2, en yüksek su emme değeri ise BT 9 karışımında %40,8 olarak belirlenmiştir. Diğer taraftan en düşük su emme değeri, KT pomzası için KT 4 karışımında %20,8, en yüksek su emme değeri ise KT 9 karışımında %33,3 olarak belirlenmiştir. Bu örneklerin dayanım ve yoğunluk değerleri irdelendiğinde pomza agreganın yoğunluğu arttıkça, azalan gözeneklilik olgusuna da bağlı olarak su emme kabiliyetinin azaldığı genel bir eğilimdir. Ayrıca beton örneklerinin hazırlanmasında kullanılan çimento dozajının miktarı da su emme potansiyeline temel etken faktörlerdendir. Analiz bulguları, hafif beton tasarımında ince-orta-iri boyut agregası kullanım oranlarının sertleşmiş betonun su emme kabiliyetine etken olduğunu göstermiştir. Agregası tane boyutu oransal kullanımlarına göre BT ve KT pomza agregalı beton örneklerinin eşdeğer karışım tasarımlarında su emme değerleri arasında yaklaşık %22,5 - %26'lık bir değişimin olduğunu göstermiştir. BT pomza agregalı beton örnekleri KT agregalı örneklerle göre daha yüksek su emme potansiyeline sahiptir. Özellikle karışımında iri boyut agregası oranı arttıkça bu davranış daha da belirgin hale gelmektedir. BT ve KT agregalı hafif betonlarda çimento içeriğine ve A/Ç oranlarına bağlı olarak daha düşük su emme değeri sağlayacak şekilde tasarımlar da düzenlenebilir.

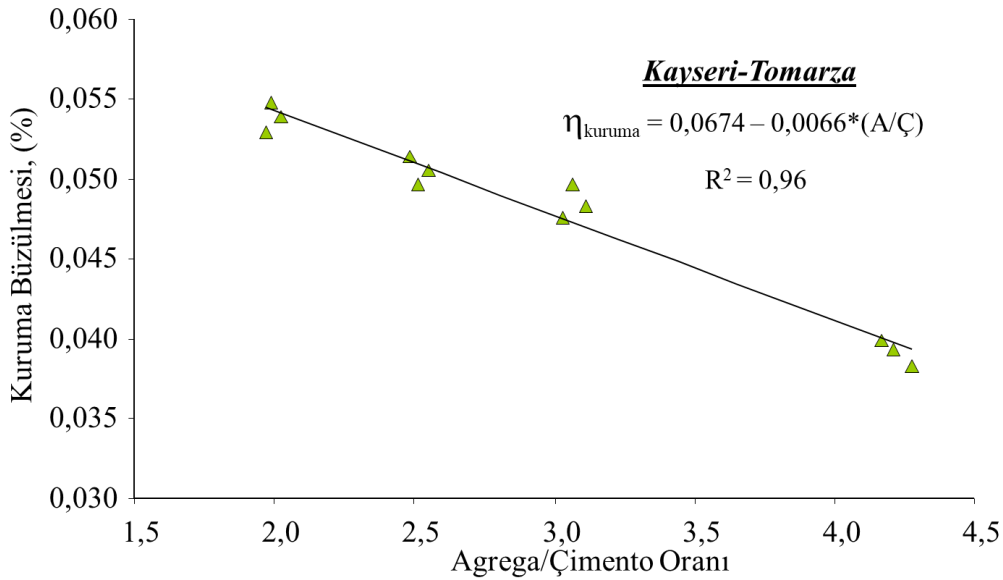
Kuruma Büzülmesi ve Rutubet Genleşmesi

Betonların kuruma rötresi sadece pomza agregalı betonlarda değil, tüm hafif agregası bileşenlerine sahip betonlarda da detaylı olarak incelenmesi gereken teknik bir özelliktir. Betonun matris yapısında agregası özelliğinden kaynaklanan son derece ince hücreli yapıya sahip gözenek ve hücre duvarlarının bulunması, betonun matris yapısında gözeneklere emilen suyun kısmen de olsa kuruma sürecinde büzülme olgusu göstermesi kaçınılmaz olabilir (Gündüz, 1998; Berge, 1983). Hossain (2004), pomza agregalı betonun kuruma büzülmesinin hafif agregası içermeyen kontrol betonundan daha yüksek değerler gösterdiğini deneylemiştir. Beton karışımındaki pomza agregası miktarının artması da rötresi değerini artıran bir faktör olarak görülebilmekte ve su emmesi yüksek olan agregaların betonda da yüksek rötresi olgusu oluşturduğu gözlemlenmiştir (ACI, 1989). Kostmatka vd. (2002), düşük yoğunluklu ve yük taşıyan betonun kuruma rötresi değerinin normal yoğunluklu betondan yaklaşık %30 daha yüksek olduğunu bildirmiştir. Hafif agregalı beton bileşimlerinin büzülme özelliğinin normal yoğunluklu betona göre %50 daha fazla olabileceği de bildirilmiştir (FIP, 1983).

BT-PAHB ve KT-PAHB örneklerinin kuruma büzülmesi analiz bulguları Şekil 13 ve Şekil 14'de dağılım grafikleri olarak gösterilmektedir. Varyasyonlar, betonun yoğunluk seviyesi arttıkça kuruma büzülmesinin sistematik kabul edilebilecek bir şekilde arttığını göstermektedir. BS 6073 (1981) standardında (Bölüm 1) duvar elemanları için kuruma rötresi değerinin ortalama %0,06 veya daha az olması gerektiğini öngörülmüştür. Araştırmada kullanılan tüm PAHB karışımları bu standartta öngörülen teknik özellikleri sağlamaktadır (Tablo 4 ve Tablo 5).



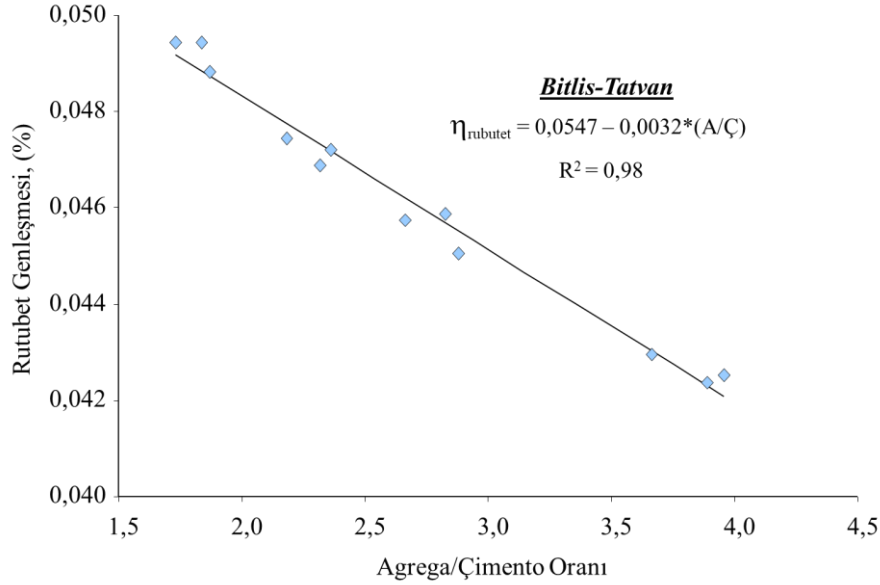
Şekil 13. Kuruma Büzülmesi Analizi (BT- PAHB)



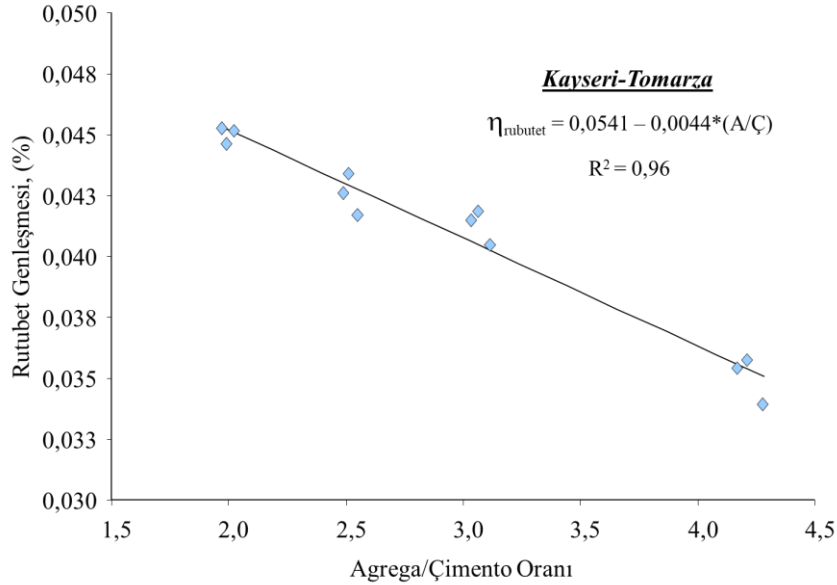
Şekil 14. Kuruma Büzülmesi Analizi (KT- PAHB)

En düşük kuruma büzülmesi değeri, BT pomzası için BT 1 karışımında %0,047, en yüksek kuruma büzülmesi değeri ise BT 4 karışımında %0,063 olarak belirlenmiştir. BS 6073 (1981) standardında (Bölüm 1) duvar elemanları için öngörülen %0,060'lık maksimum kuruma büzülmesi (rötresi) değerinin, bu karışım kombinasyonunda aşıldığı görülmektedir. Analizde kullanılan diğer BT- PAHB örneklerinin kuruma büzülme değerleri irdelendiğinde benzer şekilde BT 8 ve BT 12 karışımlarının da rötre değerlerinin bu eşik değerini aştığı görülmüştür. Bu karışımların ortak özelliği serilerdeki en yüksek çimento dozajlı ve en düşük A/Ç oranlı tasarımlardır. Buradan görüleceği üzere çimento dozajının artması, hafif beton yoğunluğunun artmasına paralel olarak kuruma büzülmesi olgusunu artırmaktadır. KT pomzalı örnekler irdelendiğinde ise en düşük kuruma büzülmesi değeri KT 1 karışımında %0,038, en yüksek kuruma büzülmesi değeri ise KT 12 karışımında %0,055 olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla BS 6073 (1981) standardında (Bölüm 1) duvar elemanları için öngörülen %0,06'lık maksimum kuruma büzülmesi (rötresi) değerinin, KT pomza agregalı örneklerin hiç birisinde bu eşik değerini aşılmadığı görülmüştür. KT pomza agregaların gözenek olgusu, kapalı ve açık gözenek formlarının genel karakteristiğinin hafif betonun kuruma büzülmesi açısından BT agregalara göre daha avantajlı bir davranış sergilediği görülmüştür. BT-PAHB ve KT-PAHB test örneklerinin A/Ç oranları arttıkça kuruma büzülme oranları düşmektedir. BT-PAHB test örneklerinin karışım oranı değişimlerine göre kuruma büzülmesinin KT-PAHB örneklerine göre eşdeğer kabul edilebilecek kararlı bir davranış oluşturmaktadır. En yüksek ve en düşük kuruma rötresi değerleri arasında BT pomza agregalı örnekler için %0,016'lık bir fark söz konusu iken,

bu fark KT pomza agregalı örnekler için hemen hemen eşdeğer düzeyde olup %0,017'dir. BT-PAHB ve KT-PAHB örneklerinin rutubet genişmesi bulguları Şekil 15 ve Şekil 16'da dağılım grafikleri olarak gösterilmektedir. Varyasyonlar, kuruma rötresine benzer şekilde betonun yoğunluk seviyesi arttıkça rutubet genişmesinin de sistematik kabul edilebilecek bir şekilde arttığını göstermektedir (Tablo 4 ve Tablo 5).



Şekil 15. Rutubet Genleşmesi Analizi (BT- PAHB)



Şekil 16. Rutubet Genleşmesi Analizi (KT- PAHB)

En düşük rutubet genişmesi değeri, BT pomzası için BT 5 karışımında %0,042, en yüksek rutubet genişmesi değeri ise BT 8 ve BT 12 karışımlarında %0,049 olarak belirlenmiştir. KT pomzalı örnekler irdelendiğinde ise en düşük rutubet genişmesi değeri KT 1 karışımında %0,034, en yüksek rutubet genişmesi değeri ise KT 4, KT 8 ve KT 12 karışımlarında %0,049 olarak belirlenmiştir. Bu karışımların ortak özelliği serilerdeki en yüksek çimento dozajlı ve en düşük A/Ç oranlı tasarımlardır. Buradan görüleceği üzere çimento dozajının artması, hafif beton yoğunluğunun artmasına paralel olarak rutubet genişmesi olgusunu artırmaktadır. Genel eğilim, KT pomza agregaların BT agregalara göre daha düşük rutubet genişmesi değerleri sağlayabildiğidir. PAHB karışımları ile üretilecek yapı elemanlarında rötresiz veya minimum rötre değerli ürünlerin tasarlandığı durumlarda BT pomza agregalara kıyasla KT pomza agregalı karışımların daha düşük rötre değerleri sağlayabileceği anlaşılmaktadır. BT-PAHB ve KT-PAHB test örneklerinin A/Ç oranları arttıkça rutubet genişmesi oranları düşmektedir. KT-PAHB test örneklerinin karışım oranı değişimlerine göre rutubet genişmesinin BT-PAHB örneklerine göre daha kararlı davranış oluşturmaktadır.

En yüksek ve en düşük rutubet genleşmesi değerleri arasında BT pomza agregalı örnekler için %0,007'lik bir fark söz konusu iken, bu fark KT pomza agregalı örnekler için daha yüksek düzeyde olup %0,011'dir.

Tam Ölçekli Kagir Blok Analizi

Basınç dayanımı ve birim ağırlık

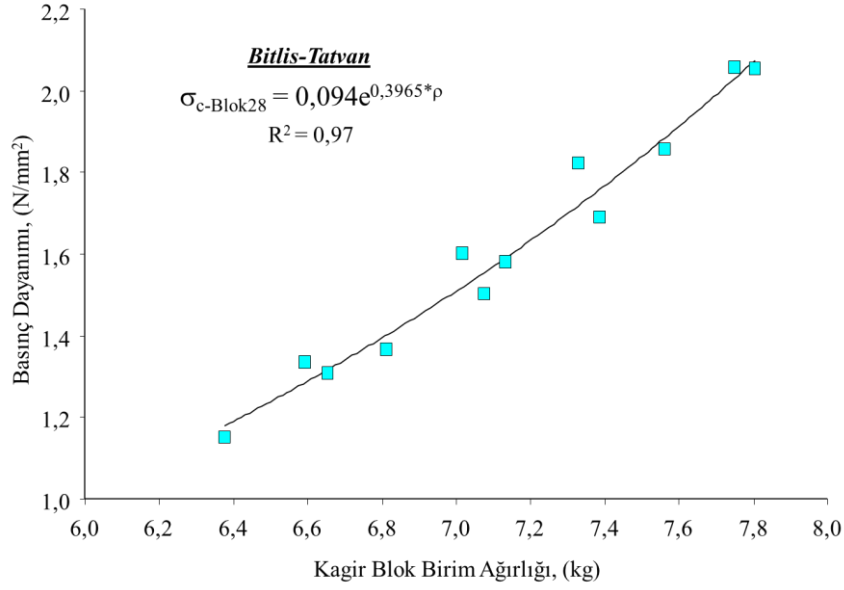
Hafif agregalı kâgir beton blok elemanları, karışımlarda kullanılan agrega türüne ve kullanım oranlarına bağlı olarak, normal ağırlıklı beton bloklardan yaklaşık 4 ila 6 kat daha düşük yoğunluk değerlerine sahiptir. Güncel olarak yürürlükte olan EN standartlarında, kâgir blok elemanları için önerilen bir dayanım değeri limiti tanımlanmamış olsa da BS 6073 (1981) standardının 1. Kısımında tüm kâgir blok elemanlarının duvar örgüsünde kullanımı için minimum dayanım değerinin $2,8 \text{ N/mm}^2$ olması gerektiği vurgulanmıştır. Ancak, TS EN 771-3 (2005) standardında beton blok örneklerinin basınç dayanımı ile ilgili limit aralığı verilmemiş, beton blok basınç dayanımı beyana bağlı bırakılmıştır. Bununla birlikte, RILEM (RILEM, 1978) tarafından sınıflandırılmış yapısal ve yalıtım amaçlı hafif betonlar ile dolgu ve yalıtım amaçlı yalıtım hafif betonları için limit değer olarak öngörülen basınç dayanımları (Tablo 6) sırasıyla $>3,5 \text{ N/mm}^2$ ve $>0,5 \text{ N/mm}^2$ 'dir. Ancak buradaki dayanım değerleri hafif betonun dayanım değerleri olup, kâgir blok elemanının değerlerini doğrudan temsil etmemektedir. Endüstriyel uygulamalarda BS 6073 (1981) standardında öngörülen $2,8 \text{ N/mm}^2$ 'lik blok dayanım değerlerinden daha düşük mukavemetli blok elemanları kullanılabilir. Özellikle dolgu ve yalıtım amacıyla uygulanacak ve taşıyıcı olmayan duvarlarda uygulama için tercih edilebilecek kâgir blok elemanları için RILEM 3. grup hafif beton limitleri dikkate alındığında kâgir blok için öngörülebilir minimum basınç dayanım değerinin $1,30 \text{ N/mm}^2$ 'lik değeri sağlaması öngörülebilir olduğu düşünülmektedir. Aynı zamanda saha incelemelerinde edinilen teknik tecrübe ile üretimleri sonrası $1,30 \text{ N/mm}^2$ 'lik dayanıma ulaşmış kâgir blok elemanları gerek nakliye sırasında gerekse şantiye ortamında taşınması sürecinde blok elemanı zayıflarının teknik bir görüş olarak eşik değeri kabul edilebileceğini göstermiştir. Diğer bir değişle bu dayanım değerinden daha düşük mukavemet değerlerine sahip blok elemanlarının zayıflar oluşturma riski yüksektir. Bu bağlamda çalışma kapsamında irdelenen tüm PAKB örnekleri bu teknik değer esas alınarak yorumlamalar yapılmıştır.

Genellikle karışımlarda agrega yoğunluğunun düşük olması ve agrega hacminin yüksek olması kâgir blok mukavemetini azaltır. Tam ölçekli kâgir bloklar üzerinde yapılan araştırma çalışmaları, gerekli yüksek dayanım değerlerine ulaşmak için pomza agrega türü ve karışım kompozisyonlarının çok önemli parametreler olduğunu göstermiştir. Farklı pomza agregaları için aynı karışım kompozisyonunda çimento miktarı arttıkça blok birim ağırlık artışı da artmaktadır. Ancak ince agrega içeriğinin artırılması aynı çimento içeriğinde blok birim ağırlığını ve blok mukavemetini de artırmaktadır. Bu karakteristik, test edilen tüm karışım serilerinde gözlenmiştir. Hafif agregalı beton harcından mamul kâgir blok elemanlarının basınç dayanımı genellikle blok elemanının tasarım parametreleri ve blok harcı parametreleri olmak üzere başlıca iki farklı etmene bağlıdır. Blok elemanı tasarım parametreleri olarak bloğun geometrik şekli, doluluk ve boşluk oranları, tasarımındaki sıra boşluk sayısı ve formu gibi özellikleri sayılabilir. Blok harcı parametresi olarak da bloğun üretiminde kullanılan agrega türü, tane boyut dağılımı, hafif beton harcının yoğunluğu, kâgir blok elemanı dökümünde harcın kalıba yerleşme oranı, sıkışabilirlik oranı, çimento dozajı, agrega/çimento oranı ve su/çimento oranı vb. faktörlerin etkinliği sayılabilir. Bu çalışmada ileri farklı pomza ile yapılmış tüm PAKB örneklerinde geometrisi ve tasarımı eşdeğer olan kâgir blok kalıbı standart bir blok normu olarak kullanılmıştır. Blok kalıbı tüm karışım oranlarında sabit olduğu için, tam ölçekli blok örneklerinin değerlendirilmesinde blok elemanı tasarım parametreleri açısından bir mukayese yapılmamıştır.

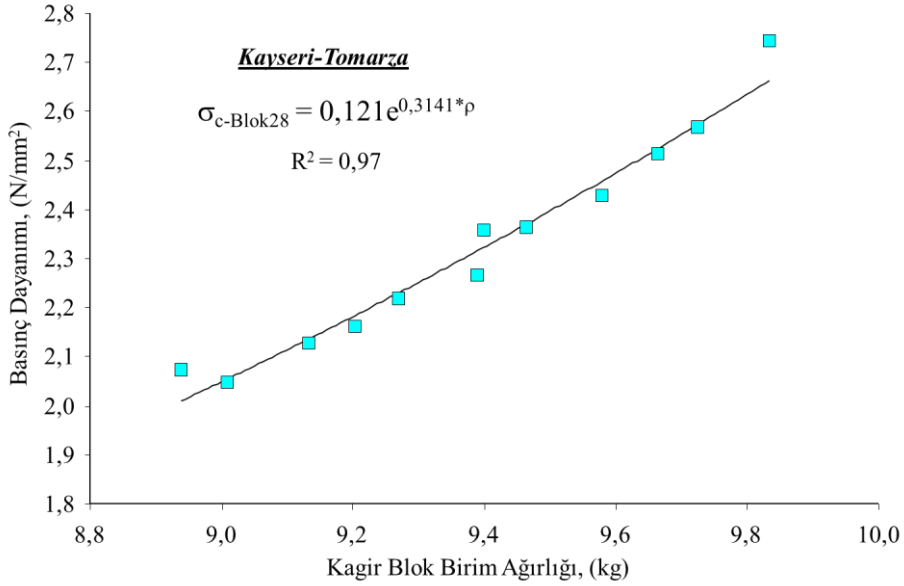
BT-PAKB örnekleri ve KT-PAKB örneklerinin incelemelerinde pomza agrega türü, oranları ve karışım bileşenlerinin genel değişimi üzerinde teknik mukayeseler bu çalışmada ağırlık kazanmıştır.

BT-PAKB ve KT-PAKB örneklerinin analizlerde elde edilen teknik bulguları özetle Tablo 4 ve Tablo 5'te verilmiştir. Hazırlanan karışımlarda A/Ç oranı arttıkça PAKB örneklerinin birim ağırlıkları düşmekte olup, daha hafif blok elemanları elde edilmektedir. BT pomza agrega kullanılarak üretilmiş ve en yüksek birim ağırlığa sahip PAKB örneği BT-10 karışımıyla $7,75 \text{ kg}$, en düşük birim ağırlığa sahip PAKB örneği ise BT-9 karışımıyla $6,38 \text{ kg}$ olarak elde edilmiştir. Bu değerler, blok elemanın kuru durumda ve nem içermeyen değerleridir. Bununla birlikte KT pomza agrega kullanılarak üretilmiş ve en yüksek birim ağırlığa sahip PAKB örneği KT-4 karışımıyla $9,83 \text{ kg}$, en düşük birim ağırlığa sahip PAKB örneği ise KT-5 karışımıyla $8,94 \text{ kg}$ olarak elde edilmiştir. Buradan görüldüğü üzere, BT pomza agrega ile aynı tasarıma sahip bir kâgir blok elemanında aynı şartlarda dökümü yapılmasına rağmen KT pomza agregaya göre daha hafif blok üretimini mümkün kılmaktadır. Bu bağlamda kuru durumda BT pomza agregaları ile eşdeğer formatta KT pomza agregalara kıyasla yaklaşık %33 daha hafif blok elemanı elde edilebileceği görülebilmektedir. Ancak kâgir blok elemanının birim ağırlığının düşmesi (hafiflemesi) dayanım değerimin de

düşebileceğine işaret eder. Çalışma kapsamında bu durum BT ve KT pomza agregalı bloklar için ayrı ayrı analiz edilmiş olup, teknik bulgular Şekil 17 ve Şekil 18’de verilmiştir.



Şekil 17. Kâgir Blok Birim Ağırlığı – Basınç Dayanım İlişkisi (KT- PAKB)



Şekil 18. Kâgir Blok Birim Ağırlığı – Basınç Dayanım İlişkisi (KT- PAKB)

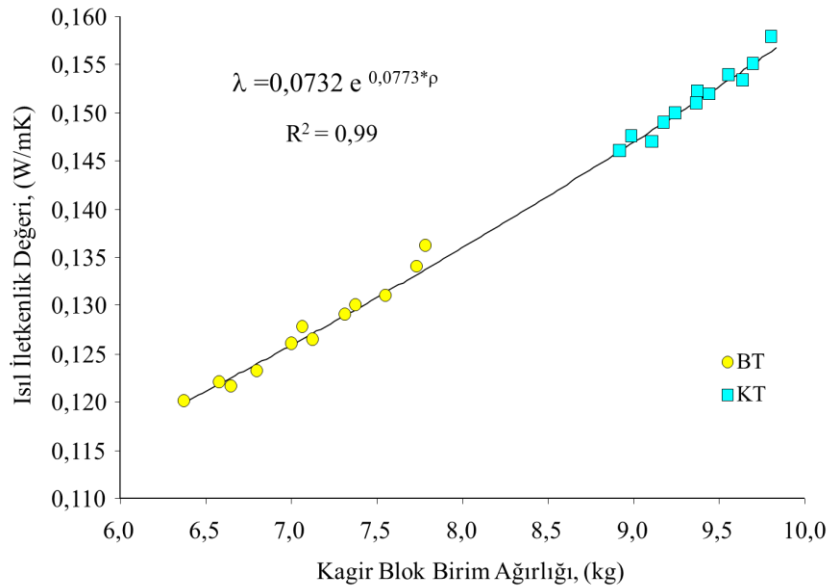
Bu grafiksel analizlerden de görüldüğü üzere kâgir bloğun birim ağırlığı arttıkça, azalan A/Ç oranına da bağlı olarak basınç dayanımında lineer kabul edilebilecek eğilimle artmaktadır. BT pomza agregası kullanılarak üretilmiş ve en düşük dayanımlı PAKB örneği BT-9 karışımıyla 1,15 N/mm², en yüksek dayanımlı PAKB örneği ise BT-8 karışımıyla 2,06 N/mm²'dir. KT pomza agregası kullanılarak üretilmiş ve en düşük dayanımlı PAKB örneği KT-9 karışımıyla 2,05 N/mm², en yüksek dayanımlı PAKB örneği ise KT-4 karışımıyla 2,74 N/mm²'dir. KT pomza agregalı blokların dayanımı BT pomza agregalı blok dayanımlarından daha yüksektir. Yukarıdaki paragraflarda da değinildiği üzere, bu çalışma kapsamında kâgir blokların dayanım açısından irdelenebilirlik kriteri minimum 1,30 N/mm² olarak öngörülmüştür. Bu yaklaşım dikkate alındığında KT pomza agregalı kâgir blokların tüm karışım oranlarında uygulanabileceği belirlenmiştir. Ancak, BT pomza agregalı kâgir bloklardan BT-9 karışımı hariç diğer tüm karışım oranlarında uygulanabileceği belirlenmiştir.

Isı iletkenlik

Doğal gözenekli pomza agregalı hafif beton harcından mamul kâgir blok elemanların, binalarda taşıyıcı olmayan dolgu duvar uygulamalarında yalıtıma ek ürün olarak kullanılması yaygın bir uygulamadır (Gündüz, 2005b; ESCSI, 1997; Brown & Skinner, 1990; Bomhard, 1980). PAKB elemanlarının ısı iletkenlik değerlerini belirlemek için laboratuvar koşullarında oluşturulmuş korumalı sıcak kutu aparatı yöntemi kullanılmıştır.

Al-Jabri vd. (1997), sıcak iklim koşullarında iklimsel bir ortam yaratmak için kâgir beton blok elemanların ısı yalıtım özelliklerini araştırmışlardır. Bu çalışmada blok elemanları vermikülit (VerBlock) ve polistren boncuk katkılı blok (PolyBlock 1) olmak üzere iki farklı yerel malzeme kullanılarak üretilmiştir. Ancak bu malzemelerin bir arada kullanılmasıyla üretilen ısı yalıtım blokları (PolyBlock 2) ve geleneksel beton bloklar da üretilmiştir. Test edilen kâgir blokların ısı iletkenlik değerleri VerBlock, PolyBlok1, PolyBlock2 ve konvansiyonel beton kâgir blok elemanları için 0,616-1,60 W/mK aralığında değişim gösterdiği belirtilmiştir. Çalışma kapsamında BT ve KT pomza agregalı bloklar için analiz edilen ısı iletkenlik bulguları Tablo 4 ve Tablo 5'te verilmiştir. BT- PAKB örneklerinden BT-9 karışımıyla üretilmiş blok elemanı en düşük ısı iletkenlik değerine sahip olup değeri 0,120 W/mK'dir. KT-PAKB örneklerinden KT-5 karışımıyla üretilmiş blok elemanı ise en düşük ısı iletkenlik değerine sahip olup değeri 0,146 W/mK'dir. BT pomza agregaların yoğunluklarının düşük olması KT pomza agregalara göre ısı iletkenlik değerlerinde daha düşük, daha yalıtım özelliği yüksek kâgir blok elemanların elde edilebilmesini mümkün kılmıştır. Diğer taraftan, çimento içeriğinin artması, karışımlarda kullanılan her bir pomza agregası türü için ısı yalıtım özelliğini düşürücü bir etki sergilemiştir. Ancak genel olarak blokların ısı iletkenlikleri pomza agregalarının türüne göre değişmektedir. Pomza agregasının birim ağırlığı ne kadar düşük ise, kâgir bloğun ısı iletkenliği de o ölçüde düşük düzeyde olur.

BT ve KT pomza agregası türleri ile üretilen her bir kâgir blok elemanın birim ağırlık değerine karşı elde edilen ısı iletkenlik değeri grafiksel analiz ile Şekil 19'da verilmiştir. Grafiksel analiz incelendiğinde eşdeğer tasarım formuna sahip bir blok elemanında farklı agregası türleri kullanılsa bile blok elemanın birim ağırlık değeri ile ısı iletkenlik değeri arasında lineer bir ilişkinin varlığı önem kazanmaktadır.



Şekil 19. Birim Ağırlık Değeri ile Isıl İletkenlik İlişkisi

BT pomza agregalı blok numunelerin ısı iletkenliği 0,120 W/mK ile 0,136 W/mK arasında değişirken, KT pomza agregalı blok numunelerinde bu özellik 0,146 W/mK ile 0,158 W/mK arasında değişmektedir. Eşdeğer tasarım formuna sahip PAKB örneklerinde BT pomza agregası ve KT agregası kullanımı arasında ısı yalıtım performansı açısından yaklaşık %19'luk bir fark oluşmaktadır. Üretilen PAKB örneklerinde karışım bileşiminin ince tane içeriği, çimento miktarı ve A/Ç oranı, kâgir bloğun ısı iletkenlik değerini, doğrudan etkileyen faktörler olduğu belirlenmiştir.

RILEM (RILEM, 1978) dokümantasyonunda kâgir blok elemanlarının yalıtım amaçlı kullanımında öngörülen ısı iletkenlik limiti <0,30 W/mK'dir. Bununla birlikte hafif agregalı betondan yapılmış kâgir blok yoğunluğunun 1450 kg/m³'ten daha düşük olması gerekliliği vurgulanmaktadır. Her iki ayrı pomza ile üretilen yapılmış PAKB örneklerinin tamamı RILEM'in öngördüğü teknik limitleri karşılamakta olup, taşıyıcı olmayan duvar

uygulamalarında dolgu ve aynı zamanda yalıtıma katkı sağlayan kagir blok elemanları olarak kullanılabilceğini göstermektedir.

TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada, ince, orta ve iri boyut pomza agregalı hafif beton (PAHB) numuneleri üretilmiştir. Pomza agregaları Bitlis-Tatvan (BT) ve Kayseri-Tomarza (KT) olmak üzere iki farklı pomza ocağından elde edilmiştir. Hafif betonların fiziksel ve mekanik özellikleri belirlendikten sonra, aynı hafif beton karışım oranları ile tam ölçekli hafif beton blok örnekleri üretilmiş ve beton blokların fiziksel ve mekanik özellikleri irdelenmiştir. Çalışma sonuçlarına göre;

1. BT agregası ile hazırlanmış PAHB küp örneklerinde en yüksek dayanım değerleri 2,27 MPa ile 240 kg/m³ çimento dozajına ve 30:30:40 agregal kullanım oranına sahip karışımlarda elde edilmiştir. KT agregalı küp örneklerinde ise 3,18 MPa basınç dayanımı ile 240 kg/m³ çimento dozajına ve 30:50:20 agregal kullanım oranına sahip karışım en yüksek basınç dayanımına sahip karışım olmuştur.

2. Hafif agregalı betonların mukavemet değerleri esas alınarak RILEM tarafından üç farklı grup sınıflandırılmıştır. PAHB test örneklerinin tamamı Sınıf III dolgu ve yalıtım amaçlı betonlar için öngörülen dayanım limitlerini kolaylıkla sağlamaktadır. RILEM limitlerine göre dolgu ve yalıtım amaçlı hafif betonlar için minimum öngörülen dayanım değerinin > 0,5 N/mm²'lik değeri esas alındığında, özellikle KT pomza agregalı karışımlar ile BT pomzalarına kıyasla bu grubun kendi içerisinde değerlendirilmesinde yüksek mukavemetli ürünlerin elde edilebileceği görülmektedir.

3. BT ve KT pomza agregalı hafif beton örneklerinde elde edilen en yüksek yoğunluk değeri 778 kg/m³'tür. Birim hacim kütlesi artan karışımların basınç dayanımlarının arttığı ve basınç dayanımındaki artışın su emme karakteristiğini azalttığı tespit edilmiştir. BT pomza agregalı beton örnekleri KT agregalı örnekler göre daha yüksek su emilim potansiyeline sahiptir.

4. Betonun yoğunluk seviyesi arttıkça kuruma büzülmesinin ve rutubet genleşmesinin arttığı ancak, agregal/çimento oranının artması ile azaldığı gözlemlenmiştir. En düşük kuruma büzülmesi değeri, BT pomzası için BT 1 karışımında %0,047, en yüksek kuruma büzülmesi değeri ise BT 4 karışımında %0,063 olarak belirlenmiştir. KT pomzalı örnekler irdelendiğinde ise en düşük kuruma büzülmesi değeri KT 1 karışımında %0,038, en yüksek kuruma büzülmesi değeri ise KT 12 karışımında %0,055 olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla BS 6073 (1981) standardında (Bölüm 1) duvar elemanları için öngörülen %0,060'lık maksimum kuruma büzülmesi (rötresi) değerinin, KT pomza agregalı örneklerin hiç birisinde bu eşik değerin aşılmadığı görülmüştür.

5. BT pomza agregal kullanılarak üretilmiş ve en yüksek birim ağırlığa sahip PAKB örneği BT-10 karışımıyla 7,75 kg, en düşük birim ağırlığa sahip PAKB örneği ise BT-9 karışımıyla 6,38 kg olarak elde edilmiştir.

Kagir bloklar üzerinde yapılan testlerde en düşük ısı iletkenlik katsayısına 0,120 W/mK ile BT pomza agregalı blok numunelerinde tespit edilmiştir. RILEM (RILEM, 1978) dokümantasyonunda kagir blok elemanlarının yalıtım amaçlı kullanımında öngörülen ısı iletkenlik limiti <0,30 W/mK'dır.

KAYNAKLAR

ACI, (1989). Guide for Use of Normal Weight and Heavyweight Aggregates in Concrete, ACI 221R-89, ACI Committee 221 Report, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI.

Al-Jabri, K. S., Hago, A. W., Al-Nuaimi, A. S., & Al-Saidy, A. H. (2005). Concrete blocks for thermal insulation in hot climate. Cement and Concrete Research, vol. 35, pp. 1472-1479.

Anonim. (2021). The Pantheon in Rome, The Temple of al Gods. <https://www.italyguides.it/en/lazio/rome/ancient-rome/pantheon>

Berge, O., (1983) Lätt isolerande konstruktrionsbeton med isländsk pimpsten som ballast, Västra Frölunda.

Bomhard, H., (1980). Lightweight concrete structures, potentialities, limits and realities, The Concrete Society, The Construction Press, Lancaster, London, New York, UK, pp.227-290.

Bremmer, T. W., & Holm, T. A., (1986). Elasticity, compatibility and the behavior of concrete. ACI Material Journal, vol. 83, no. 2, pp. 244-250.

- Brown, B. J., & Skinner, M. (1990). Report On Concrete Mix Design For Lightweight Masonry Units Using Yali Pumice Coarse and Fine Aggregates. Report No: 89/3408D/2923, STATS Scotland Ltd., East Kilbride, Scotland, UK.
- BS, (1981). BS 6073-1:1981, Precast concrete masonry units - Specification for precast concrete masonry units.
- ESCSI, (1997). A Tehnical report on Rotary Kiln Produced Structural Lightweight Aggregate, Expanded Shale, Clay and Slate, England, pp.1-19.
- Failla, A., Mancuso, P., Miraglia, N., & Ruisi, V. (1997). Experimental – Theoretical Study on Pumice Aggregate Lightweight Concrete”, Technical Report The Instuto di Scienza delle Costruzioni, Facolta di Ingegneria, Palermo; Published by Ministero della Publica Instuzione, Palermo, Italy, pp.3-22.
- FIP, (1983). FIP Manual of Lightweight Aggregate Concrete, 2nd ed., Survey Univ. Press, London.
- Gündüz, L. (2005a). İnşaat Sektöründe Bimsblok, Süleyman Demirel Üniversitesi, Pomza Araştırma ve Uygulama Merkezi, Isparta.
- Gündüz, L. (2005b). A technical report on lightweight aggregate masonry block manufacturing in Turkey, Suleyman Demirel University, Isparta, Turkey, pp 1-110, 2005.
- Gündüz, L., & Uğur, İ. (2005). The effects of different fine and coarse pumice aggregate/cement ratios on the structural concrete properties without using any admixtures. Cement and Concrete Research, vol. 35, pp. 1859-1864.
- Gündüz, L., (Ed.) (1998). Pomza Teknolojisi (Pomza Karakterizasyonu), Cilt I, Isparta, Türkiye, s285.
- Hossain, K. M. A., (2004). Properties of volcanic pumice based cement and lightweight concrete. Cement and Concrete Research, vol. 34, pp. 283-291.
- Kostmatka, S. H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., Macleod, N. F., & McGrath, R. J., (2002). Design and control of concrete mixtures, 7th Canadian ed., Engineering Bulletin, vol. 101, Cement Association of Canada, Ottawa, Ontario.
- LAVA, (1998). Maple Aggregates, LAVA pumice stone and its use, Printed in England by James Quentin Associates Limited, Brighton, England, pp.1-8.
- Neville, A. M. (1996). Properties of Concrete, Fourth and Final Edition, Harlow, UK: Addison Wesley Longman Limited.
- RILEM, (1978). Functional Classification of Lightweight Concretes, Recommendation, RILEM LC2, second edition.
- TSE, (2005). TS EN 771-3, Kâgir birimler - Özellikleri - Bölüm 3: Beton kâgir birimler (Yoğun ve hafif agregalı), Ankara.
- Ünal, O., Uygunoğlu, T., & Yıldız, A. (2007). Investigation of properties of low-strength lightweight concrete for thermal insulation. Building and Environment, vol. 42, no. 2, pp. 584-590.
- Yang, C. C. & Huang, R. A. (1996). A two-phase model for predicting the compressive strength of concrete. Cement and Concrete Research, vol. 26, no. 10, pp. 1567-1577.
- Yasar, E., Atis, C. D., Kılıç, A., & Gulsen, H. (2003). Strength properties of lightweight concrete made with basaltic pumice and fly ash, Materials Letters, vol. 57, pp. 2267-2270.



Kahramanmaraş Sutcu Imam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 06.06.2022
Kabul Tarihi : 01.08.2022

Received Date : 06.06.2022
Accepted Date : 01.08.2022

INVESTIGATION OF THE USE OF WALNUT SHELLS AS A NATURAL BIOSORBENT FOR ZINC REMOVAL

CEVİZ KABUĞUNUN DOĞAL BİYOSORBENT OLARAK ÇİNKO GİDERİMİNDE KULLANILMASININ ARAŞTIRILMASI

Sevda Esmâ DARAMA¹ (ORCID: 0000-0002-6747-4679)

Başak MESCİ OKTAY^{2*} (ORCID: 0000-0002-1204-0195)

Semra ÇORUH¹ (ORCID: 0000-0002-8306-1890)

^{1,3} Ondokuz Mayıs University, Engineering Faculty Department of Environmental Engineering, Samsun, Turkey

² Ondokuz Mayıs University, Engineering Faculty Department of Metallurgical and Materials Engineering, Samsun, Turkey

* Corresponding Author: Başak MESCİ OKTAY, basakm@omu.edu.tr

ABSTRACT

Heavy metal contamination is a primary concern worldwide, and it is discharged from industrial wastewater to a large amount of heavy metal receiving environments. In recent years, the effective use of agricultural by-products is a significant challenge in waste management. The fact that agricultural residues are more easily obtained and cheaper than commercial adsorbents makes it attractive. In this study, removal of zinc from industrial wastewater using natural and thermally modified (biochar) walnut shells as biosorbent was investigated. It tried to remove zinc in aqueous solutions with different concentrations using walnut shells at different rates. The effects of initial concentration, contact time, and adsorbent dosage were studied. In addition, adsorption isotherms and kinetics were also studied. With the modified form of the walnut shell, up to 97% zinc removal efficiency was obtained. Also, adsorption was consistent with pseudo-second kinetics and Freundlich isotherm. The results showed that the modified walnut shell in zinc removal was a potential adsorbent. The adsorption of zinc onto walnut shells was found to fit Freundlich isotherm. The results obtained in the tests with wastewater showed the possible use of walnut shells for the removal of zinc.

Keywords: Biochar, walnut shell, zinc removal, isotherm, kinetic.

ÖZET

Ağır metal kirliliği dünya çapında endişe kaynağıdır ve endüstriyel atık sularından büyük miktarda ağır metal alıcı ortamlara deşarj edilmektedir. Son yıllarda, tarımsal yan ürünlerin etkin kullanımı, atık yönetiminde kesinlikle büyük bir zorluktur. Tarımsal kalıntıların ticari adsorbentlere göre daha kolay elde edilmesi ve daha ucuz olması onları cazip kılmaktadır. Bu çalışmada, biyosorbent olarak doğal ve biyokömür haline getirilmiş ceviz kabukları kullanılarak endüstriyel atık sudan çinkonun giderimi araştırılmıştır. Ceviz kabukları farklı oranlarda kullanılarak farklı konsantrasyonlardaki sulu çözeltilerdeki çinko giderilmeye çalışılmıştır. Başlangıç konsantrasyonunun etkileri, temas süresi, adsorbent dozu araştırılmıştır. Ayrıca adsorpsiyon izotermi ve kinetiği de incelenmiştir. Ceviz kabuğunun modifiye edilmiş şekli ile %98'e varan çinko giderimi elde edilmiştir. Ayrıca yalancı ikinci derece kinetiği ve Freundlich izotermiyle uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Sonuçlar, çinko gideriminde modifiye edilen ceviz kabuğunun potansiyel bir adsorban olduğunu göstermiştir. Ceviz kabukları üzerine çinko adsorpsiyonunun Freundlich izotermine uyduğu bulunmuştur. Atık su ile yapılan testlerde elde edilen sonuçlar, çinkonun giderilmesi için ceviz kabuklarının potansiyel kullanımının uygun olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Biyoçar, ceviz kabuğu, çinko giderimi, izoterm, kinetik

ToCite: DARAMA, S. E., OKTAY B. M. & ÇORUH S., (2022). INVESTIGATION of THE USE of WALNUT SHELLS AS A NATURAL BIOSORBENT FOR ZINC REMOVAL. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 25(4), 556-564.

INTRODUCTION

In recent years, heavy metal contamination, mainly discharged from industrial wastewater, has become a severe environmental problem (Zhang et al., 2017). Due to toxicities, carcinogenicity and scarcity of natural resources, the removal and recovery of heavy metals from wastewater is of great importance (Fu & Wang, 2011). Heavy metals such as zinc are frequently encountered in industrial wastes and wastewater from agricultural irrigation. High zinc concentrations are widely present in wastewater from galvanizing plants, pigments, mine drainage, etc. (Qiang, 2011; Bhatti, 2007; Bhattacharya et al., 2006). The presence of heavy metals in water causes them to accumulate in plants through translocation and negatively affects the environment and human health (Demirtaş, 2008).

To solve this problem and control the biological activities of heavy metals in the environment, various methods such as sedimentation, electrokinetic recovery, membrane, adsorption, ion exchange and biological improvement are used (Pour & Ghaemy, 2015). However, these technologies have high operational, equipment and chemical costs. These processes are usually expensive and sometimes ineffective, especially when heavy metal concentrations are low (Hawari et al. 2009; Mohan and Pittman, 2006). Among these methods, adsorption is of increasing interest due to ease of use and the possibility of regeneration (Malik et al., 2007).

Conventional adsorbents used in water treatment are activated carbons, polymers, oxides, zeolites, etc. Still, engineered sorbents can be very expensive and in recent decades, the interest in using alternative low-cost sorbents can be observed. (Wanga, 2012). Recently, adsorption by using agricultural wastes has become an economical and applicable method for removing different pollutants from wastewaters (Kadirvelu et al., 2003). The use of agricultural wastes is preferred because it is abundant, cheap and easily accessible (Moreno-Barbosa et al., 2013). Biomass is defined as living or recently dead organisms and by-products, plants or animals (Agarwal et al., 2017). Walnut shell, an abundant agricultural residue has successfully been used in the removal of heavy metals in aqueous solutions such as Pb, Cr, and Zn, etc., by adsorption (Ding et al. 2013; Wolfova et al. 2013).

Biochar is a carbon-containing material produced by pyrolysis in a limited or completely oxygen-free environment, immobilizing heavy metals and reducing their toxicity (Wang et al., 2018; Liu et al., 2015). The potential utilization of biochar for various applications depends on its inherent property. Controlling the chemistry and morphology of the surface area is key to optimizing biochars for specific applications. Recent research on pyrolysis of the walnut shell to biochar has elaborated the process parameters effect on biochar physical–chemical characteristics (Bar et al., 2022). There are studies in the literature that high removal is obtained from the use of biochar as an adsorbent obtained from agricultural wastes.

In this study, the effect of natural and thermally modified (biochar) walnut shells on the removal of zinc ions from wastewaters was investigated. The effects of biosorbent dosage, contact time, and initial zinc concentration on sorption performance were analyzed in the study that adsorption method applied.

MATERIALS AND METHODS

Materials

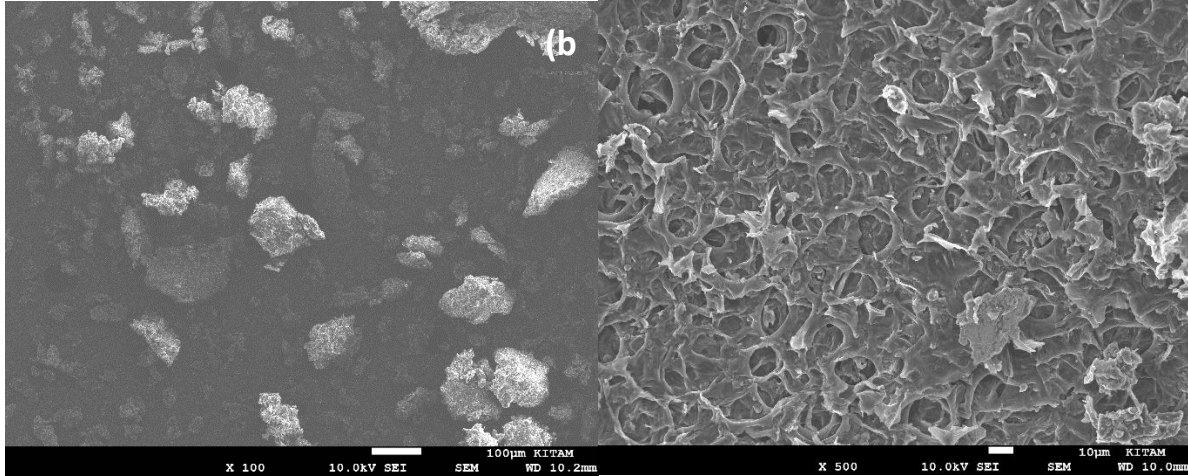
Walnut shells collected by our own means were washed three times with pure water and dried in an oven at 105°C for 24 hours to remove moisture content. Then the walnut shells were crushed with the help of a mixer crusher. Sieved for a particle size of 2-4 mm. Zinc solution used in the experiment was prepared by using a 2000mg/l stock solution with ZnSO₄.

Characterization of Adsorbents

Characterization of the adsorbent before adsorption studies were analyzed for Brunauer-Emmett-Teller (BET) surface area. BET surface area of the modified walnut shell is 3.696 m²/g. This value was lower than most commercial adsorbents. Nonetheless, a natural walnut shell showed an excellent zinc removal adsorption capacity. The element C, H, N, O and S composition in the walnut shell sample was determined using an elemental analyzer. The elemental analysis revealed the walnut shell mainly consists of oxygen (11.61%) and carbon (65.65%) (Table 1). A scanning electron microscope (SEM) was employed to determine the surface physical morphology (Figure 1). Fragmented appearance and shape of the walnut shell after pyrolysis in Fig. 1 b.

Table 1. Elemental Composition of the Modified Walnut Shell

Adsorbent	% C	% O	% N	% H	% S
Modified walnut shell	65.65	11.61	0.93	3.79	0.01

**Figure 1.** SEM Micrographs of the Natural and Modified Walnut Shell

Method

Pyrolysis was applied to walnut shells which will be converted to biochar form by thermal treatment. The pyrolysis step was carried out by placing 30g sample into the reactor; 600 °C pyrolysis temperature, 1 hour standby time, 100ml/min under nitrogen gas flow, 5°C/min slow pyrolysis rate. Pyrolysis resulted in 8g biochar walnut shells. Adsorption was carried out at different initial zinc concentrations, walnut shell dosages, and contact times. General adsorption conditions;

30ml zinc solution volume,
100mg/L initial zinc concentration,
0.15g (5g/L) natural and biochar walnut shell
1.5 hour at 150rpm agitation.

Adsorption samples were filtered with 0.45 syringe filters. The obtained filtrates were read after adsorption using a zinc lamp with atomic absorption spectrophotometer (AAS) of the UNICAM 929 model. The removal efficiency values according to concentration, dosage and contact time after adsorption were calculated with the following formula (E).

$$E(\%) = (C_0 - C_e) / C_0 \times 100 \quad (1)$$

In formula; E: Removal efficiency Co: Initial zinc concentration, Ce: Zinc concentration after adsorption.

RESULT AND DISCUSSION

The Effect of Initial Concentration on Removal Efficiency

Initial concentrations of 100-200-400-800-1000-1500 mg/L were selected to examine the effect of concentration. Experiments were carried out at 50mL solution volume, 2.5g/L adsorbent dosage, and 165rpm under 1 hour shaking conditions. As shown in Figure 2, both the natural and biochar walnut shell forms exhibited similar behaviors in removal efficiency. Up to 400mg/L concentration increases with concentration, the efficiency reaches 97%. At the concentration of 1500mg/L, the efficiency decreases to 76%.

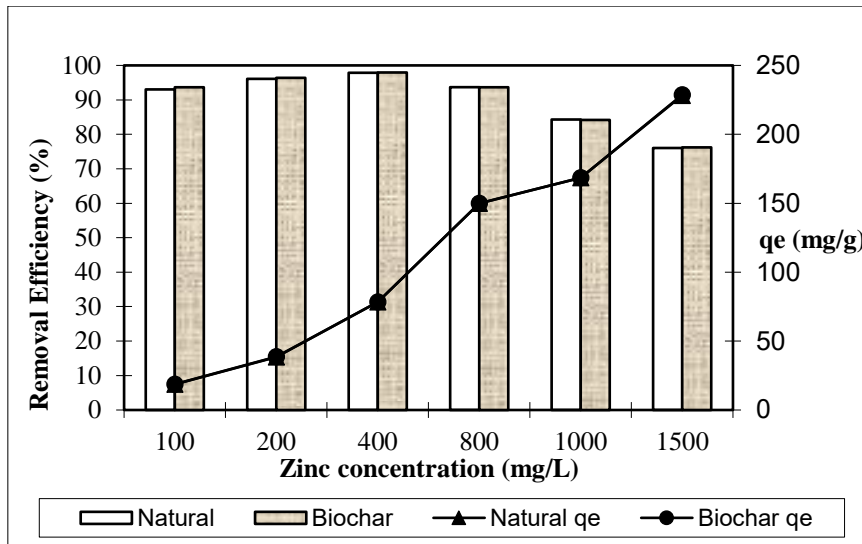


Figure 2. Effect of Initial Concentration on Zinc Adsorption

The Effect of Dosage on Removal Efficiency

To investigate the effect of walnut shell dosage on adsorption, 2.5-5-10-20g/L adsorbent dosages were selected. In the dosage study, 100mg/L initial zinc concentration, 50mL sample volume, 1 hour shaking conditions at 165rpm were selected. Figure 3 shows the removal yields and q_e values of natural and biochar walnut shells. In general, the dosage does not significantly affect the adsorption efficiency. 90% removal efficiencies were obtained in all walnut shell dosages for natural and biochar forms.

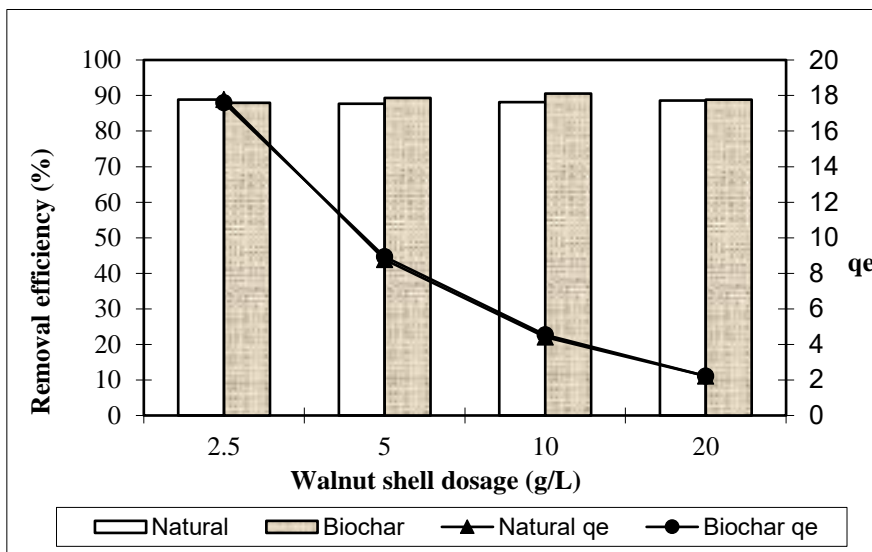


Figure 3. Effect of Adsorbent Dosage on Zinc Adsorption

The Effect of Contact Time on Removal Efficiency

Adsorption experiments to investigate the effect of contact time were studied 1-15-30-60-90-120min. Contact time on zinc removal experiments were carried out at 100mg/L initial zinc concentration, 2.5g/L adsorbent dosage, 50mL sample volume at a shaking rate of 165rpm. Figure 4 shows the removal efficiency of the contact time and adsorption q_e values. Biochar forms have been found to have 2% higher yield than natural forms. Approximately 90% removal efficiency was achieved from the first minute of contact time. The high removal efficiency was achieved even with long adsorption contact times.

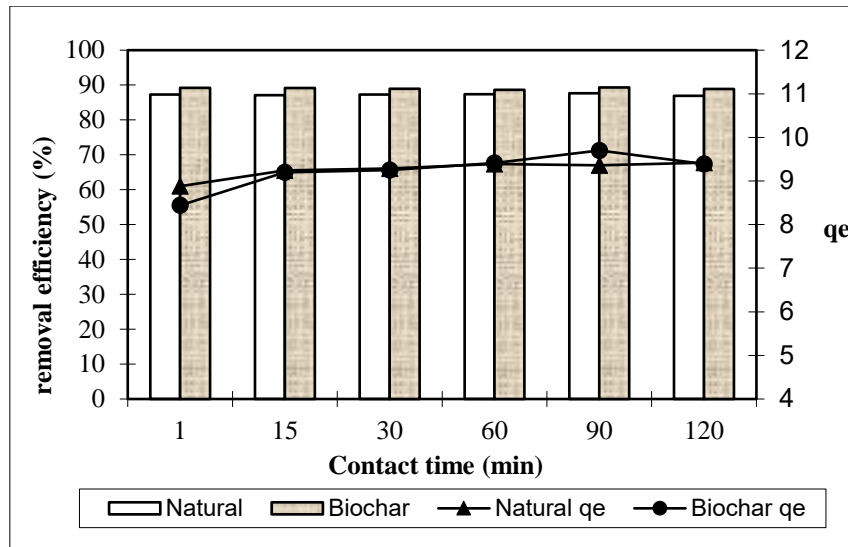


Figure 4. Effect of contact time on zinc adsorption

Adsorption Isotherms

Adsorption isotherms or capacity studies are of fundamental importance in the design of adsorption and ion-exchange systems since they indicate how the metal ions are partitioned between the adsorbent and liquid phases at equilibrium as a function of increasing metal concentrations.

Langmuir and Freundlich isotherms for removal of zinc ions using natural and biochar walnut shells are presented in Figure 5. The calculated results of the Langmuir and Freundlich isotherm constants are given in Table 2. The data obtained were well fitted with the Langmuir equation compared to the Freundlich equation under the different concentrations.

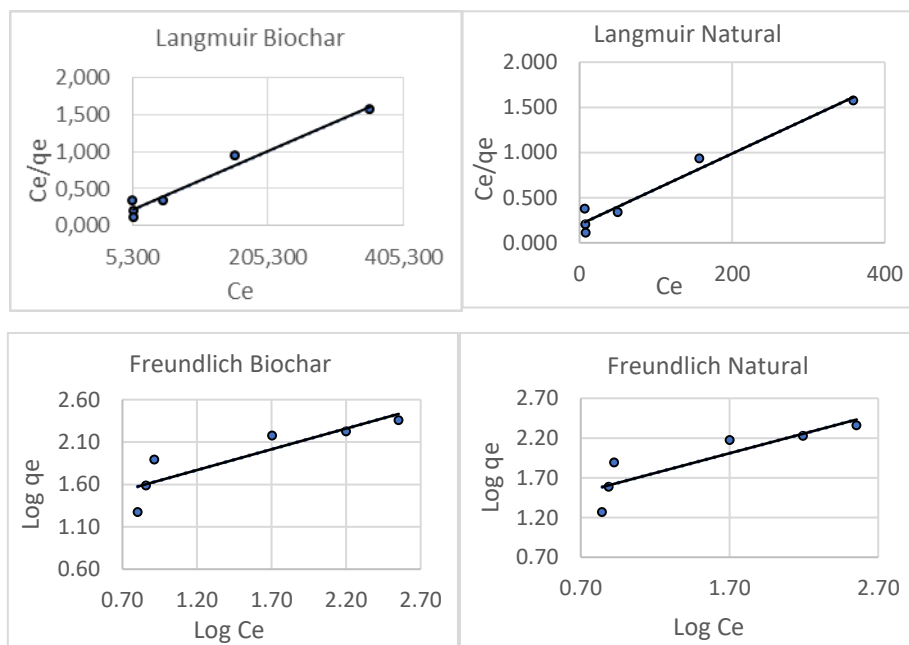


Figure 5. Langmuir and Freundlich Adsorption Isotherm Graphs

The values R^2 for Langmuir are calculated as 0.96 for both natural and biochar walnut shells. The values of q_m , defined as the maximum capacity of sorbent, have been calculated from the Langmuir plots. The greatest equilibrium sorption capacity q_m for natural and biochar adsorbents were obtained for 256,4mg/g and 250mg/g, respectively.

Table 2 Langmuir and Freundlich Models Correlation Coefficients

Isotherm Model	Formula	Linear formula	Parameter	Natural	Biochar
Langmuir	$q_e = \frac{q_{max} \cdot b \cdot C_e}{1 + b \cdot C_e}$	$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_{max} \cdot b} + \frac{C_e}{q_{max}}$	q_m (mg/g)	256.4	250
			b (L/mg)	0.019	0.021
			R ²	0.9637	0.9686
			n	2.01	0.0002
Freundlich	$q_e = k_F \cdot C_e \times \frac{1}{n}$	$\ln q_e = \ln k_F + \frac{1}{n} \ln C_e$	K_F (L/g)	14.59	15.2
			R ²	0.7679	0.7813

Adsorption Kinetics

Different kinetics models study adsorption properties depending on adsorption time. This study applied pseudo-first order, pseudo second order and intra particle diffusion kinetics models to adsorption times ranging from 1-120 min. It was clear that the adsorption process for walnut shells achieves balance quickly. As shown in Figure 5, the adsorption corresponds to the pseudo-second order kinetic model.

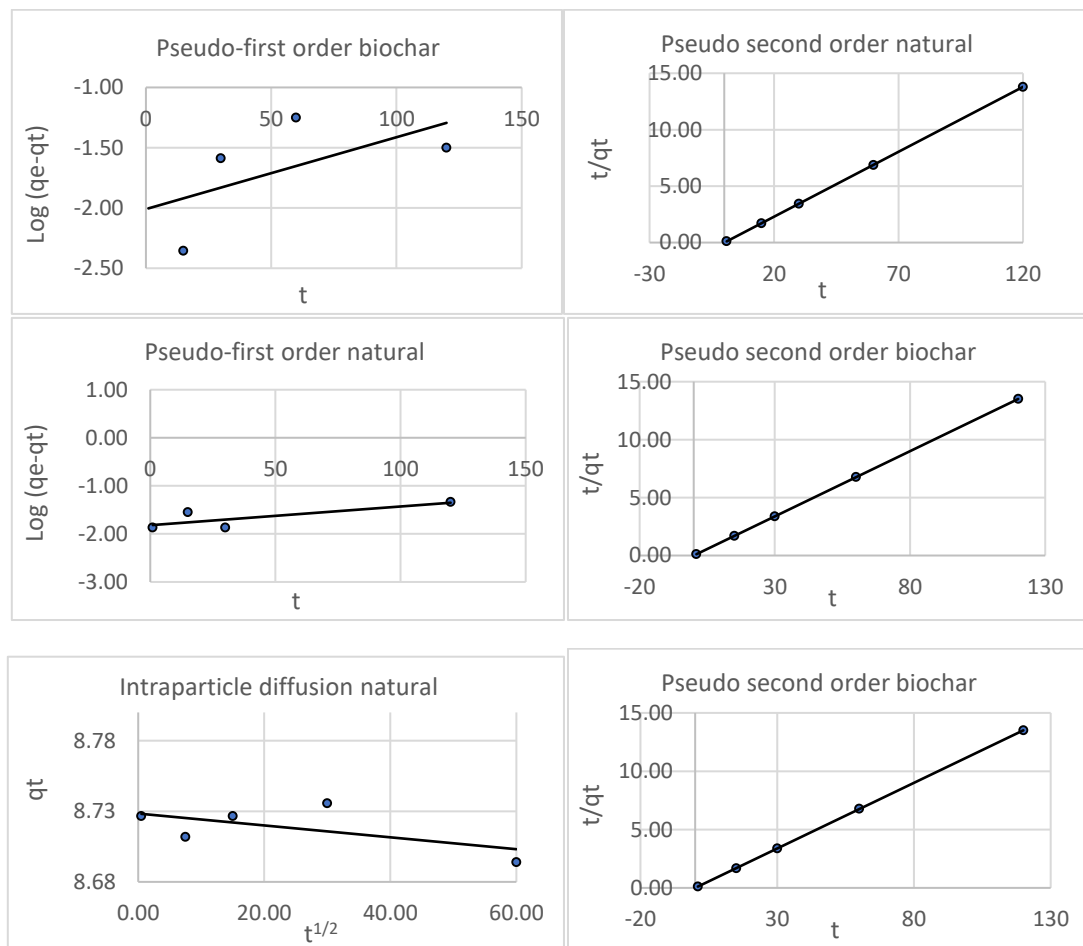


Figure 5 Pseudo-First Order, Pseudo Second Order and Intra Particle Diffusion Kinetics Graphs

The linear forms, the way of plots and the correlative parameters of these kinetic models with the correlation coefficients (R²) were represented in Table 3. It could be seen that the experimental data were fitted best for the pseudo-second order kinetic model with 0,9999 correlation coefficient for both of natural and biochar walnut shells.

Table 3 Formulas and Calculated Parameters of Kinetic Models

Adsorbent Type	Kinetic Models								
	Pseudo-first order			Pseudo second order			Intra particle diffusion		
	$\log(qe - qt) = \log qe - \left(\frac{k1}{2,303}\right) \cdot t$			$\frac{t}{qt} = \frac{1}{k2 \cdot qe2} + \left(\frac{1}{qe}\right) t$			$qt = ki \cdot t^{1/2} + C$		
	k1 (dk ⁻¹)	qe (mg/g)	R ²	k2 (g/mg.dk)	qe (mg/g)	R ²	Ki (mg/g.dk ²)	C	R ²
Natural	0.0089	65.96	0.6291	1.43	8.69	0.9999	0.0004	8.284	0.3654
Biochar	0.0138	102.16	0.3367	42.27	8.88	0.9999	0.0006	8.9102	0.3913

A comparison of the maximum adsorption capacity of the walnut shell sample with that of some other studies reported in literature is given in Table 4.. The obtained results are in the range of cited values in the literature (Segovia-Sandoval, et al 2018; Kazemipour et al., 2008). A comparison of the maximum adsorption capacities of some low-cost adsorbents for the Zn²⁺ removal is given in Table 4. The sorption affinity of the clinoptilolite is comparable to or more to the other available adsorbents.

Table 4. Adsorption Capacities of Zinc on Various Adsorbents

Low-cost adsorbents	Adsorption capacity (mg/g)	Reference
Fallen leaves (Platanus)	86.2	(Park et al., 2022)
Chitosan	74.6	(Xu et al., 2022)
Seaweed	27.11	(Basha et al., 2008)
Banana	45	(Oyewo et al., 2017)
Sugar beet bagasse	52.8	(Ghorbani et al., 2020)
Walnut Shell	27.86	(Segovia-Sandoval et al., 2018)
Present study	25.64	-

CONCLUSION

This study aimed to investigate the potential use of natural walnut shells and biochar as a biosorbent for removing zinc ions. The adsorption process functions contact time, biosorbent dosage, and zinc ion concentration. The results show that biochar effectively removed zinc ions from an aqueous solution. The maximum adsorption capacities (qm) of natural and biochar walnut shell were found to be 256,4, and 250 mg/g, respectively, and the highest removal efficiency was found to be 97% at 400mg/L zinc concentration. The experimental data was applied to various isotherm and kinetic models. The data were well fitted to the Langmuir isotherm model and pseudo-second-order kinetic model equation, with good correlation coefficients. The results show that natural walnut shells and biochar could be used as low-cost adsorbents to remove zinc ions from an aqueous solution. In addition, natural walnut shell values show removal efficiencies close to the biochar form, so walnut shell alone can be used as the adsorbent for zinc removal.

REFERENCES

Agarwal, R.M., Singh, K., Upadhyaya, H., & Dohare, R.K. (2017). Removal of heavy metals from wastewater using modified agricultural adsorbents. *Materials Today: Proceedings*,4, 10534–10538. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.06.415>

- Barr, M.R., Forster, L., D'Agostino, C., & Volpe, R. (2022). Alkaline pretreatment of walnut shells increases pore surface hydrophilicity of derived biochars. *Applied Surface Science*, 571, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2021.151253>
- Basha, S., Murhy, Z.V.P., Jha, B. (2008). Biosorption of hexavalent chromium by chemically modified seaweed, *Cystoseira indica*, *Chemical Engineering Journal*, 137 (2008) <https://doi.org/480-488>. 10.1016/j.cej.2007.04.038
- Bhattacharya, A.K., Mandal, S.N., & Das, S.K. (2006). Adsorption of Zn(II) from aqueous solution by using different adsorbents. *Chemical Engineering Journal*, 123, 43-51. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2006.06.012>
- Bhatti, H.N., Mumtaz, B., Hanif, M.A., & Nadeem, R. (2007). Removal of Zn(II) ions from aqueous solution using *Moringa oleifera* Lam (horseradish tree) biomass. *Process Biochemistry*, 42, 547-553. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2006.10.009>
- Demirbas, A. (2008). Heavy metal adsorption onto agro-based waste materials: a review. *J. Hazard. Mater.* 157, 220-229. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.01.024>
- Ding, D., Zhao, Y., Yang, S., Shi, W., Zhang, Z., Lei, Z., & Yang, Y. (2013). Adsorption of cesium from aqueous solution using agricultural residue walnut shell: equilibrium, kinetic and thermodynamic modeling studies. *Water Research*, 47:2563-2571. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2013.02.014>
- Fu, F. & Wang, Q. (2011). Removal of heavy metal ions from wastewaters: a review. *Journal of Environmental Management*, 92, 407-418. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.11.011>
- Ghorbani, F., Kamari, S., Zamani, S., Akbardi, S., Salehi. (2020). Optimization and modeling of aqueous Cr(VI) adsorption onto activated carbon prepared from sugar beet bagasse agricultural waste by application of response surface methodology, *Surfaces and Interfaces*. 18, 100444. <https://doi.org/10.1016/j.surfin.2020.100444>
- Hawari, A., Rawajfih, Z., & Nsour, N. (2009). Equilibrium and thermodynamic analysis of zinc ions adsorption by olive oil mill solid residues. *Journal of Hazardous Materials*, 168, 1284-1289. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.03.014>
- Kadirvelu, K., Kavipriya, M., Karthika, C., Radhika, M., Vennilamani, N., & Pattabhi, S. (2003). Utilization of various agricultural wastes for activated carbon preparation and application for the removal of dye and metal ions from aqueous solutions. *Bioresour. Technol.*, 87 pp.129-132. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(02\)00201-8](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(02)00201-8)
- Kazemipour, M., Ansari, M., Tajrobehkar, S., Majdzadeh, M., Kermani, H.R. (2008) Removal of lead, cadmium, zinc, and copper from industrial wastewater by carbon developed from walnut, hazelnut, almond, pistachio shell, and apricot stone. *Journal of Hazardous Materials*, 150 322-327. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.04.118>
- Liu, W., Jiang, H., & Yu, H. (2015). Development of biochar-based functional materials: toward a sustainable platform carbon material. *Chemical Reviews*. 115, 12251-12285. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.5b00195>
- Malik, R., Ramteke, D.S., & Wate, S.R. (2007). Adsorption of malachite green on ground nut shell waste based powdered activated carbon. *Waste Management*, 27 pp. 1129-1138. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2006.06.009>
- Mohan, D. & Pittman, C.U. (2006). Activated carbons and low cost adsorbents for remediation of tri- and hexavalent chromium from water. *Journal of Hazardous Materials*, 137, 762-811. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.06.060>
- Moreno-Barbosa, J.J., Lopez-Velandia, C., Maldonado A.P., Liliana Giraldo L., & Moreno-Piraján, J.C. (2013). Removal of lead(II) and zinc(II) ions from aqueous solutions by adsorption onto activated carbon synthesized from watermelon shell and walnut shell. *Adsorption*, 19:675-685. <https://doi.org/10.1007/s10450-013-9491-x>

Nasernejad, B., Zadeh, T.E., Pour, B.B., Bygi, M.E., & Zamani A. (2005). Comparison for biosorption modeling of heavy metals (Cr (III), Cu (II), Zn (II)) adsorption from wastewater by carrot residues. *Process Biochemistry*, 40 (3), 1319-1322. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2004.06.010>

Oyewo, O.A., Onyango, M.S., Wolkersdorfer, C. (2017). Application of banana peels nanosorbent for the removal of radioactive minerals from real mine water, *J. Environ. Radioact.* 164, 369-376. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2016.08.014>

Park, J., Wang, J., Xiao, R., Wang, M., Lee, Y., Kang, S., Seo, D. (2022). Characteristics of adsorption behavior of potentially toxic metals by biochar derived from fallen leaves (platanus) and its mechanism. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 29, 100776. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2022.100776>

Pour, Z.S. & Ghaemy, M. (2015). Removal of dyes and heavy metal ions from water by magnetic hydrogel beads based on poly(vinylalcohol)/carboxymethyl starch-g-poly(vinylimidazole). *RSC Advances*, 5, 64106–64118 *Commun. Fac. Sci. Univ. Ank. Series B* V.56 (1). pp. 13- 25. <https://doi.org/10.1039/C5RA08025H>

Segovia-Sandovala, S.J., Ocampo-Pérezb, R., Berber-Mendozaa, M.S., Leyva-Ramosb, R., Jacobo-Azuarac, A., Medellín-Castilloa, N.A. (2018). Walnut shell treated with citric acid and its application as biosorbent in the removal of Zn(II), *Journal of Water Process Engineering*, Volume 25, 45-53. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2018.06.007>

Qiang L., Yajun, L., Jia Z., Ying C., Xiuxiu R., Jianyong L., & Guangren, Q.(2011). Effective removal of zinc from aqueous solution by hydrocalumite, *Chemical Engineering Journal*, 175 (2011) 33–38. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.09.022>

Xu, K., Li, L., Huang, Z., Tian, Z., Li, H. (2022). Efficient adsorption of heavy metals from wastewater on nanocomposite beads prepared by chitosan and paper sludge, *Science of The Total Environment*. Vol 846, 157399. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157399>

Wang, X., Wu, J., & Chen, Y. (2018). Comparative study of wet and dry torrefaction of corn stalk and the effect on biomass pyrolysis polygeneration. *Bioresource Technology*, 258, 88–97. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.02.114>

Wanga, S., & Peng, Y. (2010). Natural zeolites as effective adsorbents in water and wastewater treatment, *Chemical Engineering Journal*, vol. 156, 11–24. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2009.10.029>

Wolfova, R., Pertile, E., & Fecko, P. (2013). Removal of lead from aqueous solution by walnut shell. *J Environ Chem Ecotoxicol*, 5:159–167. <https://doi.org/10.5897/JECE09.025>

Zhang, J., Chen, S., & Zhang, H. (2017). Removal behaviors and mechanisms of hexavalent chromium from aqueous solution by cephalosporin residue and derived chars. *Bioresour. Technol.*, 238, 484–491. <https://doi.org/10.5897/JECE09.025>



Kahramanmaraş Sutcu Imam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 28.06.2022
Kabul Tarihi : 20.10.2022

Received Date : 28.06.2022
Accepted Date : 20.10.2022

INVESTIGATION OF BIOFILM FORMATION ON KALDNES K1

KALDNES K1 ÜZERİNDE BİYOFİLM OLUŞUMUNUN İNCELENMESİ

Melike KOZAK^{1*} (ORCID: 0000-0001-6985-3587)
*Serdar GÖÇER*¹ (ORCID: 0000-0003-0443-8045)
*Ahmet DUYAR*² (ORCID: 0000-0001-8850-8308)
*İrem AYRANPINAR*³ (ORCID: 0000-0001-8132-3490)
*Emre Oğuz KÖROĞLU*³ (ORCID: 0000-0002-6027-6792)
*Kevser CIRIK*³ (ORCID: 0000-0002-1756-553X)

¹ Cukurova University, Department of Environmental Engineering, Adana, Turkey

² Kahramanmaraş Sutcu Imam University, University-Industry-Public Collaboration, Research-Development-Application Centre, Kahramanmaraş, Turkey

³ Kahramanmaraş Sutcu Imam University, Department of Environmental Engineering, Kahramanmaraş, Turkey

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Melike KOZAK, melikekzk91@gmail.com

ABSTRACT

In this study, the effect of different aeration rates (0- 0.001-0.004 m³air/m³reactor) was investigated for biofilm formation. Two types of reactors, AnMBBR1 and AnMBBR2, were used in the study. Both reactors were operated at constant HRT (6 h). The reactors (AnMBBR1 and AnMBBR2) were filled with 40 % carrier material (Kaldnes K1). AnMBBR1 was operated under anaerobic conditions (0 m³ air/m³reactor) while AnMBBR2 was operated at different aeration rates (0.001-0.004 m³air/m³reactor). The highest biofilm density was observed in AnMBBR2 with a reactor aeration ratio of 0.004 m³air/m³reactor, corresponding to 4062 mg/L. These results showed that limited aeration improved biofilm formation on Kaldnes K1.

Keywords: AnMBBR, biofilm, kaldnes k1, textile wastewater

ÖZET

Bu çalışmada, farklı havalandırma hızlarının (0- 0.001-0.004 m³hava/m³reaktör) biyofilm oluşumuna etkisi araştırılmıştır. Çalışmada AnMBBR1 ve AnMBBR2 olmak üzere iki tip reaktör kullanılmıştır. Her iki reaktör de sabit HRT'de (6 saat) çalıştırılmıştır. Reaktörler (AnMBBR1 ve AnMBBR2) % 40 taşıyıcı malzeme (Kaldnes K1) ile doldurulmuştur. AnMBBR1 anaerobik koşullar altında (0 m³ hava/m³reaktör) çalıştırılırken, AnMBBR2 farklı havalandırma hızlarında (0,001-0,004 m³hava/m³reaktör) çalıştırılmıştır. En yüksek biyofilm yoğunluğu, 4062 mg/L'ye karşılık gelen 0.004 m³hava/m³reaktör reaktör havalandırma oranıyla AnMBBR2'de gözlemlendi. Bu sonuçlar, sınırlı havalandırmanın Kaldnes K1'de biyofilm oluşumunu iyileştirdiğini gösterdi.

Anahtar Kelimeler: AnHYBR, biyofilm, kaldnes K1, tekstil atıksuyu

INTRODUCTION

The biological wastewater treatment reactors designed to use free-floating carrier media for biofilm growth and biomass attachment have been widely and effectively used in recent years (Copithorn, 2010; Ødegaard, 2006; Morper, 1994). These carrier media reactors are known as moving bed biofilm reactors (MBBRs) and are also called carrier media, support elements or substrates. The MBBR was developed in Norway in the late 1980s (Ødegaard et al., 1999; Ødegaard et al., 1994). Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) is a highly effective biological treatment process developed on the basis of the traditional activated sludge process and biofilter process. It is a fully mixed and continuously operating biofilm reactor in which biomass is grown on small carrier elements with a density slightly lighter than water and kept in motion with a stream of water inside the reactor. Movement within a reactor may result from aeration in an aerobic reactor and from a mechanical stirrer in an anaerobic or anoxic reactor (Borkar et al., 2013). MBBRs have several advantages such as high biomass concentration, high COD (chemical oxygen demand) loading, high sludge age, low hydraulic residence times, high volumetric removal rates, relatively small area requirements, and no sludge bulking problem (Chen et al., 2008). But, slow biofilm formation rate during the startup stage and easy detachment of biofilm from the plastic media are a few of the stumbling blocks on the practical applications of MBBRs. Biofilm density, thickness, and surface area have long been known to affect MBBR process performance (Li et al., 2016a; Mahendran et al., 2012). In recent years, MBBR carriers have been the focus of further studies aimed at controlling bacterial attachment and biofilm growth, and optimizing MBBR performance (Morgan-Sagastume, 2018). Factors such as oxygen, pH, nutrient levels, shape and material of carriers, and microbial activity play an important role in microbial community structure and biofilm formation rate (Ansari et al., 2012). In Additionally, Chu et al. (2014) reported that biofilm growth and distribution are affected by the structure and properties of the carrier material.

Until now, different kinds of the carrier have been used in MBBRs for wastewater treatment, e.g. suspended plastic bio-carriers, Kaldnes K1, K2, K3 and K5, Kaldnes biofilm Chip M. Kaldnes K1 is widely used in wastewater treatment. It is made of high-density polyethylene and the total surface area is significantly larger than the effective biofilm surface area. The main objective of this research was to analyze the biofilm formation performance of a moving bed reactor using Kaldnes K1.

MATERIAL AND METHODS

Characteristics of the Textile Wastewater

The wastewater was taken from the wastewater treatment plant of Iskur Dye Textile Industry in Kahramanmaraş, Turkey and characteristic of real textile wastewater is shown Table 1.

Table 1. Characterization of Real Textile Wastewater

Parameters	Unit	Textile Wastewater	
pH	-	9.2±0.2	
COD	mg/L	1000±100	
DOC	mg/L	500±100	
Color	Pt-Co	6883±100	
Color	λ_{436}	m^{-1}	3.66±1.0
	λ_{525}	m^{-1}	4.16±1.0
	λ_{620}	m^{-1}	5.05±1.0

Experimental Operation

Two anaerobic moving bed bioreactor (AnMBBR1 and AnMBBR2) was used in this study. The reactors with 5L volume were filled with the Kaldnes K1 carrier material (Table 2) at 40% of the volume of the reactor and fed continuously with real textile wastewater for around 234 days. Different aeration rates were performed to supply oxygen (0.001 and 0.004 m³air/m³reactor) in AnMBBR2. A magnetic stirrer (Heidolph D-91126 MR Hei-Standart, Schwabach, Germany) was placed under the reactor to mix the reactor at 250 rpm to provide contact between the wastewater and carriers. The pH values of both reactors were kept at 7.2. The reactors were continuously operated at the hydraulic retention time of 6h. The temperature of AnMBBR1 and AnMBBR2 were kept at room temperature.

Table 2. Technical Characteristics of Carrier Media (Kaldnes K1)

Type of carrier material	Polyethylene
Surface area (m ² /m ³)	500
Sizes (mm)	H=7, Ø=10
Density (g/cm ³)	0.95

Analysis

The pH values of both reactors were online measured and recorded in situ daily. The oxidation-reduction potential (ORP) in the reactor was measured continuously using an ORP Meter equipped with a redox electrode (M 300, Mettler Toledo, Greifensee, Switzerland). For the mass on the biofilms measurement, 5 carriers were dried at 105°C for 2h and weighed. The mixed liquor suspended solids (MLSS) were carried out by the standard methods (Apha, 1998). The mixed sample of 20 mL taken from the system at the end of the reaction was passed through a 0.45 µm pore-sized filter using a vacuum. The filter was dried at a 105°C oven for 1 h. Later, it was placed in a desiccator to cool down to room temperature and MLSS measurement was done by weighing it on the analytical balance.

Biofilm Analysis

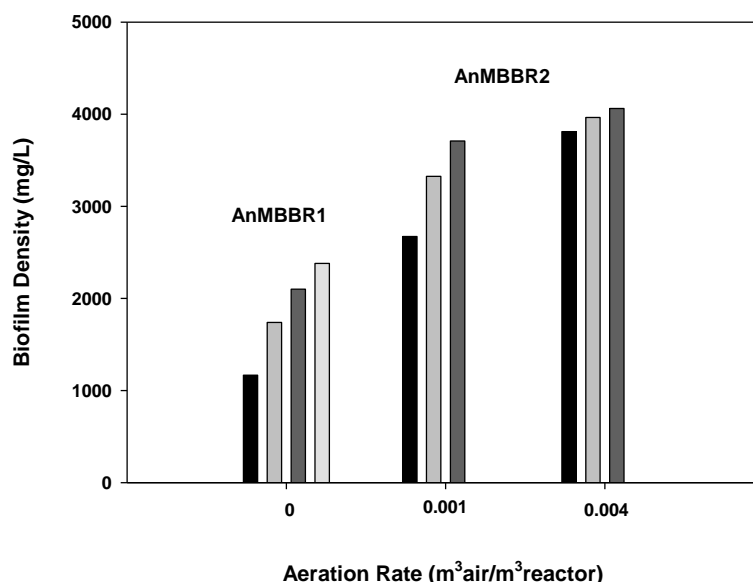
First, some carrier was removed from the bioreactor and dried to a constant weight in an oven at 105°C for 2 hours. The dried carriers were mixed in 0.1 mol/L of the hydrochloric acid solution for 24h at 105°C and then treated in an ultrasonic for 1 h, followed by washing with pure water many times till all the biofilm was removed from the carrier. The sample of clean carriers was again dried and weighed. The weight of the attached biomass was calculated by the equation of X1 - X2 (Chen et al., 2015).

X1: The dry weight including biofilm and carrier.

X2: The dry weight of the net carriers.

RESULTS AND DISCUSSION

Biofilm Formation Performance

**Figure 1.** Evolution of Attached Biomass in the AnMBBR1 and AnMBBR2

The process of biofilm formation in lab-scale two moving-bed biofilm reactors (MBBR1 and MBBR2) was investigated. The MLSS concentration was kept stable at 450±50 mg/L in AnMBBRs during the whole operation. As shown in Fig. 1, the biomass concentration in anaerobic was much lower than that in limited aeration conditions. We know anaerobic microorganisms had low microbial growth rates (Annachatre et al., 1992). At the

start of MBBRs, a thin layer of biofilms could be observed on the inner wall of the carriers, and then it was found that the biomass concentration was increased with time. Gu et al. (2018) reported that intermittent aeration was of great benefit to biomass accumulation. The biofilm concentration in the carrier of AnMBBR1 was averaged 1846 ± 10 mg/L and increased 3946 ± 10 mg/L where $0.004 \text{ m}^3\text{air}/\text{m}^3\text{reactor}\cdot\text{min}$ of aeration rate was applied. The results meant that electron donor/acceptor and redox potential in biofilms are also known to influence bacterial population growth and microbial diversity, producing stratification in mixed microbial biofilms (Table 3) (Bassin and Dezotti, 2018; Flemming et al., 2016; Mahendran et al., 2012).

Table 3. ORP Profiles of the Operating Conditions

Reactors	ORP	Aeration Rate ($\text{m}^3\text{air}/\text{m}^3\text{reactor}$)
AnMBBR 1	-450 ± 10	-
AnMBBR2	-369 ± 10	0.001
	-345 ± 10	0.004

The further increase in aeration rate increased biofilm concentration and reached the maximum value of over 4500 mg/L at the end of the study. Lima et al. (2016) reported that the added biomass concentration in MBBR systems is generally between 2000 and 8000 mg/L, which is in line with the average values obtained for MBBR in this study. Also Duyar et al. (2021) showed that the biofilm concentration in AnoxMBBR was reached up to 9 g/L. However, Li et al. (2016) observed higher biofilm formation in MBBR at a low aeration rate. This is because organic carbon is an energy substrate for many microorganisms, and microorganisms can cause the degradation of carbon sources and nutrients when adequate oxygen is provided. As a result, increasing carbon sources cause microorganisms to grow faster and increase biofilm density (Kozak et al., 2021).

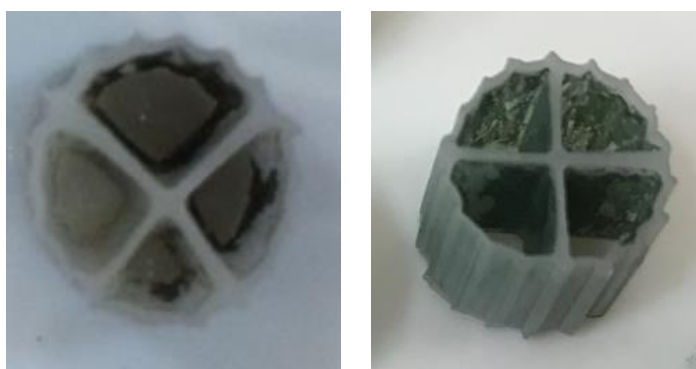


Figure 2. Biofilm Formation on Kaldnes K1 in AnMBBR1 and MBBR2

CONCLUSION

In this study, biofilm formation performance was investigated on Kaldnes K1. The high biofilm formation was 2380 and 4062 mg/L in AnMBBR1 and AnMBBR2, respectively. The biofilm formation mainly occurred in conditions where limited aeration was to $0.004 \text{ m}^3\text{air}/\text{m}^3\text{reactor}$ in AnMBBR2; however, the anaerobic condition was limited at biofilm formation. The experimental results showed that the limited aeration had considerable impacts on biofilm formation. Further research is needed to ensure biofilm attachment or prevents biofilm separation on the carrier which seems pretty much challenging for long-term industrial-scale processes. Also, the combination and behavior of attached biomass on biocarriers during different operation conditions shall assist in a better understanding of the mechanism and advantage of using biocarriers.

REFERENCES

- Annachhatre A.P., Bhamidimarri S.M.R. (1992). Microbial attachment and growth in fixedfilm reactors: process startup considerations. *Biotechnol. Adv.*, 10, 69–91.
- Ansari, M. I., Schiwon, K., Malik, A., & Grohmann, E. (2012). Biofilm formation by environmental bacteria. In *Environmental Protection Strategies for Sustainable Development*, pp. 341-377.
- Apha, A. W. W. A. (1998). *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 20. Washington, DC: American Public Health Association.

- Bassin, J. P., & Dezotti, M. (2018). Moving bed biofilm reactor (MBBR). In *Advanced Biological Processes for Wastewater Treatment*, pp. 37-74.
- Boltz, J. P., Daigger, G. T., Austin, D., & Johnson, B. (2019). U.S. Patent Application, No. 16/165,617.
- Borkar, R. P., Gulhane, M. L., & Kotangale, A. J. (2013). Moving bed biofilm reactor: a new perspective in wastewater treatment. *J Environ Sci Toxicol Food Technol*, 6(6), 15-21.
- Chen, S., Sun, D., Chung, J.S. (2008). Simultaneous removal of COD and ammonium from landfill leachate using an anaerobic-aerobic moving-bed biofilm reactor system, *Waste Manage.*, 28 (2), 339–34.
- Chen, X., Kong, L., Wang, X., Tian, S., & Xiong, Y. (2015). Accelerated start-up of moving bed biofilm reactor by using a novel suspended carrier with porous surface. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 38(2), 273-285.
- Chu, L., Wang, J., Quan, F., Xing, X. H., Tang, L., & Zhang, C. (2014). Modification of polyurethane foam carriers and application in a moving bed biofilm reactor. *Process Biochemistry*, 49(11), 1979-1982.
- Copithorn, R. R. (2010). Introduction to biofilm reactors. In *Biofilm Reactors*. WEF Manual of Practice No. Alexandria, Virginia, USA: WEF Press/McGraw Hill, 35, 1–14.
- Copithorn, R. R. (2010). Introduction to biofilm reactors. In *Biofilm Reactors*. WEF Manual of Practice No. 35, 1–14. Alexandria, Virginia, USA: WEF Press/McGraw Hill.
- Duyar, A., Ciftcioglu, V., Cirik, K., Civelekoglu, G., & Uruş, S. (2021). Treatment of landfill leachate using single-stage anoxic moving bed biofilm reactor and aerobic membrane reactor. *Science of the Total Environment*, 776, 145919.
- Flemming, H., Wingender, J., Szewzyk, U., Steinberg, P., and Rice, S. A. (2016). Biofilms: an emergent form of bacterial life. *Nat. Rev. Microbiol.*, 14, 563–575.
- Kozak, M., Cirik, K., Başak, S. (2021). Treatment of textile wastewater using combined anaerobic moving bed biofilm reactor and powdered activated carbon-aerobic membrane reactor. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(4), 105596.
- Li, C., Felz, S., Wagner, M., Lackner, S., and Horn, H. (2016). Investigating biofilm structure developing on carriers from lab-scale moving bed biofilm reactors based on light microscopy and optical coherence tomography. *Bioresour. Technol.*, 200, 128–136.
- Lima, P. S., Dezotti, M., & Bassin, J. P. (2016). Interpreting the effect of increasing COD loading rates on the performance of a pre-anoxic MBBR system: implications on the attached and suspended biomass dynamics and nitrification–denitrification activity. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 39(6), 945-957.
- Mahendran, B., Lishman, L., and Liss, S. N. (2012). Structural, physicochemical and microbial properties of flocs and biofilms in integrated fixed-film activated sludge (IFFAS) systems. *Water Res.*, 46, 5085–5101.
- Morgan-Sagastume, F. (2018). Biofilm development, activity and the modification of carrier material surface properties in moving-bed biofilm reactors (MBBRs) for wastewater treatment. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 48(5), 439-470.
- Morper, M. R. (1994). Upgrading of activated sludge systems for nitrogen removal by application of the Linpor CN process. *Water Science & Technology*. 29(12), 167-176.
- Ødegaard, H. (2006). Innovations in wastewater treatment: The moving bed biofilm process. *Water Sci. Technol.*, 53, 17–33.
- Ødegaard, H., Rusten, B., Siljudalen, J. (1999). The development of the moving bed biofilm process—from idea to commercial product. *Eur. Water Manage*, 2 (3), 36–43.
- Ødegaard, H., Rusten, B., Westrum, T. (1994). A new moving bed biofilm reactor—applications and results. *Water Sci. Technol.*, 29(10–11), 157–165.



Kahramanmaraş Sutcu Imam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 29.06.2022
Kabul Tarihi : 30.10.2022

Received Date : 29.06.2022
Accepted Date : 30.10.2022

APPLICATION OF TITANIUM DIOXIDE(TiO₂) NANOPARTICLE MATERIALS ON DOMESTIC WASTEWATER: REMOVAL OF POLLUTANTS

TİTANYUM DİOKSİT(TiO₂) NANOPARTİKÜL MADDELERİN EVSEL ATIKSULAR ÜZERİNE UYGULANMASI: KİRLETİCİLERİN GİDERİMİ

Serdar GÖÇER^{1*} (ORCID: 0000-0003-0443-8045)
Melike KOZAK¹ (ORCID: 0000-0001-6985-3587)
İrem AYRANPINAR² (ORCID: 0000-0001-8132-3490)
Ahmet DUYAR³ (ORCID: 0000-0001-8850-8308)
Emre Oğuz KÖROĞLU² (ORCID: 0000-0002-6027-6792)
Kevser CIRK² (ORCID: 0000-0002-1756-553X)

¹Cukurova University, Department of Environmental Engineering, 01000, Adana

²Kahramanmaraş Sutcu Imam University, Department of Environmental Engineering, 46100, Kahramanmaraş

³University-Industry-Public Collaboration, Research-Development-Application Centre, Kahramanmaraş Sutcu Imam University, 46100, Kahramanmaraş

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Serdar GÖÇER, serdargocer33@hotmail.com

ABSTRACT

Titanium is a very valuable element and is also the ninth most abundant element on earth and is commonly found in minerals such as rutile, ilmenite, and sphene. Adsorption, photocatalysis, and advanced oxidation processes are used in wastewater treatment. Among these processes, photocatalysis has emerged as a safe, efficient, and environmentally friendly process for wastewater with high pollutant content. Titanium dioxide (TiO₂) is usually used as a photocatalyst and adsorbent. Titanium dioxide nanoparticle material has been applied in various fields, including environmental water and wastewater treatment. In this study, treatment performance was investigated by using TiO₂ nanoparticles for the removal of pollutants in domestic wastewater. System performance was evaluated in terms of chemical oxygen demand (COD), dissolved organic carbon (DOC), and total nitrogen (TN). Different adsorbent concentrations (50-200 mg/L) and reaction times (15-90 min) were investigated at pH 7.2 to determine optimum conditions. Optimum adsorption concentration and reaction time were found to be 50 mg TiO₂/L and 60 minutes, respectively. COD, DOC, and TN removal efficiencies were observed as 80%, 30%, and 35%, respectively. The obtained results showed that the removal efficiency of COD and DOC from domestic wastewater of TiO₂ nanoparticles is high.

Keywords: Titanium dioxide, domestic wastewater, adsorption, nanoparticles

ÖZET

Titanyum, yer kabuğunda en bol bulunan dokuzuncu elementtir ve genellikle rutil, ilmenit ve sfen gibi minerallerde bulunur. Su ve atık su arıtımında adsorpsiyon, fotokataliz ve ileri oksidasyon prosesleri kullanılmaktadır. Bu prosesler arasında fotokataliz, kirletici içeriği yüksek atık suların arıtılması için güvenli, verimli ve çevre dostu bir arıtma prosesi olarak ortaya çıkmıştır. Titanyum dioksit (TiO₂) fotokatalizör ve adsorban olarak yaygın kullanılmaktadır. Titanyum dioksit nanoparçacık malzemesi, çevresel su ve atık su arıtımı dahil olmak üzere çeşitli alanlarda uygulanmıştır. Bu çalışmada, evsel atıksularda kirleticilerin giderilmesi için TiO₂ nanopartikülleri kullanılarak arıtma performansı araştırılmıştır. Sistem performansı, kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), çözülmüş organik karbon (DOC) ve toplam nitrojen (TN) açısından değerlendirilmiştir. Optimum koşulları belirlemek için pH 7.2'de farklı adsorban konsantrasyonları (50-200 mg/L) ve reaksiyon süreleri (15-90 dakika) araştırılmıştır. Optimum adsorpsiyon konsantrasyonu ve reaksiyon süresi sırasıyla 50 mg TiO₂/L ve 60 dakika olarak

To Cite: GÖÇER, S., KOZAK, M., AYRANPINAR, İ., DUYAR, A., KÖROĞLU, E., & CIRIK, K., (2022). APPLICATION OF TITANIUM DIOXIDE(TiO₂) NANOPARTICLE MATERIALS ON DOMESTIC WASTEWATER: REMOVAL OF POLLUTANTS. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 25(4), 570-576.

belirlenmiştir. KOİ, DOC ve TN giderim verimleri sırasıyla %80, %30 ve %35 olarak gözlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, TiO₂ nanoparçacıklarının evsel atık sularından KOİ ve DOC giderim verimi açısından yüksek olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Titanyum dioksit, evsel atıksu, adsorpsiyon, nanopartiküller

INTRODUCTION

Wastewater treatment plants (WWTPs) are principal for treating domestic and industrial wastewater (Soares, 2020), and are significant in domestic wastewater treatment (Jin et al. 2014). The source of the domestic sewage plant mainly originates from human activity and industrial activity, which includes organics, bacteria, chemical oxygen demand (COD), dissolved organic carbon (DOC), and total nitrogen (TN). Removal of COD, DOC, and TN in domestic wastewater is considered to be a crucial and intractable problem. Over the years, various kinds of techniques for removing COD, DOC, TN, and ammonia nitrogen from domestic wastewater have been widely studied including photoelectrocatalytic (Ji et al. 2017), anammox (Yang et al. 2019), ion-exchange (Jorgensen and Weatherley, 2003), chemical precipitation (Chai et al. 2017), biological treatment process (Abu Hasan et al. 2013), air stripping (Sotoft et al. 2015), and adsorption method (Tu et al. 2019). The adsorption process is considered to be the most feasible method to remove from water since stable, and low-cost method for contaminants removal from wastewater. In recent years, nanoparticles have been used in wastewater treatment applications with the development of nanoscience and nanotechnology. Some nanoparticles are commonly used in much water and wastewater treatment. Among these nanoparticles, zinc oxide (ZnO), silver (Ag), copper oxide (CuO), and titanium dioxide (TiO₂) are widely used (Otero-González et al. 2014a; Ana Garcia et al. 2012; Li et al. 2017; Otero-González et al. 2014b; Demirel, 2016). TiO₂ nanoparticles have many advantages such as high stability, corrosion resistance, easy to obtain, inexpensive, surface activities, and photocatalytic properties. Therefore, it is among the most preferred nanoparticles. They reported that it is widely used for wastewater treatment because of these advantages (Burke, et al. 2008; Nakata, K., et al. 2013; Chiarello, et al. 2017; Zhou, et al. 2014; Xing, et al. 2018). At the same time, TiO₂ nanoparticles have been used in many technological fields such as solar cells, memory devices, and industrial and commercial applications (Liu et al., 2014; Lu et al., 2017). Recently, however, TiO₂ nanoparticles have been reported to be remarkable in wastewater treatment (Dariania et al. 2016; Lin et al. 2018; Tijani et al. 2019).

This study aims to use nanoparticles (TiO₂) as an adsorbent to remove contaminants (COD, TOC, and TN) from domestic wastewater.

MATERIALS AND METHOD

Characteristics of the Domestic Wastewater

The wastewater was collected from Kahramanmaraş Wastewater Treatment Plant(WWTP) in Kahramanmaraş, Turkey. Then, domestic wastewater was using lab-scale adsorption experiments. Domestic wastewater treatment performance was evaluated in terms of COD, TN, and DOC removals. The characteristics of domestic wastewater used in this study are largely variable and the mean values of treated wastewater are shown in Table 1.

Table 1. Characteristics of the Domestic Wastewater

Parameters	Concentration*
pH	7,2
Temperature	Room Temperature (25°C)
Chemical Oxygen Demand (COD)	517
Dissolved Organic Carbon (DOC)	141
Total Nitrogen (TN)	34

*Values are average of triplicate measurements

Experimental Operation

This study is to investigate the adsorption of pollutants removal in domestic wastewater by titanium dioxide at an adsorbent concentration (50-100-150-200mg/L) and contact time (15-90min). The schematic diagram of the experimental operation used in the study is illustrated in Table 2.

Table 2. Experimental Operation

PART	TiO ₂ Concentration (mg/L)	Reaction Time (dk)	pH	Temperature (°C)
Effect of Titanium Dioxide (TiO ₂) Concentration	50	15	7	Room Temperature (25°C)
		30		
		60		
		90		
	100	15		
		30		
		60		
		90		
	150	15		
		30		
		60		
		90		
	200	15		
		30		
		60		
		90		

Analyses

All samples were centrifuged at 4000 rpm for 5 minutes (Eppendorf Centrifuge 5415R, Hamburg, Germany) and then filtered using a 0.45 µm syringe filter (Sartorius AG, Göttingen, Germany). DOC, and TN concentrations were analyzed using the DOC-TN instrument (Shimadzu TOC-VCPN, Kyoto, Japan). pH was measured with a pH meter (Thermo, Orion 4 Star, Indonesia). COD measurements were made according to the dichromate-colorimetric method described in Standard Methods (Standard Methods, 5220 D).

RESULTS AND DISCUSSION

The COD Removal Performance of Domestic Wastewater

The adsorption process has long been used to remove simultaneous TN, DOC, and COD from municipal and industrial wastewater. It is known that COD concentration plays an important role in the adsorption process of nanoparticles, which directly affects removal efficiency. In this part of the study, system performance was evaluated in terms of COD removal efficiency at an adsorbent concentration and reaction time. COD influent, effluent concentrations and removal efficiency are demonstrated in Fig 1.

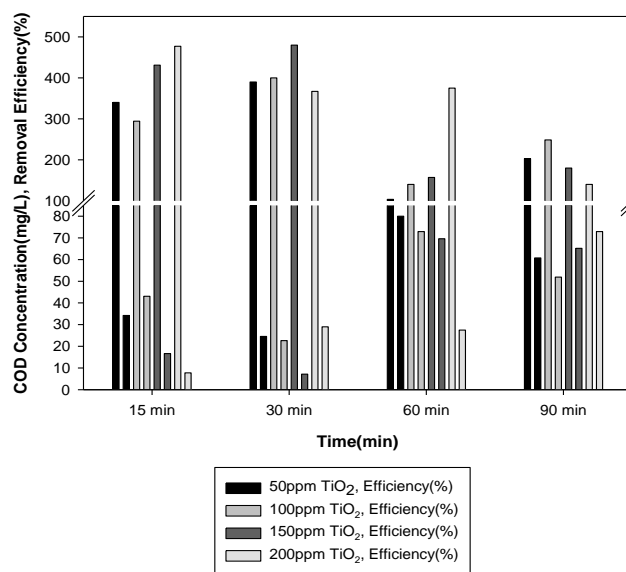


Figure 1. Chemical Oxygen Demand (COD) Removal Performance

The influent COD concentration throughout this study was an average of 517 mg/L. In this part of the study, the effect of TiO_2 concentration and reaction time on the adsorption process used in domestic wastewater was investigated by increasing the TiO_2 dosage from 50 mg/L to 200 mg/L. pH was kept stable at 7.2, and reaction times were adjusted to 15-90 min respectively. The effluent COD concentration was prominently increased by increasing the TiO_2 dosage from 50 mg/L to 200 mg/L. The high COD removal efficiency of 80% was obtained at a TiO_2 dosage of 50 mg/L and reaction time of 60min, corresponding effluent DOC concentration of about 103 mg/L (Figure 1). When TiO_2 dosage was increased to 50 mg/L and 200 mg/L, COD removal efficiencies of an average of 50% and 30% were obtained, respectively; which were average maximum values obtained in this part (Figure 1). When the reaction time increased from 15 min to 60 min at 50 mg/L TiO_2 concentration, it was observed that the COD removal efficiency reached the highest value and the corresponding COD removal efficiency was observed as 80%. While the TiO_2 concentration increased, no increase was observed in the COD removal efficiency. This situation was determined as the precipitation of TiO_2 NPs that can occur in the presence of cations (Xu, 2018; Lin et al. 2012). Mustafa, et al. (2021), in their study, investigated the effect of kaolin and kaolin/ TiO_2 nano adsorbent on the removal of pollutants in tannery wastewater. According to the results they obtained, they observed that the COD removal efficiency was approximately 91%. Our studies are similar to the literature. Increasing nanoparticle concentration did not affect COD removal efficiency. These results indicated that TiO_2 concentration of 50 mg/L and reaction time of 60 min was favorable for the adsorption process of domestic wastewater and thus, the subsequent study parts were continued at this concentration.

The DOC and TN Removal Performance of Domestic wastewater

In this part of the study, adsorption system performance was evaluated in terms of DOC and TN removal at an adsorbent concentration (50-200mg/L) and reaction time (15-90min). The variations of DOC and TN concentrations and removal efficiency are demonstrated in Fig 2-3. The influent DOC concentration was an average of 141 mg/L. DOC removal efficiency was 30%, 5%, 7%, and 8% at an adsorbent concentration of 50, 100, 150, and 200mg/L, and optimum reaction time 60, respectively (Fig 2). The DOC removal efficiency reached over 80% at 50 mg/L TiO_2 concentrations and a reaction time of 60 min. In addition, when the TiO_2 concentration was increased to 200 mg/L and the reaction time to 60 minutes, the DOC removal efficiency decreased to 8%. A comparison was carried out between the present work and reported work in literature with the similar photocatalyst applied for real wastewater treatment with good interest for DOC removal efficiency, as illustrated in Fig 2. Pang, et al. (2013) in their study, on the effect of Fe-doped titanium dioxide (TiO_2) nanotubes by investigating the treatment of real textile wastewater. As a result, the color, COD, and DOC removal efficiency have obtained at 79.9%, 59.4%, and 49.8%, respectively. The results showed different TiO_2 forms, pollutant types, reaction times, and light sources that were sometimes contradictory based on the initial concentration of pollutants in the effluent. In addition, the forming of TiO_2 material is a key factor in the effectiveness of wastewater treatment on photocatalytic oxidation. It can be seen that TiO_2 coated on mesh showed higher performance of pollutant removal than TiO_2 powder (Wongaree, M., et al., 2022).

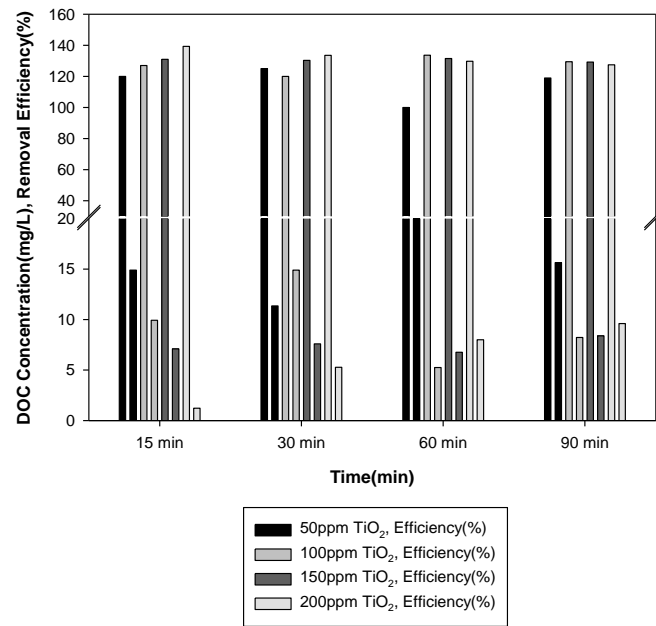


Figure 2. Dissolved oxygen demand (DOC) removal performance

The variations of TN concentrations and removal efficiency are demonstrated in Fig 3. The influent TN concentration was an average of 34 mg/L. At increasing adsorbent concentrations from 50 to 200mg/L and reaction time 15 to 90 min the TN removal efficiency was decreased from 35% to %14. The highest TN removal efficiency was observed at an adsorbent dosage of 50mg/L TiO₂ and the corresponding removal efficiency was 35% (Fig 3). According to TN removal efficiency, the optimum TiO₂ dosage and reaction time were determined to be 50mg/L and 60 min, respectively.

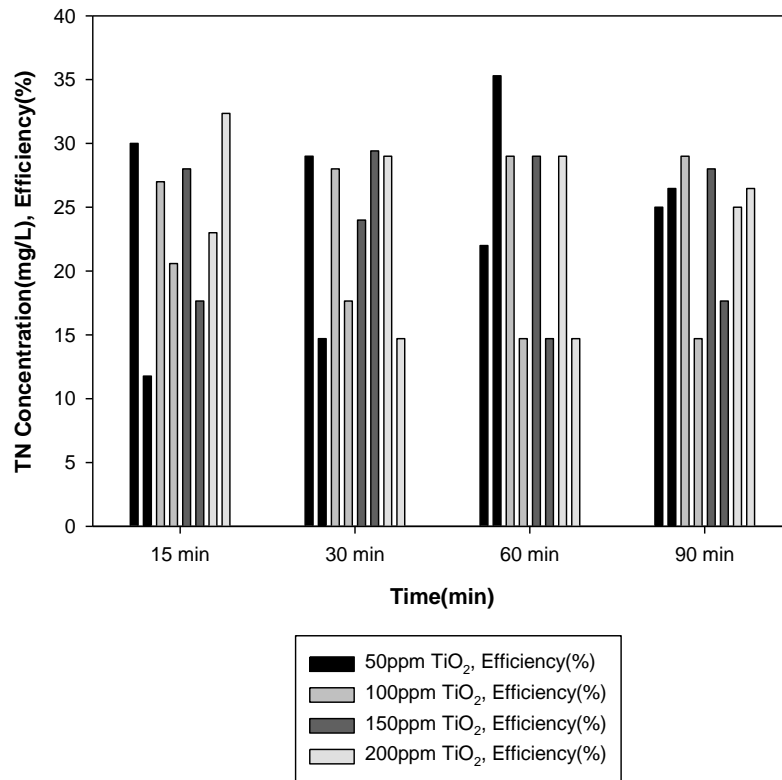


Figure 3. Total nitrogen(TN) removal performance

CONCLUSION

In this study, DOC, COD, and TN removal using the adsorption process from domestic wastewater were investigated under operating conditions including different adsorbent concentrations and reaction times. This study showed that adsorbent concentration and reaction time play a remarkably role in residual COD, DOC, and TN removal using the adsorption process; however, adsorbent concentration and reaction time had no significant effect on DOC and TN removal. According to COD removal efficiency the adsorbent concentration and reaction time were found optimum for 50mg/L TiO₂, and 60min for high system performance. At optimum adsorbent concentration, COD removal efficiencies were 80%, while DOC removals were 30%, and TN removal was 35%. In a conclusion, the effluent DOC, COD, and TN concentration of the adsorption process at TiO₂ concentration of 50mg/L and reaction time of 60 min were 100, 103, and 22mg/L, respectively. The study shows that nanoparticles matter (for pre-treatment) can be effectively used for domestic wastewater treatment. In this study, although the positive effects of nanoparticles on wastewater treatment have been noted, they have been used as pretreatment for the treatment of domestic wastewater. For this reason, more research is required related to the effect on the biological treatment of nanoparticles.

REFERENCES

- Abu Hasan, H., Sheikh Abdullah, S.R., Kamarudin, S.K., & Tan Kofli, N. (2013). One-off control of aeration time in the simultaneous removal of ammonia and manganese using a biological aerated filter system. *Process Saf. Environ. Protect.* 91 (5), 415e422.
- Burke, A., Ito, S., Snaith, H., Bach, U., Kwiatkowski, J., & Gratzel, M. (2008). The function of a TiO₂ compact layer in dye-sensitized solar cells incorporating “planar” organic dyes, *Nano Lett.* 8 977–981.
- Chai, L., Peng, C., Min, X., Tang, C., Song, Y.X., Zhang, Y., Zhang, J., & Ali, M., (2017). Two-sectional struvite formation process for enhanced treatment of copper ammonia complex wastewater. *Trans. Nonferrous Metals Soc. China* 27(2), 457e466.
- Chiarello, G.L. Dozzi, M.V., & Selli, E. (2017). TiO₂-based materials for photocatalytic hydrogen production, *J. Energy Chem.* 26, 250–258.
- Dariani, R.S., Esmaeili, A., Mortezaali, A., & Dehghanpour, S. (2016). Photocatalytic reaction and degradation of methylene blue on TiO₂ nano-sized particles. *Optik*, 127(18), 7143-7154.
- Demirel, B., (2016). The impacts of engineered nanomaterials (ENMs) on anaerobic digestion processes. *Process Biochem.* 51, 308–313. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2015.12.007>.
- García, A., Delgado, L., Tora, J.A., Casals, E., Gonzalez, E., Puntos, V., Font, X., Carrera, J., & Sanchez, A., (2012). Effect of cerium dioxide, titanium dioxide, silver, and gold nanoparticles on the activity of microbial communities intended in wastewater treatment. *J. Hazard. Mater.* 199– 200, 64–72. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.10.057>.
- Ji, Y., Bai, J., Li, J., Luo, T., Qiao, L., Zeng, Q., & Zhou, B., (2017). Highly selective transformation of ammonia nitrogen to N₂ based on a novel solar-driven photoelectrocatalytic-chlorine radical reactions system. *Water Res.* 125, 512e519.
- Jin, L., Zhang, G., & Tian, H. (2014). Current state of sewage treatment in China. *Water research*, 66, 85-98.
- Jorgensen, T.C., & Weatherley, L.R., (2003). Ammonia removal from wastewater by ion exchange in the presence of organic contaminants. *Water Res.* 37 (8), 1723e1728.
- Li, Z., Wang, X., Ma, B., Wang, S., Zheng, D., She, Z., Guo, L., Zhao, Y., Xu, Q., Jin, C., Li, S., & Gao, M., (2017). Long-term impacts of titanium dioxide nanoparticles (TiO₂ NPs) on performance and microbial community of activated sludge. *Bioresour. Technol.* 238, 361–368. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.04.069>.
- Lin, K. S., Lin, Y. G., Cheng, H. W., & Haung, Y.H. (2018). Preparation and characterization of V-Loaded titania nanotubes for adsorption/photocatalysis of basic dye and environmental hormone contaminated wastewaters. *Catalysis Today*, 307, 119-130.
- Lin, Y., Li, D., Hu, J., Xiao, G., Wang, J., Li, W., & Fu, X. (2012). Highly efficient photocatalytic degradation of organic pollutants by PANI-modified TiO₂ composite. *The Journal of Physical Chemistry C*, 116(9), 5764-5772.

- Liu, Z., Wang, R., Kan, F., & Jiang, F. (2014). Synthesis and characterization of TiO₂ nanoparticles. *Asian Journal of Chemistry*, 26(3), 655.
- Lu, H., Wang, J., Wang, T., Wang, N., Bao, Y., & Hao, H. (2017). Crystallization techniques in wastewater treatment: An overview of applications. *Chemosphere*, 173, 474-484.
- Mustapha, S., Tijani, J. O., Ndamitso, M. M., Abdulkareem, A. S., Shuaib, D. T., & Mohammed, A.K. (2021). Adsorptive removal of pollutants from industrial wastewater using mesoporous kaolin and kaolin/TiO₂ nanoadsorbents. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 15, 100414.
- Nakata, K., & Fujishima, A. (2012). TiO₂ photocatalysis: design and applications, *J. Photochem. Photobiol., C* 13, 169–189.
- Otero-Gonzalez, L., Field, J.A., & Sierra-Alvarez, R., (2014a). Fate and long-term inhibitory impact of ZnO nanoparticles during high-rate anaerobic wastewater treatment. *J. Environ. Manag.* 135, 110–117. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.01.025>.
- Otero-Gonzalez, L., Field, J.A., & Sierra-Alvarez, R., (2014b). Inhibition of anaerobic wastewater treatment after long-term exposure to low levels of CuO nanoparticles. *Water Res.* 58, 160–168. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.03.067>.
- Pang, Y. L., & Abdullah, A.Z. (2013). Fe³⁺ doped TiO₂ nanotubes for combined adsorption–sonocatalytic degradation of real textile wastewater. *Applied Catalysis B: Environmental*, 129, 473-481.
- Soares, A. (2020). Wastewater treatment in 2050: challenges ahead and future vision in a European context.
- Sotoft, L.F., Pryds, M.B., Nielsen, A.K., & Norddahl, B., (2015). Process simulation of ammonia recovery from biogas digestate by air stripping with reduced chemical consumption. In: Gernaey, K.V., Huusom, J.K., Gani, R. (Eds.), *Computer Aided Chemical Engineering*. Elsevier, pp. 2465e2470.
- Tijani, J. O., Momoh, U. O., Salau, R. B., Bankole, M. T., Abdulkareem, A. S., & Roos, W.D. (2019). Synthesis and characterization of Ag₂O/B₂ O₃/TiO₂ ternary nanocomposites for photocatalytic mineralization of local dyeing wastewater under artificial and natural sunlight irradiation. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(19), 19942-19967.
- Tu, Y., Feng, P., Ren, Y., Cao, Z., Wang, R., & Xu, Z., (2019). Adsorption of ammonia nitrogen on lignite and its influence on coal water slurry preparation. *Fuel* 238, 34e43.
- Wongaree, M., Bootwong, A., Choo-In, S., & Sato, S. (2022). Photocatalytic reactor design and its application in real wastewater treatment using TiO₂ coated on the stainless-steel mesh. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-13.
- Xing, Z. Zhang, J. Cui, J. Yin, J. Zhao, T. Kuang, J. Xiu, Z. Wan, N. & Zhou, W. (2018). Recent advances in floating TiO₂-based photocatalysts for environmental application, *Appl. Catal. B* 225, 452–467.
- Yang, H., Li, D., Zeng, H., & Zhang, J., (2019). Impact of Mn and ammonia on nitrogen conversion in biofilter coupling nitrification and ANAMMOX that simultaneously removes Fe, Mn and ammonia. *Sci. Total Environ.* 648, 955e961.
- Zhou, W. Li, W. Wang, J.Q. Qu, Y. Yang, Y. Xie, Y. Zhang, K. Wang, L Fu., H. & Zhao, D. (2014). Ordered mesoporous Black TiO₂ as highly efficient hydrogen evolution photocatalyst, *J. Am. Chem. Soc.* 136, 9280–9283.



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 01.07.2022
Kabul Tarihi : 15.08.2022

Received Date : 01.07.2022
Accepted Date : 15.08.2022

ZAYIF AC SİSTEMLERE BAĞLI VSC-HVDC'NİN VEKTÖREL KONTROLU

VECTORAL CONTROL OF VSC-HVDC CONNECTED TO WEAK AC SYSTEMS

Kadir ABACI^{1*} (ORCID: 0000-0001-5627-0032)
*Volkan YAMAÇLI*² (ORCID: 0000-0003-0331-8818)
*Aykan BÖLÜKBAŞI*¹ (ORCID: 0000-0003-1833-4335)

¹Mersin Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mersin, Türkiye
²Mersin Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mersin, Türkiye

* Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Kadir ABACI, kabaci@mersin.edu.tr

ÖZET

Gerilim kaynaklı dönüştürücülere (VSC) dayalı yüksek gerilim-doğru akım (HVDC) güç sistemleri son yıllarda popüler bir konu haline gelmiştir. Bu makale, zayıf bir AC sistemi için çeşitli sistem hataları ve aşırı yüklenme koşulları altında vektör kontrol tekniği ile VSC tabanlı bir VSC-HVDC sisteminin bir modelini ve kontrol performansını incelemektedir. VSC-HVDC sisteminin matematiksel modeli, sistem parametrelerini en uygun şekilde ayarlamak için kontrol edilen ve kontrol edilen değişkenlerin bir simülasyon modelini ilişkilendirmemize izin verir. Bu nedenle, DC bara gerilimini korumak amacıyla aktif ve reaktif gücü ayarlamak için uygun bir vektör kontrol tekniği kullanılır. Bu makalede sunulan kontrol sistemi, sistem salınımını verimli bir şekilde söndürebilen ve sistem geçici ve kararlı durum kararlılığını sürdürebilen dış kontrol döngüsü ve iç kontrol döngüsünü içerir. Vektör kontrol yaklaşımı, zayıf bir 6 baralı AC iletim sisteminde test edilmiştir. Modelin verimliliğini ve kontrol yönteminin güç aktarım limitinin iyileştirilmesine uygulanabilirliğini göstermek ve doğrulamak için DIgSILENT PowerFactory 15.0 yazılımında dinamik simülasyonları yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: VSC-HVDC, vektör kontrolü, zayıf AC sistem.

ABSTRACT

High voltage-direct current (HVDC) power systems which are based on voltage-sourced converters (VSC) have become a popular subject in recent years. This paper studies a model of a VSC based VSC-HVDC system and its control performance due to vector control technique under various system faults and over-loading conditions for a weak AC system. The mathematical model of VSC-HVDC system allows us relates a simulation model of the controlling and the controlled variables in order to adjust the system parameters, optimally. Thus, a suitable vector control technique is used to adjust active and reactive power with the aim of maintaining DC link voltage. In the paper the presented controlling system includes the outer control loop and inner control loop that can efficiently damp out the system oscillation and maintain system transient and steady-state stability. The proposed control approach is tested in a weak 6-bus AC transmission system. In order to show and validate the efficiency of the proposed model and the applicability of the control method on improving the power transmission limit and dynamic simulations are conducted in DIgSILENT PowerFactory 15.0 software.

Keywords: VSC-HVDC, vector control, weak AC system

GİRİŞ

Yüksek Gerilim Doğru Akım iletim sistemi (HVDC iletim sistemi), uzun mesafeli toplu güç iletimi ve iki ayrı AC sistemi bağlamak için yaygın olarak kullanılmaktadır. Buna ilave olarak komşu şebekeler arasında gerek asenkron bağlantıya imkan veren, gerekse de şebekeler arasında arıza izolasyonu sağlayan sırt-sırtta bağlı HVDC sistemleri de mevcuttur (Yakupoglu, 2019). 1954 yılında İsveç-Gotland arasında kurulan 20 MW kapasiteli hat dünyanın ilk ticari HVDC uygulamasıdır (Long W, 2007).

VSC-HVDC iletim sistemleri, genellikle deniz aşırı rüzgâr santralleri ile yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu için daha avantajlı bir seçenek olduğunu kanıtlamıştır. Bu amaca hizmet etmek için, havai iletim hattı ve deniz altı kablosuyla uzun bir mesafe boyunca bir toplu güç aktarımının olması gerekmektedir. Senkronize edilmemiş şebekeleri mevcut şebekeye bağlamak bir sorundur. Burada gerilim seviyesi ve frekans, bir AC bağlantısı üzerinden yapılan bağlantıyı kısıtlayan ana faktördür. Yukarıdaki sorunun ortadan kaldırılması için, kontrollü bir DC iletimini kullanarak uzun bir mesafe boyunca bir toplu güç iletimi için esneklik sağladığı bir çözümü vardır (Pan J. et al, 2008).

Zayıf AC güç sistemleri, kuvvetli AC güç sistemlerine nazaran yüksek empedansa ve daha düşük kısa devre oranına (KDO) sahiptir (Nawir, 2017). Zayıf AC güç sistemlerinde transfer kapasitesini arttırmak için en iyi çözüm yollarından birisi HVDC sistemlerinin kullanımınıdır. VSC tabanlı HVDC, zayıf ve pasif AC şebekelere bağlanabilen düşük ve orta güç iletimi için kullanılır ve sistem çalışma koşullarına bağlı olarak reaktif güç sağlama veya emme yeteneğine sahiptir. Geçmişten günümüze kadar bu alanda birçok çalışmalar yapılmış, son yıllarda özellikle sınır değerlerde çalışan zayıf AC güç sistemlerinde HVDC kullanımına artan bir ilgi olmuştur. Franken Andersson vd, (1990) zayıf bir AC şebekeye bağlanan HVDC konvertörünün model performansını analiz etmiştir. Davari M. ve Mohamed (2017) zayıf bir AC şebekeye bağlanan VSC-HVDC sistemde gerilim kontrolör kazancının, sistem kararlılığına olan etkisini araştırmışlardır. Aouini vd, (2017) çalışmada bir güç transfer stratejisi önerilerek zayıf AC şebekelerde VSC-HVDC ile kararlılığın iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Agusti Egea vd, (2015) zayıf bir şebekeye bağlı bir VSC-HVDC sistemi üzerinden güç akışı transferindeki sınırlamaları analiz etmişlerdir. Yaptıkları çalışmada önce açı ve gerilim kararlılıklarının etkisi incelenmiştir. Daha sonra L arayüzü vasıtasıyla zayıf bir şebekeye bağlı güç aktarım kabiliyeti eğrilerini yani PQ eğrileri hesaplanmıştır. Li, Xiaojun vd, (2021) zayıf bir AC sistemle bağlantısı HVDC iletiminde kullanılan gerilim kaynaklı konvertörlerin küçük işaret kararlılığı açısından kıyaslamasını yapmıştır.

Zayıf bir AC güç sisteminde HVDC'nin bağlandığı noktadaki gerilim kontrol edilmezse, AC/DC güç sisteminin konvertörleri tarafından tüketilen reaktif güçler nedeniyle gerilim azalabilir. Bunun sonucu olarak güç sistemlerinde arzu edilmeyen bir durumla karşılaşılabilir (Abacı, K., 2019). HVDC; güç akışının hızlı ve hassas kontrolü sayesinde şebeke kararlılığının artırılmasını sağlar. Bu tür sistemlerde VSC-HVDC'nin kontrol edilebilmesi oldukça önemli bir çalışma konusudur. A. J. Agbemuko vd, (2020) yayınladığı çalışmada zayıf şebekelerde pasiflik analizi tabanlı bir strateji geliştirilerek VSC'nin aktif güç yeteneğini iyileştirmişlerdir.

Literatürde, Dorantes, D.P. vd, (2013) $abc-dq$ dönüşüm ve üç boyutlu destek vektör makina tekniğine dayanarak bir VSC-HVDC kontrolörü tasarlamış ve uygulamıştır. Gengyin L. vd, (2006) $-dq$ referans çerçevesinde eşdeğer bir sürekli zaman durum uzay modeli oluşturularak VSC-HVDC 'yi kontrol etmeyi başarmışlardır. VSC-HVDC için iyileştirilmiş bir vektör kontrol tekniği önerilen bir çalışmada, PLL içeren VSC'nin önce dış kontrolü için doğrusal bir matematiksel modeli kurulmuş daha sonra zayıf akım şebekesine bağlanarak küçük işaret kararlılığı incelenmiştir (Shuaihu Li et al, 2019). Bir başka çalışmada, tek faz-toprak hatalarını kontrol etmek amacı ile VSC tabanlı sırt sırt bir HVDC sistemi için vektör kontrol tekniği önerilmiştir (Raath, P.K. et al, 2018). Diğer taraftan Sood V. vd, (2011) VSC tabanlı HVDC iletim sistemi için doğrudan ve vektör kontrol tekniklerinin EMTP-RV yazılım programında bir kıyaslamasını yapmışlardır. G. Tianyi vd, (2022) çok katmanlı bir VSC için Vektör kontrol tekniğini kayma kipli kontrol ile iyileştirilerek 2w salınımlarının ortadan kaldırılmasının yanı sıra, aktif ve reaktif güçlerin aynı anda kontrolünü başarmışlardır.

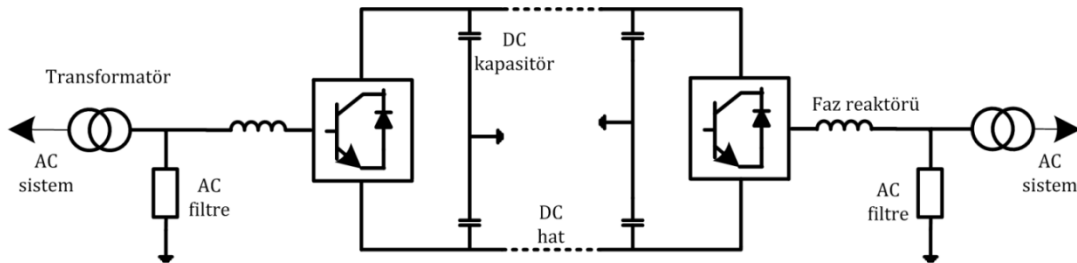
Konuyla ilgili literatürde VSC-HVDC sistemleri için doğrudan ve vektör kontrolü olmak üzere iki türlü kontrol stratejileri bulunmaktadır. Vektör kontrolü, Çok Katmanlı Konvertör (ÇKK) tabanlı DC güç sisteminde de yaygın olarak kullanılmaktadır (Xia vd., 2021). Bu yöntemlerden bazıları, kapalı döngüde hem aktif hem de reaktif gücü kontrol ederek Doğrudan Güç Kontrolüne dayanmaktadır (Serpa, L.A. vd, 2007).

Vektör kontrolü, üç fazlı bir sistemi iki boyutlu bir uzaya dönüştürür. Bu yöntem aynı zamanda üç fazlı PWM dönüştürücüleri kontrol etmek için de kullanılır. PWM dönüştürücülerin kontrolünde, aktif ve reaktif gücü bağımsız olarak kontrol etmek için vektör kontrolü kullanılabilir. Reaktif gücün kontrolü, DC gerilimini değiştirmeden AC gerilim fazını değiştirilerek her bir dönüştürücüde ayrı ayrı gerçekleştirilebilir. Aktif güç, DC gerilim ayarlanarak veya AC gerilimin frekansı değiştirilerek kontrol edilir. Kontrol vektörünün kullanılmasının bir avantajı, akım vektörünün ve AC gerilimlerin sabit durum vektörleri olarak üretilmesi ve bu nedenle kontrol sistemindeki statik hataların PI kontrolörler kullanılarak düzenlenebilmesidir (Dasgupta, S. ve Agnihotri, G. 2009).

Bu makalenin amacı, zayıf AC sistemlerde kullanılan VSC-HVDC iletim sisteminin performansını artırmak için bir vektör kontrol stratejisi sunmaktır. Zayıf bir AC şebekede, üç faz toprak hatası ve en zayıf barada aktif ve reaktif güçlerin adım artımları oluşturulmuş ve vektör kontrol yöntemi, aynı anda hem aktif ve reaktif güçler ile DC bağlantı gerilimini bağımsız ve etkin bir şekilde kontrol etmiştir. Power Factory yazılım aracında, yapılan simülasyonlar sayesinde, uygulanan işlevselliklerin VSC-HVDC' nin dinamik performansını geliştirdiği tespit edilmiştir.

VSC-HVDC SİSTEMİ

Tipik bir VSC-HVDC sisteminin bileşenleri şekil 1' de gösterilmiştir. Sistem AC filtrelerden, transformatörlerden, dönüştürücülerden, faz reaktörlerinden, DC kapasitörlerden ve DC kablolardan oluşmaktadır.



Şekil 1. VSC-HVDC Sistem Bileşenleri (Du, C., 2007)

Dönüştürücüler

VSC-HVDC sistemi, biri doğrultucu, diğeri inverter olarak çalışan IGBT güç yarı iletkenleri kullanan VSC' lerdir. İki dönüştürücü, uygulamaya bağlı olarak arka arkaya veya bir DC kablosuyla bağlanır. Gönderici uçtaki dönüştürücü doğrultucu rolünü, alıcı uçtaki dönüştürücü ise inverter rolünü üstlenir. İki dönüştürücü, uygulamaya göre arka arkaya veya bir DC kablosu ile bağlanmaktadır. Başlıca görevi, kontrol edilebilirliği yüksek olan doğrultucudan inverter istasyonuna sabit DC güç iletmektir. Bir VSC DC gerilimi kontrol ederken diğeri aktif gücün DC bağlantısı üzerinden iletimini kontrol eder. Dönüştürücülerin kayıpsız olduklarını varsayarsak, DC sistemine giren aktif güç akışı, inverter ucundaki AC sistemine ulaşan aktif güçle DC kablosundaki iletim kayıplarını eşitlemelidir.

Transformatör

Dönüştürücüler AC sisteme trafo aracılığıyla bağlanmaktadır. Transformatörlerin en önemli görevi, AC sisteminin gerilimini dönüştürücüye uygun bir seviyeye getirmesidir.

Faz Reaktörleri

Faz reaktörleri, akımları düzenleyerek aktif ve reaktif güç akışını kontrol etmek için kullanılmaktadır. Reaktörler ayrıca, VSC' lerin anahtarlama işleminden kaynaklanan AC akımlarının yüksek frekanslı harmonik içeriğini azaltmak için AC filtreler olarak da işlev görür.

AC Filtreler

AC gerilim çıkışı, IGBT' lerin anahtarlansından kaynaklanan harmonik bileşenleri içermektedir. AC sistem ekipmanının hatalı çalışmasına, radyo ve telekomünikasyon bozulmalarına sebep olduğundan dolayı AC sisteminde oluşan harmonikler sınırlandırılmalıdır. Bu yüksek mertebedeki harmonikleri azaltmak için yüksek geçiren filtre dalları yerleştirilmektedir.

DC Kapasitör

DC tarafında aynı boyutta iki kapasitör bulunmaktadır. Bu kapasitörlerin boyutu, gereken DC gerilimine bağlıdır. DC kapasitörlerin ana işlevi, geçici olaylar esnasında hem güç dengesini koruyup hem de DC taraftaki gerilim dalgalanmasını azaltmak için bir enerji tamponu oluşturmalarıdır.

DC Kablo

VSC-HVDC uygulamalarında kullanılan kablo, izolasyonun DC gerilimine karşı özellikle dirençli olan bir polimerden yapıldığı yeni geliştirilmiş bir kablodur. Polimerik kablolar, temel olarak mekanik mukavemeti, esnekliği ve düşük ağırlığı nedeniyle HVDC için tercih edilen seçimdir (Du, C., 2007).

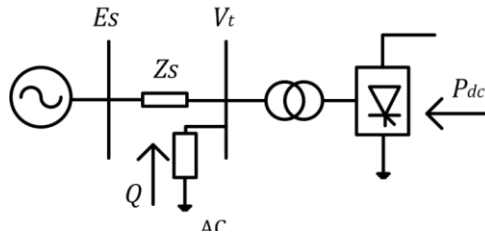
ZAYIF AC ŞEBEKELER

Güç sisteminin sonsuz barasından elektriksel olarak uzakta olan bir parçasına zayıf AC şebekeler denir. Çalışma koşulunda oluşan herhangi bir büyük değişiklik, önemli bir gerilim ve frekans sapmasına neden olduğundan sistem dengesiz duruma gelebilir. Güçlü AC şebekeleri zayıf AC şebekelerin tersine kararlı bir şekilde çalışmasını sürdürür. Ayrıca daha güçlü bir kapasiteye sahip güç talebine sahip olduklarından, gerilim, frekans ve diğer parametreleri belirli sınırlarda tutabilir. Zayıf AC şebekeye göre gerçekleşen bir arıza durumunda çalışma koşullarında oluşabilecek herhangi bir değişikliğe dayanıklılık gücü daha yüksektir.

Zayıf şebekeler, güçlü AC şebekelere göre düşük kısa devre seviyesine sahiptir. AC şebekesinin gücü Kısa Devre Oranı (SCR) ya da Etkin Kısa Devre Oranı (ESCR) kullanılarak belirlenir. SCR, AC barasındaki AC şebekesinin kısa devre görünür gücünün (MVA) AC / DC güç sistemlerinde nominal DC gücüne oranı ile bulunur. ESCR, AC filtrelerden dolayı reaktif güç üretimini dikkate almaktadır. SCR empedans sistemi ile ters orantılı olan karmaşık bir sayıdır. HVDC'li sistemler için SCR değerlerinin belli standartları bulunmaktadır. 2016 yılında yapılan B4.62 nolu çalışma grubu toplantısında 671 numaralı CIGRE broşüründe, güçlü şebekeler için SCR 3'ten büyük, zayıf AC şebekeler için SCR 3'ten küçük ve 2'den büyük ve çok zayıf şebekeler için ise SCR değerini 2'den küçük olarak kabul etmiştir. Bu belirtilen standartlar yüksek gerilim için uygundur (Nawir, M.H., 2017; Schmall, J., 2015).

Kısa Devre Oranı (SCR)

Bir HVDC uygulamasında, AC sisteminin gücünün DC sistemin gücüne göre parametrelendirilmesiyle AC ve DC sistemleri arasındaki etkileşim bulunmaktadır. AC veri yolundaki AC sisteminin kısa devre görünür gücünün (MVA) AC veri yolundaki anma DC gücüne oranı ile SCR değeri bulunmaktadır. AC baraya bağlı dönüştürücü modeli şekil 2' de gösterilmiştir (Zhou, J.Z. vd, 2013).



Şekil 2. AC Baraya Bağlı Dönüştürücü Modeli

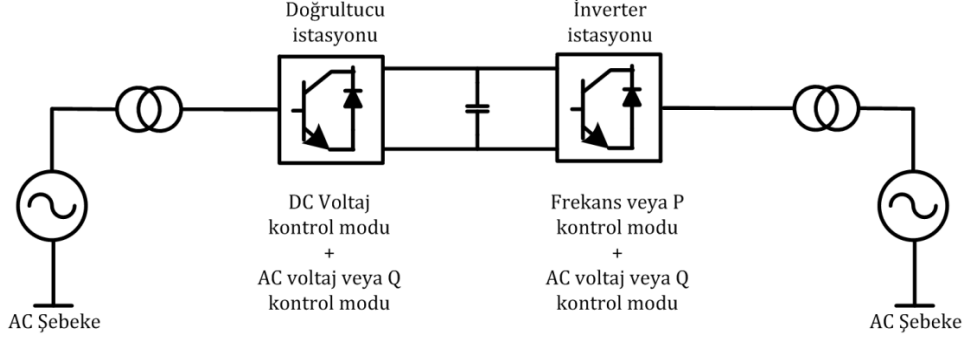
Denklem 1' de belirtilen SCR formülünde, AC sisteminin Thevenin empedansı Z_s , anma DC gücü P_{dc} ve anma hattı RMS gerilimi ise V_t olarak gösterilir. SCR temel olarak AC sisteminin Thevenin empedansının bir ölçüsüdür. Devre parametreleri bilindiğinde basit bir devre analizi yapılarak Thevenin empedansı hesaplanır.

$$SCR = \frac{MVA_{ac}}{P_{dc}} = \frac{V_t^2 / Z_s}{P_{dc}} = \frac{1}{|Z_{eq}|} \quad (1)$$

VSC-HVDC SİSTEMİNİN KONTROL STRATEJİSİ

Bir VSC-HVDC sisteminin kontrolü temel olarak enerji transferinin kontrolünü ele alır. VSC-HVDC iletiminde kontrol, iletilen aktif ve reaktif gücün doğru kontrolünü amaçlar. Üstelik VSC kontrolleri AC şebekelerinin dinamiklerini iyileştirmek gibi yardımcı hizmetlerde de yaygın olarak kullanılır. VSC-HVDC iletim sistemlerinde güç transferi, klasik bir HVDC iletim sisteminde olduğu gibi kontrol edilir. İnverter tarafı aktif gücü kontrol

ederken, doğrultucu tarafı DC gerilimi kontrol eder. VSC-HVDC, Klasik HVDC' nin aksine reaktif gücü ve aktif gücü bağımsız olarak kontrol etmeyi mümkün kılar. Reaktif güç akışı, her bir konvertörde, talep edilen veya manuel olarak ayarlanan AC gerilimi tarafından, DC gerilimi değiştirilmeden ayrı olarak kontrol edilebilir. Aktif güç akışı, DC tarafındaki DC gerilimi veya AC tarafının frekans değişimi ile kontrol edilebilir. Böylece, aktif ve reaktif güç akışı, AC ve DC gerilim ve frekans VSC-HVDC kullanılırken kontrol edilebilir. VSC-HVDC iletim sisteminin genel kontrol yapısı şekil 3.' de gösterilmiştir (Kalitjuka, T., 2011).

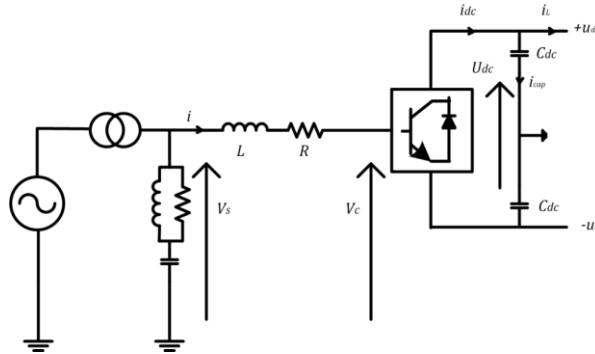


Şekil 3. VSC-HVDC Kontrol Yapısı

MATERYAL VE METOD

Vektör Kontrol Yöntemi

VSC-HVDC için en yaygın kullanılan kontrol şeması vektör kontrolüdür. Bu yöntemin amacı aktif ve reaktif gücü bağımsız olarak bir iç akım kontrol döngüsü boyunca kontrol etmektir. Gerilim ve akımlardaki statik hataları gidermek için PI regülatörleri kullanarak, sürekli durumda sabit vektörler olarak üç fazı temsil etmek için dq senkronize referans çerçevesini kullanır. Faz büyüklüklerinin dq koordinatlarına dönüşümü, üç fazlı koordinat sisteminden iki fazlı $\alpha\beta$ durağan koordinat sistemine dönüşümü ve $\alpha\beta$ durağan koordinatından dq dönen koordinat sistemine bir dönüşümü olmak üzere iki adım içerir. $\alpha\beta$ durağan koordinat sisteminden dq koordinatlarına dönüşümü Ek' de verilmiştir (Balcan, E., 2019). Şekil 4' de bir AC şebekeye bağlı VSC' nin tek hat diyagramı gösterilmiştir. Vektör akımı kontrol yöntemi, şekildeki tek hat diyagramı kullanılarak formüle edilebilir.



Şekil 4. VSC-HVDC Tek Hat Diyagramı

AC tarafındaki tüm gerilimler ve akımlar sabit koordinat sisteminde ise, sistemin AC dinamikleri, aşağıdakilere göre faz reaktörünün dinamikleri ile verilir:

$$L \frac{di_{\alpha\beta}}{dt} = v_{s,\alpha\beta} - v_{c,\alpha\beta} - Ri_{\alpha\beta} \quad (2)$$

Bunları dönen dq referans çerçevesine dönüştürerek:

$$L \frac{di_{dq}}{dt} = v_{s,dq} - v_{c,dq} - (R + j\omega L)i_{dq} \quad (3)$$

ωL terimi referans çerçevesinin dönmesinin zamana göre türevini temsil etmektedir. 3 numaralı denklem gerçek ve imajiner parçalara ayrılırsa akımın dq eksen bileşenleri aşağıdaki gibi yazılabilir :

$$L \frac{di_d}{dt} = v_{s,d} - v_{c,d} - i_d R + i_q j\omega L \quad (4.a)$$

$$L \frac{di_q}{dt} = v_{s,q} - v_{c,q} - i_q R - i_d j\omega L \quad (4.b)$$

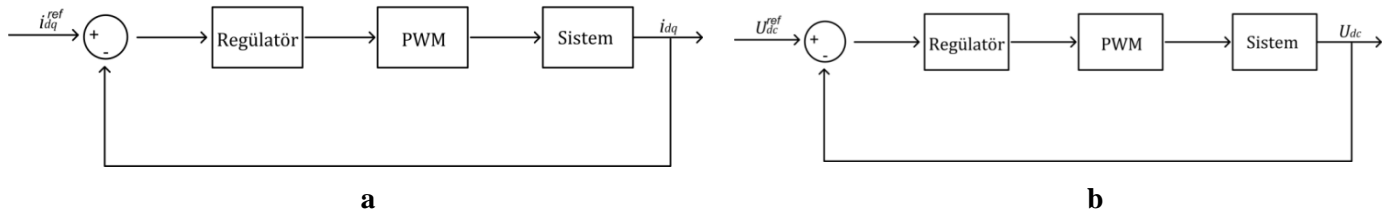
dq referans çerçevesi daha sonra $v_{s,d} = v$ ve $v_{s,q} = 0$ şeklinde hizalanabilir. AC ve DC taraf için aktif ve reaktif güç denklemleri 5 ve 6'da olduğu gibidir.

$$P_{AC} = v_{s,d} \cdot i_d, \quad P_{DC} = u_{DC} \cdot i_{DC} \quad (5)$$

$$Q_{AC} = -v_{s,d} \cdot i_q \quad (6)$$

İç ve Dış Akım Kontrolörleri

Giriş olarak iç kontrolör veya akım kontrol cihazı referans akımı ile ölçülen akım arasındaki hatayı alır. Bu hata PI regülatörü aracılığıyla taşınır. Sonuç olarak, dq referans çerçevesinde istenen dönüştürücü gerilimi elde edilir. İleri besleme, kademeli kontrolün yavaş dinamik tepkisinin dezavantajını en aza indirmek için kullanılır. İç döngü değişkenlerinin referans değerleri çoğu kez mevcut olduğundan, bunlar daha hızlı ve daha güvenli bir işlem için ileri beslenir. İç akım kontrolörünün blok diyagramı şekil 5.a' da verilmiştir.



Şekil 5. Akım Kontrolörleri Blok Şemaları a) İç Akım b) Dış Akım

PWM dönüştürücünün girişi, geçerli kontrol döngüsü tarafından üretilen ve dq' den dönüştürülen gerilim referansıdır. Dönüştürücü geriliminin referansı herhangi bir gecikme olmadan izleyeceği ve anahtarlamının neden olduğu harmoniklerin faz reaktörleri ve AC filtreleri tarafından giderileceği varsayılabilir (Bahrman M, 2007) . Böylece, PWM' nin çalışması dq referans çerçevesinde aşağıdaki şekilde ifade edilebilir;

$$v_{c,dq} = v_{c,dq}^{ref} \quad (7)$$

Eşitlik 4.a ve 4.b' de sistem denklemleri verilmiştir. Bu denklemlerden faydalanarak regülatör bloğunun çıktısı şu şekilde olur:

$$v_{c,d}^{ref} = -(i_{d,ref} - i_d)F(s) + i_q(\omega L) + v_{s,d} \quad (8)$$

$$v_{c,q}^{ref} = -(i_{q,ref} - i_q)F(s) + i_d(\omega L) + v_{s,q} \quad (9)$$

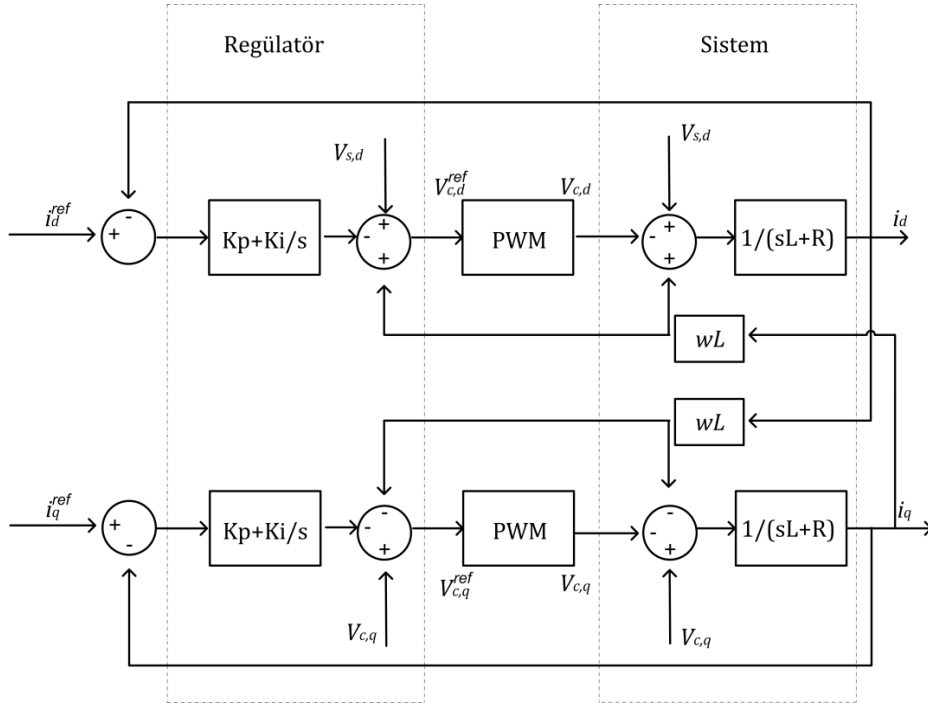
$$(i_{d,ref} - i_d)F(s)G(s) = i_d \quad (10)$$

$$(i_{q,ref} - i_q)F(s)G(s) = i_q \quad (11)$$

burada $F(s)$ ve $G(s)$ sırasıyla $F(s) = K_p + \frac{K_i}{s}$, $G(s) = \frac{1}{sL + R}$ şeklindedir.

Dış kontrolör, aktif bir güç kontrolörü, DC voltaj kontrolörü, reaktif güç kontrolörü ve bir AC voltaj kontrolöründen oluşur. Dış denetleyicileri tasarlarken, istikrarı sağlayabilmek için dış kontrol döngüsünün iç kontrol döngüsünden daha yavaş olması gerekir. Dış kontrolörün blok diyagramı şekil 5.b'de gösterilmiştir (Lennerhag O. ve Träff V., 2013).

Tam akım kontrol cihazı blok şeması aşağıdaki Şekil 6' da gösterilmektedir.



Şekil 6. Detaylı Akım Kontrolör Yapısı

DC Gerilim Kontrolörü

DC geriliminin kontrolü, dönüştürücüler arasındaki güç dengesini sağladığından dolayı önemlidir. DC gerilim kontrolü bir PI regülasyonu yardımıyla sağlanabilir. DC gerilim kontrolüne ait denklem aşağıdadır.

$$(u_{DC}^{ref} - u_{DC})(K_p + \frac{K_i}{s}) + \frac{u_{DC} i_L}{v_{s,d}} = i_d^{ref} \quad (12)$$

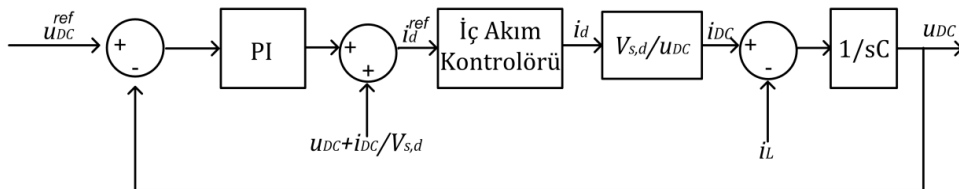
DC taraftaki akımla d eksenli akımını ilişkilendirmek için, daha önce 5 numaralı denklemde verilen DC ve AC taraftaki güçlerin aynı olduğu varsayılarak aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$u_{DC} i_{DC} = v_{s,d} i_d \quad (13)$$

$$i_{DC} = \frac{v_{s,d} i_{DC}}{u_{DC}} \quad (14)$$

$$C \frac{du_{DC}}{dt} = i_{DC} - i_L \quad (15)$$

DC tarafın dinamikleri dikkate alarak DC gerilim kontrol cihazı, yukarıda verilen denklemle tanımlanır. Şekil 7’ de DC gerilim kontrolörünün blok şeması verilmiştir (Lennerhag O. ve Träff V., 2013).

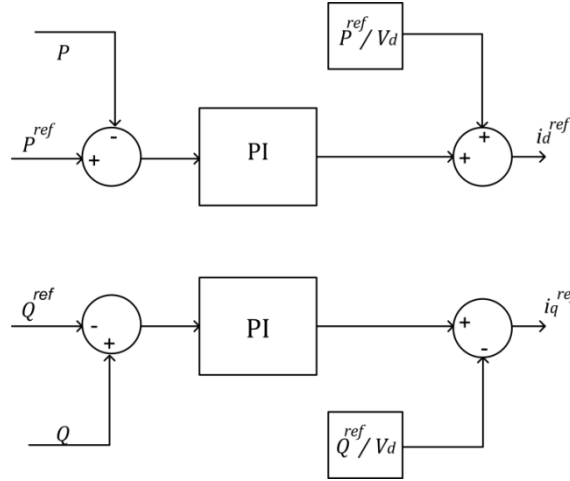


Şekil 7. DC Gerilim Kontrol Blok Şeması

Aktif ve Reaktif Güç Kontrolörleri

Aktif ve reaktif güçler, bir açık döngü kontrol cihazı kullanılarak basit bir şekilde kontrol edilebilir. Aktif ve reaktif güç kontrolüne ait dq eksenlerine ait mevcut referans akımlar 16 numaralı denklemde verilmiştir. Aktif ve reaktif güç kontrolörünün blok şeması Şekil 8.' de gösterilmiştir.

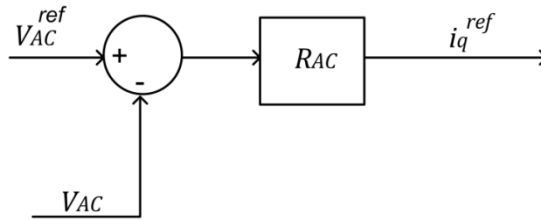
$$i_d^{ref} = \frac{P^{ref}}{v_{s,d}} \quad , \quad i_q^{ref} = \frac{Q^{ref}}{v_{s,d}} \quad (16)$$



Şekil 8. Aktif ve Reaktif Güç Kontrolör Blok Şeması

AC Gerilim Kontrolörü

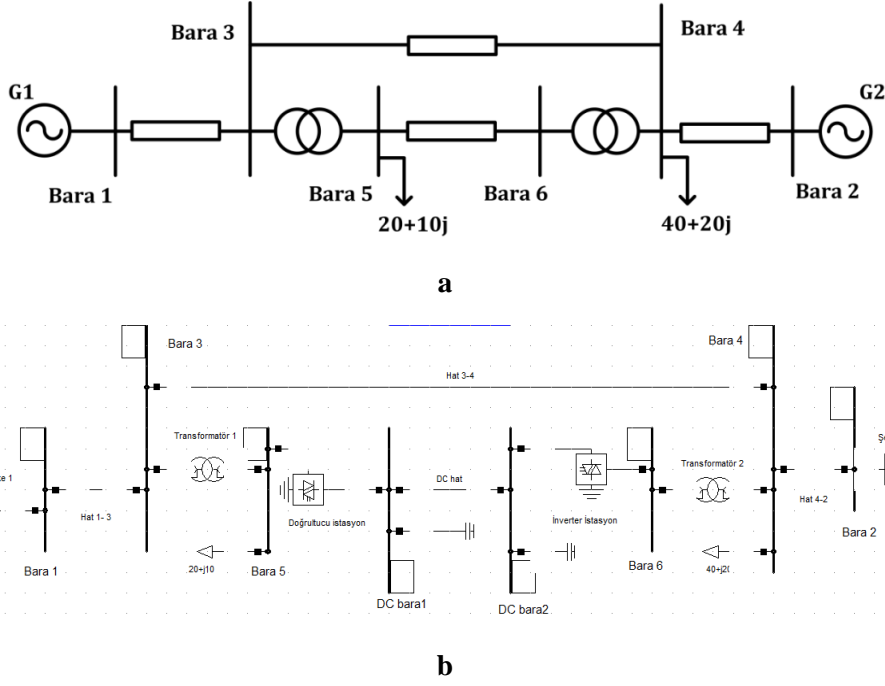
AC gerilimin büyüklüğü istenen seviyeden farklıysa, gerilimi arttırmak veya azaltmak için dönüştürücü tarafından reaktif güç üretilmeli veya tüketilmelidir. AC gerilimi referans değeriyle karşılaştırarak düzenleyebilir. Kontrolör çıkış sinyali olarak i_{qref} verir. AC gerilim kontrolörünün blok şeması şekil 9.' da gösterilmiştir (Lennerhag O. ve Träff V., 2013).



Şekil 9. AC Gerilim Kontrolör Blok Şeması

VSC-HVDC İÇEREN ZAYIF BİR AC TEST SİSTEMİNDE YAPILAN ÇALIŞMALAR

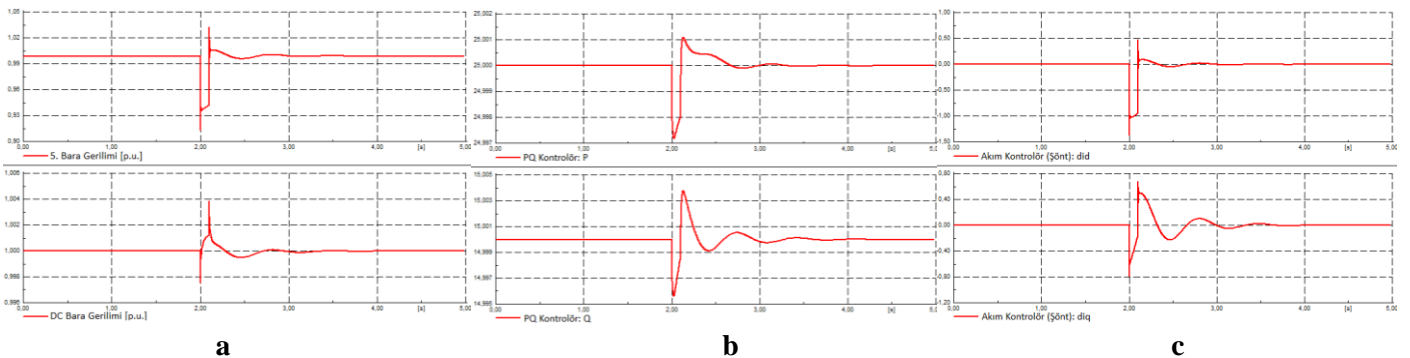
6 baralı test sisteminde 2 adet güç kaynağı, 6 adet bara, 2 adet yük ve 2 adet transformatör bulunmaktadır. Test sistemi Şekil 10.a' da gösterilmiştir. Şekil 10.b'de ise DIGSILENT ortamında kurulan 6 baralı test sistemi gösterilmiştir. Bu sistem HVDC' nin zayıf AC şebekeleri desteklediğini gösterebilmek için kurulmuştur. Sisteme ait veriler Ek.B' de verilmiştir. Buna göre SCR değeri 1.662 olarak hesaplanmıştır. SCR değeri 2 den küçük olduğundan çok zayıf şebekeli bir sistemi temsil etmektedir. VSC-HVDC 5. ve 6. bara arasına bağlanmıştır. 5. baraya bağlı dönüştürücü doğrultucu, 6. baraya bağlanan dönüştürücü inverter olarak kullanılmıştır. 4 ve 5 numaralı baralarda sırasıyla 40 ve 20'şer MW'lık aktif güç ile 20 ve 10'ar MVAR'lık reaktif güçler bulunmaktadır. Sistemin V/Q analizine bağlı en zayıf barası 5 numaralı baradır. Sırasıyla en zayıf barada 3 faz toprak hatası, VSC-HVDC üzerinden Aktif ve reaktif güçlerin adım artımları ile transferleri şeklinde simülasyonlar yapılmıştır.



Şekil 10 a) 6 Baralı Zayıf AC Şebeke b) DİGSİLENT Ortamında Kurulan 6 Baralı Sistem (Baldan, E., 2019)

En Zayıf Barada 3 Faz-Toprak Hatası

Zayıf AC sistemin en zayıf barası olan 5. barada 2. saniyede kısa devre hatası verilmiştir. Bu hata 2.1. saniyede temizlenmiştir. 5 saniyelik simülasyon yapıp HVDC' nin sisteme nasıl etki ettiği aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir Şekil 11.a' da gösterilen grafik hata durumunda 5. bara ve DC baranın gerilim değerlerinden oluşmaktadır. Üstteki grafikte 5. bara gerilimi 1 p.u. iken oluşan hata anında hızlı bir şekilde düşüp hata temizlendikten yaklaşık 1 saniye sonra yine 1 p.u. değerine ulaşmıştır. Alttaki grafikteki DC baranın gerilim değerlerinde ise 5. baranın aksine küçük bir azalma sonrası toparlanıp hata temizlendikten sonra küçük bir artma gösterip 1 pu. değerinde kaldığını görüyoruz. Doğrultucu kontrol modu VDC-Q olduğundan DC barayı kontrol altında başarıyla tutulmuştur. Şekilden bara gerilimlerinin kararlı hale ulaştığı gözlemlenebilir. Şekil 11.b' de gösterilen grafik hata durumunda P-Q kontrolörünün değerlerini göstermektedir. Aktarılmak istenen 25 Mw'lık Aktif güç ile 15 MW'lık reaktif güçler hata esnasında bozulup hata temizlendikten sonra kısa bir varyasyon gösterip kendini 2 saniyeden daha az bir süre içerisinde toparlamış ve sisteme transferi gerçekleştirmiştir. Şekil 11.c'deki iki grafik de birbirinden farklıdır.

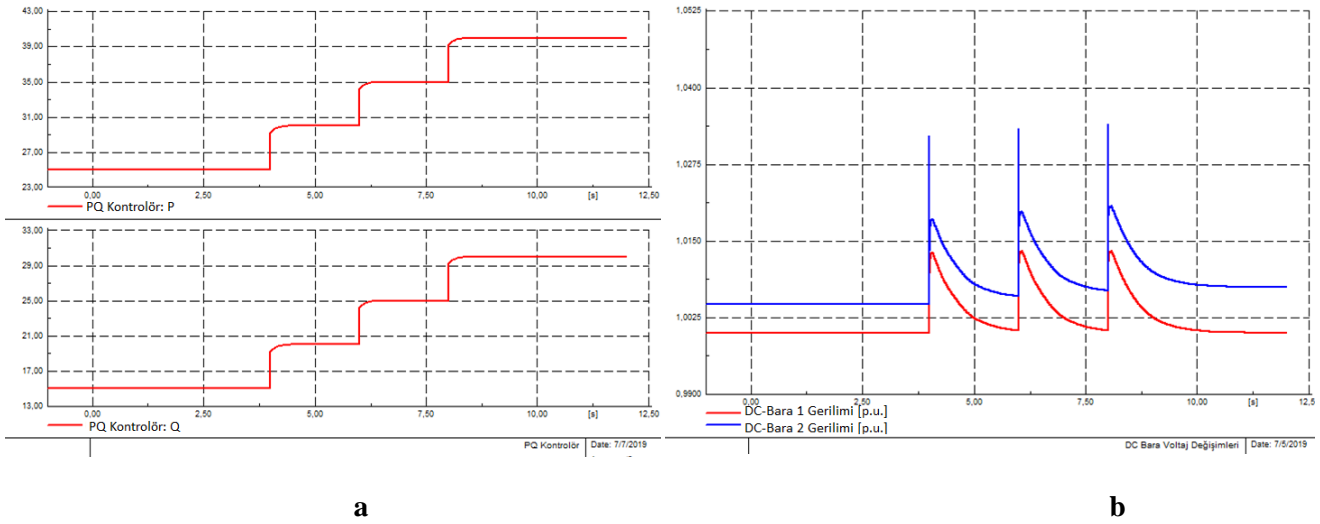


Şekil 11. 3 Faz-Toprak Hatası Sonucunda a) 5 Numaralı Bara Gerilimi (Üst)-VSC-HVDC DC Gerilim Değişimi (Alt) b) VSC-HVDC P-Q Kontrolör Değişimleri c) VSC-HVDC Akım Kontrolör Değişimleri

Reaktif gücün q eksenini akım bileşenlerine bağlı olduğu, aktif gücün d eksenini akım bileşenine bağlı olduğu grafiklerdeki farklılıklardan görülmektedir. Bu üç grafikten de anlaşılacağı üzere bir kısa devre hatası gerçekleştiğinde HVDC yapısı ve oluşturulan kontrolörler sayesinde sistem kendini en kısa zamanda toparlayıp çalışmaya devam edebilmiştir. Kontrol altında tutulmak istenen elemanlar kontrol edilebilmiştir.

AC Sisteme Transfer Edilen Aktif ve Reaktif Güçlerin Adım Artımları

Bu kısımda zayıf AC sisteme transfer edilmek istenen aktif ve reaktif güçlerde adım artımları yapılarak vektör kontrollü VSC-HVDC'nin performansı araştırılmıştır.



Şekil 12. Vektör Kontrollü VSC-HVDC'nin a) Aktif ve Reaktif Güçlerin Adım Artımları b) DC Gerilim Değişimleri

Şekil 12.a' da transfer edilmek istenen aktif ve reaktif güç değerleri gösterilmektedir. Aktif güç her iki saniyede 25 MW'tan 5'er MW'lık adım artımı ile 8. Saniye sonunda 40 MW'a ulaşmıştır. Benzer şekilde reaktif güç değeri de her iki saniyede 15 MW'tan 5'er Mvar'lık adım artımı ile 8. Saniye sonunda 30 Mvar değerine ulaşmıştır. Güçlerin artırılmasıyla DC baranın nasıl tepki verdiği şekil 12.b' de verilmiştir. Adım adım yapılan artışlara rağmen DC bara gerilim değeri 1 p.u. degerinde kalabilmiştir.

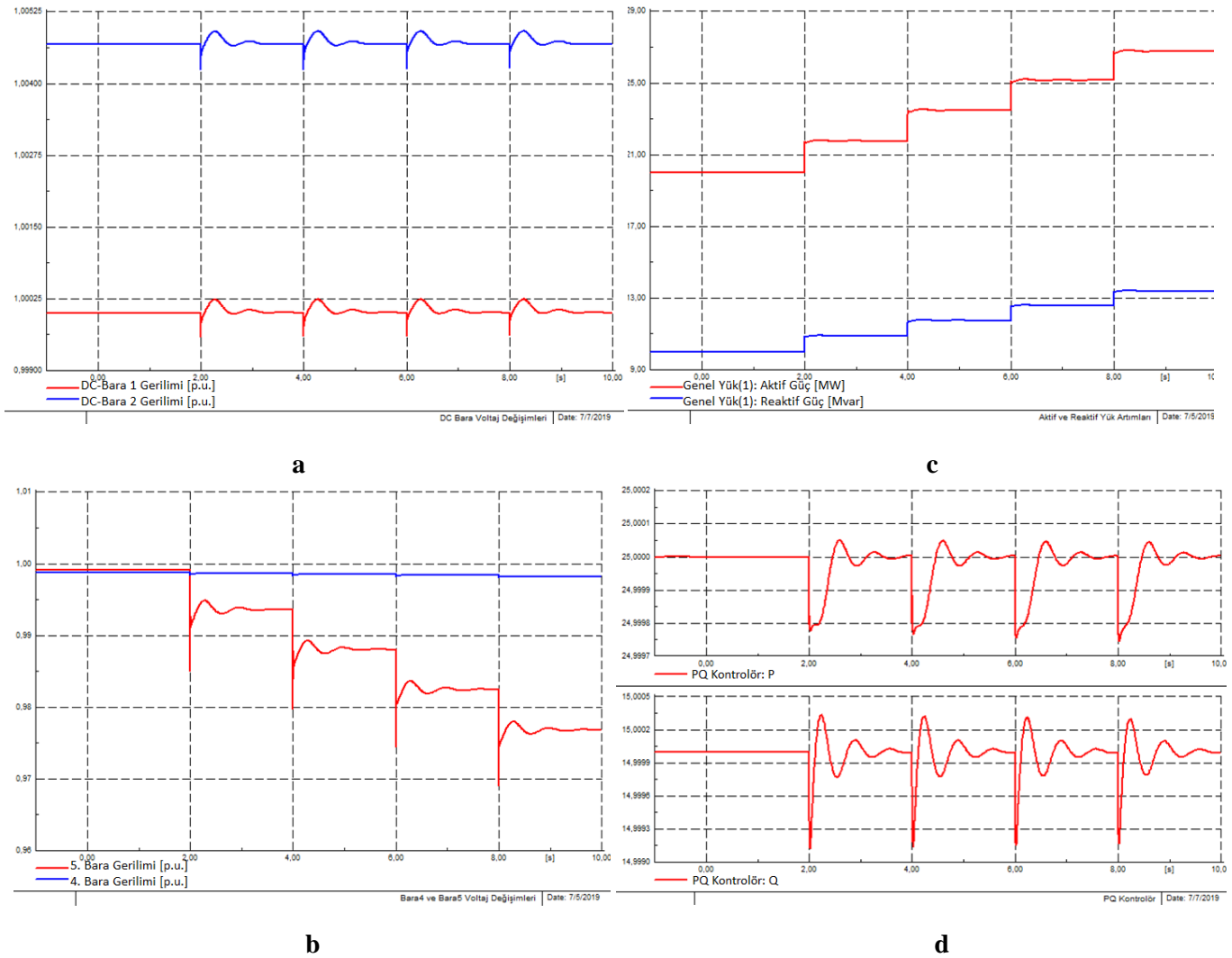
En Zayıf Barada Aktif ve Reaktif Güçlerin Adım Artımları

Bu kısımda zayıf AC sistemin en zayıf barası olan 5 numaralı barada aktif ve reaktif güç artımları senaryosu düşünülmüştür. Bu simülasyon sonrasında vektör kontrollü VSC-HVDC'nin performansı araştırılmış ayrıca 5 numaralı baradaki gerilim değişimleri çizdirilmiştir. Şekil 13 a'da 5. baradaki aktif ve reaktif yük artışlarının DC bara gerilimindeki etkileri görülmektedir. Bu grafikten açıkça anlaşılmaktadır ki yük artımları neticesinde kontrolör DC bara gerilimlerinde kararlılığı sağlayabilmiştir. DC bara gerilimleri yük artımına rağmen değerlerini koruyabilmiştir Şekil 13 b.' de ise yük artımı sonucu elde edilen AC sisteme ait 4. ve 5. baranın gerilim değerleri görülmektedir. 5. bara yük artımının olduğu bara olduğundan 5. bara geriliminde değer olarak az da olsa hızlı bir düşüş görmekteyiz. 4. bara ise diğer taraftaki reaktif gücün değişiklik göstermemesinden dolayı bir değişiklik göstermez. Şekil 13 c.'de , 5 numaralı barada bulunan 20 Mw'lık aktif güç ve 10 Mvar'lık reaktif yükün her iki saniyede kademe kademe adım artımları sonucunda 8. Saniye sonunda 27 MW ve 13.5 Mvar değerine geldiği görülebilir. Aktarılmak istenen güçler PQ kontrolörü tarafından korunmayı başarmış ve sistem kararlılığını koruyabilmeyi başarmıştır. Şekil 13 d.' ise PQ kontrolörün performansı görülebilir. En zayıf barada yük artımlarının gerçekleşmesi durumunda bile vektör kontrollü VSC-HVDC 'nin PQ kontrolörü her adım artımı sonrasında kısa bir süre tepki vermiş sonra toparlanarak sisteme sırası ile ayarlanan 25 MW aktif ve 15 Mvar reaktif güç değerlerini aktarabilmiştir.

SONUÇ ve DEĞERLENDİRME

Bu çalışma zayıf bir AC şebekeye bağlı (VSC) tabanlı HVDC iletim sisteminin vektör kontrolü yöntemine dayalı dinamik performansını araştırmaktadır. Öncelikle dq referans çerçevesinde AC ve DC tarafların matematiksel modellerinden faydalanmak sureti ile iç ve dış akım kontrol çevrim blokları oluşturularak, birbirlerinden bağımsız Aktif –Reaktif Güç Kontrolünün yanı sıra AC ve DC gerilim kontrolü gerçekleştirilmiştir. DiGSILENT ortamında gerçekleştirilen test sistemi üzerinde kısa devre hatası, yük artımı, transfer edilen gücün adım adım artırılması gibi bozucu etki verilerek sistemin tepkisi analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar göstermiştir ki; DC hattın bağlandığı DC baraların gerilimi bozucu etkilere rağmen referans değerine geri dönebilmiş, aktif ve reaktif güç değerleride kısa sürede arzu edilen seviyelere ulaşmıştır. İncelenen bazı baralarda gerilim azalması görülmüştür ki bu beklenen

bir durumdur. Simulasyon sonuçları, vektor kontrollü VSC-HVDC'nin dinamik performansının ve sistem geçiş karakteristiğinin oldukça başarılı olduğunu göstermektedir.



Şekil 13. a) 5 Numaralı Barada Aktif ve Reaktif Güçlerin Adım Artımları **b)** AC Sistemde 4 ve 5. Baraların Gerilim Değişimleri **c)** VSC-HVDC'nin P-Q Kontroller Değişimleri **d)** VSC-HVDC'nin DC Baralarına ait Gerilim Değişimleri

KAYNAKLAR

A. J. Agbemuko, J. L. Dominguez-Garcia, O. Gomis-Bellmunt, and L. Harnefors (2020. March), Passivity-based analysis and performance enhancement of a vector controlled VSC connected to a weak AC grid, *IEEE Trans. Power Del.*, early access, Mar. 23, 2020, doi: 10.1109/TPWRD.2020.2982498.

Abacı, K. Yamaçlı, V. Baldan, E. (2019, Nisan) Zayıf AC Şebekelerde VSC-HVDC ile sürekli hal kararlılığı ve Aktif-Reaktif Güç kapasite eğrilerinin incelenmesi. 6th Multidisciplinary Studies Congress. International Conference (MULTICONGRESS) (pp.205-217).

Aouini, R., Marinescu, B., Kilani, K. B., & Elleuch, M. (2017). Stability improvement of the interconnection of weak AC zones by synchronverter-based HVDC link. *Electric Power Systems Research*, 142(January), 112-124. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2016.09.005>

Bahrman M, Johnson, B.K. (2007). The ABCs of HVDC transmission technologies magazine. *IEEE Power & Energy magazine*. Vol. 5 (2).32-44. <http://doi.org/10.11091/MPAE.2007.329194>

- Baldan, E. (2019). Gerilim Kaynağı Dönüştürücülü HVDC İletim Sistemlerinin Aktif ve Reaktif Güç Sınırları Eğrisinin İncelenmesi. Yüksek lisans tezi. Mersin üniversitesi Fen Bilimleri enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilimdalı. Mersin Üniversitesi. 84s
- Daniel Perez Dorantes, Jose Luis Monroy Morantes, (2013, November). 3D-SVPWM Vector Control of a VSC-HVDC Transmission System., IEEE International autumn Meeting on Poer, electronics and Computing(ROPEC), page1-6 doi:10.1109/ROPEC.2013.6702745
- Davari, M. & Mohamed, Y. A. R. I. (2017). Robust vector control of a very weak-grid-connected voltage-source converter considering the phase-locked loop dynamics. *IEEE Transactions on Power Electronics*. 32(February), 977-994. <https://doi.org/10.1109/TPEL.2016.2546341>
- Dasgupta, S. Agnihotr, G. (2009, December). A control Strategy for a VSC HVDC System in steady state response.. International Conference on Advances in Computing, Control and Telecommunication Technologies (ACT). doi:10.1109/ACT.2009.143.IEEE.
- Du C. (2007). VSC-HVDC for industrial power systems. Thesis for the degree of doctor of philosophy. Chalmers University of Technology, Goteborg, Sweden.
- Egea-Alvarez A., Barker, C. Gomis-Bellmunt O., & Hassan F. (2015, February). Capability curves of a VSC-HVDC connected to a weak AC grid considering stability and power limits In 2015 11th IET International Conference on AC and DC Power Transmission (IET) (pp. 1-6). doi:10.1049/cp.2015.0091. IEEE.
- Franken, B., & Andersson, G. (1990). Analysis of HVDC converters connected to weak AC systems. *IEEE Transactions on Power Systems*, 5(February), 235-242. <https://doi.org/10.1109/59.49111>
- G. Tianyi., Xin zhao, Wenjing Zheng, Liu, H., Liu, Y. And Quiye Sun. (March, 2022), Improved Sliding mode Vector Control Strategy combined with extended Reactive Powwer for MMC Under Unbalanced Grid Condition, frontier in Energy research., Sec. Smart Grids Vol. 10. 1-12 <https://doi.org/10.3389/fenrg.2022.874533>
- Gengyin Li, Ming Zhou, Chengyong Zhao, (2006,June). Modelling of VSC-HVDC and control strategies for supplying both active and passive systems, IEEE Power Engineering Society General Meeting (PES). IEEE. doi:10.1109/PES.2006.1708897
- Kalitjuka, T. (2011). Control of Voltage Source Converters for Power System Applications. Master of Science in Electric Power Engineering. Norwegian University of Science and Technology. 69s
- Lennerhag O, Träff V. (2013). Modelling of VSC-HVDC for Slow Dynamic Studies. Master's Thesis in Electric Power Engineerinf. Chalmers University of Technology. Gothenburg, Sweden 102s.
- Long W, (2007). *HVDC transmission: yesterday and today*.Magazine SN-IP and E, .. EthwOrg n.d..
- Nawir, M.H.,(2017). Integration of Wind Farms into weak AC Grids . PhD thesis. Cardiff University. 173s
- Pan J, Nuqui R, Srivastava K, Johnsons, T. Holmberg, P. &Hafner, Y.J. (2008,November). AC grid with embedded VSC-HVDC for secure and efficient power delivery. In 2008 IEEE Energy 2030
- Raath, Prabodha Kumar, Bhuyan, K.C., (2018). Vector Control of VSC HVDC System under Single Line to Ground Fault Condition. *International Journal of Applied Power Engineering (IJAPE)* Vol.7 (1) <http://doi.org/10.11591/ijape.v7.i1.pp59-64>
- Schmall J, Huang, S., & Li, Y. (2015, July). Voltage stability of large-scale wind plants integrated in weak networks: An ERCOT case study. doi:10.1109/PESGM.2015.7286224.IEEE
- Serpa, L.A., Kolar, J.W. , Ponnahiri, S., & Barbosa, P.M. (2005). A modified direct power control strategy allowing the connection of three phase inverter to the giid through LCL filters. IEEE Industry Applications Society Transactions on.Vol.1.(November). 565-571. <https://doi.org/10.1109/TAS.2005.1518363>
- Shuaihu li, canle cao, zhenyu Xiang,(2019, November), An Improved Vector Control strategy of VSC-HVDC Connected to Weak power Grid”, IEEE conference on energy internet and energy System Integration (E12). IEEE. doi:10.1109/E1247390.2019.9062034

Sood, V., Hiteshkumar Patel, (2010, December,). Comparison between Direct and Vector control Strategy for VSC-HVDC system in EMTP-RV. International Conference on Power Electronic Drives and Energy Systems for Industrial Growth(PEDES) doi:. 10.1109/PEDES.2010.5712550, India

Stamatiou G., (2015) Converter interactions in VSC-based HVDC systems Lisans Tezi, Chalmers University of Technology , Department Energy of Environment, Gothenburg, Sweden 222s.

Xia, X., Xu, L., Zhao, X., Zeng, X., and Yi, H. (2021). Modular Multilevel Converter Predictive Control Strategy Based on Energy Balance. *Journal Power Electron.* 21. doi:10.1007/s43236-021-00225-9

Xiaojun, Lu. Xiang, Wang, Lin, Weising and Wen, J.,(2021, August), Comparative Study of Small-Signal Stability Under Weak AC System Integration for Different VSCs, *IEEE Journal of Emerging and selected Topics in power Electronics*, Vol. 9, No. 4, August 4482-4499 <https://ieeexplore.ieee.org>. Digital Object Identifier 10.1109/JESTPE.2020.3024196

Yakupoğlu, H. (2019). Sinüs-cosinüs algoritması ile optimize edilmiş modüler çok seviyeli dönüştürücü tabanlı HVDC sisteminin aktif güç kontrolü ve Arıza analizi. Yüksek lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Anabilim Dalı, Ankara 115s.

Zhou, J.Z, Gole, A.M. (2013, July). Estimation of the Short Circuit Ratio and the Optimal Controller Gains Selection of a VSC System. International Conferences on Power System Transients. (IPST2013)

EKLER

A. $\alpha\beta$ Durağan Koordinat Sisteminin dq Koordinat Sistemine Dönüşümü

$\alpha\beta$ koordinat sisteminde $u(\alpha\beta)$ vektörü için pozitif yönde dönen bir $w(t)$ açısal hız, dq koordinat sistemi için de tanımlanabilir. $u(\alpha\beta)(t)$ vektörü, bu dönen referans çerçevesinde sabit vektörler olarak görünecektir. Şekil Ek A.1’ de gösterildiği gibi, d eksenini ve q eksenini üzerinde $u(\alpha\beta)(t)$ vektörü dq çerçevesini gösterir. [Stamatiou, G., 2015] Dönüşüm vektörel formda aşağıdaki gibi yazılabilir.

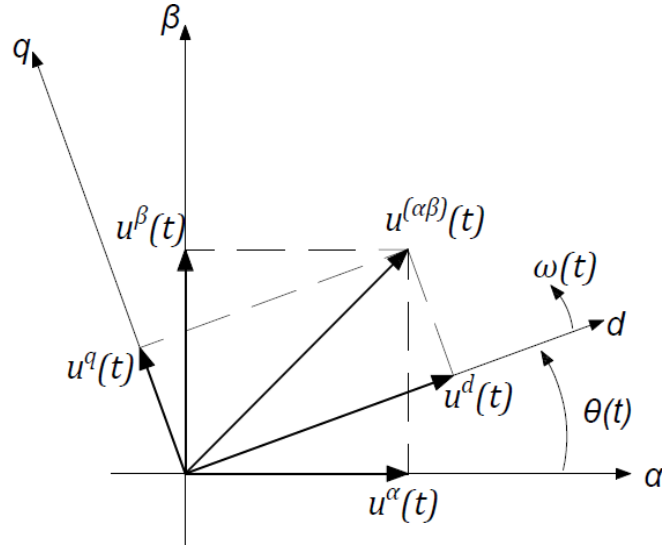
$$u^{(dq)}(t) = u^d(t) + ju^q(t) = u^{(\alpha\beta)}(t)e^{-j\theta(t)} \quad (\text{Ek A.1})$$

Şekil Ek A.1’de gösterilen $\theta(t)$ açısı aşağıdaki gibi ifade edilirse

$$\theta(t) = \theta_0 + \int_0^t w(\tau)d\tau \quad (\text{Ek A.2})$$

$\alpha\beta$ koordinat sisteminden dq koordinat sistemine ters dönüşüm yapılarak geçilebilir.

$$u^{(\alpha\beta)}(t) = u^{(dq)}(t)e^{j\theta(t)} \quad (\text{Ek A.3.})$$



Şekil Ek A.1. $\alpha\beta$ Durağan Koordinat Sisteminin $-dq$ Koordinat Sistemine Dönüşümü

$\alpha\beta$ koordinat sistemi ile dq koordinat sistemi arasındaki ilişkiler matrisel formda yazılabilir.

$$\begin{bmatrix} u^d(t) \\ u^q(t) \end{bmatrix} = R(-\theta(t)) \begin{bmatrix} u^\alpha(t) \\ u^\beta(t) \end{bmatrix} \quad (\text{Ek A.4.a})$$

$$\begin{bmatrix} u^\alpha(t) \\ u^\beta(t) \end{bmatrix} = R(\theta(t)) \begin{bmatrix} u^d(t) \\ u^q(t) \end{bmatrix} \quad (\text{Ek A.4.b})$$

Burada çarpım matrisi $R(\theta(t))$ aşağıdaki gibidir.

$$R(\theta(t)) = \begin{bmatrix} \cos(\theta(t)) & -\sin(\theta(t)) \\ \sin(\theta(t)) & \cos(\theta(t)) \end{bmatrix} \quad (\text{Ek A.5b})$$

B. Test Sistemine ait Parametreler

Çalışmada kullanılan 6 baralı test sistemine ait parametreler aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Değişkenler			R	X
VSC-HVDC	Güç	600 MVA		
	AC gerilim	52 kV		
	DC gerilim	100 kV		
Hatlar	DC kablo	100 km	3.76 Ω	5.937 Ω
	AC (1-3)	20 km	0.2 Ω	1.6 Ω
	AC (2-4)	1 km	0.02 Ω	0.5 Ω
	AC (3-4)	100 km	0.1 Ω	0.2 Ω
Transformatörler	Tr-1 ve Tr-2	220/52 KV		j0.1 p.u



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 07.01.2022
Kabul Tarihi : 31.08.2022

Received Date : 07.01.2022
Accepted Date : 31.08.2022

ALÇI ESASLI KARIŞIMLARDA MİKRONİZE CAM KÜRECİKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

EVALUATION OF GLASS MICROSPHERES IN GYPSUM-BASED MIXTURES

Orkun DEVREK^{1*} (ORCID: 0000-0003-4231-561X)

Ahmet Hayrullah SEVİNÇ² (ORCID: 0000-0003-3338-8366)

Muhammed Yasin DURGUN³ (ORCID: 0000-0003-4656-9430)

Yusuf URAS⁴ (ORCID: 0000-0001-5561-3275)

¹ Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Kahramanmaraş, Türkiye

² Kahramanmaraş İstiklal Üniversitesi, İnşaat Teknolojisi Programı, Kahramanmaraş, Türkiye

³ Bartın Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bartın, Türkiye

⁴ Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Orkun DEVREK, orkundevrek@hotmail.com

ÖZET

Bu çalışmada mikronize cam küreciklerin alçı esaslı karışımların mühendislik özelliklerine etkileri incelenmiştir. Bu kapsamda mikronize cam kürecikleri alçı yerine ağırlıkça %10, %20 ve %30 oranında kullanılmıştır. 40x40x160 mm boyutunda prizmatik örnekler üretilerek, üretilen örneklerin sertleşmiş birim hacim ağırlık, ultrasonik ses geçiş hızı, su emme, kılcal su emme ve görünen porozite değerleri ölçülmüştür. Aynı zamanda 140x160x20 mm boyutlarına sahip örnekler üretilerek ısı iletim katsayıları ölçülmüştür. Mekanik özellikler kapsamında tek eksenli basınç dayanımı ve üç noktalı eğilme dayanımı testleri uygulanmıştır. Mikronize cam küreciklerinin kullanımı birim hacim ağırlığı değerlerini yükseltmiştir. Ultrasonik ses geçiş hızı değerleri ise düşmüştür. Görünür porozite değeri de azalmıştır. Buna bağlı olarak su emme ve kılcal su emme değerlerinde de azalmalar gözlenmiştir. Isıl iletim katsayısı değerleri referans alçı örneğinden daha iyi hale gelmiştir. Mekanik özelliklerde de bir miktar düşüş gözlenmiştir. Ancak bu azalmanın çok ciddi düzeylerde olmadığı gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçlar; alçı esaslı karışımlarda mikronize cam küreciklerinin eklenmesiyle su emme direnci daha yüksek, kabul edilebilir mekanik özelliklere sahip ve ısı yalıtım özellikleri geliştirilmiş yeni alçı esaslı ürünler üretilebileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Alçı, fiziksel özellikler, mekanik özellikler, mikronize cam kürecikleri, ısı iletim katsayısı

ABSTRACT

In this study, the effects of glass microspheres on the engineering properties of gypsum-based mixtures were investigated. Glass microspheres were used at the rate of 10%, 20%, and 30% by weight instead of gypsum. By producing 40x40x160 mm samples, the hardened unit weight, ultrasonic pulse velocity, water absorption, capillary water absorption, and apparent porosity values were measured. Besides, the thermal conductivity coefficients were measured by producing samples with dimensions of 140x160x20 mm. As mechanical properties, compressive and bending strength tests were applied. The use of glass microspheres increased the unit weight values. On the other hand, ultrasonic pulse velocity values decreased. The apparent porosity value was also reduced. Accordingly, decreases were observed in water absorption and capillary water absorption values. The thermal conductivity coefficient values gave better results with the use of glass microspheres than the reference plaster sample. The use of glass microspheres also caused a slight decrease in the mechanical properties. However, it has been observed that this decrease is not very significant. The results show that by evaluating glass microspheres, new gypsum-based products with higher water absorption resistance, acceptable mechanical properties, and improved thermal insulation properties can be produced.

Keywords: Gypsum, physical properties, mechanical properties, micronized glass spheres, thermal conductivity

GİRİŞ

Alçı bilinen en eski bağlayıcılardandır. Alçı kullanımının tarihi milattan önce 6000’li yıllara kadar dayanmaktadır. Tarih boyunca eski yapılarda, mabetlerde ve anıtlarda sıklıkla alçı kullanımına rastlanılmaktadır (Cerulli et al., 2003). Günümüzde de alçı kullanımı oldukça yaygındır. Bunun en temel nedenleri arasında alçının ucuz, yapı fiziği açısından sağlıklı, çevre dostu, uygulanması kolay, yangın dayanımı yüksek ve enerji korunumuna yardımcı bir malzeme olması bulunmaktadır (Iucolano et al., 2015; Li et al., 2003; Zhao et al., 2012). Bununla birlikte alçı esaslı malzemelerin iyi bir ısı ve ses yalıtım malzemesi olduğu bilinmektedir (Gencel et al., 2016). Priz süresi oldukça kısadır ve çimentonun aksine kür gerektirmez ve rötre yapmaz (Karni & Karni, 1995; Lushnikova & Dvorkin, 2016). Son yıllarda alçı kompozitler üzerine yapılan çalışmalar hızla artmaktadır. Bu çalışmaların bir kısmı alçının mekanik özelliklerinin iyileştirilebilmesi için lif kullanımı üzerinedir. Literatürde kenevir (Iucolano et al., 2018; Zak et al., 2016), kendir (Iucolano et al., 2015), arpa ve buğday sapları (Belayachi et al., 2016), palmye lifleri (Braieq et al., 2017) gibi doğal lifler ve karbon (Chung & Zheng, 1989), polipropilen (Durgun, 2020; Nguyen et al., 2019; Westgate et al., 2018) gibi yapay lifler kullanıldığı görülmektedir. Aynı zamanda alçı yerine pomza (Durgun, 2020; Karaipekli & Sari, 2016), soğan kabuğu, fıstık kabuğu, perlit, barit (Binici & Aksogan, 2017), vermikülit (Gencel et al., 2014), kiremit tozları (Durgun, 2021) gibi bazı katkıların kullanımının alçı esaslı malzemelerin özelliklerine yaptığı etkiler de incelenmiştir.

Son dönemde yapı malzemelerinin üretiminde kullanımı araştırılan bir başka mineral katkı da cam tozlarıdır. 2018 yılı verilerine göre Amerika Birleşik Devletleri’nde (ABD) 12,3 milyon ton cam ambalaj atığı oluşmuştur. Bu değer toplam kentsel katı atıkların %4,2’sine karşılık gelmektedir. Oluşan bu atıkları %31,3’ü tekrar geri dönüştürülebilmiştir. Buna rağmen 7,6 milyon ton cam atık katı atık sahalarına gömülmüş ve bu değer katı atık sahalarını işgal eden atıkların yaklaşık %4,8’ini oluşturmaktadır (United States Environmental Protection Agency, 2018). Dünya genelinde birçok ülkenin ABD’nin sahip olduğu altyapı ve imkanlara sahip olmadığı düşünüldüğünde geri dönüştürülemeyen ve doğada atık olarak kalan cam miktarının azımsanamayacak bir miktar olduğu görülmektedir. Camın temel yapısını amorf silika oluşturmaktadır. Bu bakımdan çok ince öğütüldüğünde çimento esaslı ürünlerin yapısında puzolanik etki göstereceği tahmin edilmiştir (Carsana et al., 2014). Bu beklenti çimentolu sistemlerde cam tozlarının kullanımı üzerine yapılan çalışma sayısını artırmıştır. Bu çalışmalardan bir kısmı cam tozunun çimento ikamesi olarak çimentolu sistemlerde kullanılması üzerine yürütülmüştür (Adesina & Das, 2020; Arivalagan & Sethuraman, 2021; Chu et al., 2022; Du et al., 2021). Bir kısım araştırmalar ise geopolimer hammaddesi olarak kullanımını incelemişlerdir (Liang et al., 2021).

Çimentolu sistemlerde cam tozu kullanımı üzerine yapılan araştırmalardan bir kısmı ise cam tozu kullanımının yüksek sıcaklık performansı, ısı iletkenlik katsayısı ve özgül ısı gibi değerleri üzerine etkileri incelenmiştir. Pan vd. (2021) %5, %10 ve %20 oranlarında cam tozu kullandığı çalışmada üretilen hamur karışımlarının termal iletkenlik katsayılarının, cam tozu miktarının artması ile azaldığı gözlemlenmiştir. Aynı zamanda özgül ısı değerlerinde de cam tozu oranının artışına bağlı olarak azalma görülmüştür (Pan et al., 2017). Jiang vd. (2022), atık cam tozlarının %10, %20 ve %30 oranlarında kullanıldığı çimento hamurlarının yüksek sıcaklık dirençlerini incelemişlerdir. Örnekler 800 °C ve 1000 °C’lik sıcaklıklara maruz bırakıldığında her üç kullanım oranında da referans örneğine göre yüksek artık dayanım değerleri verdiği rapor edilmiştir. Cam tozu kullanımının artışının artık dayanım miktarını düşürdüğünü gözlemlenmiştir (Jiang et al., 2022). Durgun ve Sevinç (2019), %10, %20 ve %30 oranlarında atık cam tozu kullanarak ürettikleri betonların 200, 400, 600, 800 ve 1000 °C sıcaklıklara maruz kaldıktan sonraki performanslarını incelenmiştir. Sonuç olarak %10 oranında cam tozu kullanımının 200, 400, 600 °C gibi farklı sıcaklıklarda referans örneğine göre daha iyi artık dayanımlar verdiği rapor edilmiştir (Durgun & Sevinç, 2019).

Bu çalışmada alçı esaslı karışımlarda %10, %20 ve %30 oranlarında mikronize cam kürecikleri kullanılmıştır. Kullanılan mikronize cam küreciklerin, üretilen malzemelerin sertleşmiş birim ağırlık, ultrasonik ses geçiş hızı, su emme, kılcal su emme ve görünen porozite gibi özelliklerine etkileri incelenmiştir. Aynı zamanda mekanik özelliklere etkilerinin anlaşılabilmesi için basınç dayanımı ve üç nokta eğilme dayanımı testleri uygulanmıştır. Bununla birlikte cam küreciklerinin üretilen alçı örneklerin termal özelliklerine etkilerinin incelenmesi için ısı iletim katsayıları ölçülmüştür. Çalışma kapsamında mikronize boyutta cam küreciklerinin değerlendirilmesiyle termal özellikleri geliştirilmiş alçı esaslı karışımların üretimi hedeflenmiştir.

MATERYAL VE METOT

Malzemeler

Çalışmada TS EN 13279 standardına uygun üretilmiş, ticari ürün olan kartonpiyer alçısı kullanılmıştır. Kullanılan alçının firma tarafından belirtilen özellikleri Tablo 1’de verildiği gibidir.

Tablo 1. Kullanılan Alçının Teknik Özellikleri

Özellik	Değer
Priz başlangıcı (dakika)	> 8
Priz bitişi (dakika)	≈ 30
Minimum basınç dayanımı (40x40 mm) (MPa)	10
Minimum eğilme dayanımı (40x40x160 mm) (MPa)	4,5
200 µm altı tane (min)	%99,5
100 µm altı tane (min)	%95,0
Gevşek birim hacim ağırlık (g/cm ³)	0,75 – 0,80
Kuru birim hacim ağırlık (g/cm ³)	1,05 – 1,10
Üretilen alçının birim ağırlığı (g/cm ³)	1,254

Mikronize cam kürecik olarak karayollarında yol işaretleme malzemesi olarak kullanılan hazır ticari ürün kullanılmıştır (Şekil 1). Mikronize cam küreciklerin özellikleri ve tane büyüklüğü dağılımı TS EN 1423’e uygundur. Mikronize cam küreciklerin tane dağılımı Tablo 2’de verildiği gibidir. Kullanılan cam küreciklerinin yoğunluğu 2,60 g/cm³’tür. Tablo 3, kullanılan alçı ve cam küreciklerin kimyasal analiz sonuçlarını göstermektedir. Çalışmada karışım suyu olarak şehir şebeke suyu kullanılmıştır.



Şekil 1. Mikronize Cam Kürecikler

Tablo 2. Mikronize Cam Küreciklerin Elek Analizi

Elek Aralığı (µm)	Elekten geçen (%)
850	100
710	95
600	79
425	47
300	20
180	2

Tablo 3. Mikronize Cam Küreciklerin ve Alçının Kimyasal Analizi

Bileşen	Cam Kürecik	Alçı
SiO ₂	73.82	4,84
Al ₂ O ₃	0.67	0,56
Fe ₂ O ₃	0.18	0,54
CaO	8.89	40,66
MgO	4.96	0,61
SO ₃	0.19	51,34
Na ₂ O+K ₂ O	12.84	0,41

Metot

Alçı örneklerinin üretilmesinde mikronize cam kürecikleri %10, %20 ve %30 oranlarında alçı ikame malzemesi olarak kullanılmıştır. Üretilen örneklere ait karışım oranları Tablo 4’te verildiği gibidir.

Tablo 4. Karışım Oranları

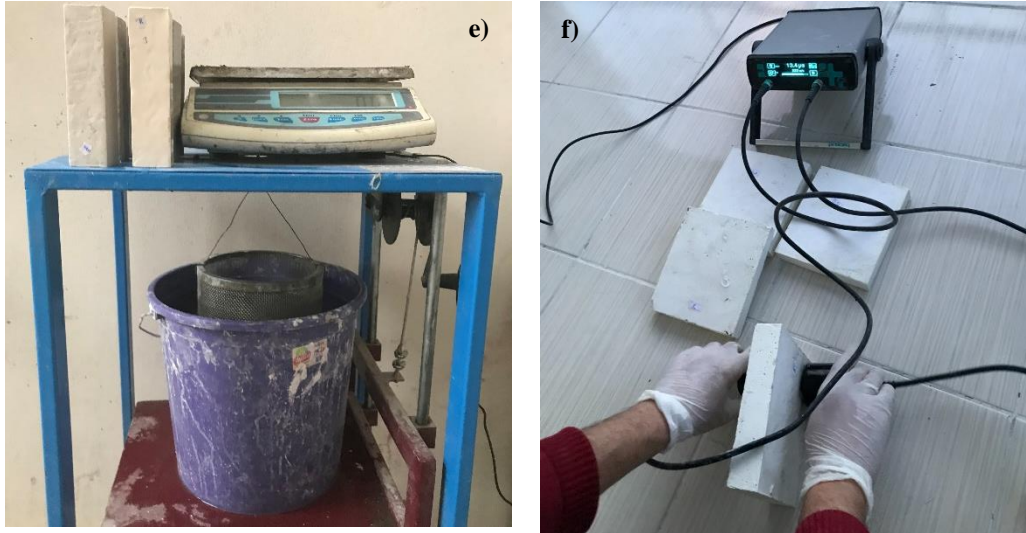
Numune Kodu	Alçı (g)	Su (g)	Cam Kürecik (g)	Yayılma Çapı (mm)
R	1200	600	-	16.7
G10	1080	540	120	17.2
G20	960	480	240	17.6
G30	840	420	360	17.8

Hazırlanan karışımlar laboratuvar tipi çimento mikserinde önce 30 s kuru olarak karıştırılmış daha sonra su ilavesi ile 120 s daha karıştırılmıştır. Elde edilen taze karışımların kıvamları yayılma tablası testi (TS EN 1015-3) uygulanarak ölçülmüş ve 16-18 mm yayılma çapı elde edilecek biçimde su oranı kullanılmıştır. Hazırlanan taze karışımlar 40x40x160 mm prizmatik ve 120x160x40 mm plak biçimli kalıplara yerleştirilmiştir. Vibrasyon uygulanan taze karışımlar 24 saat süre ile kalıpta bırakılmış daha sonra kalıptan alınmıştır. Laboratuvar ortamında 7 gün, %65 nem, 23±2 °C’de bekletilen örneklere Tablo 5’te belirtilen testler uygulanmıştır. Şekil 2’de deneylerden görseller verilmiştir.

Tablo 5. Sertleşmiş Örneklere Uygulanan Testler

Deney	İlgili Standart
Sertleşmiş Birim Ağırlık	TS EN 1015-10
Ultrasonik Ses Geçiş Hızı	ASTM C 597
Atmosferik Su Emme	ASTM C 20
Kılcal Su Emme	TS EN 1015-18
Görünür Porozite	ASTM C 20
Isıl İletkenlik Katsayısı Tayini	ASTM C 1113
Üç Nokta Eğilme Dayanımı Testi	TS EN 1015-11
Tek Eksenli Basınç Dayanımı	TS EN 1015-11

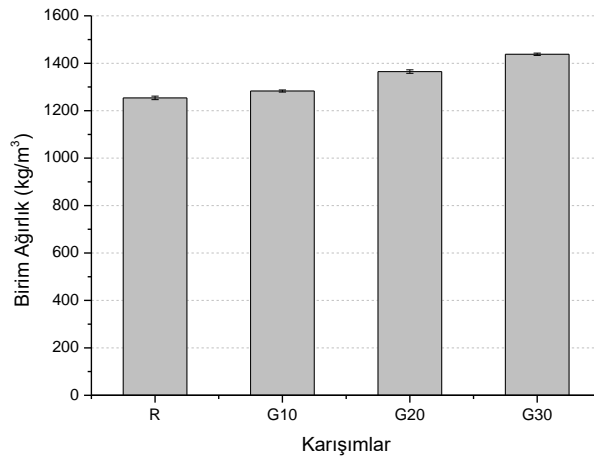




Şekil 2. Deneysel Çalışmadan Görüntüler **a.** Üretilen Örnekler **b.** Üç Noktalı Eğilme Deneyi **c.** Tek Eksenli Basınç Dayanımı Tayini **d.** Isıl İletkenlik Katsayısı Tayini **e.** Görünür Porozite Tayini **f.** Ultrasonik Ses Geçiş Hızı Tayini

BULGULAR VE TARTIŞMA

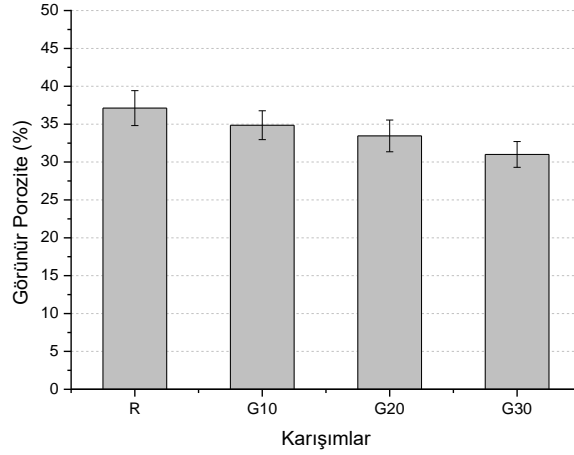
Örneklerin sertleşmiş birim ağırlık değerleri Şekil 3’te verilmiştir.



Şekil 3. Örneklerin Sertleşmiş Birim Ağırlık Değerleri

Referans alçı örneğinin birim ağırlığı 1254 kg/m³'tür. Cam küreciklerinin kullanımı bu değeri bir miktar yükseltmiştir. Cam kürecik miktarındaki artışla orantılı olarak birim ağırlık değerleri artmıştır. En yüksek değer 1438 kg/m³ olarak %30 cam küreciği kullanılan karışımdan elde edilmiştir. Bu durum mikronize cam küreciklerinin birim ağırlığının alçının birim ağırlığından daha yüksek olması ile açıklanabilir. Aynı zamanda mikronize cam kürecik kullanımının alçının bünyesindeki boşluklarda dolgu etkisi yaptığı düşünülmektedir.

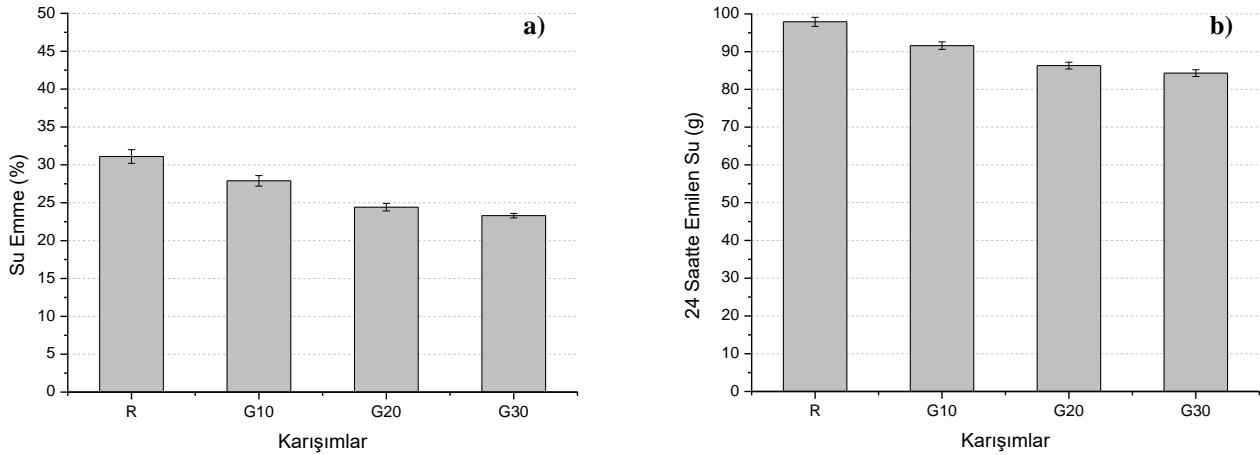
Örneklerin görünür porozite değerleri Şekil 4’te verildiği gibidir.



Şekil 4. Örneklerin Görünür Porozite Değerleri

Örneklerin görünür porozite değerleri cam kürecik kullanımı ile azalmıştır. Referans örneğinin porozite değeri %37,12 olarak hesaplanmıştır. Bu değer %30 cam kürecik kullanımı ile %31'e kadar gerilemiştir. Bunun nedeni kullanılan cam küreciklerin alçı esaslı karışımların bünyesinde bulunan boşlukları doldurarak boşluk yapısını azaltmasından ileri geldiği düşünülmektedir.

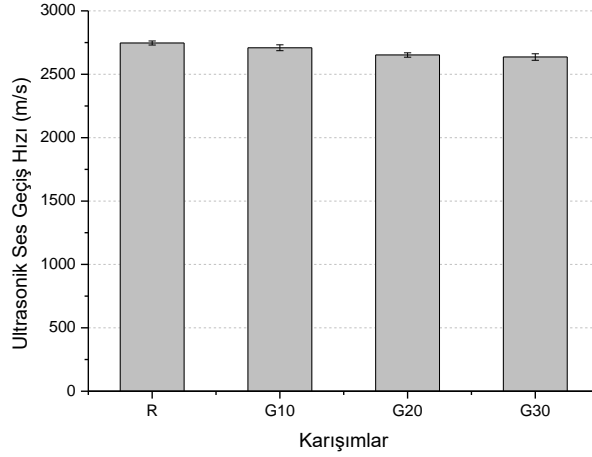
Şekil 5a, karışımların atmosferik su emme değerlerini, Şekil 5b ise kılcal su emme değerlerini göstermektedir.



Şekil 6. Örneklerin a. Su Emme Değerleri b. Kılcal Su Emme Değerleri

Referans örneğinin su emme değeri %31,11 olarak bulunmuştur. Tıpkı porozitede meydana gelen azalma gibi, cam kürecik katkısının kullanılması ve cam kürecik miktarındaki artış su emme değerlerini azaltmıştır. %10 oranında cam kürecik kullanımı su emme değerini %27,89'a düşürürken en düşük su emme oranı %23,30 ile G30 örneğinden elde edilmiştir. Kılcal yolla su emilimi incelendiğinde benzer bir eğilim görülmektedir. Referans örneği 24 saatlik kılcal su emme testi sonunda 97,9 g su emmiştir. Emilen su miktarı cam kürecik kullanımı ile azalmıştır. En düşük su emme değeri 84,3 g ile G30 örneğinden elde edilmiştir. Şekil 6'da verilen her iki durumun cam kürecik kullanımının porozite üzerinde azaltıcı bir etki göstermesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Aynı zamanda cam küreciklerin su emme değerinin düşük olması da sonuçları olumlu etkilemiştir. Davraz vd. çimento esaslı hafif sıva üretimi için cam kürecik kullanmıştır. Yapılan çalışmada cam kürecik kullanımı ile örneklerin kapiler yolla su emmesinin azaldığı gözlemlenmiştir. Bu durum cam kürecik kullanımı ile kılcal kanalların tıkanmasına bağlanmıştır (Davraz et al., 2020).

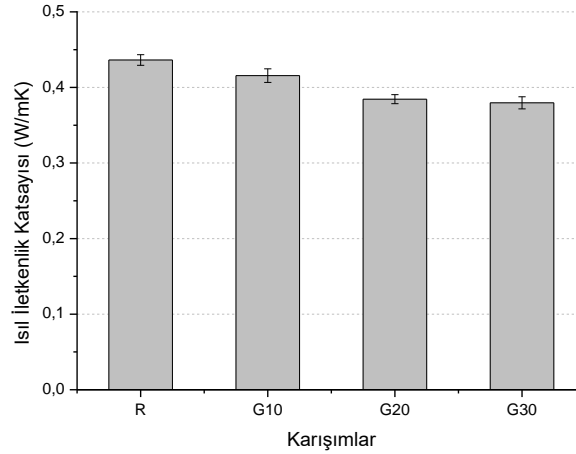
Şekil 7, örneklerin ultrasonik ses geçiş hızı değerlerini göstermektedir.



Şekil 7. Örneklerin Ultrasonik Ses Geçiş Hızı Değerleri

Örneklerin ultrasonik ses geçiş hızları 2636 m/s ve 2747 m/s arasında değişmektedir. En yüksek ultrasonik ses geçiş hızı değeri referans alçı örneğinden elde edilmiştir. En düşük değer ise G30 örneğinden elde edilmiştir. Ultrasonik ses geçiş hızı ile malzeme iç yapısındaki boşlukluluk arasında bir ilişki olduğu bilinmektedir. Malzemenin içerisinde bulunan hava dolu boşluklar ve çatlaklar ses dalgasının bünye içerisinde hareketini yavaşlatmaktadır (Concu & Trulli, 2018). Buna göre genel beklenti porozite değerlerinde meydana gelen azalmanın, ultrasonik ses geçiş hızlarında yükselmeye neden olması şeklindedir. Ancak Şekil 7’de cam kürecik kullanımının ultrasonik ses geçiş hızını hafifçe azalttığı görülmektedir. Bu durum genel beklentinin aksine bir durumdur. Ancak oluşan azalmanın çok belirgin olmadığı, ultrasonik ses geçiş hızının referansa kıyasla en düşük olduğu G30 örneğinde bile meydana gelen düşüşün mertebesi sadece %4’tür. Bu nedenle ortaya çıkan sonucun ciddi bir farklılık meydana getirmediğini belirtmek gerekir.

Şekil 8, örneklerin ısı iletim katsayılarını göstermektedir.

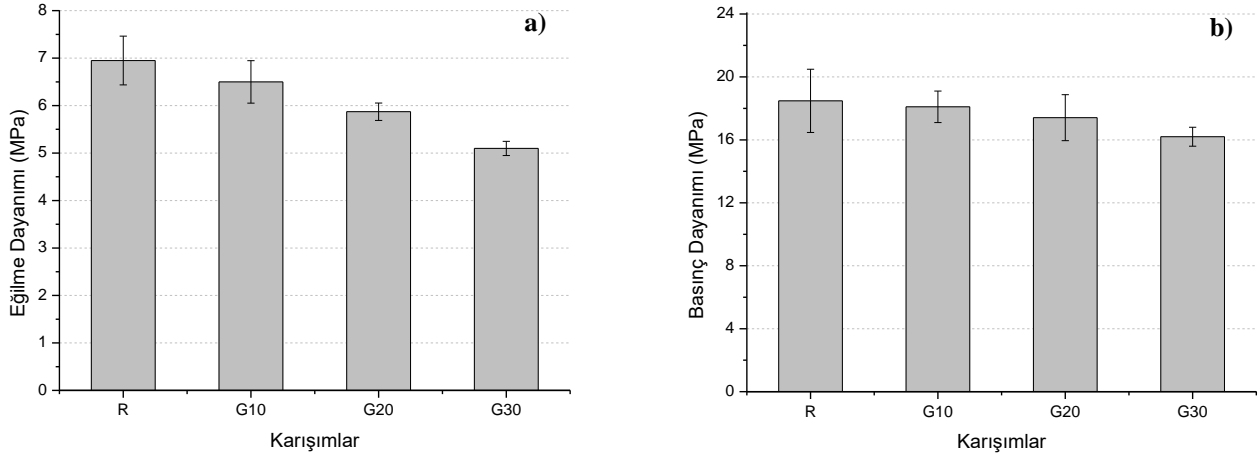


Şekil 8. Örneklerin Isıl İletkenlik Katsayıları

Örneklerin ısı iletim katsayıları 0,380 W/mK ve 0,436 W/mK arasında değişmektedir. En yüksek ısı iletim katsayısı referans örneğinden elde edilmiştir. Cam kürecik kullanımı ısı iletkenlik katsayısını düşürmüştür. Kullanılan cam kürecik miktarındaki artış, ısı iletkenlik katsayılarında azalmaya neden olmuştur. %10 oranında cam kürecik kullanılması ısı iletim katsayısını %4,75 oranında azaltırken %30 oranında cam kürecik kullanımı %13 oranında azaltmıştır. Malzemelerin ısı iletim katsayılarını etkileyen en önemli parametrelerden biri o malzemenin boşluk yapısıdır. Hatta son yıllarda ısı yalıtım performansı geliştirmek amacıyla açık boşluk yapısına sahip bir çok yeni ürün geliştirilmiştir (Skibinski et al., 2019). Ancak bu çalışmada porozite ile ısı iletkenlik katsayısı arasında beklenenin aksine bir ilişki gözlenmiştir. Porozite değerleri cam kürecik katkısı ile düşerken, ısı iletkenlik katsayısı da aynı şekilde düşmektedir. Bununla birlikte cam küreciklerin ısı iletkenliği düşürdüğüne dair literatürde de bazı çalışmalar bulunmaktadır. Chung, betonda içi boş cam kürecik kullanımının ısı iletkenlik katsayısını düşürdüğünü rapor etmiştir (Chung et al., 2016). Fındık, harçlarda %10 ve %20 oranlarında cam tozu kullanımı ile ısı iletim katsayısını %1 ve %4 oranında azaltmanın mümkün olduğunu rapor etmiştir (Fındık, 2007). Bu durumun camın yapısal

özelliklerinden ileri geldiği düşünülmektedir. Cam her ne kadar makro ölçekte içerisinde sıkışmış hava bulundurmasa da, yapısal olarak kristal bir düzene sahip değildir. Mikro yapısının amorf ve düzensiz olması, kristal yapıya sahip katılara göre çok daha iyi bir ısı yalıtım malzemesi olmasını sağlamaktadır (Kittel, 1949; Salama et al., 1987).

Şekil 9, örneklerin eğilme ve basınç dayanımı değerlerini göstermektedir.



Şekil 9. Örnekleri a. Eğilme Dayanımı Değerleri b. Basınç Dayanımı Değerleri

Mikronize cam küreciği kullanımı hem eğilme hem de basınç dayanımı sonuçlarını olumsuz etkilemiştir. Örneklerin eğilme dayanımları 5,1 – 6,9 MPa arasında değişirken, basınç dayanımı değerleri 16,2 – 18,5 MPa arasında değişmektedir. En yüksek dayanımlar referans örneğinden elde edilmiştir. En düşük dayanımlar ise %30 cam kürecik kullanılan örneklerden elde edilmiştir. Cam tozunun %10, %20 ve %30 oranında kullanılması eğilme dayanımında sırasıyla, %5,8, %14,5 ve %26,1 azalmaya, basınç dayanımında ise sırasıyla %2,2, %5,9 ve %12,4 azalmaya neden olmuştur. Davraz vd. yaptığı çalışmada cam küre kullanımı ile üretilen köpük sıva karışımlarının bazılarında basınç dayanımı değerlerinin referans örneğin üzerine çıktığını gözlemlemiştir (Davraz et al., 2020). Ancak bu çalışmada üretilen üründe bağlayıcı malzeme olarak çimento kullanıldığı görülmektedir. Önceki çalışmalarda cam tozlarının ince öğütülmüş vaziyette kullanıldığında yeterli puzolanik etkiye sahip olduklarını ifade edilmektedir (Carsana et al., 2014). Çimento esaslı bir karışımda ince öğütülmüş cam kullanımı ile daha yüksek dayanım elde etmek, puzolanik etki sayesinde mümkün olabilir. Bu çalışmada ise alçı esaslı bir karışımda mikronize cam kürecik kullanılmıştır ve alçı ile ince öğütülmüş cam arasında bilinen bir reaksiyon bulunmamaktadır. Dolayısıyla bağlayıcı malzemeden yapılan ikame miktarının artması, hamur fazında azalmaya ve dayanımın düşmesine neden olmaktadır. Bir başka neden ise cam küreciklerin dış yüzeylerinin oldukça pürüzsüz olmasından ileri gelmektedir. Bu durumun cam kürecikler ile alçı matrisinin kenetlenmesini zayıflattığı düşünülmektedir. Aktürk vd. yaptıkları çalışmada cam kürecikleri harç karışımlarında agrega yerine kullanmışlar ve nitekim cam kürecik miktarının artışına bağlı olarak basınç dayanımlarında azalmalar gözlemlemişlerdir (Aktürk et al., 2020).

SONUÇLAR

Bu çalışmada alçı esaslı karışımlarda %10, %20 ve %30 oranlarında mikronize cam kürecikler, alçı ikamesi olarak kullanılmış ve üretilen örneklerin bazı fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir;

- Alçı esaslı karışımlarda cam kürecik kullanımının artışı, örneklerin sertleşmiş birim ağırlık değerlerini artırmıştır. Bu durumun kullanılan cam küreciklerin dolgu etkisi yapmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.
- Cam kürecik kullanımı porozite değerlerinde bir azalmaya neden olmuştur. Bu durum düşünülen dolgu etkisinin doğan bir sonucudur. Aynı zamanda boşluklarda meydana gelen azalma veya kılcal yolların tıkanmasına bağlı olarak su emme ve kılcal yolla su emme değerlerinde de bir azalma gözlenmiştir.
- Cam kürecik kullanımının ultrasonik ses geçiş hızı değerleri üzerinde belirgin bir etkisi görülmemiştir.
- Cam kürecik kullanımı ve kullanım oranının artışı örneklerin ısı iletkenlik katsayılarında azalmaya neden olmuştur. Bu durum her ne kadar porozite sonuçları ile ters düşse de, camın düzensiz ve amorf mikro yapısı göz önüne alındığında anlamlı olmaktadır.
- Cam kürecik kullanımı mekanik özellikleri olumsuz etkilemiştir. Hem basınç hem de eğilme dayanımı değerleri kullanılan cam kürecik miktarına bağlı olarak azalmıştır.

KAYNAKLAR

- Adesina, A., and Das, S. (2020). Influence of glass powder on the durability properties of engineered cementitious composites. *Construction and Building Materials*, 242, 118199. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118199>
- Aktürk, B., Dayı, M., ve Aruntaş, H. Y. (2020). Genleştirilmiş Cam Küre Agrega Katkılı Harçların Bazı Özelliklerinin İncelenmesi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 9(1). <https://doi.org/10.29130/dubited.729582>
- Arivalagan, S., and Sethuraman, V. (2021). Experimental study on the mechanical properties of concrete by partial replacement of glass powder as fine aggregate: An environmental friendly approach. *Materials Today: Proceedings*, 45, 6035–6041. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.09.722>
- Belayachi, N., Hoxha, D., and Slaimia, M. (2016). Impact of accelerated climatic aging on the behavior of gypsum plaster-straw material for building thermal insulation. *Construction and Building Materials*, 125, 912–918. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.08.120>
- Binici, H., and Aksogan, O. (2017). Insulation material production from onion skin and peanut shell fibres, fly ash, pumice, perlite, barite, cement and gypsum. *Materials Today Communications*, 10(112), 14–24. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2016.09.004>
- Braiek, A., Karkri, M., Adili, A., Ibos, L., and Ben Nasrallah, S. (2017). Estimation of the thermophysical properties of date palm fibers/gypsum composite for use as insulating materials in building. *Energy and Buildings*, 140, 268–279. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.02.001>
- Carsana, M., Frassoni, M., and Bertolini, L. (2014). Comparison of ground waste glass with other supplementary cementitious materials. *Cement and Concrete Composites*, 45, 39–45. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2013.09.005>
- Cerulli, T., Pistolesi, C., Maltese, C., and Salvioni, D. (2003). Durability of traditional plasters with respect to blast furnace slag-based plaster. *Cement and Concrete Research*, 33(9), 1375–1383. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(03\)00072-3](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(03)00072-3)
- Chu, S. H., Li, L., Shen, P. L., Lu, J. X., & Poon, C. S. (2022). Recycling of waste glass powder as paste replacement in green UHPFRC. *Construction and Building Materials*, 316, 125719. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125719>
- Chung, D. D. L., and Zheng, Q. J. (1989). Electronic properties of carbon fiber reinforced gypsum plaster. *Composites Science and Technology*, 36(1), 1–6. [https://doi.org/10.1016/0266-3538\(89\)90012-2](https://doi.org/10.1016/0266-3538(89)90012-2)
- Chung, S. Y., Han, T. S., Kim, S. Y., Kim, K. H. J., Youm K. S., and Lim J. H., (2016). Evaluation of effect of glass beads on thermal conductivity of insulation concrete using micro CT images and probability functions. *Cement and Concrete Composites*, 65, 150-162. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2015.10.011>
- Concu, G., and Trulli, N. (2018). Concrete Defects Sizing by Means of Ultrasonic Velocity Maps. *Buildings*, 8(12), 176. <https://doi.org/10.3390/buildings8120176>
- Davraz, M., Gökçe, Y., Koru, M., ve Akdağ, A. E. (2020). Çimento Esaslı Köpük Sıvanın Fiziksel, Mekanik ve Termal Özellikleri. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 8(1), 42–53. <https://doi.org/10.21923/jesd.567408>
- Du, Y., Yang, W., Ge, Y., Wang, S., and Liu, P. (2021). Thermal conductivity of cement paste containing waste glass powder, metakaolin and limestone filler as supplementary cementitious material. *Journal of Cleaner Production*, 287, 125018. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125018>
- Durgun, M. Y. (2020). Effect of wetting-drying cycles on gypsum plasters containing ground basaltic pumice and polypropylene fibers. *Journal of Building Engineering*, 32, 101801. <https://doi.org/10.1016/j.job.2020.101801>
- Durgun, M. Y. (2021). Experimental research on gypsum-based mixtures containing recycled roofing tile powder at ambient and high temperatures. *Construction and Building Materials*, 285, 122956. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122956>

- Durgun, M. Y., and Sevinç, A. H. (2019). High temperature resistance of concretes with GGBFS, waste glass powder, and colemanite ore wastes after different cooling conditions. *Construction and Building Materials*, 196. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.11.087>
- Fındık, S. B. (2007). Yüksek Sıcaklık Etkisinde Kalan Mineral Katkılı ve Genleşmiş Perlit Agregalı Harçların Bazı Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Erzurum 98 s.
- Gencil, O., Del Coz Diaz, J. J., Sutcu, M., Koksall, F., Álvarez Rabanal, F. P., and Martínez-Barrera, G. (2016). A novel lightweight gypsum composite with diatomite and polypropylene fibers. *Construction and Building Materials*, 113, 732–740. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.03.125>
- Gencil, O., Del Coz Diaz, J. J., Sutcu, M., Koksall, F., Alvarez Rabanal, F. P., Martinez-Barrera, G., and Brostow, W. (2014). Properties of gypsum composites containing vermiculite and polypropylene fibers: Numerical and experimental results. *Energy and Buildings*, 70, 135–144. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.11.047>
- Iucolano, F., Caputo, D., Leboffe, F., and Liguori, B. (2015). Mechanical behavior of plaster reinforced with abaca fibers. *Construction and Building Materials*, 99, 184–191. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.09.020>
- Iucolano, F., Liguori, B., Aprea, P., and Caputo, D. (2018). Thermo-mechanical behaviour of hemp fibers-reinforced gypsum plasters. *Construction and Building Materials*, 185, 256–263. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.07.036>
- Jiang, X., Xiao, R., Bai, Y., Huang, B., and Ma, Y. (2022). Influence of waste glass powder as a supplementary cementitious material (SCM) on physical and mechanical properties of cement paste under high temperatures. *Journal of Cleaner Production*, 340, 130778. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130778>
- Karaipekli, A., and Sari, A. (2016). Development and thermal performance of pumice/organic PCM/gypsum composite plasters for thermal energy storage in buildings. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 149, 19–28. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2015.12.034>
- Karni, J., and Karni, E. (1995). Gypsum in construction: origin and properties. *Materials and Structures*, 28(2), 92–100. <https://doi.org/10.1007/BF02473176>
- Kittel, C. (1949). Interpretation of the Thermal Conductivity of Glasses. *Physical Review*, 75(6), 972–974. <https://doi.org/10.1103/PhysRev.75.972>
- Li, G., Yu, Y., Zhao, Z., Li, J., and Li, C. (2003). Properties study of cotton stalk fiber/gypsum composite. *Cement and Concrete Research*, 33(1), 43–46. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(02\)00915-8](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(02)00915-8)
- Liang, G., Li, H., Zhu, H., Liu, T., Chen, Q., and Guo, H. (2021). Reuse of waste glass powder in alkali-activated metakaolin/fly ash pastes: Physical properties, reaction kinetics and microstructure. *Resources, Conservation and Recycling*, 173, 105721. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105721>
- Lushnikova, N., and Dvorkin, L. (2016). Sustainability of gypsum products as a construction material. In *Sustainability of Construction Materials* (pp. 643–681). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100370-1.00025-1>
- Nguyen, H., Kinnunen, P., Carvelli, V., Mastali, M., and Illikainen, M. (2019). Strain hardening polypropylene fiber reinforced composite from hydrated ladle slag and gypsum. *Composites Part B: Engineering*, 158, 328–338. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.09.056>
- Pan, Z., Tao, Z., Murphy, T., and Wuhler, R. (2017). High temperature performance of mortars containing fine glass powders. *Journal of Cleaner Production*, 162, 16–26. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.003>
- Salama, S. N., Salman, S. M., and Gharib, S. (1987). Thermal conductivity of some silicate glasses and their respective crystalline products. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 93(1), 203–214. [https://doi.org/10.1016/S0022-3093\(87\)80039-X](https://doi.org/10.1016/S0022-3093(87)80039-X)

Skibinski, J., Cwieka, K., Haj Ibrahim, S., and Wejrzanowski, T. (2019). Influence of Pore Size Variation on Thermal Conductivity of Open-Porous Foams. *Materials*, 12(12), 2017. <https://doi.org/10.3390/ma12122017>

Waste and Recycling Report (2018). United States Environmental Protection Agency.

Westgate, P., Paine, K., and Ball, R. J. (2018). Physical and mechanical properties of plasters incorporating aerogel granules and polypropylene monofilament fibres. *Construction and Building Materials*, 158, 472–480. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.09.177>

Zak, P., Ashour, T., Korjenic, A., Korjenic, S., and Wu, W. (2016). The influence of natural reinforcement fibers, gypsum and cement on compressive strength of earth bricks materials. *Construction and Building Materials*, 106, 179–188. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.12.031>

Zhao, F. Q., Liu, H. J., Hao, L. X., and Li, Q. (2012). Water resistant block from desulfurization gypsum. *Construction and Building Materials*, 27(1), 531–533. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.07.011>



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 12.07.2022
Kabul Tarihi : 14.09.2022

Received Date : 12.07.2022
Accepted Date : 14.09.2022

İŞLEVSEL DERECELENDİRİLMİŞ DAİRESEL BİR KANATÇIĞIN TERMOELASTİK DAVRANIŞININ SAYISAL İNCELENMESİ

NUMERICAL INVESTIGATION OF THERMOELASTIC BEHAVIOR OF A FUNCTIONALLY GRADED ANNULAR FIN

*Ali YILDIRIM*¹ (ORCID: 0000-0001-5894-8986)
Mehmet EKER^{2*} (ORCID: 0000-0002-6785-1710)
*Durmuş YARIMPABUÇ*³ (ORCID: 0000-0002-8763-1125)
*Volkan ARIKAN*⁴ (ORCID: 0000-0002-6102-6584)
*Kerimcan ÇELEBİ*⁵ (ORCID: 0000-0001-6294-0872)

¹ Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Osmaniye Meslek Yüksekokulu, Osmaniye, Türkiye,

² Tarsus Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Mersin, Türkiye,

³ Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Matematik Bölümü, Osmaniye, Türkiye,

⁴ Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Osmaniye, Türkiye,

⁵ Çukurova Üniversitesi, Ceyhan Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Adana, Türkiye.

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Mehmet EKER, mehmeteker@tarsus.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada, mekanik ve ısı özellikleri radyal eksen boyunca üstel bir fonksiyonla değişen, aksiyel simetrik, ince, dikdörtgen profilli dairesel bir kanatçıktaki sıcaklık dağılımı ve sıcaklık farklarından dolayı oluşan ısı gerilmeleri, pseudospectral Chebyshev ve sonlu elemanlar yöntemleri ile ele alınmıştır. Chebyshev yöntemin doğruluğu literatürde mevcut analitik çözümle karşılaştırılarak test edilmiştir. Kanatçık, $ZrO_2/Ti - 6Al - 4V$ malzeme çifti ile derecelendirilmiş, belirlenen sınır koşullarında sıcaklık dağılımı ve ısı gerilmeleri elde edilmiştir. Problem, pseudospektral Chebyshev ve sonlu elemanlar yöntemleri ile ayrı ayrı çözülmüş ve elde edilen sonuçlar grafiksel olarak karşılaştırılmıştır. Pseudospektral Chebyshev yönteminin sonlu elemanlar yöntemine göre daha az nokta sayısı ile yakın sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Dairesel kanatçık, ısı gerilme, işlevsel derecelendirilmiş malzeme, pseudospectral Chebyshev yöntemi, sonlu elemanlar yöntemi

ABSTRACT

In this study, temperature distribution and thermal stresses due to temperature differences in an axisymmetric, thin, rectangular profile circular fin, whose mechanical and thermal properties are changed with an exponential function along the radial axis, are discussed by pseudospectral Chebyshev and finite element methods. The accuracy of the Chebyshev method is tested by comparing it with the analytical benchmark solution available in the literature. The fin is graded with $ZrO_2/Ti - 6Al - 4V$ material pair, temperature distribution and thermal stresses are obtained under the particular boundary conditions. The problem is solved separately by pseudospectral Chebyshev and finite element methods and the results are compared graphically. It has been observed that the pseudospectral Chebyshev method gives very close results with finite element results despite using less number of points.

Keywords: Annular fin, thermal stresses, functionally graded materials, pseudospectral Chebyshev method, finite element method

ToCite: YILDIRIM, A., EKER, M., YARIMPABUÇ, D., ARIKAN, V., ÇELEBİ, K., (2022). İŞLEVSEL DERECELENDİRİLMİŞ DAİRESEL BİR KANATÇIĞIN TERMOELASTİK DAVRANIŞININ SAYISAL İNCELENMESİ. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 25(4), 602-614.

GİRİŞ

Mühendislik uygulamalarında, aktarılan ısı miktarını artırmak için tasarlanan genişletilmiş yüzeylere kanatçık adı verilir. Endüstriyel uygulamadaki ihtiyaca göre kanatçıklar; uzunlamasına, dairesel, düz, iğne tipi gibi farklı kesitlere ve üçgen, konveks, konkav, dikdörtgen gibi farklı profillere sahip olabilmektedirler. Kullanışlı bir yapıya sahip olması, ısıl başarımının iyi olması ve birçok kanatçık profiline kıyasla üretim maliyetlerinin düşük olması sebebi ile kompresörlerde, ısı eşanjörü, içten yanmalı motorlarda vb. bazı uygulamalarda dairesel kanatçıklar sıklıkla tercih edilmektedir (Kraus et al., 2001).

Pekçok mühendislik probleminde olduğu gibi kanatçıklarda ısı aktarımı ile ilgili çözümler yapılırken bazı kabuller ve varsayımlar yapılır. Bu kabul ve varsayımlardan Gardner (Gardner, 1945) çalışmasında bahsetmiş, farklı türdeki kanatçıkların verimlerini bulmuştur. Literatürde, kanatçık verimi ve etkinliğinin incelenmesi, kanatçık boyutlarının ve profilinin optimizasyonu ile ilgili çalışmalara rastlamak mümkündür (Arslantürk, 2009; Aziz & Fang, 2010; Iborra & Campo, 2009; Kundu, 2017; Peng & Chen, 2011; Roy & Ghosal, 2017).

Isı aktarımı esnasında kanatçıkta meydana gelen sıcaklık farkları, ısıl genleşmelere, ısıl genleşmeler ise ısıl gerilmelerin oluşmasına sebebiyet vermektedir. Isıl gerilmeler malzemede yorulma, sürünme, çatlak oluşumu ve ilerlemesi gibi kanatçık ömrünü azaltan mekanik kusurlara yol açabilmektedir. Bu sebeple doğru kanatçık tasarımı ve uygun malzeme seçimi için ısıl gerilmelerin de belirlenmesi önemlidir (Wu, 1997). Literatürde homojen kanatçıklara ait ısı iletimi ve ısıl gerilme çalışmaları (Wu, 1997; Mallick et al., 2015; Wang, Liao ve Yang (2013) mevcut olsa da kanatçığın maruz kalacağı zorlanmaları, gerilmeleri en aza indirmek ve yapısal bütünlüğünü korumasına yönelik önerilen çözümlerden birisi de derecelendirilmiş malzeme kullanımudur. İşlevsel derecelendirilmiş malzemeler en az iki farklı malzemenin istenilen doğrultularda ve oranlarda ele alınan geometri üzerinde dağılımıyla oluşturulur. Genellikle seramik-metal bileşiminden oluşturulan işlevsel derecelendirilmiş (İD) malzeme fikri, 1984 yılında yüksek sıcaklığa dayanıklı ısıl bariyer elde etmek amacıyla Japon bilim insanları tarafından ortaya atılmıştır (Koizumi, 1997).

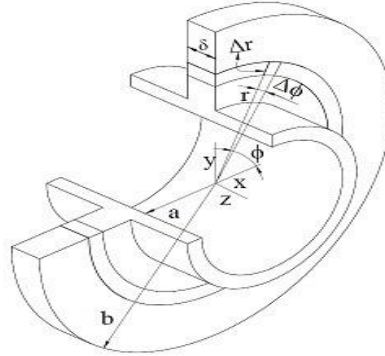
İD malzeme modelinin kullanıldığı kanatçıklarda sıcaklık dağılımı ve kanatçık verimi ile ilgili çalışmalar literatürde mevcuttur (Aziz & Rahman, 2009; Aziz, Torabi ve Zhang, 2013; Gaba, Tiwari ve Bhowmick, 2014, 2016; Khan ve Aziz, 2012; Lee et al., 2012). İşlevsel derecelendirilmiş malzemelerde termoelastik çalışmalar olmakla birlikte işlevsel derecelendirilmiş dairesel kanatçıklardaki ısıl gerilme analizi içeren çalışma sayısı nispeten azdır (Tütüncü & Temel, 2013).

Eksenel simetrik, kalınlığı çapına göre oldukça küçük, kuvvet kuralına göre derecelendirilmiş dairesel bir kanatçıktaki ısıl gerilmeler Yıldırım et al. tarafından hem kararlı (Yıldırım, Yarımabuç ve Çelebi, 2019a, 2019b), hem de geçici durum (Yıldırım, Yarımabuç ve Çelebi, 2020) için incelenmiştir. Poisson oranının sabit olduğu varsayımı ile kararlı durum (Yıldırım et al., 2019a) için analitik, geçici durum (Yıldırım, Yarımabuç ve Çelebi, 2020) için yarı analitik bir çözüm sunulmuştur. Aynı zamanda kararlı durumda Poisson oranında değişken olduğu durum (Yıldırım et al., 2019b), tamamlayıcı fonksiyonlar yöntemi kullanılarak sayısal olarak çözülmüştür. İD dairesel kanatçığın ısıl elastik davranışı, Ranjan et al. (Ranjan, Mallick ve Jana, 2019) tarafından sıcaklığa bağlı ısı transfer katsayısı ve iç ısı üretimi dikkate alınarak incelenmiştir. Kanatçıktaki ısıl gerilmelerin analitik değerlendirmesini, boyutsuz yarıçapın logaritmik ve kuvvet fonksiyonuna bağlı değişimlerine göre homotopi pertürbasyon yöntemi kullanılarak yapmışlardır. Yontar et al. (Yontar, Aydın ve Keleş, 2020) dairesel kanatçığın kararlı durum ısıl başarımını ısıl iletkenliğinin kuvvet fonksiyonu ve eksponansiyel radyal yönde değiştiği varsayımı ile incelemişlerdir. Elde ettikleri tek boyutlu değişken katsayılı diferansiyel denklemi tamamlayıcı fonksiyonlar yöntemi kullanılarak çözmüşlerdir.

Literatürde, kapalı form ve sayısal çözüm yöntemleri kullanılarak işlevsel derecelendirilmiş kanatçıkların sıcaklık ve gerilme dağılımlarını iyileştirmeyi amaçlayan çalışmalar yapıldığı görülmektedir. Bu çalışma, belirli bir geometri ve çalışma koşullarında, üstel fonksiyon ile derecelendirilmiş dairesel kanatçığın seçilen malzeme çifti (seramik-metal) için maruz kalacağı sıcaklık, radyal ve teğetsel gerilme dağılımlarını farklı çözüm yöntemleri ile incelemeyi amaçlamaktadır. Problem, pseudospektral Chebyshev ve paket program kullanarak sonlu elemanlar yöntemi ile çözülmüştür. Pseudospektral Chebyshev yöntemin yakınsaması, örgü nokta sayılarına göre test edilmiştir.

MATERYAL VE YÖNTEM

İşlevsel derecelendirilmiş, aksenal olarak simetrik, ince ve kalınlığı her yerde aynı olan Şekil 1'deki gibi dikdörtgen profilli dairesel bir kanatçık problemi ele alınmıştır. Isıl dengeye ulaştığı varsayılan kanatçıkta herhangi bir ısı üretimi ya da tüketimi olmadığı, çevre sıcaklığının sabit olduğu ve sıcaklığın değişmesi ile mekanik ve ısı özelliklerin değişmediği farz edilmiştir. Kanatçık kalınlığının çapına göre çok düşük olması nedeni ile kanatçık ucundaki ısı kaybı çok düşük olacaktır. Bu sebeple kanatçık uç kısmındaki ısı kaybı ihmal edilmiş ve uç kısmının izole edildiği düşünülmüştür. Kanatçık yüzeyi boyunca sadece taşınım ile ısı kaybı olduğu kabul edilmiş ve ışınlam ile ısı kaybı ihmal edilmiştir. Ayrıca kanatçık boyunca iç kuvvetlerin, yüzeylerde ise herhangi bir etkileşimin (traction-free) olmadığı varsayılmıştır.



Şekil 1. Dairesel Kanatçık

Isıl Gerilmeleri Tarif Eden Denklemler

Sabit kalınlıkta İD dairesel bir kanatçıktaki elastik modül, Poisson oranı, ısı iletkenlik ve lineer ısı genleşme katsayılarının radyal eksen boyunca üstel bir fonksiyona bağlı değiştiği kabul edilmiştir. Aksenal simetrik, ince dairesel bir kanatçıktaki sıcaklık-gerilme-gerinim ilişkisini ifade eden denklemler,

$$\sigma_r = \frac{E(r)}{1 - \nu^2(r)} [\varepsilon_r + \nu(r)\varepsilon_\phi - (1 + \nu(r))\alpha(r)T] \quad (1)$$

$$\sigma_\phi = \frac{E(r)}{1 - \nu^2(r)} [\varepsilon_\phi + \nu(r)\varepsilon_r - (1 + \nu(r))\alpha(r)T] \quad (2)$$

gerilme gerinim denge denklemi,

$$\frac{d\sigma_r}{dr} + \frac{\sigma_r - \sigma_\phi}{r} = 0 \quad (3)$$

gerinim – yer değiştirme ilişkileri,

$$\varepsilon_r = \frac{du}{dr}, \quad \varepsilon_\phi = \frac{u}{r} \quad (4)$$

ve sınır koşulları,

$$\sigma_r(a) = 0 \quad (5)$$

$$\sigma_r(b) = 0 \quad (6)$$

şeklindedir (Timoshenko & Goodier, 1970). Burada, a ve b kanatçık iç ve dış yarıçapı, r ve ϕ polar koordinatları, σ_r ve σ_ϕ radyal ve teğetsel gerilmeleri, ε_r ve ε_ϕ radyal ve teğetsel gerinimleri, radyal yönde değişen $E(r)$, $\alpha(r)$, $\nu(r)$ gibi malzeme özellikleri de kanatçık üzerinde herhangi bir noktadaki elastisite modülü, doğrusal ısı genleşme

katsayısı ve Poisson oranını ifade etmektedir. T , kanatçık üzerindeki sıcaklık, u ise radyal yer değiştirmeyi göstermektedir.

(1), (2) ve (4) numaralı denklemler, gerilme-gerinim denge denkleminde (3) yerine yazılırsa, yer değiştirme için ikinci dereceden homojen olmayan adi diferansiyel denklem aşağıdaki gibi elde edilir:

$$u'' + A_1(r)u' + A_2(r)\frac{u}{r} = A_3(r)T + A_4(r)T' \quad (7)$$

Yukarıdaki denklemde geçen $A_1(r)$, $A_2(r)$, $A_3(r)$ ve $A_4(r)$ fonksiyonları aşağıdaki ifadelerle eşittir:

$$A_1(r) = \frac{E'(r)}{E(r)} + \frac{(v^2(r))'}{1-v^2(r)} + \frac{1}{r}$$

$$A_2(r) = \left(\frac{E'(r)}{E(r)} + \frac{(v^2(r))'}{1-v^2(r)} \right) v(r) + v'(r) - \frac{1}{r}$$

$$A_3(r) = \left[\left(\frac{E'(r)}{E(r)} + \frac{(v^2(r))'}{1-v^2(r)} \right) (1+v(r)) + v'(r) \right] \alpha(r) + (1+v(r))\alpha'(r)$$

$$A_4(r) = (1+v(r))\alpha(r).$$

(1) numaralı gerilme-gerinim denklemi (5) ve (6) numaralı sınır şartlarında yerine yazılırsa yer değiştirmeye bağlı sınır koşulları aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\left[u' + v(r)\frac{u}{r} \right]_{r=a} = [(1+v(r))\alpha(r)T(r)]_{r=a} \quad (8)$$

$$\left[u' + v(r)\frac{u}{r} \right]_{r=b} = [(1+v(r))\alpha(r)T(r)]_{r=b} \quad (9)$$

Sıcaklık Dağılımını Tarif Eden Denklemler

Problemde, ısı transferinin iletim ve taşınım ile gerçekleştiği, iç ısı üretimi veya tüketiminin ihmal edildiği, çevre sıcaklığının sabit olduğu ve kanatçığın kararlı duruma ulaştığı varsayılmıştır. Bu koşullar altında aksenal simetrik, ince bir dairesel kanatçık için enerji denge denklemi ve sınır koşulları (Çengel, 2003),

$$\frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(k(r)r \frac{dT}{dr} \right) - \frac{2h}{\delta} (T - T_\infty) = 0 \quad (10)$$

$$T(a) = T_b \quad (11)$$

$$T'(b) = 0 \quad (12)$$

şeklinindedir. (10) numaralı enerji denge denklemini diferansiyel formda yazılırsa yeni enerji denge denklemi ve sınır şartları aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\frac{d^2 T_n}{dr^2} + B_1(r) \frac{dT_n}{dr} - B_2(r)T_n = 0 \quad (13)$$

$$T_n(a) = T_b - T_\infty \quad (14)$$

$$T_n'(b) = 0 \quad (15)$$

Bu diferansiyel denklemin değişken katsayıları $B_1(r)$, $B_2(r)$ ve T_n ifadeleri aşağıdaki gibi verilmiştir:

$$B_1(r) = \left(\frac{k'(r)}{k(r)} + \frac{1}{r} \right)$$

$$B_2(r) = \frac{2h}{\delta k(r)}$$

$$T_n = T - T_\infty$$

Burada, $k(r)$ kanatçık üzerinde herhangi bir noktadaki ısı iletkenliği, h ısı transfer katsayısını, δ kanatçık kalınlığını, T_∞ çevre sıcaklığını, T_b ise kanatçık taban sıcaklığını temsil etmektedir.

Üstel Derecelendirilmiş Kanatçık

Tabanı tamamen seramik, uç kısmı ise tamamen metal olacak şekilde derecelendirilen kanatçığın elastisite modülünün, Poisson oranının, lineer ısı genleşme katsayısının ve ısı iletkenliğinin radyal yönde üstel bir fonksiyonla değiştiği varsayılmış ve aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$k(r) = k_c e^{\gamma \left(\frac{r-a}{b-a} \right)} \quad (16)$$

$$E(r) = E_c e^{\beta \left(\frac{r-a}{b-a} \right)} \quad (17)$$

$$\alpha(r) = \alpha_c e^{\lambda \left(\frac{r-a}{b-a} \right)} \quad (18)$$

$$v(r) = v_c e^{\psi \left(\frac{r-a}{b-a} \right)} \quad (19)$$

Homojensizlik katsayıları ($\gamma, \beta, \lambda, \psi$) kanatçıkta kullanılan seramik ve metal malzemelerin özelliklerine göre aşağıdaki bağıntılar kullanılarak hesaplanabilir:

$$\gamma = \ln \left(\frac{k_m}{k_c} \right), \quad \beta = \ln \left(\frac{E_m}{E_c} \right), \quad \lambda = \ln \left(\frac{\alpha_m}{\alpha_c} \right), \quad \psi = \ln \left(\frac{v_m}{v_c} \right).$$

Pseudospectral Chebyshev Yöntemi (PCY)

Pseudospectral Chebyshev yöntemi, bir veya birden fazla bağımsız değişkene göre elde edilmiş diferansiyel denklemi doğrusal veya doğrusal olmayan denklem sistemine dönüştüren bir yöntemdir (Bazan, 2008; Gottlieb, 1981; Trefethen, 2000). Daha az sayıda nokta kullanarak yüksek hassasiyet elde etme esasına dayanan bu yöntemdeki örgü noktaları, sınıra yakın bölgelerde orta noktalara göre daha sık olacak şekilde seçilir. Bu tanıma uyan, yani sınır noktalarında daha fazla örgü noktalarına sahip olan Chebyshev noktaları

$$x_j = \cos \left(\frac{j\pi}{N} \right), \quad j = 0, 1, 2, 3 \dots N \quad (20)$$

kullanılarak birinci dereceden Chebyshev türevleme matrisi D hesaplanabilir. Elde edilen Chebyshev türevleme matrisi ile vektörün sonlu sayıda çarpımı ile vektörün türevleri $V'(x_j) = (DV)_j, V''(x_j) = (D^2V)_j \dots$ yüksek hassasiyetle elde edilir. Burada $V = [V_0 \dots V_n]^T$, x_j noktalarındaki vektör verileridir.

Chebyshev türevleme matrisinin hesaplama süreci ve m-dosyası Trefethen (Trefethen, 2000) tarafından verilmiş, bölüntüleme noktaları x_j sağdan sola numaralanmış ve $[-1,1]$ aralığında tanımlanmıştır. Matlab m-dosyasında küçük bir uyarılama ile herhangi bir aralıktaki D türevleme matrisi hesaplanabilir.

Sıcaklık Dağılımının PCY İle Elde Edilmesi

İşlevsel derecelendirilmiş bir kanatçıga ait enerji denge denkleminin (13) birinci ve ikinci mertebeden türevleri, Chebyshev türevleme matrisi kullanılarak

$$\begin{bmatrix} \frac{dT_n}{dr}(r_{10}) \\ \frac{dT_n}{dr}(r_{11}) \\ \vdots \\ \frac{dT_n}{dr}(r_{1n}) \end{bmatrix} \approx D \begin{bmatrix} T_n(r_{10}) \\ T_n(r_{11}) \\ \vdots \\ T_n(r_{1n}) \end{bmatrix}, \quad \begin{bmatrix} \frac{dT_n^2}{d^2r}(r_{10}) \\ \frac{dT_n^2}{d^2r}(r_{11}) \\ \vdots \\ \frac{dT_n^2}{d^2r}(r_{1n}) \end{bmatrix} \approx D^2 \begin{bmatrix} T_n(r_{10}) \\ T_n(r_{11}) \\ \vdots \\ T_n(r_{1n}) \end{bmatrix} \quad (21)$$

ayrıklaştırılırsa, sistemi temsil eden diferansiyel denklem,

$$L_1 T_n = 0 \quad (22)$$

şeklinde doğrusal denklem sistemine dönüşür. Bu denklem sistemine, sıcaklık sınır koşulları (14-15) uygulanırsa aşikar olmayan çözüm elde edilir. Burada geçen L_1 doğrusal işleci (operatörü) aşağıdaki ifadeye eşittir.

$$L_1 = D^2 + B_1(r)D - B_2(r)$$

Gerilme Dağılımlarının PCY İle Elde Edilmesi

İşlevsel derecelendirilmiş kanatçık için elde edilen yer değiştirmelere bağlı diferansiyel denkleminde (7) yer alan birinci ve ikinci mertebeden türevler Chebyshev türevleme matrisi kullanılarak ayrıklaştırılırsa, sistemi modelleyen boyutsuz diferansiyel denklem,

$$L_2 u = RHS(r) \quad (23)$$

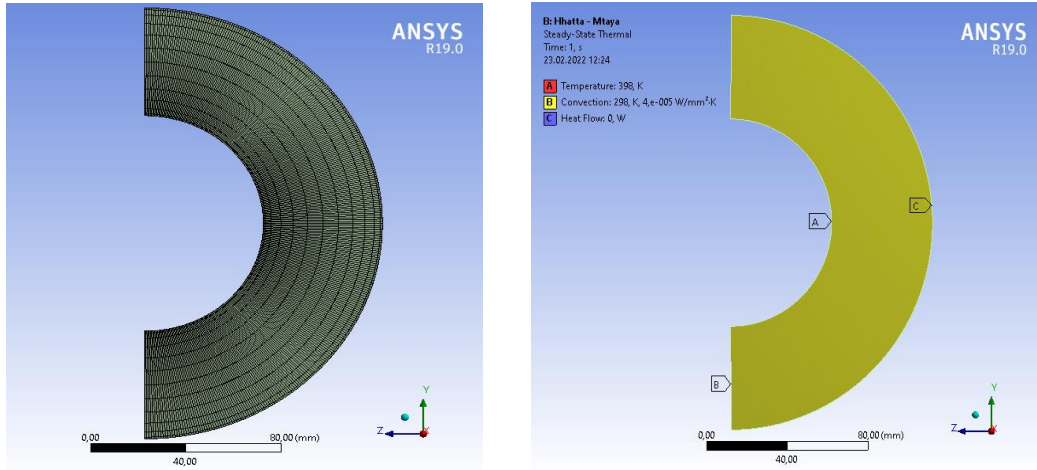
gibi sıcaklık denkleminde benzer şekilde bir doğrusal denklem sistemine dönüşür. Denklem sistemine, (8) ve (9)'da verilen mekanik sınır koşulları uygulanırsa aşikar olmayan çözüme ulaşılabilecektir. L_2 doğrusal işleci ve $RHS(r)$ sağ taraf fonksiyonu olup aşağıdaki verilen ifadelerle eşittir.

$$L_2 = D^2 + A_1(r)D + \frac{A_2(r)}{r}$$

$$RHS = A_3(r)T + A_4(r)T'$$

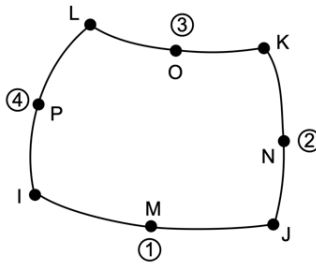
Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Modelleme

Aynı problem, Ansys R19.0 paket programı kullanarak sonlu elemanlar yöntemi ile de çözülmüştür. İşlevsel derecelendirilmiş kanatçık, Ansys Composite Prepost (ACP) modülü kullanılarak ilgili sınır koşulları altında Şekil 2'deki gibi modellenmiştir.

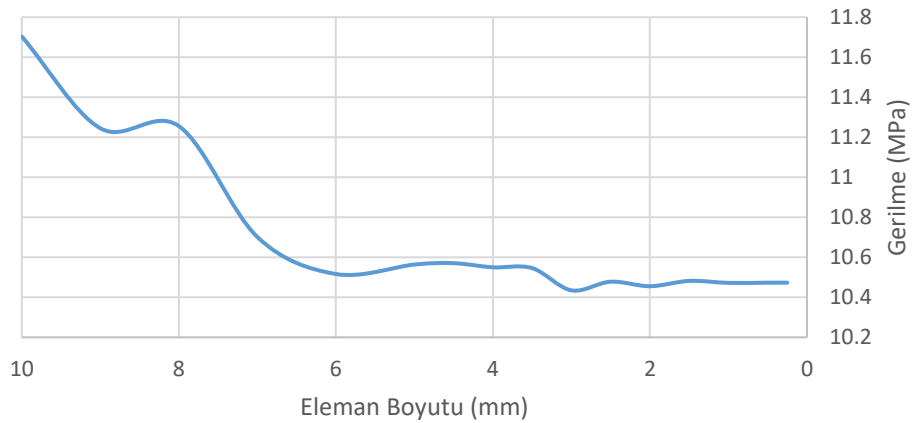


Şekil 2. Isıl Ağ Modeli ve Sınır Koşulları

Kanatçık üzerindeki ısıl gerilmeleri tespit etmek için yapısal analiz (Static Structural) modülü kullanılmıştır. Bu model ağ yapısında Şekil 3’de şematik gösterimi verilen Plane183 2D (8 düğüm noktalı) yapısal eleman kullanılmıştır. Ağ bağımsızlık analizleri gerçekleştirilmiş, çözüm süresi ve sonuçlar değerlendirilerek modelde mesh boyutu 2 mm olarak seçilmiştir. Ağ yakınsama analizine ilişkin grafik şekil 4’de verilmiştir.

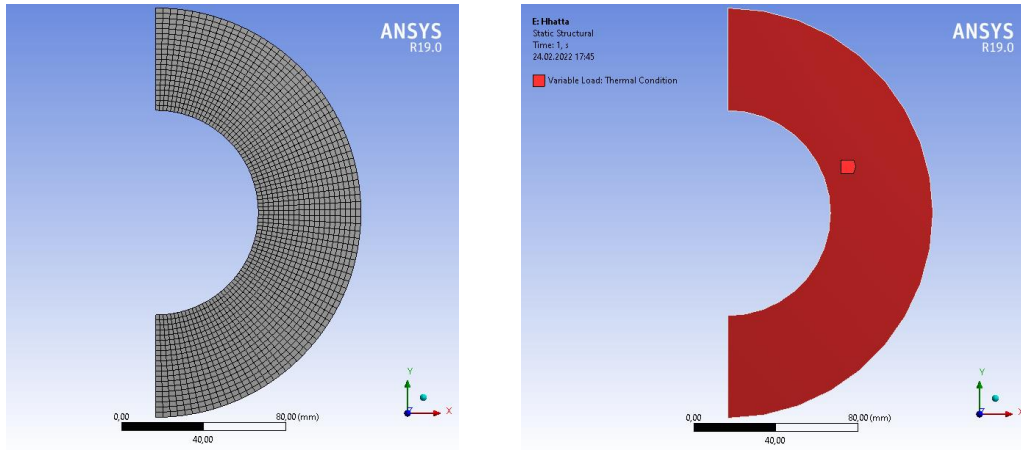


Şekil 3. 8 Düğüm Noktalı Düzlem Eleman (Plane 183 2D)



Şekil 4. Ağ Bağımsızlık Analizi

Toplam 18840 eleman ve 24570 düğüm noktası bulunmaktadır. Sınır koşulları için ısıl analizden elde edilen sıcaklık dağılımı ve simetri serbestlik koşulları uygulanmıştır. Model ağ yapısı ve sınır koşulları Şekil 5’te verilmiştir.



Şekil 5. Yapısal Ağ Modeli ve Sınır Koşulları

BULGULAR VE TARTIŞMA

Üstel dereceli, aksenal simetrik, dikdörtgen profilli dairesel kanatçıktaki sıcaklık dağılımları ve ısıl gerilmeler pseudospectral Chebyshev ve sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. Isıl dengedeki kanatçıkta ışınlam ile ısı kaybının olmadığı, çevre sıcaklığının sabit olduğu, iç ısı üretimi ve tüketiminin olmadığı, iç kuvvetlerin olmadığı ve kanatçık yüzeylerinde etkileşim olmadığı varsayılmıştır. Çözümleme için ele alınan malzeme çiftinin mekanik ve ısıl özellikleri Tablo 1’de verilmiştir. Önerilen pratik sayısal yöntemin (PCY) doğruluğu, elastisite modülü, ısıl iletkenlik katsayısı ve doğrusal ısıl genleşme katsayılarının radyal doğrultuda kuvvet fonksiyonu ile değiştiği, Poisson oranının ise sabit olduğu varsayılan analitik çalışma (Yıldırım et al., 2019a) kullanılarak test edilmiştir. Çalışmada kullanılan İD malzeme modeli için PCY çözümü yapılmış ve analitik çözüm ile kıyaslaması Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 1. Dairesel Kanatçık Derecelendirmesinde Kullanılan Malzemelerin Özellikleri (Reddy & Chin, 1998)

	Malzeme	E (GPa)	ν	k (W/(mK))	α (1/K $\times 10^{-6}$)
Seramik	ZrO_2	168,4	0,298	1,78	1,848
Metal	$Ti - 6Al - 4V$	116,7	0,312	7,5	9,5

Tablo 2. Sayısal Yöntemin Yıldırım, et al. (2019a) Tarafından Yapılan Analitik Çalışma İle Karşılaştırması

	θ		$S_r \times 10^{-5}$		$S_\phi \times 10^{-4}$	
	Sayısal	Analitik	Sayısal	Analitik	Sayısal	Analitik
1	1	1	0	0	0,312170	0,312171
1,017037	0,987543	0,987543	0,052876	0,052874	0,318260	0,318260
1,066987	0,955278	0,955278	0,199191	0,199191	0,312393	0,312394
1,146447	0,914680	0,914680	0,385931	0,385930	0,260485	0,260485
1,250000	0,876400	0,876400	0,530987	0,530987	0,164989	0,164989
1,370590	0,846249	0,846249	0,580148	0,580148	0,055160	0,055160
1,500000	0,825457	0,825457	0,533702	0,533703	-0,042886	-0,042886
1,629410	0,812681	0,812681	0,426001	0,426001	-0,117954	-0,117954
1,750000	0,805729	0,805729	0,296541	0,296542	-0,170007	-0,170007
1,853553	0,802494	0,802495	0,175191	0,175190	-0,203593	-0,203593
1,933013	0,801317	0,801317	0,080008	0,080008	-0,223738	-0,223738
1,982963	0,801049	0,801049	0,020272	0,020272	-0,234300	-0,234300
2,000000	0,801031	0,801031	0	0,000000	-0,237570	-0,237570

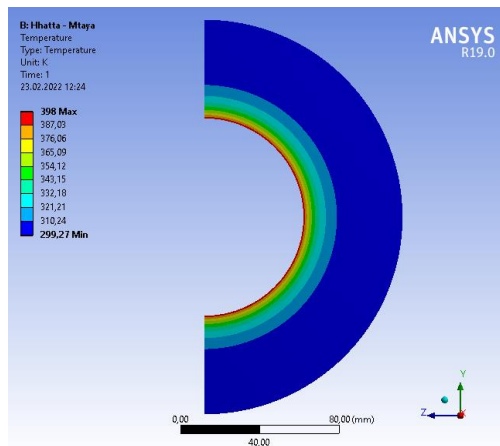
Kıyaslama sonuçları incelendiğinde, PCY ile 12 bölüntü (13 örgü noktası) kullanıldığında virgülden sonra 5 basamağa kadar hassasiyet sağlandığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, bölüntü sayısının sonuçları nasıl etkilediğini göstermek için üstel derecelendirilmiş kanatçık için bölüntü sayısı etki tablosu oluşturulmuştur. Tablo 3’de görüleceği üzere 12 bölüntüden sonraki radyal gerilme ve teğetsel gerilmelerde sonuçlarında virgülden sonra dokuzuncu basamakta, sıcaklık da ise virgülden sonra yedinci basamakta değişim olmaktadır. Yeterli hassasiyet sağlandığından çözümlere 12 bölüntü kullanılarak devam edilmiştir.

Tablo 3. Üstel Derecelendirmenin Kullanıldığı Kanatçık İçin Bölüntü Sayısı Etki Testi

Bölüntü Sayısı	T/T_{∞}	σ_r/E_c	σ_{ϕ}/E_c
4	1,0126087967	-0,0004988887	0,0010186567
6	1,0172717404	-0,0003053532	0,0011972105
8	1,0178608206	-0,0004482885	0,0011544532
10	1,0179127944	-0,0004468064	0,0011553503
12	1,0179164465	-0,0004474895	0,0011551432
14	1,0179166373	-0,0004474852	0,0011551460
16	1,0179166463	-0,0004474867	0,0011551456
18	1,0179166467	-0,0004474867	0,0011551456
20	1,0179166467	-0,0004474867	0,0011551456

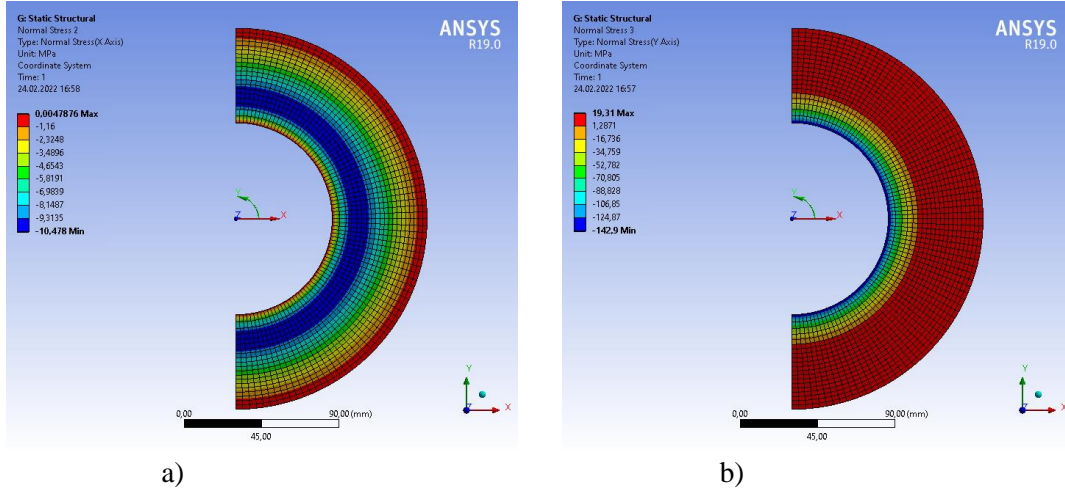
Tablo 1’de verilen seramik-metal malzemeler ile oluşturulmuş dereceli kanatçığa ait sonlu elemanlar yöntemi çözümlerinden elde edilen boyutsuz sıcaklık Şekil 6’da, boyutsuz radyal ve teğetsel gerilme ise Şekil 7a ve Şekil 7b’de sunulmuştur.

İlk aşamada ısıl analizler durağan durum (Steady-State Thermal) ısıl analiz modülü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada incelenen kanatçığın iç çapı $a=0.05$ m, dış çapı $b=0.1$ m, kalınlığı $\delta=2.5 \times 10^{-3}$ m olup ısı taşınım katsayısı $40 \text{ W/m}^2\text{K}$ olarak alınmıştır (Yıldırım et al., 2021). Sınır koşulları ise kanatçık iç kısmında 398 K değerinde, ortam sıcaklığı ise 298 K olup kanatçık uç kısmında ısıl izolasyon tanımlanmıştır. Bu koşullar altında model çözümlenmiş ve sıcaklık dağılımları elde edilmiştir. Bu analizler sonunda kanatçık üzerindeki sıcaklık dağılımı Şekil 6’daki gibi elde edilmiştir.



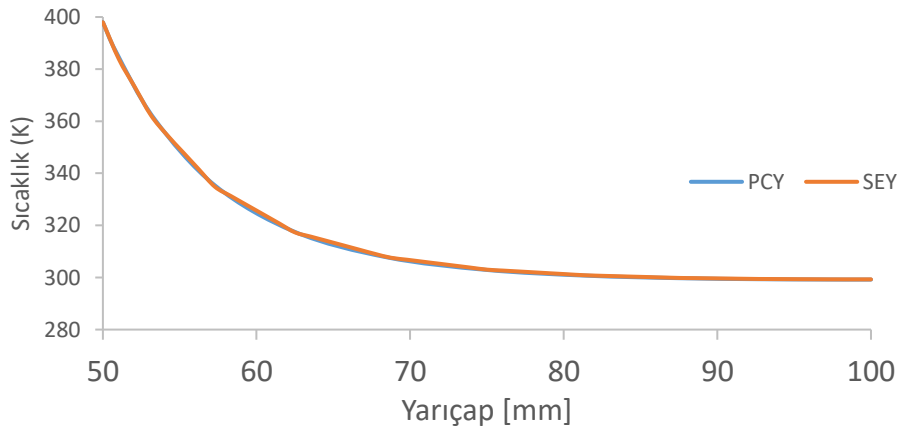
Şekil 6. Sonlu Elemanlar Çözümüne Göre Kanatçık Üzerindeki Sıcaklık Dağılımı

Yapısal model tanımlanan mekanik sınır koşulları altında çözdürülerek radyal ve teğetsel gerilme dağılımları elde edilmiştir. Elde edilen gerilme büyüklükleri Şekil 7 ‘de verilmiştir.

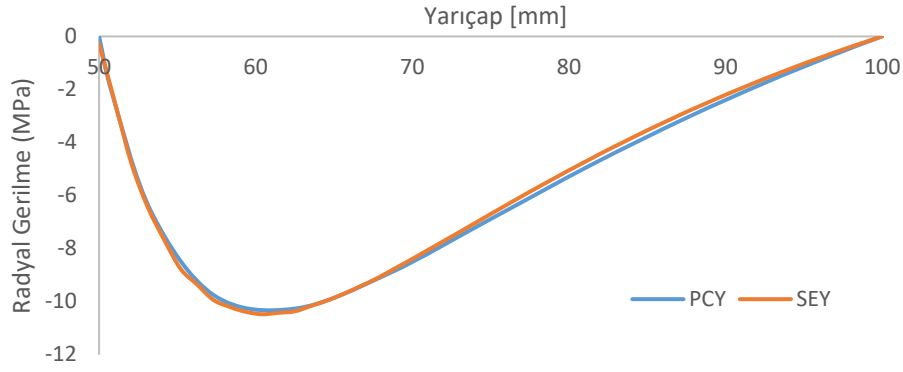


Şekil 7. Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Elde Edilen a) Radyal b) Teğetsel Gerilme Dağılımları

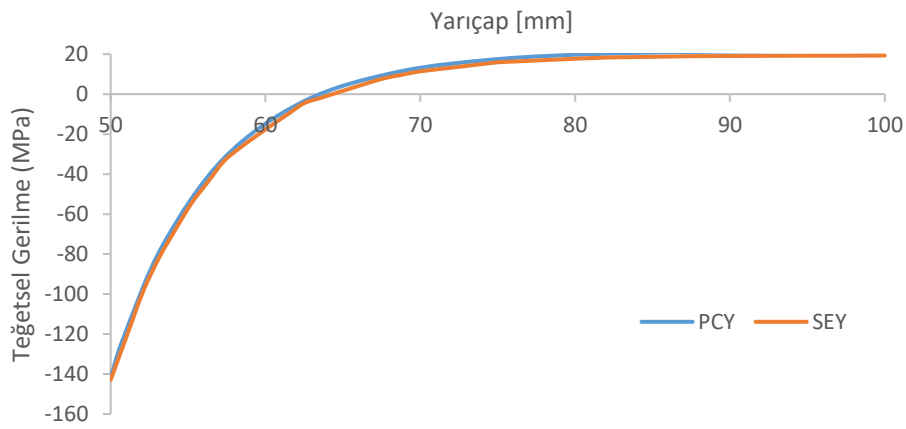
Pseudospektral Chebyshev (PCY) ve sonlu elemanlar yöntemlerinden (SEY) elde edilen sıcaklık, radyal ve teğetsel gerilme dağılımları kıyas yapabilmek adına Şekil 8-10'da grafik olarak sunulmuştur. Şekil 8'de verilen sıcaklık dağılımı eğrilerine göre kanatçık tabanından etkileyen sıcaklık, kanatçık ucuna doğru ortam sıcaklığına yakınsamaktadır. Her iki sayısal yöntemle elde edilen sıcaklık dağılımı eğrileri oldukça iyi şekilde örtüşmektedir. Şekil 9 kanatçığa ait radyal gerilme dağılımlarını göstermektedir. Kanatçığın tabanında ve uç kısımlarında herhangi bir traksiyon olmadığından dolayı bu noktalarda radyal gerilme değerleri sıfır olarak elde edilmektedir. Ancak tabandan uç kısma doğru gidildikçe radyal gerilmeye hızla bir artış görülmekte ve 60 mm civarlarında en büyük değerine ulaşmaktadır. Bu noktadan sonra gerilme değeri doğrusal bir azalma eğilimi göstermektedir. Bu sonuçlar her iki çözüm için de geçerlidir. Dairesel kanatçık için en yüksek değerlere sahip olan teğetsel gerilme dağılımları ise Şekil 10'da sunulmuştur. Tabanda yüksek sıcaklık sınır koşulundan dolayı basma yönünde en yüksek teğetsel gerilme değerlerine ulaşılırken, bu değer tabandan uzaklaştıkça hızla azalmakta ve yaklaşık 64 mm civarında sıfır olmaktadır. Bu noktadan sonra nispeten düşük değerlerde çekme yönüne dönen teğetsel gerilmeler uç kısma yaklaştıkça sabit bir değere yakınsamaktadır. PCY ve SEY çözümleri teğetsel gerilme sonuçları için de birbirileri ile oldukça uyumlu sonuçlar verdiği gözlenmektedir.



Şekil 8. Pseudospektral Chebyshev ve Sonlu Elemanlar Yöntemlerinden Elde Edilen Sıcaklık Dağılımları



Şekil 9. Pseudospektral Chebyshev ve Sonlu Elemanlar Yöntemlerinden Elde Edilen Radyal Gerilme Dağılımları



Şekil 10. Pseudospektral Chebyshev ve Sonlu Elemanlar Yöntemlerinden Elde Edilen Teğetsel Gerilme Dağılımları

SONUÇ

Bu çalışmada, mekanik ve ısı özellikleri radyal eksen boyunca üstel bir fonksiyonla değişen, eksenel simetrik, ince, dikdörtgen profilli dairesel bir kanatçıktaki sıcaklık dağılımı ve sıcaklık farklarından dolayı oluşan ısı gerilmeleri, pseudospektral Chebyshev ve sonlu elemanlar yöntemleri kullanılarak ele alınmıştır. Tabanda sabit bir sıcaklığa maruz derecelendirilmiş kanatçıktaki sıcaklık dağılımı ve ısı gerilme problemi her iki sayısal yöntem ile ayrı ayrı çözülmüş ve önerilen PSY çözümünün sonlu elemanlar çözümüne yakınsaklığı görülmüştür. Bu çalışma neticesinde elde edilen sonuçlar şöyle sıralanabilir:

- Yüksek taban sıcaklığına maruz işlevsel derecelendirilmiş kanatçıklarda, en yüksek sıcaklık ve teğetsel gerilme taban civarında elde edilirken, en büyük radyal gerilme değerine tabandan bir miktar uzakta ulaşılmaktadır.
- Pseudospektral Chebyshev yöntemi ve sonlu elemanlar yönteminin, İD dairesel kanatçıklarda sıcaklık dağılımı ve ısı gerilmelerin hesaplanmasında oldukça iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.
- Sonlu elemanlar yöntemi ile çözümde yüzlerce düğüm noktasına ihtiyaç duyulurken, pseudospektral Chebyshev yönteminde oldukça benzer sonuçlar 12 düğüm noktası ile elde edilebilmiştir. Bu nedenle pseudospektral Chebyshev yöntemi bu tür problemlerin çözümünde sonlu elemanlar yöntemine göre daha hızlı ve kolay bir yol sunmaktadır.

KAYNAKLAR

- Arslantürk, C. (2009). Correlation equations for optimum design of annular fins with temperature dependent thermal conductivity. *Heat Mass Transfer*, 45(4), 519-525. <https://doi.org/10.1007/s00231-008-0446-9>
- Aziz, A., Torabi, M., & Zhang, K. (2013). Convective–radiative radial fins with convective base heating and convective–radiative tip cooling: homogeneous and functionally graded materials. *Energy Conversion and Management*, 74, 366-376. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.05.034>
- Aziz, A., & Fang, T. (2010). Alternative solutions for longitudinal fins of rectangular, trapezoidal, and concave parabolic profiles. *Energy Conversion and Management*, 51(11), 2188-2194. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2010.03.012>
- Aziz, A., & Rahman, M. M. (2009). Thermal performance of a functionally graded radial fin. *International Journal of Thermophysics*, 30(5), 1637-1648. <https://doi.org/10.1007/s10765-009-0627-x>
- Bazán, F. S. (2008). Chebyshev pseudospectral method for computing numerical solution of convection–diffusion equation. *Applied Mathematics and Computation*, 200(2), 537-546. <https://doi.org/10.1016/j.amc.2007.11.026>
- Cengel, Y. A. (2003). Heat transfer: A practical approach 2nd ed., McGraw-Hill, New York.
- Gaba, V. K., Tiwari, A. K., & Bhowmick, S. (2016). Performance of functionally graded exponential annular fins of constant weight. In *Advances in Functionally Graded Materials and Structures*. London, UK: IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/63100>
- Gaba, V. K., Tiwari, A. K., & Bhowmick, S. (2014). Thermal performance of functionally graded parabolic annular fins having constant weight. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 28(10), 4309-4318. <https://doi.org/10.1007/s12206-014-0945-1>
- Gardner, K. A. (1945). Efficiency of extended surface. *Transactions of ASME*, 67, 621-631.
- Gottlieb, D. (1981). The stability of pseudospectral-Chebyshev methods. *Mathematics of Computation*, 36(153), 107-118. <https://doi.org/10.1090/S0025-5718-1981-0595045-1>
- Iborra, A. A., & Campo, A. (2009). Approximate analytic temperature distribution and efficiency for annular fins of uniform thickness. *International Journal of Thermal Sciences*, 48(4), 773-780. <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2008.05.012>
- Bergman, T. L., Bergman, T. L., Incropera, F. P., Dewitt, D. P., & Lavine, A. S. (2011). *Fundamentals of heat and mass transfer*. John Wiley & Sons.
- Khan, W. A., & Aziz, A. (2012). Transient heat transfer in a functionally graded convecting longitudinal fin. *Heat and Mass Transfer*, 48(10), 1745-1753. <https://doi.org/10.1007/s00231-012-1020-z>
- Kraus, A. D., Aziz, A., Welty, J., & Sekulic, D. P. (2001). Extended surface heat transfer. *Applied Mechanics Review*. 54(5), B92-B92. <https://doi.org/10.1115/1.1399680>
- Koizumi, M. F. G. M. (1997). FGM activities in Japan. *Composites Part B: Engineering*, 28(1-2), 1-4. [https://doi.org/10.1016/S1359-8368\(96\)00016-9](https://doi.org/10.1016/S1359-8368(96)00016-9)
- Kundu, B. (2017). Exact method for annular disc fins with heat generation and nonlinear heating. *Journal of Thermophysics and Heat Transfer*, 31(2), 337-345. <https://doi.org/10.2514/1.T4977>
- Lee, H. L., Chang, W. J., Chen, W. L., & Yang, Y. C. (2012). Inverse heat transfer analysis of a functionally graded fin to estimate time-dependent base heat flux and temperature distributions. *Energy Conversion and Management*, 57, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2011.12.002>
- Mallick, A., Ghosal, S., Sarkar, P. K., & Ranjan, R. (2015). Homotopy perturbation method for thermal stresses in an annular fin with variable thermal conductivity. *Journal of Thermal Stresses*, 38(1), 110-132. <https://doi.org/10.1080/01495739.2014.981120>
- Miyamoto, Y., Kaysser, W. A., Rabin, B. H., Kawasaki, A. & Ford, R. G. (1999). *Functionally Graded Materials Design Process and Applications*, Springer, USA.

- Peng, H. S., & Chen, C. L. (2011). Hybrid differential transformation and finite difference method to annular fin with temperature-dependent thermal conductivity. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 54(11-12), 2427-2433. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2011.02.019>
- Ranjan, R., Mallick, A., & Jana, P. (2019). Thermoelastic study of a functionally graded annular fin with variable thermal parameters using semiexact solution. *Journal of Thermal Stresses*, 42(10), 1272-1297. <https://doi.org/10.1080/01495739.2019.1646617>
- Reddy, J. N., & Chin, C. D. (1998). Thermomechanical analysis of functionally graded cylinders and plates. *Journal of Thermal Stresses*, 21(6), 593-626. <https://doi.org/10.1080/01495739808956165>
- Roy, R., & Ghosal, S. (2017). Homotopy perturbation method for the analysis of heat transfer in an annular fin with temperature-dependent thermal conductivity. *Journal of Heat Transfer*, 139(2), 1223-1231. <https://doi.org/10.1115/1.4034811>
- Timoshenko, S. P. & Goodier, J. N. (1970). *Theory of Elasticity*, McGraw-Hill, New York.
- Trefethen, L. N. (2000). *Spectral Methods in Matlab* PA, Philadelphia:SIAM.
- Tutuncu, N., & Temel, B. (2013). An efficient unified method for thermoelastic analysis of functionally graded rotating disks of variable thickness. *Mechanics of Advanced Materials and Structures*, 20(1), 38-46. <https://doi.org/10.1080/15376494.2011.581413>
- Wang, C. C., Liao, W. J., & Yang, C. Y. (2013). Hybrid spline difference method for heat transfer and thermal stresses in annular fins. *Numerical Heat Transfer, Part B: Fundamentals*, 64(1), 71-88. <https://doi.org/10.1080/10407790.2013.784140>
- Wu, S. S. (1997). Analysis on transient thermal stresses in an annular fin. *Journal of thermal stresses*, 20(6), 591-615. <https://doi.org/10.1080/01495739708956120>
- Yıldırım, A., Eker, M., Yarımabaç, D. & Celebi, K. (2021). Thermal wave propagation in a functionally graded annular fin with fixed base. *Waves in Random and Complex Media*, 1-16. <https://doi.org/10.1080/17455030.2021.1925175>
- Yıldırım, A., Yarımabaç, D., & Celebi, K. (2020). Transient thermal stress analysis of functionally graded annular fin with free base. *Journal of Thermal Stresses*, 43(9), 1138-1149. <https://doi.org/10.1080/01495739.2020.1770644>
- Yıldırım, A., Yarımabaç, D., & Celebi, K. (2019a). Thermal stress analysis of functionally graded annular fin. *Journal of Thermal Stresses*, 42(4), 440-451. <https://doi.org/10.1080/01495739.2018.1469963>
- Yıldırım, A., Celebi, K., & Yarımabaç, D. (2019b). A practical approach for thermal stress of functionally graded annular fin. *Journal of Engineering Thermophysics*, 28(4), 556-568. <https://doi.org/10.1134/S1810232819040118>
- Yontar, O., Aydın, K., & Keles, I. (2020). Practical jointed approach to thermal performance of functionally graded material annular fin. *Journal of Thermophysics and Heat Transfer*, 34(1), 144-149. <https://doi.org/10.2514/1.T5808>



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 15.07.2022
Kabul Tarihi : 13.10.2022

Received Date : 15.07.2022
Accepted Date : 13.10.2022

CNC MAKİNESİ İLE İŞLENMİŞ LİF LEVHALARIN YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ VE İŞLEM SÜRESİ ÜZERİNE İŞLEME PARAMETRELERİNİN ETKİLERİ

EFFECTS OF MACHINING PARAMETERS ON THE PROCESSING TIME AND SURFACE ROUGHNESS OF FIBERBOARDS FORMED BY CNC MACHINE

Fevzi DUMANOĞLU¹ (ORCID: 0000-0002-6339-1702)

Bekir Cihad BAL^{2*} (ORCID: 0000-0001-7097-4132)

¹ Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş/Türkiye

² Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Kahramanmaraş/Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Bekir Cihad BAL, bcbal@hotmail.com

ÖZET

Metaller, plastik, odun ve kompozit malzemeler önemli mühendislik malzemeleridir. Bu malzemeler CNC (bilgisayarlı sayısal kontrol) torna, CNC dik işleme merkezi, CNC freze ve CNC router gibi CNC makineleri kullanılarak şekillendirilmektedir. Mobilya fabrikalarında, CNC router makineleri yoğun bir şekilde orta yoğunlukta lif levha (MDF) yüzeylerinin şekillendirilmesinde kullanılmaktadır. Bu MDF levhaların bazıları dolap kapağı olarak kullanılmak için PVC film ile kaplanmakta ve diğer bazıları ise boyanmaktadır. Önceki çalışmalarda, işleme parametrelerinin MDF levhaların yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisi çoğu araştırmacı tarafından araştırılmıştır. Fakat, farklı işleme parametreleri kullanılan CNC makinelerinin, büyük ölçülerdeki test örneklerinin yüzey pürüzlülüğü ve işlem süresi üzerinde yeterince çalışılmamıştır. Bu nedenle bu çalışmada, lif levhadan hazırlanan mutfak dolap kapakları üzerinde denemeler yapılmıştır. Bu çalışmada, bıçak motoru devri (8000, 12000, ve 16000 dv/dk) ve besleme hızının (3, 5, ve 7 m/dk) MDF levhalar işlenirken, işleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve işlem süresi üzerine etkisi araştırılmıştır. Elde edilen verilere göre, besleme hızı azaldıkça ve bıçak motoru devri arttıkça yüzey pürüzlülüğünün azaldığı belirlenmiştir. Ayrıca, besleme hızı arttıkça, işlem süresinin azaldığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: CNC makineleri, bıçak motor hızı, besleme hızı, işlem süresi, MDF

ABSTRACT

Metal, plastic, wood and composite materials are important engineering materials. These materials are formed using CNC (Computer Numerical Control) machines such as CNC turning, CNC mill and CNC router. In furniture factories, CNC routers are intensively used to forming of the surface of the medium density fiberboards (MDF). Some of these MDF boards are coated with PVC film, and some other boards are painted to use for cabinet doors. In previous studies, the effect of machining parameters on the surface roughness of the MDF boards was investigated by many researchers. However, the surface roughness of test samples and processing time of CNC machines using different machining parameters, have not been studied sufficiently. For this reason, in this study, experiments were made on kitchen cabinet doors made of fiberboard. In this study, the effects of spindle speed (8000, 12000, and 16000 rpm) and feed rate (3, 5, and 7 m/min) on surface roughness the processing time of CNC router were investigated while MDF boards were processing. According to data obtained, it was determined that surface roughness decreases as the spindle speed increases, and feed rate decreases. In addition, it was determined that the processing time decreased as the feed rate increased.

Keywords: CNC machines, spindle speed, feed rate, processing time, MDF

GİRİŞ

Ahşap işlemeyle ilgili ilk çalışma, kalınlık makinesi, planya makinesi ve torna makinesi gibi geleneksel ahşap işleme makineleri kullanılarak işlenen masif ağaç malzemenin kesme hızı, ilerleme hızı, ahşap malzemenin yoğunluk ve nem içeriğinin etkilerini inceleyen Davis (1962) tarafından gerçekleştirilmiştir. CNC makinesi ile işlenen MDF'nin yüzey pürüzlülüğü ile ilgili ilk çalışma ise Aguilera vd. (2000) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada, MDF'nin özelliklerinin ve CNC makinesinin işleme parametrelerinin, yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvveti üzerindeki etkilerini araştırılmış ve kesme kuvvetinin yoğunluk ve talaş kalınlığı ile arttığı belirlenmiştir. Sonraki yıllarda, MDF levhaların CNC makinesi ile işlenmesinde, takım yolu ayarlarının yüzey pürüzlülüğü üzerine etkilerini inceleyen bazı araştırmalar yapılmıştır.

Son yıllarda yapılan bazı çalışmalarda, masif ağaç malzemenin makinalarla işlenmesinde yüzey pürüzlülüğünü etkileyen faktörler (Tiryaki, 2014) ve CNC makinesi ile işlenen masif ağaç malzemenin yüzey pürüzlülüğü üzerine işleme parametrelerinin etkisi farklı araştırmacılar tarafından araştırılmış ve kesme hızı, besleme hızı, kesme derinliği gibi bazı işleme parametrelerinin etkisi tespit edilmiştir (Aras ve Sofuoğlu, 2021; Sofuoğlu, 2015a; Sofuoğlu, 2015b; Sütçü, 2013; Sütçü ve Karagöz, 2013).

CNC makinesi ile işlenen MDF levhaların yüzey pürüzlülüğü üzerine, kesme hızı, besleme hızı, kesme derinliği, bıçak adımı ve işleme stratejisi gibi işleme parametrelerinin etkisi vardır. Bu konuda yapılan önceki çalışmalarda, elde edilen bulgulara göre; yüzey pürüzlülüğünün artan bıçak motoru hızı ile azaldığını ve artan bıçak adımı, ilerleme hızı ve kesme derinliği ile arttığı belirlenmiştir (Bal, 2018; Bal ve Akçakaya, 2018; Koç vd., 2017; Deus, 2015; Sütçü ve Karagöz, 2012; Karagöz, 2011). Bir diğer çalışmada ise, CNC makinesinin takım yolu ayarları sabit tutularak, MDF levhaların yoğunluğunun artması ve rutubetinin azalması ile yüzey pürüzlülüğünün azaldığı belirlenmiştir (Bal ve Gündes 2020).

Yapılan önceki çalışmalarda, genel olarak CNC makinesinde yüzeyleri işlenen MDF levhalarının, değişen takım yolu ayarlarına göre, yüzey pürüzlülüğünün nasıl değiştiği araştırılmıştır. Genel olarak küçük MDF test örnekleri kullanılarak denemeler yapılmış, belirli bir alanı cep işleme yöntemi ile boşaltılarak bu alandaki yüzey pürüzlülüğü araştırılmıştır (Bal, 2018; Bal ve Akçakaya, 2018; Sütçü ve Karagöz, 2012). Diğer bazı sınırlı sayıda çalışmada ise bir vektör boyunca işlenen yüzeyin pürüzlülüğü araştırılmıştır (Koç vd., 2017; Davim vd., 2009).

Endüstriyel uygulamalarda kullanılan MDF levha ölçülerinde ve MDF yüzeylerinin mobilya kapağı olarak kullanılması için yapılan uygulamalara yönelik sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır (Bal ve Dumanoğlu 2019). Ayrıca, yapılan önceki çalışmalarda, daha iyi bir yüzey pürüzlülüğü elde edebilmek için yüksek bıçak motoru hızı, düşük bıçak adımı ve düşük besleme hızı önerilmiştir (Koç vd., 2017; Deus, 2015; Sütçü ve Karagöz, 2012). Ancak, bu önerilen ayarların, düşük yüzey pürüzlülüğü yanında, CNC makinesinin daha fazla enerji tüketimine de sebep olduğu belirlenmiştir (Bal ve Dumanoğlu 2019).

Bu çalışmada, gerçek ölçülerdeki mutfak dolabı kapaklarının yüzeylerinin CNC makinesinde, vektör boyunca işleme yöntemi kullanılarak işlenmesi sonrası, takım yolu ayarlarının yüzey pürüzlülüğü ve CNC makinesinin parça başına işlem süresi üzerine etkisi araştırılmıştır.

MATERYAL VE METOT

Materyal

Bu çalışmada, materyal olarak orta yoğunlukta lif levhalar (MDF) kullanılmıştır. Kullanılan lif levhalar, Kahramanmaraş'ta faaliyet gösteren bir tüccardan satın alma yolu ile tedarik edilmiştir. Levhalar Kastamonu Entegre firması tarafından üretilmiş levhalardır. Ölçüleri 18 x 2100 x 2800 mm (kalınlık x genişlik x uzunluk)'dir.

Araştırmada Kullanılan CNC Makinesi ve Özellikleri

Yapılan çalışmada kullanılan CNC makinesi özel olarak imal edilmiş "Zirkon 3Ax" model bir makinedir (Şekil 1). Üretici firma Ankara'da faaliyet gösteren özel bir firmadır (US Mekatronik). İşleme alanı 700x1000x150 mm (X, Y, Z)'dir. Maksimum işleme hızı 10 m/dk ve bıçak motoru maksimum hızı 18000 dv/dk'dır. Eksen hareketleri servo motorlarla sağlanmıştır. CNC makinesi Mach3 kontrol programı tarafından kontrol edilmiştir.



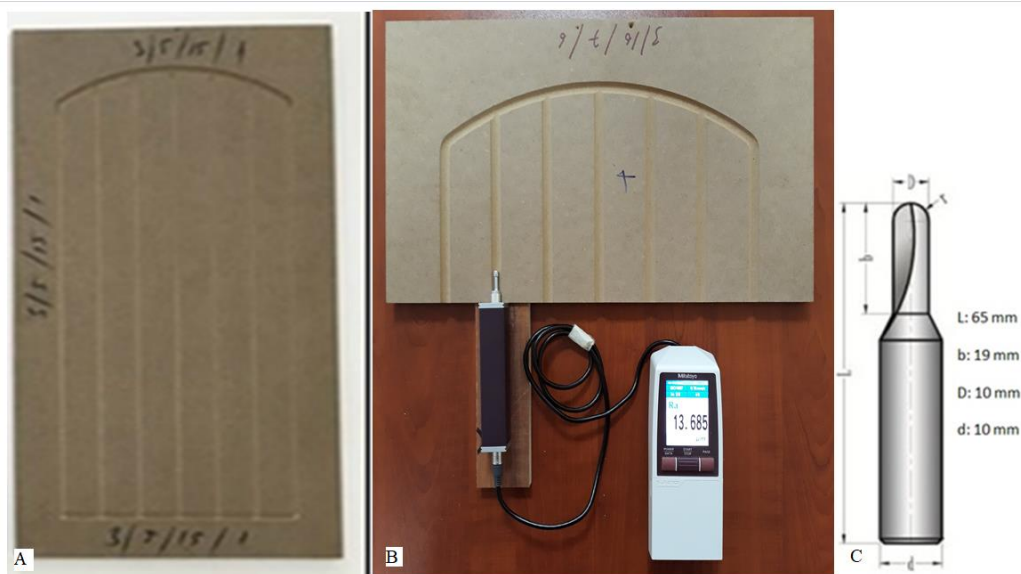
Şekil 1. Denemelerde Kullanılan CNC Makinesi

Metot

Test Örnekleri ve Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümleri

Test örneklerinin yüzeylerine Şekil 2-A'da görüldüğü gibi, güncel olarak kullanılan bir desenin işleme parametreleri ArtCAM programında hazırlanmış, kod dosyası oluşturulmuş ve levhalar CNC makinesinde işlenmiştir. Her grup için 10 adet test örneği hazırlanmıştır. Test örnekleri 18x400x690 mm ölçülerinde hazırlanmıştır. Her test örneğinin 8 farklı noktasında pürüzlülük ölçümleri Şekil 2-B'de görüldüğü gibi yapılmıştır. Denemelerde, Şekil 2-C'de verilen, 10 mm çapında, yüzey şekillendirmede kullanılan ve karbür çeliğinden imal edilmiş yuvarlak uçlu (ballnose) bıçaklar kullanılmıştır. Pürüzlülük parametreleri ölçümleri TS 971 numaralı standarda göre yapılmıştır.

Test örneklerinin yüzey pürüzlülükleri "Diferansiyel Endüktans" prensibi ile çalışan "Mitutoyo surfest SJ-210" model cihazla yapılmıştır (Şekil 2-B). Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı ayarları ve özellikleri; kesme uzunluğu λc : 2,5 mm, stylus ucu açısı 60°, sürücü ünite hızı 0.75 mm/sn, x eksenli ölçüm aralığı 12.5 mm, z eksenli 360 μm şeklindedir. Denemelerde ortalama pürüzlülük (Ra), on nokta pürüzlülüğü (Rz) ve kareler ortalamasının karekökü (Rq) olan üç pürüzlülük değeri belirlenmiştir.



Şekil 2. Test Örneği (A), Test Örneğinde Pürüzlülük Ölçümleri (B), Bıçak Ölçümleri (C)

İşlem Süresinin Belirlenmesi

Her bir test örneğinin ne kadar sürede işlem gördüğü, Mach3 programı üzerindeki süre sayacından takip edilmiştir. Her grup için 10 adet test örneği işlem görmüş ve bu 10 test örneğinin her biri için işlem süresi saniye olarak kaydedilmiştir.

Test Örneklerinin Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi

Test örneklerinin rutubet yüzdelerinin belirlenmesinde TS EN 322, yoğunluk miktarlarının belirlenmesinde TS EN 323 numaralı standartlarda belirtilen esaslara uyulmuştur.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada yapılan denemelerde kullanılan MDF levhaların ortalama yoğunluk değerleri 690 kg/m^3 ve hava kurusu rutubet yüzdeleri %6,5 olarak ölçülmüştür. Denemeler sonunda elde edilen pürüzlülük ve süre verileri Tablo 1’de verilmiştir. Tablo 1’de verilen veriler incelendiğine, besleme hızının artması ile genel olarak pürüzlülük değerlerinde (R_a , R_q , R_z) bir artış olduğu görülmektedir. Ayrıca, bıçak motoru devir sayısının artması da yüzey pürüzlülüğünü azaltıcı etki göstermiştir. En düşük R_a pürüzlülük değeri $13,9 \mu\text{m}$ ile 3 m/dk besleme hızında ve 16000 dv/dk motor devrinde ölçülmüştür. En yüksek R_a değeri ise $16,8 \mu\text{m}$ ile 7 m/dk besleme hızında ve 8000 dv/dk motor devrinde ölçülmüştür. R_q ve R_z pürüzlülük parametrelerinde de benzer sonuçlar elde edilmiştir. Yapılan önceki çalışmalarda da besleme hızının artması ile yüzey pürüzlülüğünün arttığı ve bıçak motor devrinin artması ile yüzey pürüzlülüğünün azaldığı belirlenmiştir (Koç vd., 2017; Deus, 2015; Sütçü ve Karagöz, 2012).

Besleme hızının artması ile işleme süresi azalmaktadır. Besleme hızının işleme süresini daha belirgin şekilde etkilediği görülmektedir. Ayrıca, motor devrinin artması ile genel olarak pürüzlülük değerlerinin azaldığı görülmektedir. Motor devrinin artması ile işleme süresi değerlerinde ise önemli bir değişimin olmadığı görülmektedir. Bıçak motorunun farklı devirlere hızlanma süreleri aynı değildir. Bıçak motoru 8000 dv/dk hıza daha çabuk ulaşmakta ve 16000 dv/dk hıza ise daha geç ulaşmaktadır. Çalışma planlanırken bu farklılığın parça başına işleme süresini çok azda olsa etkileyebileceği düşünülmüştür. Ancak, denemeler sonunda elde edilen verilere göre; toplam işleme süresi içerisinde, bu hızlanma süresi farkı önemli bir farklılığa sebep olmamıştır. En kısa işleme süresi 7 m/dk besleme hızında 68.2 sn ve en uzun işleme süresi 3 m/dk besleme hızında 119.7 sn olarak ölçülmüştür. Motor devri grupları arasında işleme süresi bakımından önemli fark bulunmamaktadır. Gruplar arasında ya hiç farklılık ölçülemedi, ya da saniyenin 1/10’u seviyesinde önemsiz farklılıklar belirlenmiştir.

Tablo 1. Pürüzlülük ve İşlem Süresine ait Veriler (Dumanoğlu, 2018)

Motor devri (dv/dk)		Besleme Hızı											
		3 m/dk				5 m/dk				7 m/dk			
		Süre	R_a	R_q	R_z	Süre	R_a	R_q	R_z	Süre	R_a	R_q	R_z
saniye	μm	μm	μm	saniye	μm	μm	μm	saniye	μm	μm	μm		
8000	x	119,7	15,3	19,8	108,4	83,5	15,9	20,6	113,3	68,2	16,8	21,6	114,6
	ss	0,5	0,9	1,2	7,2	0,5	0,7	0,9	5,2	0,4	0,8	1,0	4,8
12000	x	119,7	14,9	19,3	106,7	83,7	15,1	19,5	107,6	68,2	15,8	21,4	110,1
	ss	0,5	1,3	1,7	9,2	0,5	1,0	1,4	6,4	0,4	0,9	3,3	7,1
16000	x	119,7	13,9	18,2	102,2	83,5	14,7	18,8	107,0	68,2	15,3	19,7	107,6
	ss	0,5	0,6	0,9	5,4	0,5	1,3	2,6	10,6	0,4	0,7	0,8	3,6

x; Ortalama, ss; Standart sapma, R_a ; Ortalama pürüzlülük değeri, R_q ; Kareler ortalamasının karekökü, R_z ; On nokta pürüzlülüğü ortalama değeri

Çalışmada denenen devir sayıları ve besleme hızı gruplarının süre üzerine etkisini gösteren varyans analizi testi sonuçları aşağıda Tablo 2’de verilmiştir. Tablo incelendiğinde, devir sayısının işlem süresi üzerinde etkisinin önemsiz olduğu ($P>0.05$) ve besleme hızının ise işlem süresi üzerinde çok ileri düzeyde önemli ($P<0.001$) olduğu görülmektedir. Bu iki faktörün etkileşiminin ise önemsiz olduğu ($P>0.05$) belirlenmiştir. Ayrıca, Tablo 2’nin altında belirtme katsayısı R^2 değeri hesaplanmış ve 1 olarak verilmiştir. Bu belirtme katsayısı değerine göre, işlem süresini etkileyen faktörün % 100 oranında besleme hızı faktörüdür denilebilir.

Tablo 2. Devir Sayısı ve Besleme Hızının İşlem Süresi Üzerine Etkisini Gösteren ANOVA Testi Sonuçları

Varyans Kaynağı	Tip III Kareler toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F değeri	Önem düzeyi
Devir (D)	0,089	2	0,044	0,198	0,821
Besleme Hızı (BH)	41940,022	2	20970,011	93328,071	0,000
D*BH	0,178	4	0,044	0,198	0,939
R ² =1					

Devir sayısı ve besleme hızı faktörleri gruplarına ait Duncan testi sonuçları Tablo 3’de verilmiştir. Bu tabloya göre, işlem süresinin devir grupları arasında farklılık olmadığı ancak besleme hızı grupları arasında işlem süresinin, her üç besleme hız grubunda da birbirinden farklılık gösterdiği belirlenmiştir. En düşük işlem süresi 7 m/dk besleme hız grubunda ölçülmüştür. Besleme hızı 3 m/dk hıza düşürüldüğünde, işlem süresinin yaklaşık olarak 2 kat artarak, 119 saniyeye çıktığı belirlenmiştir.

Tablo 3. Devir Sayısı ve Besleme Hız Gruplarına ait İşlem Süresi Duncan Testi Sonuçları

Devir	n	İşlem süresi	Besleme hızı	n	İşlem süresi
dv/dk	adet	saniye	m/dk	adet	saniye
8000	30	90,46	7	30	68,20 A
16000	30	90,46	5	30	83,56 B
12000	30	90,53	3	30	119,7 C

Denemelerde uygulanan devir sayısı ve besleme hızı değişkenlerinin yüzey pürüzlülük parametrelerine etkisini gösteren ANOVA testi sonuçları Tablo 4’de verilmiştir. Tablo 4 incelendiğinde, devir ve besleme hızı faktörlerinin her ikisinin de *Ra*, ve *Rq* pürüzlülük parametreleri üzerine çok ileri düzeyde önemli ($P < 0.001$) derecede etkili olduğu belirlenmiştir. Devir sayısının *Rz* değeri üzerine etkisi ileri düzeyde önemli ($P < 0.01$) ve besleme hızı faktörlerinin ise önemli ($P < 0.05$) olduğu belirlenmiştir. Devir ve besleme hızı faktörlerinin etkileşiminin her üç pürüzlülük parametresi üzerine etkisinin önemsiz ($P > 0.05$) olduğu belirlenmiştir. Devir ve besleme hızı faktörlerinin pürüzlülük parametreleri üzerine etkisine ilişkin belirtme katsayıları Tablo 4’ün alt kısmında gösterilmiştir. Bu belirtme katsayılarına göre devir ve besleme hızının *Ra*, *Rq* ve *Rz* pürüzlülük parametrelerine etkisi sırasıyla %44, %30 ve %24 olarak belirlenmiştir.

Tablo 4. Devir Sayısı ve Besleme Hızının Pürüzlülük Üzerine Etkisini Gösteren ANOVA Testi Sonuçları

Varyans Kaynağı	<i>Ra</i>		<i>Rq</i>		<i>Rz</i>	
	F değeri	Önem düzeyi	F değeri	Önem düzeyi	F değeri	Önem düzeyi
Devir (D)	17,468	0,000	8,964	0,000	7,305	0,001
Besleme Hızı (BH)	13,853	0,000	8,657	0,000	4,903	0,010
D*BH	0,466	0,760	0,094	0,984	0,236	0,918
R ²	0,44		0,30		0,24	

Devir sayısı ve besleme hızı gruplarına ait pürüzlülük grupları Tablo 5’de verilmiştir. Tablo incelendiğinde, devir sayısı arttıkça her üç pürüzlülük parametresinin azaldığı görülmektedir. Ayrıca, 8000 devir ile 12000 devir gruplarına ait *Rq* pürüzlülük ortalama değerleri arasında fark önemsizdir. Besleme hızı arttıkça genel olarak pürüzlülük parametrelerinin arttığı belirlenmiştir. Ancak, 3 ile 5 m/dk besleme hızı grupları arasındaki *Rq* değerindeki fark önemsizdir. Ayrıca, *Rz* değerinde 5 ile 7 m/dk besleme hızı grupları arasındaki fark önemsizdir.

Tablo 5. Devir Sayısı ve Besleme Hız Grupları Pürüzlülük Değerlerine ait Duncan Testi Sonuçları

Devir	n	<i>Ra</i>	<i>Rq</i>	<i>Rz</i>	Besleme hızı	n	<i>Ra</i>	<i>Rq</i>	<i>Rz</i>
dv/dk	adet	μm	μm	μm	dv/dk	adet	μm	μm	μm
16000	30	14,6 A	18,9 A	105,3 A	3	30	14,7 A	19,0 A	105,5 A
12000	30	15,3 B	20,2 B	108,5 A	5	30	15,3 B	19,7 A	109,7 B
8000	30	16,0 C	21,7 B	112,1 B	7	30	15,9 C	20,9 B	110,8 B

Besleme hızının ve bıçak motoru devir sayısının, yüzey pürüzlülüğü ve CNC makinesinin parça başına işleme süresi, özellikle endüstriyel uygulamalarda önem arz etmektedir. Yüksek besleme hızı parça başına işlem süresini azaltmakta ve günlük işlem yapılan parça sayısının artmasına katkı sağlamaktadır. Ancak, yüksek besleme hızları

yüzey pürüzlülüğünü arttırmaktadır. Buna karşı, bıçak motoru devrinin artırılması yüzey pürüzlülüğünü azaltmakta ve daha iyi bir yüzey elde edilmesine katkı sağlamaktadır. Bu nedenle, yüksek besleme hızı ve yüksek bıçak motoru hızı endüstriyel uygulamalar için önem arz etmektedir.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, besleme hızı ve bıçak motoru devrinin yüzey pürüzlülüğü parametreleri ve CNC makinesinin her bir kombinasyon için işlem süresi üzerine etkileri belirlenmeye çalışılmıştır. Elde edilen bulgulara göre; besleme hızı arttıkça genel olarak pürüzlülük parametreleri artış göstermiştir. En yüksek yüzey pürüzlülüğü 7 m/dk besleme hızında belirlenmiştir. Besleme hızı arttıkça CNC makinesinin her bir parça için işlem süresi azalma göstermiştir. Bıçak motoru devri arttıkça genel olarak yüzey pürüzlülük parametreleri azalmıştır. En küçük pürüzlülük 16 000 dv/dk'da elde edilmiştir. Bıçak motoru devrinin, CNC makinesinin parça başına işlem süresi üzerindeki etkisi önemsizdir. Özellikle endüstriyel uygulamalarda, CNC makinelerinin parça başına işlem süresinin azaltılması, günlük üretim miktarının artırılması bakımından çok önemli bir konudur.

TEŞEKKÜR

Bu makale, Fevzi Dumanoğlu isimli yazarın yüksek lisans tezinden hazırlanmıştır. Bu çalışma Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimince desteklenmiştir. Proje Numarası: 2017/1-61 YLS.

KAYNAKLAR

- Aguilera, A., Meausoone, P. J., & Martin, P. (2000). Wood material influence in routing operations: The MDF case, *European Journal of Wood and Wood Products*, 58(4), 278-283. <https://doi.org/10.1007/s001070050425>
- Aras, O. & Sofuoğlu, S. D. (2021). Anadolu kestanesi (*Castenia sativa* Mill.) ağaç türünün CNC ile işlenmesinde yüzey pürüzlülüğünün işleme parametreleri ile ilişkisi. *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 4 (2), 114-125. <https://doi.org/10.33725/mamad.992157>
- Bal, B.C. (2018). CNC makinelerinin bazı ayarlarının parça işleme süresi ve lif levhanın yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri, *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi* 1(1), 21-30. <https://doi.org/10.33725/mamad.427588>
- Bal, B.C., & Akçakaya, E. (2018). The effects of step over, feed rate and finish depth on the surface roughness of fiberboard processed with CNC machine, *Furniture and Wooden Material Research Journal* 1(2), 86-93. <https://doi.org/10.33725/mamad.481278>
- Bal, BC, & Dumanoğlu, F. (2019), Surface roughness and processing time of a medium density fiberboard cabinet door processed via CNC Router, and the Energy Consumption of the CNC Router, *BioResources*, 14(4); 9500-9508. <https://doi.org/10.15376/biores.14.4.9500-9508>
- Bal BC, & Gündeş Z, (2020), Surface Roughness of Medium-Density Fiberboard Processed with CNC Machine, *Measurement*, 153 (2020), 107421. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.107421>
- Davim, J. P., Clemente, V. C., & Silva, S. (2009). Surface roughness aspects in milling MDF (Medium Density Fiberboard). *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 40(1-2), 49-55. <https://doi.org/10.1007/s00170-007-1318-z>
- Davis, E.M. (1962). Machining and Related Characteristics of United States Hardwoods (Technical Bulletin No.1267), U.S. Department of Agriculture Forest Products Laboratory, Madison, WI.
- Deus, P.R., Alves, M. C. S., & Vieira, F.H.A. (2015). The quality of MDF work pieces machined in CNC milling machine in cutting speeds, feed rate, and depth of cut, *Meccanica*, 50(12), 2899-2906. <https://doi.org/10.1007/s11012-015-0187-z>
- Deus, P.R., Alves, M. C. S., Vieira, F. H. A., & Bilesky, L. R. (2018). Analysis of the cutting parameters in front milling for medium density fiberboard, *BioResources*, 13(2), 3404-3410 <https://doi.org/10.15376/biores.13.2.3404-3410>
- Dumanoğlu F., (2018), CNC makineleri ile MDF levhaların yüzeylerinin şekillendirilmesinde, bazı takım yolu ayarlarının işlem süresi üzerine etkisi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans tezi, Kahramanmaraş.

- Karagöz, Ü., (2011), CNC ile işlemede ahşap malzemenin yüzey kalitesini etkileyen faktörler, *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 11(1), 18-26.
- Koc, K. H., Erdinler, E. S., Hazir, E., and Öztürk, E. (2017). Effect of CNC application parameters on wooden surface quality, *Measurement*, 107, 12-18. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2017.05.001>
- Sofoglu, S.D. (2015a). Determination of optimal machining parameters of massive wooden edge-glued panels made of European Larch (*Larix decidua* Mill.) using Taguchi design method, *BioResources*, 10(4), 7772-7781. <https://doi.org/10.15376/biores.10.4.7772-7781>
- Sofuoglu, S. D. (2015b). Using artificial neural networks to model the surface roughness of massive wooden edge-glued panels made of Scotch pine (*Pinus sylvestris* L.) in a machining process with computer numerical control. *BioResources*, 10(4), 6797-6808. <https://doi.org/10.15376/biores.10.4.6797-6808>
- Sütçü, A., & Karagöz, Ü. (2012), Effect of machining parameters on surface quality after face milling of MDF, *Wood Research*, 57(2), 231-240.
- Sütçü, A. (2013), Investigation of parameters affecting surface roughness in CNC routing operation on wooden EGP, *BioResources*, 8(1), 795-805.
- Sütçü, A., & Karagöz, Ü. (2013). The influence of process parameters on the surface roughness in aesthetic machining of wooden edge-glued panels (EGPs). *BioResources*, 8(4), 5435-5448.
- Tiryaki, S. (2014). Odunun işlenmesinde yüzey pürüzlülüğü üzerine etkili faktörler. *Türkiye Ormanlık Dergisi*, 15(2), 176-182. <https://doi.org/10.18182/tjf.93755>
- TS EN 322, Ahşap Esaslı Levhalar-Rutubet Miktarının Tayini, TSE, Ankara,1999.
- TS EN 323, Ahşap esaslı levhalar-Birim hacim ağırlığının tayini, TSE, Ankara. ,1999.
- TS 971, Yüzey pürüzlülüğü-Parametreler ve pürüzlülük tespiti kuralları, TSE, Ankara. ,1999.



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 18.07.2022
Kabul Tarihi : 26.09.2022

Received Date : 18.07.2022
Accepted Date : 26.09.2022

EVALUATION OF PERFORMANCE OF CLASSIFICATION ALGORITHMS IN PREDICTION OF HEART FAILURE DISEASE

KALP YETMEZLİĞİ HASTALIĞININ TAHMİN EDİLMESİNDE SINIFLANDIRICI ALGORİTMALARININ PERFORMANSLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Cevdet COŞKUN¹ (ORCID: 0000-0002-1351-0590)
Fatma KUNCAN^{1*} (ORCID: 0000-0003-0712-6426)

¹ Siirt University, Department of Computer Engineering, Siirt, Turkey

*Corresponding Author: Fatma KUNCAN, fatmakuncan@siirt.edu.tr

ABSTRACT

Success rates and performances of Gaussian Naive Bayes, Support Vector Machines, Linear Discriminant Analysis, Decision Tree and Random Forest classifier algorithms from machine learning methods were evaluated using the Heart Failure Prediction dataset. Label encoder method was used primarily in data preprocessing techniques on the data set. Catalog data (5 pieces) in the data set have been converted into numerical data. In addition, it was observed that there were negative values in the data in a field and this situation was converted to values in the range of 0 - 1 with min-max conversion methods. After the pre-processing, analyzes were made with classification algorithms. As a result of these analyzes, a success rate of 90.76% was achieved with the random forest algorithm, which is an ensemble classifier. In the study, 80% of the data was used for training and 20% for testing. Of the 184 data used for the test, 102 of them were patients with heart failure and 72 of them were from those without the disease. The success of the random forest algorithm in estimating those with heart failure disease was 93.1% (95 observations), and the success in predicting those without the disease was 87.8% (72 observations).

Keywords: Data mining, heart failure, classification algorithms, machine learning

ÖZET

Kalp Yetmezliği Tahmin veri seti kullanılarak makine öğrenmesi yöntemlerinden Gaussian Naive Bayes, Support Vector Machines, Linear Discriminant Analysis, Decision Tree ve Random Forest sınıflandırıcı algoritmalarının başarı oranları ve performansları değerlendirilmiştir. Data set üzerinde öncelikle veri ön işleme tekniklerinde label encoder yöntemi kullanılmıştır. Data setteki katalog veriler (5 adet) sayısal verilere dönüştürülmüştür. Ayrıca bir alandaki verilerde negatif değerlerin olduğu gözlemlenmiş ve bu durum min-max dönüşüm yöntemleri ile 0 - 1 aralığındaki değerlere dönüştürülmüştür. Yapılan ön işlemlerden sonra sınıflandırma algoritmaları ile analizler yapılmıştır. Bu analizler neticesinde bir ensemble (topluluk) sınıflandırıcı olan random forest algoritması ile %90,76 oranında bir başarı elde edilmiştir. Yapılan çalışmada verilerin %80'i eğitim, %20'si test için kullanılmıştır. Test için kullanılan 184 tane verinin 102 tanesi kalp yetmezliği hastalığı olanlar, 72 tanesi ise hastalığı olmayanlardan oluşmaktadır. Random forest algoritmasının kalp yetmezliği hastalığı olanları tahminleme başarısı %93,1 (95 gözlem), hastalığı olmayanları tahminleme başarısı ise %87,8 (72 gözlem) olarak gerçekleşmiştir.

Anahtar Kelimeler: Veri madenciliği, kalp yetmezliği, sınıflandırma algoritmaları, makine öğrenmesi

INTRODUCTION

Heart failure is a type of disease that occurs as a result of the heart's ability to pump enough blood to other organs as the heart rhythm deteriorates. Heart failure is a type of cardiovascular disease. Cardiovascular diseases (CVDs) are caused by situations such as heart attack, hypertension, heart valve disease, stress, diminished life comfort, smoking, and alcohol usage. Heart failure is mostly detected in the later stages of the disease. Other conditions that can cause heart failure include congenital chronic heart diseases, inherited heart muscle diseases, heart muscle infections, heart valve issues, and arrhythmias (Heart Failure: Investigation of an Epidemic, 2013).

Two different classes of risk factors can be defined for cardiovascular diseases: modifiable risk and unmodifiable risk. Age, gender, race, and genetic predisposition are non-modifiable risk factors, but obesity, hypertension, diabetes, hyperlipidemia, and use of tobacco and alcohol are modifiable risk factors. Modifiable risk factors can be eliminated or reduced by healthy eating, effective stress management, regular physical activity, not using (or reducing) smoking alcohol, hygienic measures, comfortable living environments, regular and quality sleep, doing sports, and taking regular walks. In addition, continuous and regular physician controls can prevent cardiovascular diseases from threatening our lives with early diagnosis in case of a possible disease.

The most common cause of death worldwide is cardiovascular disease particularly in developing nations like Turkey where a decline in infant mortality increases the risk of cardiovascular disease in adulthood. According to estimates, 42% of all fatalities in Turkey occurred as a result of coronary disease in 2001 (Onat, 2001). According to the data of the World Health Organization (WHO), cardiovascular disease caused 17.9 million deaths and 388.3 million healthy life years lost worldwide in 2019. Cardiovascular disease causes 32.2 percent of all fatalities and 15.3 percent of all years with a disability (World Health Organization, 2022b, 2022a).

Machine learning has become a valuable tool in the medical area, as well as in other fields. Studies that help doctors identify diseases have become more common these days. Especially the changes in the health sector bring the need for auxiliary resources. It is necessary to employ artificial intelligence more widely as a result. With machine learning, some diseases are easier to diagnose and treat.

In data mining, very successful results are obtained with biomedical signals, and the data is obtained accordingly. With digitalization, more data is collected in hospitals and medical centers, and these are categorically classified and brought to the scientific world for scientific research. Such developments not only enable the scientific world to progress but also make the treatment of people's diseases faster, easier, and more successful. It is an undeniable fact that the average human lifespan is getting longer with technological developments. The prolongation of human life is undoubtedly due to the developments in the health sector. At this point, positive developments are observed in the diagnosis and treatment of some diseases day by day. Artificial intelligence, data mining and machine learning methods, which are in good relations with the medical world, are being processed more and more by researchers and scientists day by day and offered to doctors in the health sector. By this means, doctors get more accurate results at the point of diagnosis and decision making.

In our study, heart failure estimation was made using classification algorithms on a dataset obtained from Kaggle. The prediction successes of patients with heart failure were interpreted through the classification algorithms used. The dataset from Kaggle is the Heart Failure Prediction Dataset (Fedesoriano, 2021). On this data set, Gaussian Naive Bayes, Support Vector Machines (SVM), Linear Separation Analysis (LDA), Decision Trees, and Random Forest classifier algorithms analyzes were evaluated using the python programming language.

The Heart Failure Prediction Dataset is a newly introduced dataset to the research world. There are not many studies in the literature with this dataset yet. However, this situation will change over time and many researchers will do different studies with this data set.

LITERATURE SURVEY

In the literature search, some studies were found and the results were examined. Srinivas and Katarya (2022), in their study, created a new classifier model using the hyperparameters of XGBoost classifiers and performed performance evaluation on this dataset and a few more similar datasets. The researchers named their newly designed method hyOPTXg. In their study, they tested their methods on three different data sets and compared their success rates with previous classification algorithms. In the analysis made with the hyOPTXg classification

algorithm, 94.7% success rate in the Cleveland dataset obtained from Kaggle, 89.3% success rate in the heart failure dataset obtained from Kaggle (the dataset we used in our study) and finally, In the cardiovascular disease data set they got from the UCI, they had an 88.5 percent success rate.

In their study, Reddy et al. (2022) applied two different classification methods on the heart failure dataset (the dataset we used in our study) obtained from Kaggle and evaluated their performance. Data was preprocessed on the data set and two of the attributes of the data set, "age and gender", were not included in the evaluation. This situation has been evaluated as the quality that can be ignored in detecting the disease. The study assessed 299 individuals' data from the data set. 200 were employed in educational settings, while 99 were used for testing. The following success rates were acquired by researchers using the Gaussian Naive Bayes and Decision Tree classification methods. They had an 86.0 percent success rate with Gaussian Naive Bayes and an 82.0 percent success rate with Decision Tree.

Coşar and Deniz (2021), in their study, used feature selection methods on the heart failure data set they obtained from Kaggle (the data set we used in our study), determining the features that will detect heart failure disease and running the classification algorithms in this way. Researchers used three different classification algorithms and evaluated their performance. The study's classification algorithms and success rates were, correspondingly, as follows. Estimates were made using the Random Forest algorithm, which had an accuracy rate of 88%, the Logistic Regression technique, which had an accuracy rate of 85%, and the kNN (K-Nearest Neighbors- nearest neighbor algorithm), which had an accuracy rate of 70%.

Çelik (2022) determined the success rates of heart failure disease by using different classification algorithms and deep neural networks (DNN) methods over the data set obtained from Kaggle. In his study, Decision Tree, Random Forest, XGBoost Algorithm, Support Vector Machines (Svm), Gradient Boosting, Proposed DNN classification algorithms were used. In the study, "age and gender" fields were extracted from the attributes of the data set and classification algorithms were tested on the remaining attributes. It was stated that the classifiers achieved higher success, especially after the age and gender fields were removed in the study. The study's findings in conjunction with the age and gender fields are presented in a comparative table with the findings without these areas. In this case, the results obtained were as follows. Decision Tree 79.34%, Random Forest 86.41%, XGBoost Algorithm 84.23%, Support Vector Machines (Svm) 89.13%, Gradient Boosting 84.78%, Proposed DNN 90.22%, respectively (including age and gender fields); (excluding age and gender fields) Decision Tree 80.97%, Random Forest 86.65%, XGBoost Algorithm 89.13%, Support Vector Machines (Svm) 88.58%, Gradient Boosting 88.58%, Proposed DNN 90.76%. With the study, it is observed that deep neural networks (DNN) achieve the highest success both with and without age and gender domains.

Ahmad and Shah (2021) carried out a study on predicting cardiovascular diseases using machine learning techniques in health centers. In this study, various classification algorithms were tested with the data set obtained in kaggle. In this study, it is mentioned that a successful result will be obtained especially with decision trees. However, a fully explanatory result could not be observed regarding this. Logistic Regression, KNeighbors Classifier, Decision Tree, Gradient Boosting Classifier and Random Forest machine learning classification models were used. 99.62% of the decision trees used in the study produced the optimal result. However, the study's details made no mention of the effectiveness of alternative classifier methods. It is unknown if any preprocessing was performed to get this result from the discriminative decision tree.

Rustam et al. (2022) studied several different heart failure datasets in a study called Combining CNN (convolutional neural network) Features to Optimize the Performance of the Ensemble Classifier for Cardiovascular Disease Prediction. One of these datasets is the Heart Failure Prediction Dataset they got from kaggle. New uses of feature extraction with a CNN are proposed in the study. An ensemble model is designed that extends the feature set of a CNN model to train machine learning models such as stochastic gradient descent classifier, logistic regression, and support vector machine. In this context, it has been observed that the proposed model works with an accuracy rate of 0.93. In the study, some transformations were made in the data preprocessing, and "F" and "M" information in the gender category and other categorical data were converted into numerical data with label coding. Data were defined for 0.20 tests and 0.80 training, and the recommended method was run. After the preprocessing with CNN, the performance of the classification algorithms was observed to be higher than before the preprocessing with CNN. Experiment results before CNN; Decision Tree 77%, ADA 83%, SVM 86%, Random Forest 85%, SGLV (recommended linear ensemble Model) 87%. After the use of CNN, the

results were observed as follows; Decision Tree 0.79, ADA 88%, DVM 88%, Random Forest 89%, SGLV (recommended Model) 92%. It was emphasized that the high success rate of this model was effective in the increase in the number of features after feature extraction with CNN.

De Silva and Kumarawadu (2022) conducted a study on the Heart Failure Prediction Dataset obtained from Kaggle with seven different machine learning methods in their study called Performance Analysis of Machine Learning Classification Algorithms in the Case of Heart Failure Prediction. The classification techniques utilized in the study were Logistic Regression, K-Nearest Neighbors (KNN), Support Vector Machine (SVM), Naive Bayes, Decision Trees, Random Forests, and Stochastic Gradient Descent. In the study, no data preprocessing was carried out. All attributes on the data set are used. In the analyzes made in the study, it was emphasized that the Support Vector Machine (SVM) Algorithm, Naive Bayes, and Random Forests classifiers gave more successful results than other classification methods. The success rates obtained in the study were as follows. Logistic Regression 82.60%, Decision Tree 75.55%, KNN 82.61%, SVM 85.86%, Random Forest 85.32%, Stochastic Gradient Descent 79.98, Naive Bayes 58.32. As can be seen from the results, the highest success rate of 85.86% in this study belongs to the provincial SVM classification algorithm.

MATERIAL AND METHOD

In this study, the classification process of whether there is heart disease or not was performed. The 'Heart Failure Prediction Dataset' provided in the Kaggle database is given as input and output to the classifier algorithms. 193 female and 725 male participants make up the 918 data in this data collection. 508 of them have heart failure. The remaining 410 are normal people. There are 12 different attributes as input information of classifier algorithms. These include the following: age, gender, type of angina, resting blood pressure, serum cholesterol, fasting glucose levels, findings of an electrocardiogram (ECG) performed in the resting state, maximum heart rate, exercise-induced angina, depression score, and peak exercise ST segment slope. Bi-state heart disease data is defined as output in classifier algorithms (with or without heart disease). In Table 1, the characteristics and status of the data set are given in detail. 11 independent variables and 1 dependent variable can be seen when the data in the table is analyzed. The dependent variable (HeartDisease) refers to those with and without heart failure disease. 1s in this field represent heart failure disease, 0s represent no heart failure disease. The data in the dataset contains 12 attributes (columns), 918 samples (rows). Of these 12 features, 5 are categorical and 7 are numerical. The classification methods and data preprocessing methods used for data set analysis were made using the python programming language.

Table 1. Data Used in the Study

Features	Values	Variable	
Age (years)	Age(numerical)	Independent	f0
Gender (M:Male, F:Female)	Sex (0,1)	Independent	f1
Type of chest pain (TA: Typical Angina, ATA: Atypical Angina, NAP: Non-Anginal Pain, ASY: Asymptomatic)	ChestPainType (0,1,2,3)	Independent	f2
Resting blood pressure [mm Hg]	RestingBP(numerical)	Independent	f3
Serum cholesterol (mg/dl)	Cholesterol l(numerical)	Independent	f4
Fasting blood glucose > 120 mg/dl (0 = false; 1 = true)	FastingBS (0,1)	Independent	f5
Resting ECG results (Normal: Normal, ST: Has ST-T wave abnormality (T wave inversions and/or ST elevation or > 0.05 mV depression), LVH: probable or indicates definitive left ventricular hypertrophy)	FastingBS (0,1,2)	Independent	f6
Maximum heart rate numerical value between 60 and 202	MaxHR (numerical)	Independent	f7
Exercise-induced angina (Y: Yes, N: No)	ExerciseAngina (0,1)	Independent	f8
Oldpeak ST Numerical value measured in depression	Oldpeak(numerical)	Independent	f9
Slope of the peak exercise ST segment (Up: curved, Straight: straight, Down: curved)	ST_Slope (0,1,2)	Independent	f10
HeartDisease: 0 = Normal 1 = heart disease	HeartDisease (0,1)	Dependent	

Classification Methods

Gaussian Naive Bayes

One of the top 10 techniques most frequently used in classification is the Naive Bayes method. It is a classifier type that can perform effective classification in various usage areas (Wu et al., 2008). This classifier, which can learn and test quickly, is a generative model-based classification algorithm (Ng and Jordan, 2001). The working principle of Bayesian classification methods is according to Bayes rule and probability theorem. The easiest version of Bayesian methods is the Naive Bayes method. The Gaussian Naive Bayes method, on the other hand, is the Naive Bayes method that works by assuming a Gaussian distribution on the input data (Ali Bagheri et al., 2012).

The mathematical formula “ $P(C_j|x)$ ” of the Naive Bayes Algorithm is given below in equation 1.

$p(x|C_j)$: The probability that a sample from class j is x

$P(C_j)$: First probability of class j

$p(x)$: probability of any sample being x

$P(C_j|x)$: The probability that a sample with x is of class j

$$P(C_j|x) = \frac{p(x|C_j)P(C_j)}{p(x)} = \frac{p(x|C_j)P(C_j)}{\sum_k p(x|C_k)P(C_k)} \quad (1)$$

Support Vector Machines (SVM)

A straightforward linear SVM classifier functions by drawing a straight line between the two classes. As a result, all of the data points on one side of the line will be put into one category, while the data points on the other side of the line will be put into a separate category. This implies that there are an endless number of rows from which to choose. The fact that the linear SVM method chooses the best row to categorize your data points sets it apart from other techniques like k -nearest neighbors. Choose the line that best divides the data while remaining as far away from the sample points as you can.

The complete machine learning lingo is made clear with the aid of a two-dimensional example. In essence, you have a grid of data points. To avoid placing any data in the incorrect category, you are attempting to split these data points based on the category they should belong in. The line that separates the other data points from the two nearest points, which is what this signifies, must be found.

According to the SVM algorithm, classes are usually represented as $\{-1,+1\}$. The discrimination function is created according to the education data of these two classes. This discrimination function may not always correctly classify test data. Because data do not always show a linear distribution during training. In such cases, an incorrect classification is made when the system is tested (Babur, Turhal and Akbaş, 2012).

The main purpose of SVM is to find the plane that maximizes the distance between the points closest to it. As seen in Figure 2, the hyper-leveling that makes the most appropriate distinction is called the optimum hyper-plane, and the points that limit the boundary width are called support vectors (Kavzoğlu and Çölkesen, 2010).

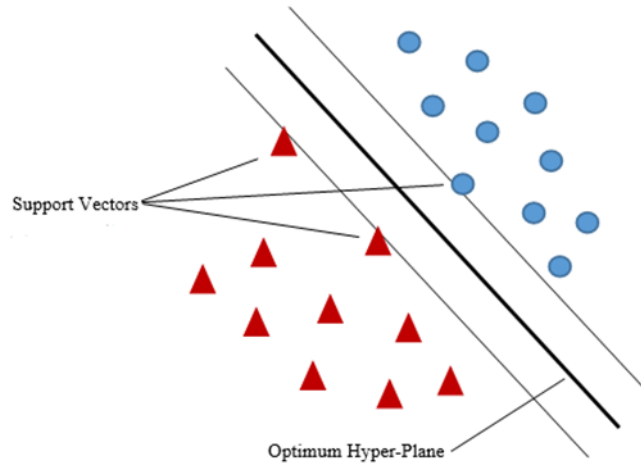


Figure 1. Optimum Hyper-Plane and Support Vectors

Decision Tree

The tree-based learning algorithm Decision Tree is regarded as one of the most popular supervised learning techniques. Methods based on trees are highly accurate, stable, and simple to interpret. They are quite good at mapping nonlinear interactions, unlike linear models. Regression or classification can be modified to address any specific issue. In many kinds of data science tasks, techniques including decision trees, random forests, and gradient reinforcement have been frequently used.

One of the most popular and useful practical approaches to inductive inference is decision tree learning. Discrete-valued target functions can be approximated using the decision tree learning technique, which uses a decision tree to represent the learned function. The majority of the time, classification problems are solved using decision trees, which are supervised learning algorithms with predefined target variables. Both categorical and continuous input and output variables can be used with it. To make learned trees more readable by humans, they can be expressed as if-then rule sets. In the shape of a tree structure, the decision tree generates classification or regression models. An associated decision tree is gradually built when a dataset is divided into smaller categories. The outcome is a tree containing leaf nodes and decision nodes. There are two or more branches on a decision node. A determination or classification is represented by the leaf node. The root node, which is the highest decision node in a tree, corresponds to the best determinant. Both category and numerical data can be processed using decision trees.

A sample data set is A_1, A_2, A_3, \dots . Assuming that it consists of classes in the form of A_n and n represents the class value; probability of any class is $P_i = (A_i/T)$. The Entropy of the classes will be as in the equation 2.

$$\text{Entropy}(T) = -\sum_{i=0}^n P_i \log_2(P_i) \quad (2)$$

Assuming that the data set is subdivided as T class values $T_1, T_2, T_3, \dots, T_n$ according to the B attribute, the gain to be obtained will be as in equation 3.

$$\text{Yield}(B, T) = \text{Entropy}(T) - \sum_{i=0}^n \frac{|T_i|}{|T|} \text{Entropi}(T_i) \quad (3)$$

In Equation 4, there is the value of B attribute for T set.

$$\text{Data}(B) = -\sum_{i=0}^n \frac{|T_i|}{|T|} \log_2\left(\frac{|T_i|}{|T|}\right) \quad (4)$$

The rate of gain to be obtained can be obtained in equation 5.

$$\text{Yield Ratio} = \frac{\text{Yield}(B, T)}{\text{Data}(B)} \quad (5)$$

According to this formula, the branch with the highest profit is selected (Öztürk and Semra, 2021).

Random Forest

Machine learning methods like random forest are utilized to address classification and regression issues. It employs community learning, a method that integrates numerous classifications to offer answers to challenging issues. Many decision trees are used in the random forest algorithm. This algorithm trains the "forest" it creates via bagging or bootstrapping. A community meta-algorithm called bagging increases the precision of machine learning techniques. The decision trees' predictions serve as the basis for the random forest algorithm's determination of the outcome. It makes estimations by averaging the results of different trees. It becomes more precise as the number of trees grows. The decision tree algorithm's restrictions are eliminated by random forest. It improves precision and minimizes dataset overfitting.

The root nodes are formed and the nodes are parsed randomly in the random forest algorithm, which is the fundamental distinction between it and the decision tree algorithm. This method is to construct multiple trees in randomly selected subspaces of the feature space. Trees in different subspaces generalize their classifications in complementary ways, and their combined classification can be developed monotonically (Ho, 1998). The bagging method is used by random forest to produce the necessary forecast. Using multiple data samples (training data) as opposed to a single sample is known as bagging. The observations and attributes that are utilized to construct predictions are contained in a training dataset. Depending on the training data provided to the random forest algorithm, decision trees produce varied results. These results are sorted, and the best one is picked as the final result.

Random forest generates multiple decision trees during the classification process. As a result of this process, it increases the classification rate. It gives very successful results in data sets containing categorical variables with a large number of variables and class labels, and in data sets with missing data or showing an unbalanced distribution (Aydın, 2018).

Evaluation Criteria

The application data set is divided into two parts: 80 percent for training and the remaining percent for testing. This is true for all of the classifiers mentioned above. To analyze the performance of the models, a confusion matrix was utilized. The Confusion Matrix is a classification accuracy measuring tool. The matrix's primary components are indicated as true positive (TP), true negative (TN), false positive (FP), and false negative (FN) (FN). Table 2 shows the matrix representation of this circumstance.

Table 2. Confusion Matrix

		Predicted Class	
		Positive	Negative
True Class	Positive	TP	FN
	Negative	FP	TN

- True Positive (TP): Situations where data with positive true class are correctly classified.
- False Positive (FP): Situations where data with a negative true class is classified as false.
- False Negative (FN): Situations where data with a negative true class is incorrectly classified.
- True negative (TN): Cases where data with a negative true class are correctly classified.

By using the complexity matrix data, analysis such as percentage of correct classification, precision, sensitivity and f-score can be made. The percentage of correct classification is given in equation 6 below.

$$\text{Correct Classification Percentage} = \frac{TP+TN}{TP+FN+FP+TN} \tag{6}$$

Precision is obtained by dividing the predicted class positive and correctly predicted data by all positively predicted data. The calculation of the precision ratio is given in equation 7.

$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP+FP} \tag{7}$$

Sensitivity refers to the ratio of data with positive true class and positive predictive class to the sum of all data with positive true class. The sensitivity ratio calculation is given in equation 8.

$$\text{Sensitivity} = \frac{TP}{TP+FN} \tag{8}$$

F-score expresses the ratio found by taking the harmonic average of the results obtained in equations 7 and 8. F-score ratio calculation is given in equation 9.

$$\text{F - score} = \frac{2 \times \text{Sensitivity} \times \text{Precision}}{\text{Precision} + \text{Sensitivity}} \tag{9}$$

Data Preprocessing

Heart Failure Prediction Dataset consists of 5 categorical and 6 numerical content attributes. In the study, categorical content fields (non-numerical fields) were converted into numeric contents using the python programming language. Machine learning methods give more successful results in data with numerical content. Considering this situation, fields with categorical content were converted into numerical content. The categorical fields Sex, ChestPainType, RestingECG, ExerciseAngina and ST_Slope were converted to numerical values on the data set. For this conversion, the "Label Encoder" method was used. This method is used to transform the existing categorical values into representative numerical data. Instead of data in categorical fields, it is provided to assign representative values such as 0,1,2,3,.. This method is made using the "LabelEncoder" class in the "preprocessing" library in the "sklearn package" in the python programming language. Another data preprocessing operation on the data set is to make positive transformations of negative values in some of the existing data in the "old peak" area. This situation causes unsuccessful results in reading and evaluating some data in machine learning methods. To change this situation, the values in the "0-1" range of the data were transformed by making the min-max transformation in the python programming language. Thus, machine learning methods and classification algorithms on the data set provide more successful results.

CONCLUSION AND DISCUSSION

In this study, Gaussian Naive Bayes, SVM, LDA, Decision Tree, and Random Forest classifier algorithms were used using the Heart Failure Prediction Dataset. 80 percent of the data set was designated as training data, and 20 percent as test data, and analyses were conducted in accordance with these allocations. The success rates, precision, sensitivity and f-score rates obtained with the classification algorithms are given in detail in Table 3.

Table 3. Classification Algorithms Success Rate vs. Complexity Matrix Estimation Data

Serial Number	Classification Algorithm	Success Rate (%)	Positive Class (102 samples)		Negative Class (82 samples)		Sensitivity	Precision	F- Skor
			TP	FN	FP	TN			
1	Gaussian Naive Bayes	84.78	87	15	69	13	0.85	0.87	0.86
2	Support Vector Machines (SVM)	88.04	93	9	13	69	0.91	0.88	0.89
3	Linear Discriminant Analysis (LDA)	83.15	89	13	18	64	0.87	0.83	0.85
4	Decision Tree	80.97	82	20	15	67	0.80	0.83	0.82
5	Random Forest	90.76	95	7	10	72	0.93	0.91	0.92

In the study with the Python programming language, the performances of data classification algorithms were measured. In the study, 184 out of 918 data in the data set were used as test data. Of these data, 102 were selected from individuals identified as sick, and 82 from non-patients. With the study, the success rates, precision, sensitivity and f-score rates of the classification algorithms were compared. In the results obtained, the highest success rate according to the performances in the classification algorithms belongs to the Random Forest algorithm

with 90.76%. This is seen in the confusion matrix. According to the confusion matrix, the Random Forest algorithm correctly predicts 93.1% (95 data) of the real patients. It also correctly predicts 87.8% (72 data) of people who are not sick. Confusion matrices data of classification algorithms are given in Figure 2, respectively.

A more successful result was obtained in the analysis compared to previous studies. The main reason for the emergence of this situation is considered to be the transformation operations performed in the data preprocessing. Machine learning methods give more successful results when numerical data are used instead of categorical data. Random forest algorithms achieved higher results than other methods. The high success rates also show themselves in the data in the confusion matrix. Likewise, in f-score and sensitivity, the situation gave better results than other classification techniques.

The highest score obtained in previous studies belongs to the study by Çelik (2022), who developed a method based on deep neural networks. In the study, when all the features in the data set were included, the success rate was observed as 90.22% with the Proposed DNN classification algorithm. When the age and gender fields of some data belonging to the data set were excluded from the evaluation, the success rate was measured as 90.76% with the Proposed DNN classification algorithm.

In our study, our success rate was measured as 90.76%, which is the highest score, as in the study by Çelik, which we mentioned above. Success rates were measured the same in the studies, but there are some fundamental differences in both studies. In the study conducted by Çelik, the success rate is measured as 90.22% when all fields in the data set are included. It achieved a success rate of 90.76% by excluding age and gender fields in the data set. In our study, all the qualities in the data set were evaluated and the success rate was measured as 90.76% in this way. Undoubtedly, data preprocessing steps were effective in achieving this success. Another factor is that the random forest method, which is an ensemble learning method, divides the dataset into subsets and repeats the process repeatedly to validate and upgrade the predictions with a sequence decision tree classifier.

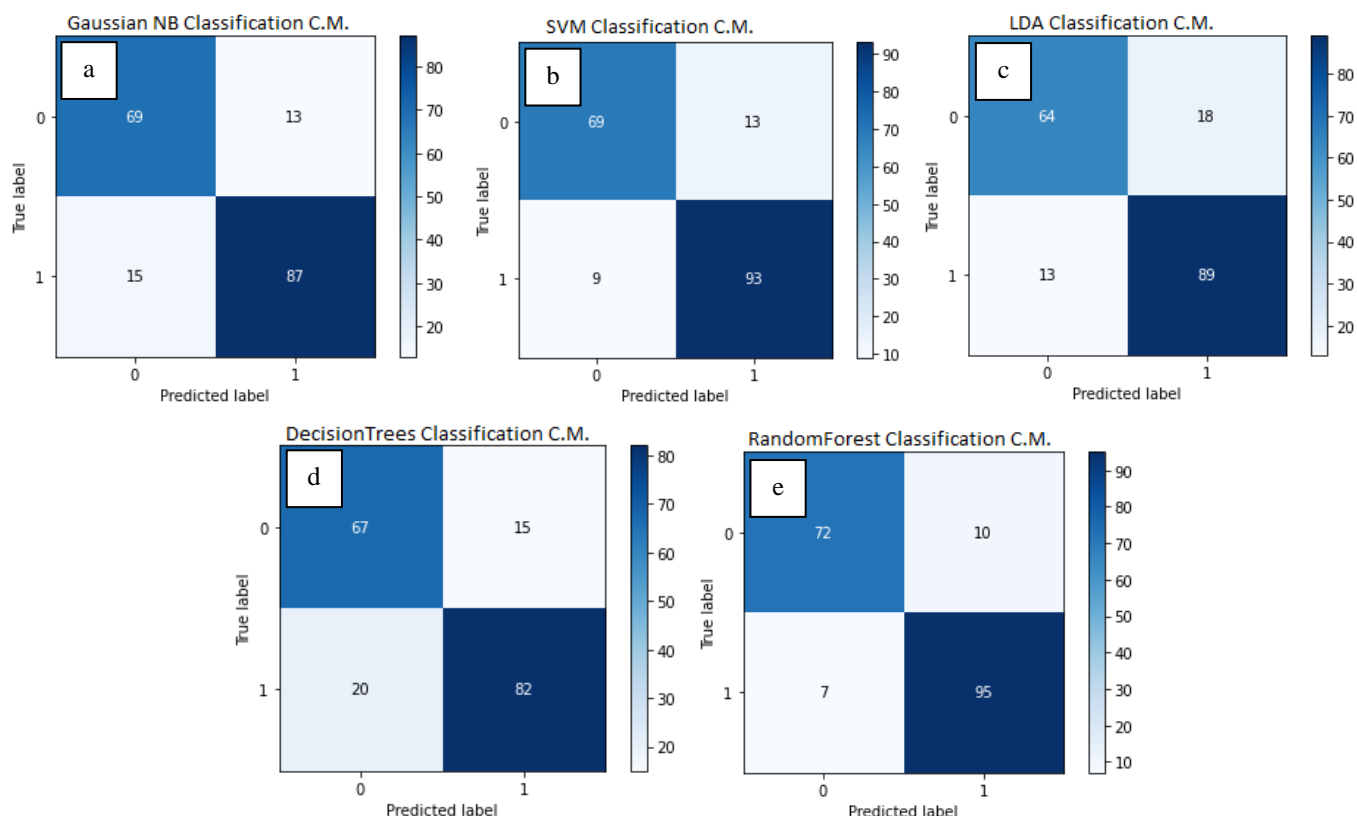


Figure 2. a. Gaussian Naive Bayes Classification Method Confusion Matrix b. SVM Classification Method Confusion Matrix c. LDA Classification Method Confusion Matrix d. Decision Trees Classification Method Confusion Matrix e. Random Forest Classification Method Confusion Matrix

In this study, it was aimed to help doctors in the field of health in the prediction of heart failure. Clinical findings such as age, gender, chest pain type, resting blood pressure, cholesterol, fasting blood glucose, resting

electrocardiogram, maximum heart rate, exercise-induced angina, and peak exercise ST segment slope were used in the heart failure prediction dataset. In the estimation of heart failure, 184 out of 918 samples in the data set were randomly selected and the most successful ratio was obtained from these samples. When compared to other ensemble learning approaches, the random forest method, which is one of them, produced more accurate predictions. The programming language Python was used to conduct this study. 5 different classification algorithms were run on the same programming language and their performances were measured. The highest success rate in the measurements was obtained with the Random Forest algorithm with 90.76%. The f-score value of the random forest algorithm was also 0.92. When the results were analyzed, it was found that machine learning techniques produced better outcomes when applied to numerical data. The results were better than those of the previous investigations after the data in the catalog were converted into numerical data using the data preprocessing on the data set. In light of this, we can conclude that machine learning techniques provide outcomes with more accuracy when dealing with data with numerical content.

In today's world, as in many sectors, machine learning methods, data mining and artificial intelligence are becoming very important for the health sector. It becomes an ancillary factor to which doctors might commonly refer while making a diagnosis. The primary goal of this study is to assist clinicians in making shorter and more precise judgments of heart failure disease, which has a high prevalence in cardiovascular disorders. Without a doubt, scientific research and studies will advance with time and produce more reliable findings. As the success rate in the studies increases, the solutions needed will increase accordingly. Each new academic study will lead to a different study in the scientific world. Future research can employ artificial intelligence to detect certain diseases early. Automatic identification of heart problems and many other diseases is possible with greater and more insightful data. This makes it possible to identify diseases early and combat them with appropriate means.

ACKNOWLEDGEMENT

This study was carried out in Siirt University Engineering Faculty Human-Computer Interaction Laboratory. The authors of this article thank the Human-Computer Interaction Laboratory staff for their support.

REFERENCES

- Ahmad, H. G., & Shah, M. J. (2021). Prediction of Cardiovascular Diseases (CVDs) Using Machine Learning Techniques in Health Care Centers, *Azerbaijan Journal of High Performance Computing*, 4(2), 267-279
- Ali Bagheri, M., Montazer, G. A., & Escalera, S. (2012). Error correcting output codes for multiclass classification: application to two image vision problems. The 16th CSI International Symposium on Artificial Intelligence and Signal Processing (AISP 2012), 508–513.
- Aydın, C. (2018). Makine öğrenmesi algoritmaları kullanılarak itfaiye istasyonu ihtiyacının sınıflandırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (14), 169-175.
- Babur, S., Turhal, U., & Akbaş, A. (2012). DVM Tabanlı Kalın Bağırsak Kanseri Tanısı İçin Performans Geliştirme Performance Improvement for SVM Based Colon Cancer Recognition. ELECO '2012 Elektrik - Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu 425-428.
- Çelik, G. (2022). Prediction of Heart Failure Disease with a Proposed Method Based on Deep Neural Networks. 2nd International Congress of Engineering and Natural Sciences (ICENSS 2022), Ankara/Turkey, 279.
- Coşar, M., & Deniz, E. (2021). Makine Öğrenimi Algoritmalar Kullanarak Kalp Hastalıklarının Tespit Edilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 1112–1116.
- De Silva, C., & Kumarawadu, P. (2022). Performance Analysis of Machine Learning Classification Algorithms in the Case of Heart Failure Prediction. 2022 International Wireless Communications and Mobile Computing (IWCMC), 1160–1165.
- Fedesoriano. (2021). Heart Failure Prediction Dataset. [Data file and code book]. Retrieved from <https://www.kaggle.com/datasets/fedesoriano/heart-failure-prediction>.
- Heart Failure: Investigation of an Epidemic. (2013). <https://doi.org/10.1161/CIRCRESAHA.113.300268>
- Ho, T. K. (1998, August). C4. 5 decision forests. In Proceedings. Fourteenth International Conference on Pattern Recognition (Cat. No. 98EX170) (Vol. 1, pp. 545-549). IEEE.

- Kavzoğlu, T., & Çölkesen, İsmail. (2010). Destek vektör makineleri ile uydu görüntülerinin sınıflandırılmasında kernel fonksiyonların etkilerinin incelenmesi. *Harita Dergisi*, 144(7), 73–82.
- Ng, A., & Jordan, M. (2001). On discriminative vs. generative classifiers: A comparison of logistic regression and naive bayes. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 14.
- Onat, A. (2001). Risk factors and cardiovascular disease in Turkey. *Atherosclerosis*, 156(1), 1-10.
- Öztürk, E., & İçer, S., (2021). Classification of Dermoscopy Images with Feed Forward Neural Network, Decision Trees and Random Forest. *International Journal of Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies*, 5(2), 129-135.
- Reddy, V. S. K., Meghana, P., Reddy, N. V. S., & Rao, B. A. (2022). Prediction on Cardiovascular disease using Decision tree and Naïve Bayes classifiers. *Journal of Physics: Conference Series*, 2161(1), 12015.
- Rustam, F., Ishaq, A., Munir, K., Almutairi, M., Aslam, N., & Ashraf, I. (2022). Incorporating CNN Features for Optimizing Performance of Ensemble Classifier for Cardiovascular Disease Prediction. *Diagnostics*, 12(6), 1474.
- Srinivas, P., & Katarya, R. (2022). hyOPTXg: OPTUNA hyper-parameter optimization framework for predicting cardiovascular disease using XGBoost. *Biomedical Signal Processing and Control*, 73, 103456.
- World Health Organization. (2022a, July 14). Global health estimates: Leading causes of DALYs.
- World Health Organization. (2022b, July 14). Global health estimates: Leading causes of death.
- Wu, X., Kumar, V., Ross Quinlan, J., Ghosh, J., Yang, Q., Motoda, H., ... others. (2008). Top 10 algorithms in data mining. *Knowledge and Information Systems*, 14(1), 1–37.



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 24.07.2022
Kabul Tarihi : 04.10.2022

Received Date : 24.07.2022
Accepted Date : 04.10.2022

SERBEST FORMLU İNCE CİDARLI AA 5083-H111 ALAŞIMININ FREZELENMESİNDE KESME PARAMETRELERİNİN FORM HATASINA ETKİSİNİ ÜÇ BOYUTLU KOORDİNAT ÖLÇME VE LAZER TARAMA İLE KARŞILAŞTIRILMASI

COMPARISON WITH THREE-DIMENSIONAL COORDINATE MEASURING AND LASER SCANNING OF EFFECT OF FORM ERROR OF CUTTING PARAMETERS IN MILLING FREEFORM THIN-WALLED AA 5083-H111 ALLOY

Uğurcan ÇELİK¹ (ORCID: 0000-0001-7434-4488)
Barış ÖZLÜ^{2*} (ORCID: 0000-0002-8594-1234)
Halil DEMİR³ (ORCID: 0000-0002-9802-083X)

¹Plascam Plastik Otocam Sanayi ve Ticaret A.Ş., Kalıp Tasarım Bölümü, Gebze/Kocaeli

²Aksaray Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Aksaray

³Karabük Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, Karabük

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Barış ÖZLÜ, barisozlu@aksaray.edu.tr

ÖZET

Bu çalışma, serbest formlu ince cidarlı AA 5083-H111 alaşımının frezelenmesinde kesme parametrelerinin form hatasına etkisi incelenmiştir. İşlenen parçaların form hataları üç boyutlu koordinat ölçme (CMM) ve lazer tarama (LS) cihazları ile ölçülerek CMM ve LT sonuçları karşılaştırılmıştır. Deney tasarımı Taguchi L32 ortogonal dizini kullanılarak hazırlanmıştır. Deneyler kaplamasız karbür kesici takım kullanılarak kuru işleme şartlarında CNC dik işleme merkezinde yapıldı. CMM ve LT için form hatalarını etkileyen en önemli kesme parametrelerini belirlemek için varyans analizi (ANOVA) kullanıldı. Deney sonuçlarına göre, CMM ve LT için optimum kesme parametrelerinin 5 mm cidar kalınlığı, 0,05 mm/diş ilerleme miktarı ve 160 m/dk kesme hızı (A2B1C3) olarak belirlenmiştir. ANOVA sonuçlarına göre, CMM ve LT için form hataları üzerine en etkin kesme parametresi sırası ile %56,18 kesme hızı ve %68,06 ilerleme miktarı olmuştur. Ayrıca LT ölçüm sonuçları CMM ölçüm sonuçlarına göre ortalama %63 oranında daha yüksek çıktığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: AA 5083-H111, form hatası, koordinat ölçme cihazı, lazer tarama, Taguchi metodu.

ABSTRACT

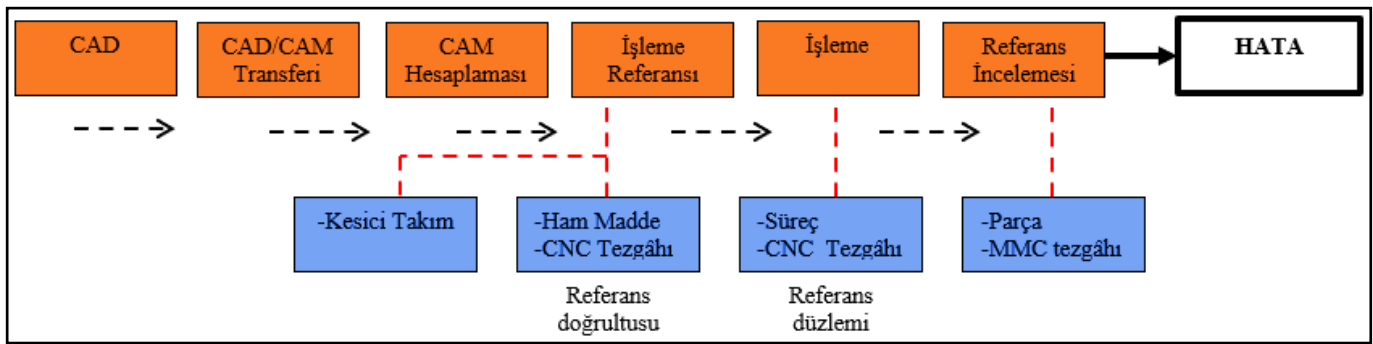
In this study, the effect of cutting parameters on form error in milling of free-form thin-walled AA 5083-H111 alloy was investigated. Form errors of machined parts were measured with three-dimensional coordinate measuring (CMM) and laser scanning (LS) devices, and CMM and LT results were compared. Experimental design was prepared using Taguchi L32 orthogonal array. The experiments were carried out in a CNC vertical machining center under dry machining conditions using an uncoated carbide cutting tool. Analysis of variance (ANOVA) was used to determine the most important cutting parameters affecting form errors for CMM and LT. According to the test results, optimum cutting parameters for CMM and LT were determined as 5 mm wall thickness, 0.05 mm/tooth feed rate and 160 m/min cutting speed (A2B1C3). According to the ANOVA results, the most effective cutting parameters on form errors for CMM and LT were 56.18% cutting speed and 68.06% feed rate, respectively. In addition, it was observed that the LT measurement results were 63% higher on average than the CMM measurement results.

ToCite: ÇELİK, U., ÖZLÜ, B., DEMİR, H., (2022). SERBEST FORMLU İNCE CİDARLI AA 5083-H111 ALAŞIMININ FREZELENMESİNDE KESME PARAMETRELERİNİN FORM HATASINA ETKİSİNİ ÜÇ BOYUTLU KOORDİNAT ÖLÇME VE LAZER TARAMA İLE KARŞILAŞTIRILMASI. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 25(4), 633-642.

Keywords: AA 5083-H111, form error, coordinate measuring instrument, laser scanning, Taguchi method.

GİRİŞ

Serbest biçimli işlenmiş yüzeyler, üç ana eksen boyunca değişen şekil ve boyutlara sahip karmaşık yüzeylerdir. Bu yüzeylerin öteleme simetrisi ve dönme eksenleri yoktur (Mali, Gupta & Ramkumar, 2021). İnce cidarlı bileşenlere sahip serbest biçimli geometrileri içeren ürünler, havacılık, otomotiv, kalıpcılık ve mücevher desen oymacılığına kadar basit ve ucuz ürünlerden yüksek karmaşık ve pahalı ürünlere kadar birçok alanda bulunmaktadır. Bu tür ince cidarlı serbest formlu parçaların işlenmesinde CAD/CAM/CNC/CAI/CMM/LS sistemleriyle entegre 4-5 eksenli dik işleme merkezi (freze) ile bu tür bileşenleri üretmenin ana yöntemidir. Özellikle serbest formlu ince cidarlı parçaların dik işleme merkezinde işlenmesi sonucu elde edilen form hataları CAD/CAM/CNC/CAI/CMM/LS sistemlerine ve işlemenin her adımına bağlıdır. Bu tür üretim sürecinde meydana gelebilecek olası form hatası nedenleri Şekil 1’de verilmiştir (Oliveira, Souza & Diniz, 2018).



Şekil 1. Üretim Zincirinde Olası Form Hatası Kaynağı (Oliveira et al., 2018).

Son yıllarda form hatalarını belirlemek ile birlikte geometrik kaliteyi sağlamak için bilgisayar destekli tolerans sistemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Bilgisayar destekli tolerans sistemleri ile form hatalarının verimli bir şekilde belirlenmesinde, karşılaştırılmasında, boyutsal ve geometrik sapmaları kontrol edilerek ideal olmayan özellikleri karşılaştırılan yöntemler tartışılmaktadır. Serbest biçimli yüzeylere sahip parçaların kontrolünde hem temaslı hem de temassız yöntemler tercih edilmektedir. Temaslı kontrollerde CMM, temassız kontrollerde ise LT teknikleri kullanılmaktadır. Bu teknikler yapılan parça kontrollerinde yüzey verileri (parça özellikleri), yüzey konumu, parçaların karşılaştırılması ve ölçülen verilerin geometrik açıklaması gibi parça denetimi için çeşitli unsurları hakkında ayrıntılı bilgiler sunmaktadır (Yan & Ballu, 2019; Li & Gu, 2004).

Özellikle talaşlı imalat yöntemleri ile işlenen iş parçalarının kesme parametrelerine bağlı deformasyonları nedeni ile iş parçalarında meydana gelen nominal ölçülerdeki tutarsızlıklar oldukça yaygın bir sorundur. Bunun için ince cidarlı serbest biçimli geometrileri içeren parçaların işlenmesinde form hatalarının belirlenmesi üzerine hem akademi hem de endüstride yoğun araştırmaların yapıldığı görülmüştür. Literatürdeki ilgili çalışmalar aşağıda gözden geçirilmiştir. Oliveira et al., (2018), yaptıkları çalışmada ince cidarlı serbest formlu AISI H13 çeliğinin 4 eksenli frezelenmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne ve form hatalarına etkilerini değerlendirerek, yüzey pürüzlülüğü ve form hatası üzerine işleme yönünün, ilerleme miktarının ve kesme derinliğinin etkili olduğunu bildirmişlerdir. Yaka, Demir & Gök (2017), yaptıkları çalışmada serbest formlu Al 7075-T6 malzemesinin frezelenmesinde minimum yüzey pürüzlülüğü elde etmek için optimum kesme parametrelerinin belirlenmesine odaklanarak, optimum yüzey pürüzlülüğünün 220 m/dk kesme hızı, 1100 mm/dk ilerleme miktarı, 0,5 mm yanal adım ve spiral işleme ile elde etmişlerdir. Ayrıca yüzey pürüzlülüğü üzerine en etkin kesme parametrelerinin sırası ile yanal adım, işleme şekli, ilerleme miktarı ve kesme hızının olduğunu bildirmişlerdir. Yaka, Demir, Gök & Akkuş (2018), Al 7075 serisinin serbest formlu yüzeylerin frezelenmesinde en düşük form hatasının elde edildiği en uygun kesme koşullarını belirlemeyi hedeflemişlerdir. Optimum form hatasının 140 m/dk kesme hızında, 800 mm/dk ilerleme miktarında, 0,5 mm yanal adımda ve paralel işleme şeklinde elde edileceğini bildirmişlerdir. Ayrıca form hatası üzerine en etkin kesme parametrelerinin sırası ile yanal adım, kesme hızı, ilerleme miktarı ve işleme şeklinin olduğunu ifade etmişlerdir. Desai & Rao, (2012), çalışmalarında serbest biçimli geometrileri frezelerken yüzey hatasını anlamak, sınıflandırmak ve tahmin etmek için bir metodoloji sunmaktadır. İşleme sırasında kesici takım sapmalarından kaynaklanan işlenmiş yüzey hatalarının büyüklüğünü olası tüm kesme koşulları için kabul edilebilir bir doğrulukla tahmin etmişlerdir. Eğri geometrilerin işlenmesi sırasında yüzey hatasının aksenal doğrultudaki değişiminin takım

yolu boyunca düzgün olmadığı gözlemlenmiştir. Gök, Göloğlu & Demirci, (2014), dış bükey ve iç bükey yüzeylere sahip 2344 çeliğinin TiAlN kaplı parmak freze ile işlenmesinde takım sehimine bağlı form hatalarının incelenmesine odaklanmışlardır. Takım sehimine bağlı en büyük form hatasının dışbükey ve içbükey için sırası ile 45° ve 60° pozisyonlama açısında olduğu sonucuna varmışlardır. Form hatası meydana gelen yerlerde yapılan tarama ve dinamik ölçme sonuçlarının örtüştüğünü ifade etmişlerdir. Literatürde talaşlı imalat yöntemleri ile işlenen farklı malzemeler üzerinde form hatalarının belirlenmesi ve tahmini üzerine farklı çalışmalar yapıldığı görülmüştür. Ancak serbest formlu ince cidarlı AA 5083-H111 alaşımının farklı kesme parametrelerinde frezelenmesinde meydana gelebilecek form hatalarının CMM ve LT ile ölçülerek tespiti ve ölçüm yöntemlerinin kıyaslanması üzerine literatürde hiç ya da çok az sayıda çalışmanın olduğu görülmüştür.

Bu çalışmada, serbest formlu ince cidarlı AA 5083-H111 alaşımının frezelenmesinde kesme parametrelerinin form hatasına etkileri CMM ve LT ile ölçülerek tespiti ve ölçüm yöntemlerinin karşılaştırılmasına odaklanılmıştır.

MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada iş parçası olarak AA 5083-H111 alaşımı seçilmiştir. AA 5083-H111 alaşımının kimyasal bileşimi Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. AA 5083-H111 Alaşımının Kimyasal Kompozisyonu.

Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Ti	Al
0,40	0,40	0,10	0,48	4,72	0,25	0,21	0,15	Denge

Deneyler için 110x310x55 mm boyutlarında serbest formlu ince cidarlı iş parçasının tasarımı Siemens NX CAD/CAM paket programında yapılmıştır. Tasarlanan parçaların CNC işleme merkezinde kesintisiz işleme koşullarını sağlayabilmek için aynı programın CAM kısmında takım yolu oluşturularak NC kodları çıkarılmıştır. Çıkarılan kodlar parçaların işleneceği 28 kW güce, iş mili maksimum 12000 dev/dak ve Siemens kontrol ünitesine sahip DMG MORI Ecomil 70 5 eksenli CNC işleme merkezine aktarılmıştır. Deneylerde dört ağızlı, 8 mm çapa sahip kaplamasız karbür parmak freze kullanılmıştır. Deneyler sonucu cidar kalınlığının, kesme hızının ve ilerleme miktarının form hatasına etkileri CMM ve LT ile karşılaştırmak için ilk olarak form hataları DEA GLOBAL 12.22.10 marka CMM cihazı ve daha sonra FARO LT cihazı ile ölçümler gerçekleştirilmiştir. CMM ve LT ölçümleri ayrı ayrı CAD dataları ile karşılaştırılarak her iki ölçüm için form hataları belirlenmiştir. Ayrıca her iki ölçümün sonuçları CAD datası ile karşılaştırılarak her iki ölçüm arasındaki farklar tespit edilmiştir. Şekil 2’de yapılan çalışma için deney kurulumu verilmiştir.

Taguchi Metodu ile Deney Tasarımı

Taguchi tarafından geliştirilen yöntemle endüstriyel ürün tasarımını ve kalitesini büyük ölçüde iyileştirdiği kanıtlandığı için yaygın olarak uygulanmaktadır. Taguchi yöntemi deneysel düzeni formüle etmek, her kesme parametresinin işleme özellikleri üzerindeki etkisini analiz etmek ve her bir işleme parametresi için en uygun ilişkiyi tahmin etmek için kullanılır. Bu nedenle, bu çalışmada cidar kalınlığının, kesme hızının ve ilerleme miktarının form hatasına etkisinin en düşük değerinin elde edildiği optimum kesme parametrelerinin belirlenmesinde Taguchi yöntemini kullanılmıştır.

Yapılan çalışmanın amacı en düşük form hatasının elde edilmesi istendiği için Taguchi metodunun “en küçük en iyi” yaklaşımı seçilerek Eşitlik 1’e göre hesaplanmıştır.

$$S/N = -10 \cdot \log \left(\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n Y_i^2 \right) \quad (1)$$

Burada,

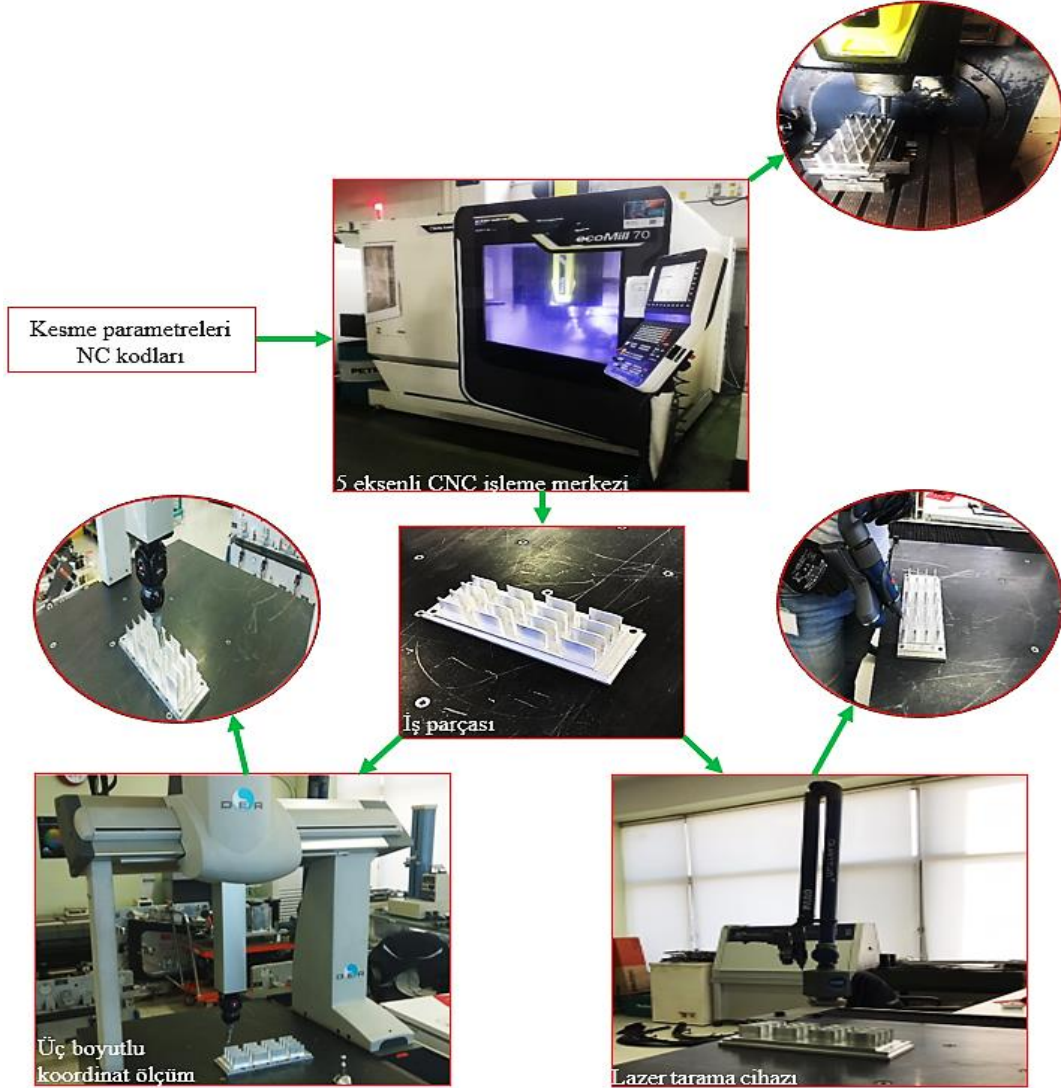
Y: Performans karakteristik değeri (form hatası),

n: Y değerlerinin sayısıdır (Özlü, 2021a; Akgün & Demir, 2021).

Form hatalarının en düşük değerleri için optimum kesme parametrelerini belirlemek ve kesme parametrelerinin etkilerini analiz etmek için Taguchi L32 ortogonal dizini seçilmiştir. Deneylerde kullanılan kesme parametreleri ve seviyeleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Kesme Parametreleri Ve Seviyeleri

Kesme Parametreleri	Sembol	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Seviye 4
Cidar Kalınlığı (mm)	A	3	5	-	-
İlerleme Miktarı (mm/diş)	B	0,05	0,1	0,15	0,2
Kesme Hızı (m/dk)	C	80	120	160	200



Şekil 2. Yapılan Deneysel Çalışmada Kullanılan Deney Düzenegi.

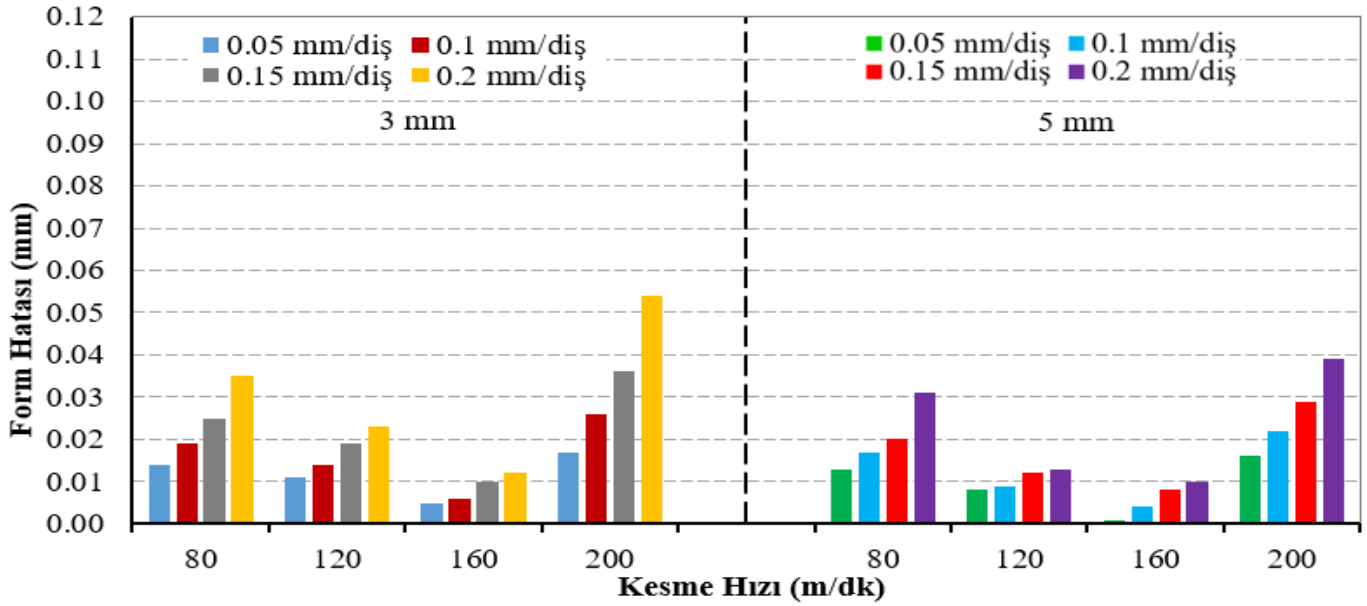
SONUÇLAR VE TARTIŞMA

CMM ve LT Ölçüm Sonuçları için Form Hatalarının Değerlendirilmesi

Bu bölümde cidar kalınlığının, kesme hızının ve ilerleme miktarının form hatalarına etkileri değerlendirilmiştir. Bunun için işlenen parçalar hem CMM hem de Lazer tarama (LT) cihazı ile ölçülerek ölçümlerin CAD datasından ne kadar sapma olduğu belirlenmiştir. Ayrıca CMM ve LT'nın form hatalarının ölçümündeki performansları da değerlendirilmiştir. Cidar kalınlığına ve kesme parametrelerine bağlı form hatalarının belirlenmesi için CMM ve LT ölçüm sonuçları Şekil 3 ve Şekil 4'de sunulmuştur. Ayrıca sabit cidar kalınlığında ve kesme parametrelerde işlenen parçaların CMM ve LT ölçüm sonuçlarının farkları Şekil 5 a-b'de verilmiştir.

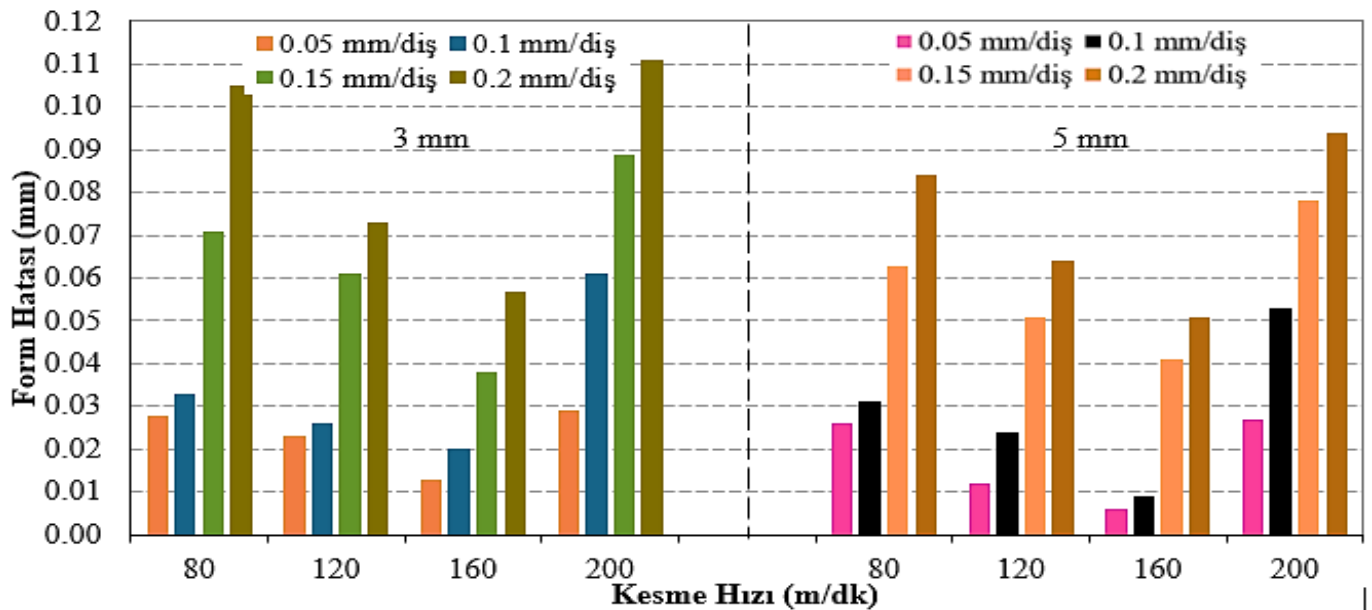
3 ve 5 mm cidar kalınlığında numunelerin dört farklı kesme hızında ve dört farklı ilerleme miktarında işlenmesi sonucu CMM ölçümleriyle elde edilen form hatalarındaki değişim Şekil 3'de verilmiştir. 3 mm cidar kalınlığı için bütün kesme hızlarında ve ilerleme miktarlarında form hataları 0,005-0,054 mm arasında değişmektedir. 160 m/dk kesme hızında, 0,05 mm/diş ilerleme miktarında ve 3 mm cidar kalınlığında en düşük form hatası 0,005 mm olurken, 200 m/dk kesme hızında, 0,2 mm/diş ilerleme miktarında ve 3 mm cidar kalınlığında en yüksek form hatası 0,054 mm olduğu görülmüştür. 5 mm cidar kalınlığı için bütün kesme hızlarında ve ilerleme miktarlarında form hatalarının 0,001-0,039 mm arasında değişmektedir. 160 m/dk kesme hızında, 0,05 mm/diş ilerleme miktarında ve 5 mm cidar

kalınlığında en düşük form hatası 0,001 mm olurken, 200 m/dk kesme hızında, 0,2 mm/diş ilerleme miktarında ve 5 mm cidar kalınlığında en yüksek form hatası 0,039 mm olduğu görülmüştür.



Şekil 3. CMM için Kesme Parametrelerinin Form Hatası Üzerine Etkileri.

3 ve 5 mm cidar kalınlığında numunelerin dört farklı kesme hızında ve dört farklı ilerleme miktarında işlenmesi sonucu LT ölçümleri sonucu elde edilen form hatalarındaki değişim Şekil 4'de verilmiştir. 3 mm cidar kalınlığı için yapılan deneyler sonucu form hataları 0,013-0,111 mm arasında değişmektedir. 160 m/dk kesme hızında, 0,05 mm/diş ilerleme miktarında ve 3 mm cidar kalınlığında en düşük form hatası 0,013 mm olurken, 200 m/dk kesme hızında, 0,2 mm/diş ilerleme miktarında ve 3 mm cidar kalınlığında en yüksek form hatası 0,111 mm olduğu görülmüştür. 5 mm cidar kalınlığı için yapılan deneyler sonucu form hataları 0,006-0,094 mm arasında değişmektedir. 160 m/dk kesme hızında, 0,05 mm/diş ilerleme miktarında ve 5 mm cidar kalınlığında en düşük form hatası 0,006 mm olurken, 200 m/dk kesme hızında, 0,2 mm/diş ilerleme miktarında ve 5 mm cidar kalınlığında en yüksek form hatası 0,094 mm olduğu görülmüştür.

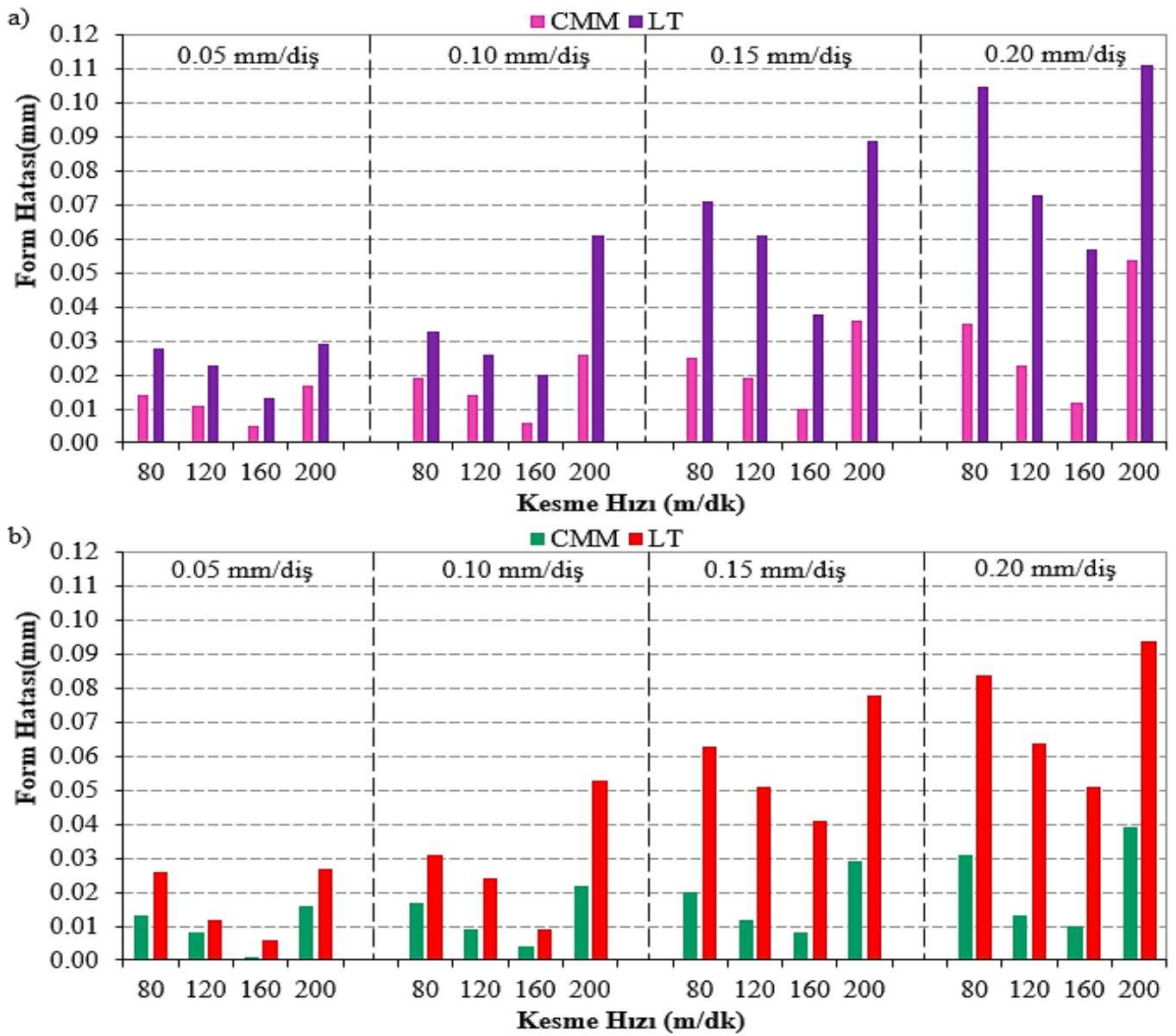


Şekil 4. LT için Kesme Parametrelerinin Form Hatası Üzerine Etkileri.

Genel olarak Şekil 3 ve Şekil 4 incelendiğinde, 3 ve 5 mm cidar kalınlıkları için CMM ve LT ölçümlerinde sabit ilerleme miktarında form hataları 80 m/dk kesme hızı düşük değerlerde yüksek çıktığı görülmektedir. Özlü (2021b), talaş kaldırma sırasında kesme bölgesi çevresinde ısı oluşumunun düşük oluşması iş parçası sertliğini düşürmemesi

kesme kuvvetlerinin artmasının bir nedeni olarak bildirmiştir. Kesme kuvvetinin artması ile iş parçasında ve kesici takımında meydana gelen sehimin form hatalarının artmasının ana nedeni olduğu düşünülmektedir. Kesme hızının 80 m/dk'dan 160 m/dk'ya kadar artırılması ile form hatasının azaldığı ancak kesme hızının 200 m/dk çıkarılmasıyla form hatalarında tekrar artışın olduğu görülmüştür. Özlü, Demir & Türkmen, (2019), kesme hızının belli bir değere kadar artırılması kesme bölgesindeki sıcaklığın artışına buda iş parçasının kayma dayanımının azalması ile kesme kuvvetinin azalacağı ifade etmiştir. Azalan kesme kuvvetine bağlı takım sehiminin azalacağı buna bağlı olarak iş parçasındaki form hatalarının azaldığı öngörülmektedir. Ancak kesme hızının 200 m/dk ile maksimum değere çıkması ile form hatalarında tekrar yükselme olmuştur. Kesme hızının artışına bağlı tezgâh fener milinin dönüş hızının artacağı artan fener mili dönüş hızının tezgâh titreşimini artıracığı buna bağlı olarak form hatası artacaktır. Ayrıca yapılan çalışmada cidar kalınlığının azalmasının form hatalarını artıracığı tespit edilmiştir.

Şekil 5 a-b'de 3mm ve 5 mm cidar kalınlığı için farklı kesme parametrelerinde işlenmesi sonucu oluşan form hatalarının CMM ve LT ölçüm farkları gösterilmiştir. Şekil 5a'daki deney sonuçlarına göre LT için 3 mm cidar kalınlığı için form hatası sonuçları ortalama 0,052 mm hesaplanırken, CMM için bu değer 0,02 mm hesaplanmıştır.



Şekil 5. Farklı Kesme Parametrelerinde CMM ve LT Ölçümü İçin Form Hata Farkı. a) 3 mm Cidar Kalınlığı, b) 5 mm Cidar Kalınlığı.

Şekil 5b'deki deney sonuçlarına göre LT için 3 mm cidar kalınlığı için form hatası sonuçları ortalama 0,045 mm hesaplanırken, CMM için bu değer 0,016 mm hesaplanmıştır. Bu sonuçlara göre bütün ölçüm sonuçlarına ve

hesaplamalara göre LT ölçüm sonuçları CMM ölçüm sonuçlarına göre ortalama %63 oranında daha yüksek çıktığı görülmüştür. Bunun ana nedeninin de CMM ölçüm cihazının ölçüm hassasiyetinin LT cihazına göre daha fazla olmasıdır.

CMM VE LT İÇİN FORM HATALARININ OPTİMİZE EDİLMESİ

S/N Oranı Analizleri

Taguchi yöntemine göre performans özellikleri ne kadar küçük olursa o kadar iyi, ne kadar büyük olursa o kadar iyi ve nominal olarak daha iyi olmak üzere üç kategoride incelenmektedir. Yapılan çalışmada form hataları için optimum işleme performansını elde etmede ne kadar küçük olursa o kadar iyi performans karakteristiği kullanılmıştır (Nalbant, Gökkaya & Sur, 2007). Sinyal-gürültü (S/N) oranı, işleme parametrelerinin değiştirilmesi işlemin ve ürünün performans özellikleri üzerindeki etkisinin değerlendirildiği bir kalite göstergesidir. Genel olarak, gürültünün daha küçük olması daha iyi sinyalin elde edilmesini sağlar, böylece daha büyük bir S/N oranı daha iyi sonuçlar verir. Bu sonuçların farkının küçüldüğü anlamına gelir (Vijian & Arunachalam, 2006). Form hatalarının en küçük değerleri istendiğinden S/N oranının hesaplanmasında Eşitlik 1 kullanılarak S/N oranları Tablo 3'de gösterilmiştir.

Tablo 3. CMM ve LT İçin Form Hatası Deneysel Sonuçları ve S/N Oranları.

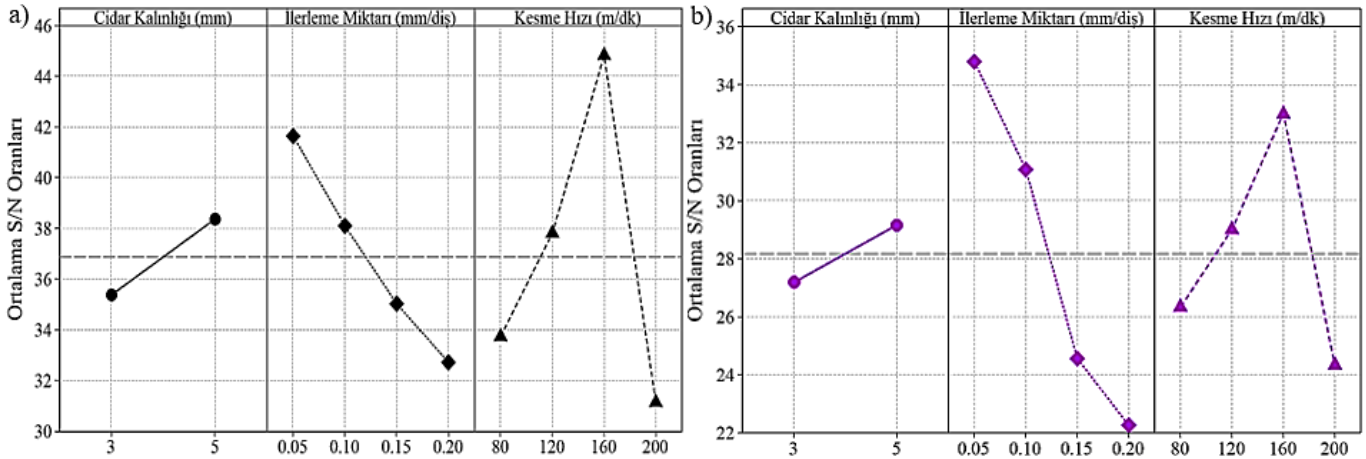
Deneysel No	CK (mm)	f (mm/diş)	Vc (m/dak)	Form Hatası (mm)		Form Hatası S/N Oranı (dB)	
				CMM	LT	CMM	LT
1	3	0,05	80	0,014	0,028	37,077	31,057
2	3	0,05	120	0,011	0,023	39,172	32,765
3	3	0,05	160	0,005	0,013	46,021	37,721
4	3	0,05	200	0,017	0,029	35,391	30,752
5	3	0,1	80	0,019	0,033	34,425	29,63
6	3	0,1	120	0,014	0,026	37,077	31,701
7	3	0,1	160	0,006	0,02	44,437	33,979
8	3	0,1	200	0,026	0,061	31,59	24,293
9	3	0,15	80	0,025	0,071	32,041	22,975
10	3	0,15	120	0,019	0,061	34,425	24,293
11	3	0,15	160	0,01	0,038	40	28,404
12	3	0,15	200	0,036	0,089	28,874	21,012
13	3	0,2	80	0,035	0,105	29,119	19,576
14	3	0,2	120	0,023	0,073	32,765	22,734
15	3	0,2	160	0,012	0,057	38,416	24,883
16	3	0,2	200	0,054	0,111	25,352	19,094
17	5	0,05	80	0,013	0,026	37,721	31,701
18	5	0,05	120	0,008	0,012	41,938	38,416
19	5	0,05	160	0,001	0,006	60	44,437
20	5	0,05	200	0,016	0,027	35,918	31,373
21	5	0,1	80	0,017	0,031	35,391	30,173
22	5	0,1	120	0,009	0,024	40,915	32,396
23	5	0,1	160	0,004	0,009	47,959	40,915
24	5	0,1	200	0,022	0,053	33,086	25,514
25	5	0,15	80	0,02	0,063	33,979	24,013
26	5	0,15	120	0,012	0,051	38,416	25,849
27	5	0,15	160	0,008	0,041	41,759	27,744
28	5	0,15	200	0,029	0,078	30,752	22,158
29	5	0,2	80	0,031	0,084	30,173	21,514
30	5	0,2	120	0,013	0,064	37,833	23,876
31	5	0,2	160	0,01	0,051	40	25,849
32	5	0,2	200	0,039	0,094	28,179	20,537

Deneysel sonuçları elde edilen CMM ve LT ölçümleri sonucu elde edilen form hatalarının ortalamaları sırası ile 0,017 mm ve 0,044 mm iken CMM ve LT için ortalama S/N oranı sırası ile 37,324 dB ve 29,352 dB olarak hesaplanmıştır. CMM ve LT için her bir kesme parametrelerinin optimum seviyelerine ait S/N yanıt sonuçları Tablo 4'de verilmiştir. Ayrıca

CMM ve LT için kesme parametrelerinin form hatası üzerine etkileri Şekil 6'daki grafikte gösterilmiştir. Şekil 6'daki en büyük S/N oranı o kesme parametresinin en iyi seviyesini ifade etmektedir (Nas & Altan, 2020). Buna göre CMM ve LT ölçümleri sonucu optimum kesme parametrelerini veren seviyelerin A2B1C3 (5 mm, 0,05 mm/diş ve 200 m/dak) olduğu görülmüştür (Şekil 6).

Tablo 4. CMM ve LT İçin Form Hatası S/N Yanıt Tablosu.

Seviyeler	CMM			LT		
	CK (mm)	F (mm/diş)	Vc (m/dk)	CK (mm)	F (mm/diş)	Vc (m/dk)
1	35,39	41,65	33,74	27,18	34,78	26,33
2	38,38	38,11	37,82	29,15	31,08	29,00
3		35,03	44,82		24,56	32,99
4		32,73	31,14		22,26	24,34
Delta	2,99	8,93	13,68	1,97	12,52	8,65



Şekil 6. Kesme Parametrelerinin, a) CMM ve b) LT İçin Form Hatası Üzerine Etkileri.

Varyans Analizi (ANOVA)

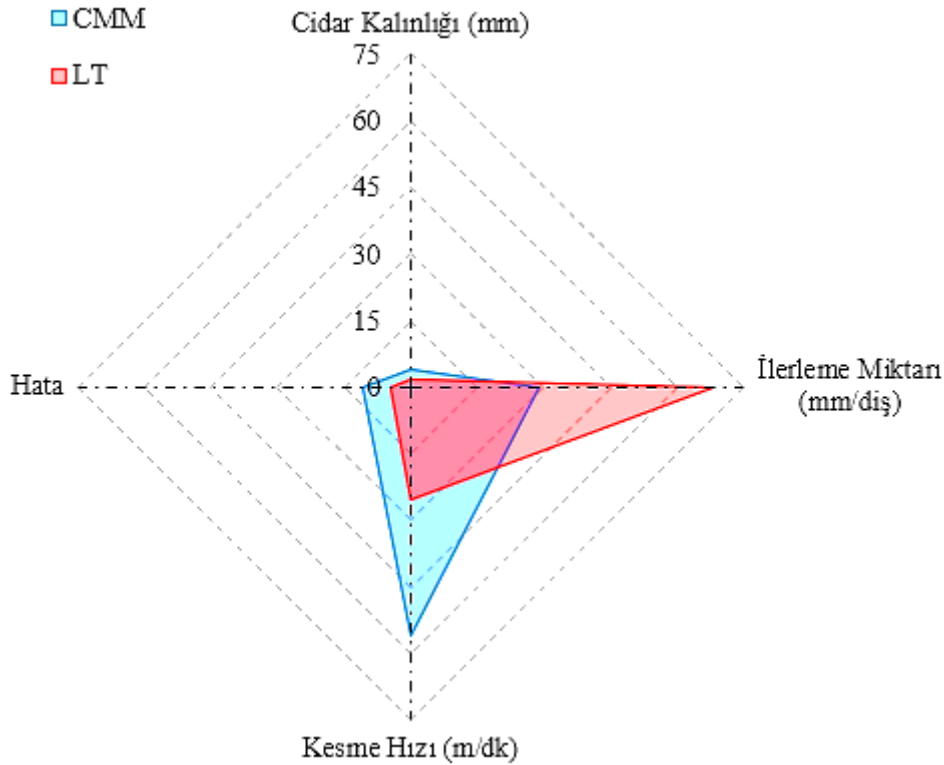
CMM ve LT için kesme parametrelerinin form hataları üzerine etkilerini belirlemek için %95 güven düzeyinde ANOVA analizi yapıldı. ANOVA analizinde iki önemli faktör vardır. Bunlardan birincisi anlamlılık düzeyi olan (P) değeridir. P değeri kesme parametrelerinin her birinin sonuçlar üzerinde anlamlı olması için 0,05'ten küçük olması beklenir. İkincisi ise F değeridir. F değeri sonuçlarının en büyük olan parametre sonuçlar üzerinde en etkili olandır (Akgün & Kara, 2021; Çırakoğlu, Özlü & Demir, 2021).

Tablo 5. ANOVA Sonuçları.

Kesme Parametreleri	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri
CMM					
Cidar Kalınlığı	1	0,000172	0,000172	8,90	0,006
İlerleme Miktarı	3	0,001215	0,001215	20,97	0,000
Kesme Hızı	3	0,002371	0,002371	40,95	0,000
Hata	24	0,000463	0,000463		
LT					
Cidar Kalınlığı	1	0,000480	0,000480	9,67	0,005
İlerleme Miktarı	3	0,017644	0,017644	118,32	0,000
Kesme Hızı	3	0,006606	0,006606	44,30	0,000
Hata	24	0,001193	0,001193		

Tablo 5'de CMM ve LT için kesme parametrelerinin form hataları üzerine etkilerini belirlemek için yapılan analiz sonuçları gösterilmiştir. Ayrıca CMM ve LT için kesme parametrelerinin form hataları üzerine katkı oranları Şekil

7'deki radar grafiğinde sunulmuştur. CMM için form hataları üzerine en etkin kesme parametresi %56,18 ilerleme miktarı olurken bunu sırası ile %28,77 kesme hızı ve %4,07 ile cidar kalınlığı olurken, LT için form hataları üzerine en etkin kesme parametresi %68,06 kesme hız olurken bunu sırası ile %25,48 ilerleme miktarı ve %1,85 ile cidar kalınlığı olduğu görülmüştür.



Şekil 7. CMM ve LT İçin Kesme Parametrelerinin Form Hataları Üzerine Katkı Oranları.

SONUÇLAR

Bu çalışmada, kuru işleme şartlarında serbest formlu ince cidarlı AA 5083-H111 alaşımının frezelenmesinde kesme parametrelerinin form hatasına etkisi incelenmiştir. İşlenen parçalardaki form hataları CMM ve LS cihazları ile ölçülerek cihazların performans karşılaştırılmıştır. Ayrıca optimum kesme parametrelerinin elde edilmesi için Taguchi yöntemi ve ANOVA uygulanmıştır. Yapılan çalışmadan aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir:

- ❖ 5 mm cidar kalınlığında, 0,05 mm/diş ilerleme miktarında ve 160 m/dak kesme hızında CMM ve LT için en düşük form hatası sırası ile 0,001 mm ve 0,006 mm ölçülmüştür.
- ❖ CMM ölçümlerinde en yüksek form hatası 3 mm cidar kalınlığında, 0,15 mm/diş ilerleme miktarında ve 200 m/dak kesme hızında 0,036 mm ölçülürken, LT ölçümlerinde en yüksek form hatası 3 mm cidar kalınlığında, 0,2 mm/diş ilerleme miktarında ve 200 m/dak kesme hızında 0,054 mm ölçülmüştür.
- ❖ Yapılan istatistiksel analizler sonucu her iki ölçümün (CMM ve LT) en düşük form hataları için optimum kesme parametre seviyeleri A2B1C3 (5 mm cidar kalınlığı, 0,05 mm/diş ilerleme miktarı ve 160 m/dak) olarak belirlenmiştir.
- ❖ CMM ve LT ölçümleri üzerine en etkin kesme parametresi sırası ile %56,18 ile kesme hız ve %68,06 ilerleme miktarı olmuştur.
- ❖ CMM ve LT için yapılan regresyon analiz sonuçlarına bakıldığında ikinci derece regresyon analiz sonuçları, lineer regresyon sonuçlarına göre gerçek deney sonuçlarına daha yakın çıktığı görülmüştür.

Teşekkür

Yapılan çalışmada desteklerini esirgemeyen, bünyesinde bulunan ekipmanların kullanılmasına izin veren PLASCAM A.Ş yönetimine teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

- Akgün, M., & Demir, H. (2021). Optimization and finite element modelling of tool wear in milling of Inconel 625 superalloy. *Journal of Polytechnic*, 24(2), 391-400. <https://doi.org/10.2339/politeknik.706605>
- Akgün, M., & Kara, F. (2021). Analysis and optimization of cutting tool coating effects on surface roughness and cutting forces on turning of AA 6061 alloy. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2021, 6498261. <https://doi.org/10.1155/2021/6498261>
- Çırakoğlu, F., Özlü, B., Demir, H. (2021). Hardox 450 çeliğinin lazerle delinmesinde kesme parametrelerinin delik kalitesi üzerine etkisinin incelenmesi ve kesme parametrelerinin optimizasyonu. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8(2), 913-923. <https://doi.org/10.35193/bseufbd.977412>
- Desai, K.A., & Rao, P.V.M. (2012). On cutter deflection surface errors in peripheral milling. *Journal of Materials Processing Technology*, 212(11), 2443-2454. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2012.07.003>
- Gök, A., Göloğlu, C., Demirci, H.İ. (2014). Dışbükey ve içbükey yüzeylerin küresel parmak frezelenmesinde takım sehimine bağlı form hatalarının belirlenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 29(2), 365-374.
- Li, Y., & Gu, P. (2004). Free-form surface inspection techniques state of the art review. *Computer-Aided Design*, 36(13), 1395-1417. <https://doi.org/10.1016/j.cad.2004.02.009>
- Mali, R.A., Gupta, T.V.K., Ramkumar, J. (2021). A comprehensive review of free-form surface milling-Advances over a decade. *Journal of Manufacturing Processes*, 62, 132-167. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2020.12.014>
- Nalbant, M., Gökkaya, H., Sur, G. (2007). Application of Taguchi method in the optimization of cutting parameters for surface roughness in turning. *Materials & Design*, 28(4), 1379-1385. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2006.01.008>
- Nas, E., & Altan Özbek, N. (2020). Optimization of the machining parameters in turning of hardened hot work tool steel using cryogenically treated tools. *Surface Review and Letters*, 27(05), 1950177. <https://doi.org/10.1142/S0218625X19501774>
- Oliveira, E.L., Souza, A.F., Diniz, A.E. (2018). Evaluating the influences of the cutting parameters on the surface roughness and form errors in 4-axis milling of thin-walled free-form parts of AISI H13 steel. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 40, 334. <https://doi.org/10.1007/s40430-018-1250-1>
- Özlü, B. (2021a). Experimental and statistical investigation of the effects of cutting parameters on kerf quality and surface roughness in laser cutting of Al 5083 alloy. *Surface Review and Letters*, 28(10), 2150093. <https://doi.org/10.1142/S0218625X21500931>
- Özlü, B. (2021b). Slepner soğuk iş takım çeliğinin tornalanmasında kesme parametrelerinin kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve talaş şekli üzerine etkisinin incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 36(3), 1241-1252. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.668169>
- Özlü, B., Demir, H., Türkmen, M. (2019). The effect of mechanical properties and the cutting parameters on machinability of aisi 5140 steel cooled at high cooling rates after hot forging. *Journal of Polytechnic*, 22(4), 879-887. <https://doi.org/10.2339/politeknik.479345>
- Vijian, P., & Arunachalam, V.P. (2006). Optimization of squeeze cast parameters of LM6 aluminium alloy for surface roughness using Taguchi method. *Journal of Materials Processing Technology*, 180(1-3), 161-166.
- Yaka, H., Demir, H., Gök A., Akkuş, H. (2018). Determination of optimum cutting parameters on free form surfaces in terms of form errors and machining times. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 36(4), 1153-1164.
- Yaka, H., Demir, H., GÖK, A. (2017). Optimization of the cutting parameters affecting the surface roughness on free form surfaces. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 35(2), 323-331.
- Yan, X., & Ballu, A. (2019). Review and comparison of form error simulation methods for computer-aided tolerancing. *Journal of Computing and Information Science in Engineering*, 19(1), 010802. <https://doi.org/10.1115/1.4041476>



Kahramanmaraş Sütçü İmam University Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 27.07.2022
Kabul Tarihi : 06.10.2022

Received Date : 27.02.2022
Accepted Date : 06.10.2022

ELECTROCONDUCTIVE POLYAMIDE YARNS WITH GREEN SYNTHESIZED SILVER NANOPARTICLES

GÜMÜŞ NANOPARTİKÜLÜN GREEN SENTEZİ İLE ELETROİLETKEN POLİAMİD İPLİKLER

Şeyma KANARA^{1*} (ORCID: 0000-0002-0596-3311)
Neslihan OKYAY² (ORCID: 0000-0002-8987-6361)
Fatih IŞIK² (ORCID: 0000-0001-9980-8234)
Suat ÇETİNER¹ (ORCID: 0000-0002-6604-145X)

¹ Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye
² Karacasu Tekstil Ar&Ge Merkezi, Kahramanmaraş, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Şeyma KANARA seymakanaraa@gmail.com

ABSTRACT

The objective of this research is to study antibacterial and antistatic properties of polyamide (PA) yarn which coated with silver nanoparticles and carboxymethyl starch (CMS). Silver nanoparticles were synthesized by a green synthesis method and coated onto polyamide (PA) yarns. At the end of coating process, the composite PA yarns were removed and the absorbance of supernatant solutions was measured using Ultraviolet and visible light absorption (UV-Vis) techniques. The presence of nanosilver onto PA composite yarns was confirmed by plasma/optical emission spectroscopy (ICP/OES) and scanning electron microscope (SEM). Electrical conductivity of composite PA yarns was measured by four point probe electrical conductivity measurement technique and was changed from $1,452 \times 10^{-5}$ to $2,853 \times 10^{-3}$ S/cm. Also, the antibacterial activity of the composite PA yarns was measured by Kirby-Bauer method and all composite and PA yarns showed antibacterial activity against *E. coli* and *S. aureus*.

Keywords: Silver nanoparticle, polyamide multifilament yarn, green synthesis, antistatic and antibacterial property

ÖZET

Bu araştırmanın amacı, gümüş nanopartiküller ve karboksimetil nişasta (CMS) ile kaplanan poliamid ipliğin antibakteriyel ve antistatik özelliklerini incelemektir. Gümüş nanopartiküller poliamid (PA) lifleri üzerine yeşil sentez yöntemi ile kaplanmıştır. Kaplama işlemi sonunda, kompozit PA iplikler kaldırılarak kalan çözeltinin absorbans değerleri UV görünür spektrum tekniğinde ölçülmüştür. İpliklerde nano gümüş varlığı, ICP-OES spektroskopisi ve taramalı elektron mikroskopu (SEM) ile doğrulanmıştır. Kompozit ipliklerin elektriksel iletkenliği dört nokta elektriksel iletkenlik ölçüm tekniği kullanarak $1,452 \times 10^{-5}$ – $2,853 \times 10^{-3}$ S/cm aralığında ölçümler kaydedilmiştir. Ayrıca, kompozit PA ipliklerinin antibakteriyel aktivitesi Kirby-Bauer yöntemi ile ölçülmüş ve tüm kompozit PA iplikler *E. coli* ve *S. aureus*'a karşı antibakteriyel aktivite göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Gümüş nanopartikül, poliamid multifilament iplik, yeşil sentez, antistatik ve antibakteriyel özellik

INTRODUCTION

The progress of new clothing products based on the connection of nanophased materials on textile fibers has recently been of increasing interest to both the academic and the industrial sectors. Nowadays, a broad gap of nanoparticles with diverse structures can be connected on the fibers, bringing new properties to the latest textile product.

ToCite: KANARA, Ş., OKYAY, N., IŞIK, F. & ÇETİNER, S. (2022). ELECTROCONDUCTIVE POLYAMIDE YARNS WITH GREEN SYNTHESIZED SILVER NANOPARTICLES. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 25(4), 643-654.

Silver nanoparticles easily interact with other particles due to their physical, chemical, thermal, optical, high electrical conductivity and biological properties which lead to potential applications in industrial fields such as antimicrobial agents, conductive coating and sensors. Nanostructured silver deposited on textile surfaces can be used to make smart functional textiles, which have extensive potential for applications ranging from antibacterial materials to conductive textiles and electronic sensors (Perelshtein et al., 2008; Guzmán, Dille & Godet, 2009; Pollini et al., 2009; Xue et al., 2012; Dong, Zhang, & Cai, 2014; Zahran., 2014; Lee et al., 2015; Wei et al., 2015; Bhowmick, & Kaul., 2016).

There are various methods to obtain conductive textiles such as the use of conductive agent and particles, metallic fibers, coating with conductive polymers. Among the various chemical methods used for the preparation of silver nanoparticles, chemical reducing method by using a reducing agent such as sodium borohydrate citrate (or ascorbate in a silver salt solution is the most common. This chemical synthesis method endures complicated production steps and evacuates a lot of wastewater, which will attack the environment and human health (Puiso, Prosycevas, & Tamulevičius, 2009; Kardarian, 2014; Ashayer Soltani, Hunt, & Thomas, 2016; Montes-Hernandez et al., 2021; Yu et al., 2021).

Chemical reducing agents are commonly associated with environmental toxicity or biological hazards. Therefore, the development of silver nanoparticles based on natural extracts is observed as most appropriate method for environmental reasons. It can be provided a “green” approach to modify textile surfaces fiber without undesirable chemicals. The concept of green synthesis of nanoparticles was first contributed by Raveendran et al. (2003) in which glucose acted as a reducing agent and starch played the role of particles stabilizer. Silver nanoparticles were arranged in another study by means of using the carbohydrate polymer, sodium carboxymethyl cellulose for the nanoparticle preparation and in that case, sodium carboxymethyl cellulose was found to work effectively as both a reducing and stabilizing agent. The utilization of nontoxic chemicals, environmentally benign solvents and renewable materials are some of the key issues that merit important consideration in a green synthesis strategy. Also, green methods have also been adduced for the production of AgNPs with a narrow size distribution (Raveendran, Fu, & Wallen, 2003; Elzey, & Grassian, 2010; Osório et al., 2012; Hebeish et al., 2011).

Hasan et al. (2019) reported a novel route for the coloration of polyester fabric with green synthesized silver nanoparticles (G-AgNPs@PET). They determined that the antibacterial properties of fabric were also found to be good as more than 80% bacterial reduction was determined even after 10 washing cycles. Pivec et al. (2017) studied new green in-situ process for introduction of silver nanoparticles on the cellulose fibres, using sodium hydroxide and silver nitrate. They investigate antibacterial properties against *S. aureus*, *Candida albicans* (*C. albicans*) and *Klebsiella pneumonia* (*K. pneumonia*) by using AATCC 100-1999 standard methods and determined good antimicrobial activity even after 20 washing cycles. El-Shishtawy et al. (2011) developed a practical procedure for the in-situ production of silver nanocoated cotton fabric and emphasized that green synthesis of silver nanoparticles, is an ecological and viable approach for the in situ forming silver nanoparticles. They investigated antibacterial and antifungal properties against *E. coli* NRRL B-210, *Bacillus subtilis* (*B. subtilis*) NRRL B-543 and *S. aureus* NRRL B-313 and *C. albicans*. Ravindra et al. (2010) investigated that fabrication of antibacterial cotton fibres loaded with silver nanoparticles via ‘green approach’. AgNP particle size was determined to have ~20 nm according to SEM images. Also, they found the AgNPs containing cotton fibres have exhibited > 1.5 mm inhibition zone in all the cases. Moreover, they emphasized that the inclusion of silver nanoparticles into cotton fibres enhanced their thermal stability and elongation properties. Fatma Nur et al. (2021) studied polyamide 6, polyamide 6/honey, and polyamide 6/honey/boric acid nanofibrous mats were fabricated by electrospinning and electrospraying technique to be used in wound healing applications. They demonstrated that antibacterial tests the polyamide 6/honey fiber was effective against *E. coli*, while the polyamide 6/honey fibers loaded with boric acid at 5 and 10 wt% concentration were effective against both *E.coli* and *S. aureus*.

Abdel-Halim et al. (2017) reported that hydroxypropyl cellulose molecules have certain molar substitution just enough for achieving complete water solubility using different reaction conditions, reaction duration and temperature. They determined that the molar substitution rises by increasing the concentration of sodium hydroxide during the alkalization step, up to 10% of the weight of cellulose and further increase above this limit is accompanied by gradual decrement in the molar substitution. El-Rafie et al. (2011) synthesized silver nitrate using in an alkaline aqueous solution of silver nitrate (AgNO₃)/hydroxypropyl starch (HPS). They studied the influence of the reaction parameters, such as the concentration of HPS and AgNO₃, pH, temperature, and duration of the reaction medium on the size and agglomeration of the formed AgNPs. Also, they emphasized that HPS is water soluble/ biocompatible starch derivative which proves a dual rule as reducing agent for silver ions and as stabilizing agent too for the formed

AgNPs. Tang et al. (2013) investigated that multifunctionalization of cotton through in situ green synthesis of silver nanoparticle. They studied using carboxymethyl cellulose (CMC), the effects of pH value, heating treatment, soaking time of silver ions and post-placement duration on the color durability of cotton were investigated.

Many recent studies focus on the green synthesis of AgNPs for textiles with improved applications. In this context, CMS may be an applicable green stabilizing agent for AgNPs with remarkable. CMS is a water-soluble polysaccharide which is widely employed as an additive; it is biodegradable and non-toxic products that are finding an increasing number of applications. CMS can be used as thicker, binder and emulsifying agent in various applications.

In order to obtain a multi-functional yarn with an extremely high advancement in adhesion of silver nanolayer, the polyamide multifilament yarn has been chosen as the surface. The polyamide yarns with multifunctional properties can be applied in various commercial usages due to good electrical conductivity, light weight, and corrosion resistance along with enhanced mechanical properties. Withal, Polyamide is an electron-rich and polar synthetic polymer (polyamide) usually made of adipoyl chloride and hexamethylene diamine monomers to form a linear molecular chain (Ravindra et al., 2010; Abdel-Halim, & Al-Deyab, 2011; El-Rafie et al., 2011; El-Shishtawy et al., 2011; Tang et al, 2013; Montazer, & Nia, 2015; Pivec et al, 2017; Hasan et al., 2019; CMS, 2022).

In this study, in-situ synthesis of nano-silver on PA yarns has been introduced through an environmentally method in order to create a thin layer of silver nanoparticles on PA yarns. This will produce an electro conductive PA composite yarns with considerable antibacterial properties. This process was performed by green synthesis approach in a two-step reaction process, a method that did not imply any toxic chemicals.

MATERIAL AND METHOD

Material

Polyamide multifilament yarns (technical properties; 70 denier, two ply,10 filament (70/2/10)) were supplied from Karacasu Textile, Turkey. AgNO_3 (>99 %) were purchased from Tekkim Chemicals. Carboxy methyl starch (CMS) was synthesized from potato starch waste in ÜSKİM laboratory by Dolaz et al (Dolaz, and Akarsu, 2018). Ethanol acetone and sodium hydroxide (NaOH) were supplied from Sigma Aldrich and were used as received.

Method

Preparation of Silver Coated Polyamide Yarns

PA multifilament yarns were pretreated with acetone and ethanol, respectively. After the PA multifilament yarns were mixed with NaOH solution for 30 minutes, CMS solution prepared at 50 °C. After dissolution of CMS powders, the solution including CMS cooled to 25 °C. PA multifilament yarns were treated with prepared CMS solution at 25 °C for selected concentration. Then, the wetted PA yarns were taken out. AgNO_3 solution was added dropwise to CMS solution and PA yarn was treated with that solution at 25 °C for 2 h to obtain a thin silver nanolayer formation on the fiber surface. Selected concentrations of AgNO_3 (i.e.; 0,25 g/100 mL, 0,5 g/100 mL, 1 g/100mL, 2 g/100mL and 5 g/100mL) were dissolved in distilled water at 25 °C.

After 5 minutes addition of silver nanoparticle solution, the CMS solution acquired light yellow color indicating the reduction of silver nitrate to nano metallic silver. The color of reducing solution turned light brown depending on amount of silver ions. Finally, the composite PA multifilament yarns were washed with distilled water and dried in an oven at 60 °C.

Table 1.The Amount of AgNO_3 and CMS in Coating Process

Sample	AgNO_3 (g)	CMS (g)
S025	0.25	0.05
S05	0.5	0.1
S1	1	0.2
S2	2	0.4

The effect of process parameters such as AgNO_3 and CMS concentration were investigated and optimum conditions have been determined for the coating process (Table 1). In order to investigate the effect of NaOH on the yarns, NaOH and without NaOH coating were made on multifilament PA yarns.

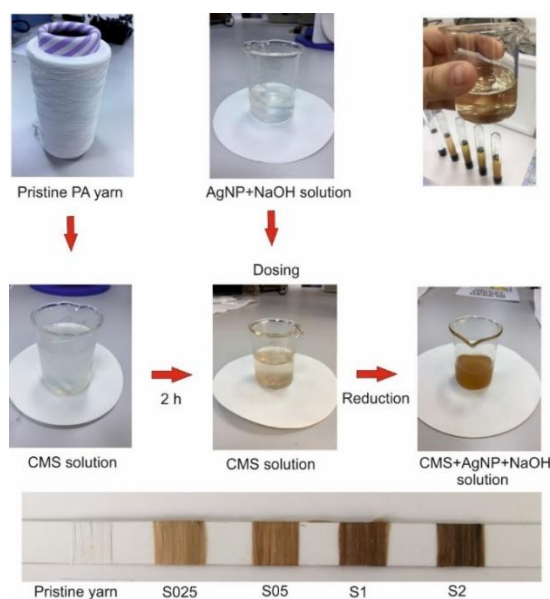


Figure 1. Preparation of AgNPs Coated Composite PA Yarn

Preparation of CMS Powder

Initially, the reactions were performed in a glass batch reactor equipped with mechanical stirrer and thermocouple. The first process was the purification of the starches. waste potato starch (WPS) (50 g) and 3 g of NaOH in 15 mL water were suspended in a certain volume of isopropanol (IPA) and heated to 45 °C. Then, hydrogen peroxide (5 mL, 30% w/w) was added and the mixture was stirred for 90 min. After cooling down to room temperature, the sample was neutralized with glacial acetic acid, washed with distilled water three times, and dried at 40 °C in vacuum. In the second step, the carboxymethylation of WPS was realized and the sodium salt solution of monochloroacetic acid was dissolved in IPA in the glass reactor and an aqueous solution of sodium hydroxide was added. After 15 min, 10 g of starch (ca.15 wt% moisture) and NaOH microgranules were slowly introduced (Dolaz, & Akarsu, 2018).

Characterization of Silver Nanoparticle Solution

Firstly, the solution was characterized by Ultraviolet and visible light absorption (UV-Vis) Spectroscopy. A Perkin-Elmer Lambda 750 spectrometer was used to investigate the mono dispersity of the nanosilver particles in the solution. It is well known that silver nanoparticles exhibit ruby red color in water, having an intense absorbance band around 400–450nm arising due to surface plasmon excitation vibrations in the metal nanoparticle (Montazer, Babaahmadi, 2015).

ICP/OES Spectroscopy

The concentration of silver deposited on the composite PA yarns was measured by ICP/OES spectroscopy.

Characterization of Silver Coated Polyamide Yarns

The quantity of silver in composite PA yarns was determined by Perkin- Elmer Optima 2100 DV ICP/OES. In this process, composite PA yarns of 0.2 g were added to 8 ml nitric acid and a microwave digestion was executed the conditions were 800 W, 190 °C for 15 min. For measuring, the resulting material was diluted with two distilled water to a volume of 25 mL (Textor et al., 2010).

In order to investigate the formation of silver nanoparticles on the PA yarns, a Carl Zeiss Evo LS10 scanning electron microscope (SEM) is used with an accelerating voltage of 3 kV. The samples were gold coated and placed on the aluminum stub and observed under vacuum. The thickness of the AgNPs coated PA yarns was measured by Mitutoyo MDC-25SB Digimatic Outside Micrometer. The direct current (DC) electrical conductivity measurements were carried out by a Entek FPP 510 DC conductivity meter using four point probe method. The antimicrobial activity of AgNPs coated PA yarns was determined by evaluating of inhibition zones after 24 h of incubation at 37 °C by ISO 20645:2004.

Antibacterial Efficacy

Firstly, a mixture of nutrient broth and nutrient agar in 1 L distilled water at Ph 7.2 as well as the empty Petri plates were autoclaved. The agar medium was then cast into the Petri plates and cooled in laminar airflow. Approximately 10^5 colony-forming units of each bacterium were inoculated on plates, and then each yarn samples was planted onto the agar plates.

The assessment of antibacterial activity was based on the observation of the presence of bacterial growth in the contact zone between agar and specimen (inhibition zone), on the appearance and size of the inhibition zone formed around the specimens and on the evaluation of bacterial growth under the sample. Zones of inhibition were measured in terms of millimeter after 24 hr of incubation at 37 °C (Guzmán, Dille & Godet, 2009; Khalil-Abad & Yazdanshenas, 2010; Wu et al., 2014; Raghavendra et al., 2016; Holubnycha, Pogorielov, & Korniienko, 2017).

RESULTS AND DISCUSSION

Characterization of Silver Nanoparticle Solution

The characterization of the solutions containing silver nano-particles was carried out using UV-Vis spectrophotometer. Figure 3 shows the UV-Vis spectra of the AgNPs colloid solutions which were obtained in the wavelength range 300–800 nm.

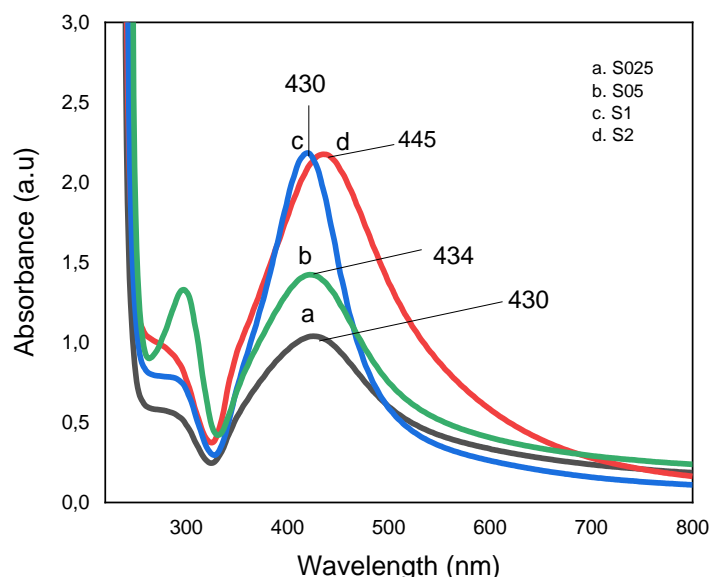


Figure 2. UV-Vis Spectra of AgNP Solutions at Different AgNO_3 /CMS Concentrations (a.S025, b.S05, c. S1, d. S2)

It was determined that the absorbance value of this peak increased due to the increase in the amount of silver in the solution which reflects the formation of silver Nanoparticles (Figure 2). The UV-Vis spectra showed a sharp peak in the visible region around 430-450 nm due to surface plasmon excitation and it confirmed the formation of AgNPs. The absorbance peak of Ag ions normally appears in range of 400 nm and this peak was not recorded here, indicating that, full reduction of Ag^+ was carried out by the CMS in our study. This conclusion has been arrived basing on the relevant literature on silver nanoparticles.

Comparing with Figure 2 a-d for the Ag Nanoparticles, Silver colloidal obtained at lowest AgNP concentration appeared yellow, showing a surface plasmon resonance (SPR) peak at 430 nm. As the AgNP concentration increased, the color of the solution gradually changed to yellow-orange, showing a blue shift of the SPR peak from 430 nm to 445 nm with increase in its intensity but decrease in its broadness. This study shows that the absorption intensity increases as the concentration of AgNP increases, which reflects in the formation of more Ag nanoparticles. For all that, It was observed that there was no significant difference in S1 and S2 coded composite solutions in terms of absorbance values.

These approximate absorbance values related that the fact that the amounts of AgNO_3 used are very close to each other. The primary study shows that the absorption intensity increases as the concentration of AgNO_3 increases, which reflects in the formation of more Ag nanoparticles. These possible changes in the SPR band depend on particle size, shape, state of aggregation, and dielectric medium. At a low concentration of AgNO_3 , the maximum absorption wavelength gives rise to a blue shift, meaning a decrease in the particles size. This conclusion has been arrived basing on the available literature on silver nanoparticles.

According to these results, the low wavelength and narrow peak width reflect a small particle size distribution. The narrower widths of the SPR bands confirm the smaller size and more uniform size distribution of the silver nanoparticles by increasing concentration (Ravindra et al., 2010; Montazer et al., 2012; Hebeish et al., 2013; Kanmani, & Lim, 2013; Abdel-Halima, Alanazia, & Al-Deyab, 2015 ; Paszkiewicz et al., 2016; Saad et al., 2016).

Characterization of Polyamide Yarns

The quantity of silver adsorbed on the composite PA yarns was measured quantitatively by ICP/OES method (Table 2).

Table 2. The Quantity of Silver Adsorbed on The Composite PA Yarns

Parameter	Sample	The quantity of silver (mg/cm^2)
AgNO_3	S025	0.017
	S05	0.006
	S1	0.081
	S2	0.089

It was determined that the quantity of silver adsorbed on the composite PA yarns increased when the AgNO_3 concentration increase. The Ag contents in S025, S05, S1 and S2 were found to be 0.13, 0.45, 0.61 and 0,67 mg/L. It was determined that there was no significant difference in S1 and S2 coded composite PA yarns in terms of adsorbed silver quantity.

Surface Morphology of Composite Polyamide Yarns

In the section, surface morphology was investigated in the absence of NaOH. In figure 3, the smooth surface of synthetic PA multifilament yarns was observed before the coating process.

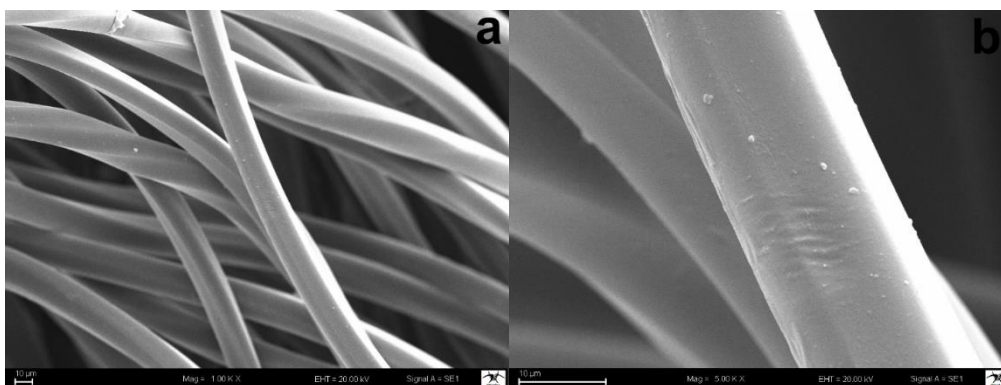


Figure 3. SEM Images of Uncoated PA Yarn (Mag a:1.00 KX , b:5.00 KX)

Figure 4 shows the SEM images of AgNPs coated composite PA yarns which were processed in the absence of NaOH at different concentrations.

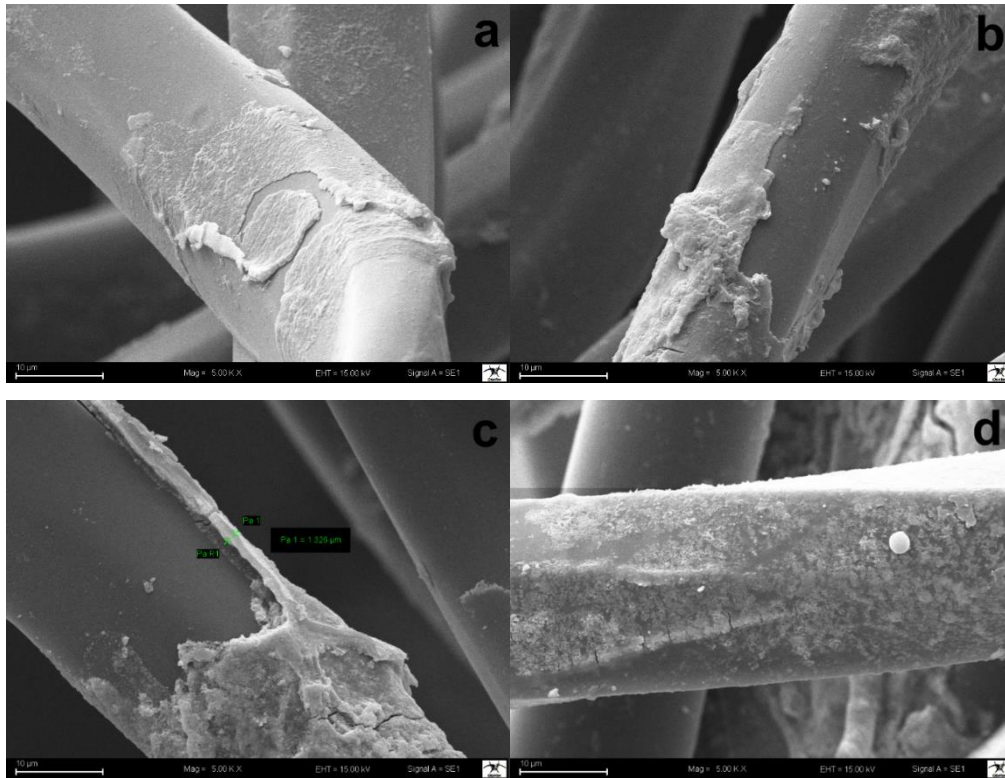


Figure 4. SEM Images of AgNPs Coated PA Yarns Without NaOH (a. S025 b. S05, c. S1, d. S2, Mag: 5.00 KX, Scale: 10 µm)

Figure 4 shows the SEM images of coated PA yarns in the absence of NaOH. It was observed that the coating thickness of the composite PA yarns increased and the coating homogeneity decreased when the silver concentration increased. In addition, the presence of agglomerated silver nanoparticles on the surface of the PA fibers was observed. The agglomerated particles may be attributed to process mixing speed of the silver nanoparticles during dosage. At high concentrations of silver nitrate, most of the carboxyl sites in polyamide chains were occupied which caused the formation of a continuous silver nanoparticle network producing a nanolayer on the fiber surface (Montazer & Nia, 2015; Babaahmadi, & Montazer, 2015; Sadanand et al., 2017).

Figure 5 shows the comparison of surface morphology of S1 coded composite PA yarns in the absence and in the presence of NaOH.

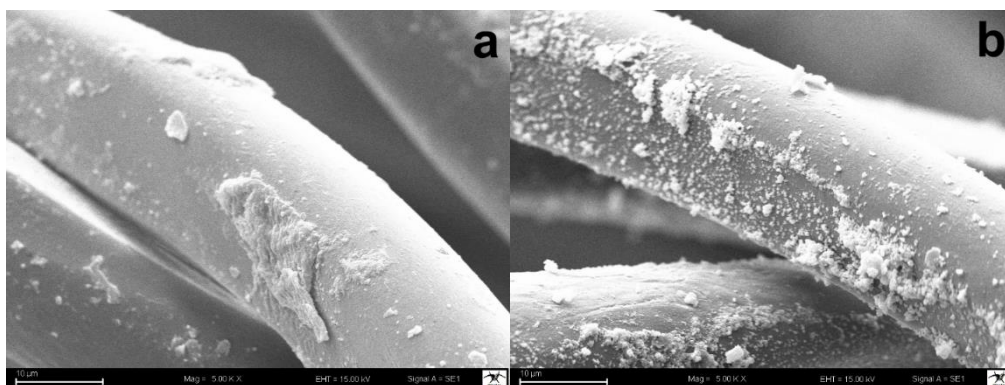


Figure 5. SEM Images of S1 Coded Composite PA yarns (a. In the absence of NaOH, b. In the presence of NaOH, Mag: 5.00 KX, Scale: 10 µm)

The presence of NaOH had a remarkable effect in the formation of AgNPs coated PA yarn surface. In the presence of NaOH, relatively more homogeneously dispersed and less agglomerated AgNP was observed in our study (Figure 5).

SEM observations confirmed the presence of NaOH of silver coating more homogeneous onto yarns surface. It can be explained that the surfaces of yarn seen the less agglomeration with more silver bonding. NaOH is found to play an important role in creating specific intermediates in the reduction of Ag^+ to Ag^0 and in increasing the rate of formation of the AgNPs in Nishimura et al study. In that study, possible reasons why NaOH significantly accelerated the formation process of AgNPs; solid-liquid interface reaction and higher reduction rate constant of $Ag(OH)$. In another study in the literature, when hydroxylamine hydrochloride (HH)/NaOH was used as a reductant in the $AgNO_3$ reduction process, it was determined that the order of addition of chemicals to the reaction mixture significantly affected the grain size and agglomeration degree of nanoparticles. The quasi-spherical nanoparticles with smaller average sizes and less agglomeration degree were obtained when HH/NaOH solution was added to $AgNO_3$. In our study, results consistent with the literature (Nishimura et al., 2011; Kurt & Çelik, 2020).

Electrical Conductivity of Polyamide Yarns

The DC electrical conductivity measurements were repeated five times with different parts of the composite yarns and the arithmetic average of the results was used. The electrical conductivity of composite PA yarns without NaOH depending on $AgNO_3$ /CMS concentration was given in Table 3.

Table 3. DC Conductivity of Composite PA Yarns without NaOH Depending on $AgNO_3$ /CMS wt%

Yarn Code	Thickness (μm)	Coating (%)	Conductivity (S/cm)
Uncoated	590	-	-
S025	593	0.50	1.452×10^{-5}
S05	600	1.69	3.528×10^{-4}
S1	601	1.86	2.566×10^{-3}
S2	603	2.20	2.853×10^{-3}

In the silver coating process of composite PA yarns; it was determined that the electrical conductivity increased from 1.452×10^{-5} S/cm to 2.853×10^{-3} S/cm depending on the increase in $AgNO_3$ /CMS concentration. It has been determined that silver coated PA composite yarns can be evaluated in the conductive region in agreement with the literature. The Ag and CMS amount in the coating solution are the key factors in controlling its electrical conductivity. The best electrical conductivity was measured for S1 and S2 coded composite yarns. As the silver nanoparticle content is higher in S1 and S2 yarns, so the conductivity of the solution increased, corresponding to the hypothesis of controlled releases of Ag ions in aqueous solution (Pica, Fcal and Guran, 2012). According to the electrical conductivity and surface morphology analysis, optimum coating was determined as for S1-coded yarn. According to these measurements, when the coating thickness increased on yarn surfaces, the electrical resistance was decreased and electrical conductivity increased.

NaOH is found to play an important role in creating specific intermediates in the reduction of Ag^+ to Ag^0 and in increasing the rate of formation of the AgNPs in Nishimura et al study. In that study, possible reasons why NaOH significantly accelerated the formation process of AgNPs; solid-liquid interface reaction and higher reduction rate constant of $Ag(OH)$. In another study in the literature, when hydroxylamine hydrochloride(HH)/NaOH was used as a reductant in the $AgNO_3$ reduction process, it was determined that the order of addition of chemicals to the reaction mixture significantly affected the grain size and agglomeration degree of nanoparticles. The quasi-spherical nanoparticles with smaller average sizes and less agglomeration degree were obtained when HH/NaOH solution was added to $AgNO_3$. In our study, results consistent with the literature. However, it was determined that composite PA yarns with more homogeneous AgNPs distribution and less agglomerated silver nanoparticles had higher electrical conductivity values. For example, in the S1 coded yarn, the electrical conductivity was measured as 2.566×10^{-3} S/cm in the absence of NaOH, while the electrical conductivity was measured as 2.114×10^{-2} S/cm in the presence of NaOH. This increase was evaluated as a result of improved coating homogeneity in the presence of NaOH (Nishimura et al., 2011; İlkan, 2020; Kurt & Çelik, 2020).

Antibacterial Activity of Polyamide Yarns

The antibacterial activity of composite PA yarns was evaluated against *E. coli* (ATCC 25923) and *S. aureus* (ATCC 25922) using ISO 20645:2004 standard. Figure 6 and Table 4 present antibacterial activity of AgNPs coated composite PA yarns for different $AgNO_3$ /CMS concentrations.

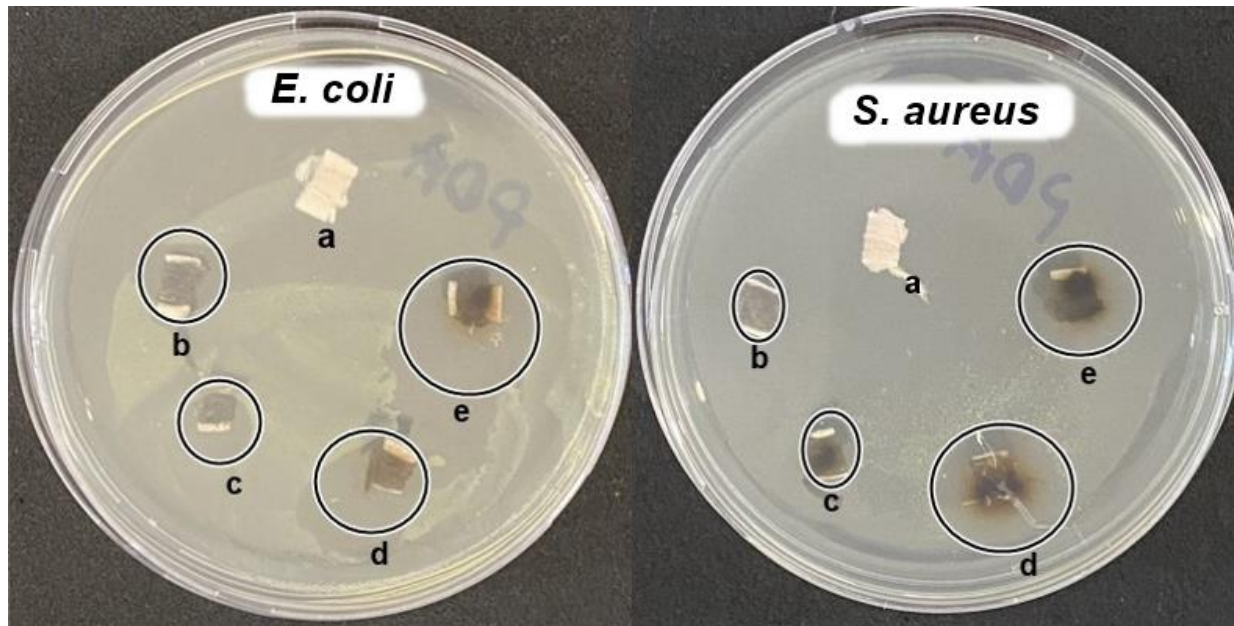


Figure 6. The Antibacterial Activity of AgNPs Coated Composite PA Yarns Against to *E. coli* and *S. aureus* (a:Uncoated yarn, b:S025, c:S05, d:S1, e:S2)

Figure 6 shows that the uncoated PA yarns, which were used as control, did not show any antibacterial activity. The AgNP-coated yarns placed on the bacteria-inoculated surfaces killed all the bacteria under and around them. According to the results, antibacterial activity against *E. coli* and *S. aureus* was good for all AgNPs coated composite PA yarns. However, inhibition zone measurement showed variation. The inhibition zone for *E. coli* was measured between 7.29 mm and 12.27 mm; it was measured between 5.63mm and 12.6mm for *S. aureus*.

Table 4. Inhibition Zone of Composite PA Yarns for *E.coli* and *S. aureus*

Yarn Code	<i>E. coli</i>	<i>S. aureus</i>
Inhibition Zone (mm)		
Uncoated	-	-
S025	7.29	5.63
S05	7.11	6.21
S1	10.13	12.6
S2	12.27	11.32

According to inhibition zone measurements, antibacterial activity increased with increasing AgNO₃/CMS concentration against *E. coli* and *S. aureus*. The interactions between Ag ions with bacteria, the metabolic activity of bacteria can change and finally cause their death. Silver nanoparticles show good antibacterial properties due to their large surface area to volume ratio, which provides a better contact with microorganisms. AgNPs also have the potential, through oxidation–solvation, to cross cell membranes at an increased rate into the cytosol to disrupt intracellular protein thiol groups. The antibacterial properties of silver are caused by the loss of biochemical competence via the binding of AgNPs to bacterial cell walls and cell membranes and from interactions with the thiol groups of bacterial proteins. The higher diameter of inhibition zone around the sample shows that the AgNPs-coated yarn has a better antibacterial effect. The antibacterial property of composite PA yarns can be attributed to the combination of chemical and physical interactions of bacteria with silver particles (Guzmán, Dille & Godet, 2009; Khalil-Abad & Yazdanshenas, 2010; Wu et al., 2014; Holubnycha, Pogorielov, & Kornienko, 2017; Moazzenchi, & Montazer, 2019).

CONCLUSIONS

This research presents a novel and easy method of green synthesis of silver NPs on PA yarns. The synthesized Ag NPs were coated on polyamide yarn so as to enhance the multifunctional properties of the yarn. Owing to physical and chemical interaction, the nanoparticles were bound uniformly on the yarn surface. The advantages of this process

are its ease to carry out and its efficiency. This green method is reliable, non-toxic and cost effective in nature. UV measurements indicated that the higher AgNO₃ concentration, the higher yields and smaller size of silver nanoparticles were produced. ICP/OES measurement results were determined that the increase in the reduction efficiency of silver depending on the concentration. SEM images clearly depicted the formation of a nanolayer around fibers and approved the importance of AgNPs concentration on the electrical conductivity of the yarns. At the same time, it was observed that Ag was formed dominantly and local-uniformly distributed on yarn surface. Relatively more homogeneously dispersed and less agglomerated AgNP was observed in the presence of NaOH. Furthermore, it was determined that composite PA yarns with more homogeneous AgNPs distribution and less agglomerated silver nanoparticles had higher electrical conductivity values. According to inhibition zone measurements, antibacterial activity increased with increasing AgNO₃/CMS concentration against *E. coli* and *S. aureus*. In summary, the green synthesis of silver nanoparticles, using carboxy methyl starch as reducing agents, is an environmentally friendly, simple and efficient route for synthesis of metallic nanoparticles. This method is an effective way for the preparation of antistatic and antibacterial composite yarns. These modified polyamide yarns are potentially useful; as antistatic in a wide variety of textile and protective textile applications. The AgNPs coated composite PA yarns developed in our study, can be preferred in product development studies for technical textiles such as heating textiles, medical textiles etc.

Acknowledgements

The authors wish to thank to Ferudun Koçer from USKİM for bacterial growth and antibacterial tests. This work was supported by the Scientific Research Projects Unit of Kahramanmaraş Sütçü İmam University (Project Nr: 2021/7 - 6 D).

REFERENCES

- Abdel-Halim, E.S., Alanazia, H., & Al-Deyab, S. (2015). Utilization of hydroxypropyl carboxymethyl cellulose in synthesis of silver nanoparticles. *International Journal of Biological Macromolecules*, 75, 467–473.
- Abdel-Halim, E.S., & Al-Deyab., S.S. (2011). Utilization of hydroxypropyl cellulose for green and efficient synthesis of silver nanoparticles. *Carbohydrate Polymers*, 86, 1615– 1622.
- Ashayer Soltani, R., Hunt, C., & Thomas, O. (2016). Fabrication of highly conductive stretchable textile with silver nanoparticles. *Textile Research Journal*, 86(10), 1041–1049.
- Babaahmadi, V., & Montazer, M. (2015). New Route to Synthesis Silver Nanoparticles on Polyamide Fabric Using Stannous Chloride. *The Journal of The Textile Institute*, 106(9), 970-977.
- Bhowmick, S., & Koul V. (2016). Assessment of PVA/silver nanocomposite hydrogel patch as antimicrobial dressing scaffold: Synthesis, characterization and biological evaluation. *Materials Science and Engineering*, 59, 109–119.
- Carboxy Methyl Starch (CMS). (2022). <http://carboxymethyl-starch.com/> / Accessed 03.06.22.
- Dolaz, M., & Akarsu, S. (2018). Synthesis, characterization and application of carboxymethyl potato starch obtained from waste. *Cellulose Chemistry And Technology*, 53 (1-2), 35-45.
- Dong, C., Zhang, X., & Cai, H. (2014). Green synthesis of monodisperse silver nanoparticles using hydroxy propyl methyl cellulose. *Journal of Alloys and Compounds*, 583, 267–271.
- El-Rafie, M.H., El-Naggara, M.E., Ramadan, M.A., Foudaa, M.M.G., Al-Deyabc S. S., & Hebeish, A. (2011). Environmental synthesis of silver nanoparticles using hydroxypropyl starch and their characterization. *Carbohydrate Polymers*, 86, 630– 635.
- El-Shishtawy, R. M., Asiri, A. M., Abdelwahed, N., A. M., & Al-Otaibi, M. M. (2011). In situ production of silver nanoparticle on cotton fabric and its antimicrobial evaluation. *Cellulose*, 18, 75–82.
- Elzey, S., & Grassian, V. H. (2010). Agglomeration, isolation and dissolution of commercially manufactured silver nanoparticles in aqueous environments. *Journal of Nanopart Research*, 12, 1945–1958.
- Guzmán M, Dille, J, & Godet, S. (2009). Synthesis of silver nanoparticles by chemical reduction method and their antibacterial activity. *International Journal of Chemical and Biomolecular Engineering*, (2)3, 104-111.

- Hasan, F., Pervez, N., Talukder, E., Sultana, Z., Mahmud, S., Meraz, M., & Bansal, V., & Genyang, C. (2019). A Novel Coloration of Polyester Fabric through Green Silver Nanoparticles (G-AgNPs@PET). *Nanomaterials*, 9, 569.
- Hebeish, A., El-Rafie, M., Sheikh, H., & El-Naggar, E. (2013). Nanostructural Features of Silver Nanoparticles Powder Synthesized through Concurrent Formation of the Nanosized Particles of Both Starch and Silver. *Journal of Nanotechnology*, Article ID 201057, 10.
- Hebeish, A., El-Shafei, A., Sharaf, S., & Zaghlou, S., (2011). Novel precursors for green synthesis and application of silver nanoparticles in the realm of cotton finishing, *Carbohydrate Polymers* 84, 605–613.
- Holubnycha, V., Pogorielov, M., & Korniienko, V., (2017, September). Antibacterial Activity of the New Copper Nanoparticles and Cu NPs/Chitosan Solution. IEEE 7th International Conference on Nanomaterials: Applications and Properties, 10.1109/NAP.2017.8190323 Odessa, Ukraine.
- İlkan, Ö. (2020). Investigation of the technical and physical properties of metal composite 1×1 rib knitted fabrics. *Industria Textila*, 71(1), 41-49.
- Kanmani, P., & Taik Lim, S. (2013). Synthesis and characterization of pullulan-mediated silver nanoparticles and its antimicrobial activities. *Carbohydrate Polymers*, 97, 421– 428.
- Kardarian, K., (2014). Sintering of nanoscale silver coated textiles, a new approach to attain conductive fabrics for electromagnetic shielding. *Materials Chemistry and Physics*, 147,815e822.
- Khalil-Abad, M.S., & Yazdanshenas, M.E. (2010). Superhydrophobic antibacterial cotton textiles. *Journal of Colloid and Interface Science*, 351, 293–298.
- Kurt, A., & Çelik, Y. (2020). Synthesis of Quasi-Spherical Silver Nanoparticles by Chemical Reduction Route Using Different Reducing Agents. *Konya Journal of Engineering Sciences*, 8(4), 828-838.
- Lee, J., Kwon, H., Seo, J., Shin, & S., Lee, T. (2015). Conductive Fiber-Based Ultrasensitive Textile Pressure Sensor for Wearable Electronics. *Advance Material*, 27, 2433–2439.
- Moazzenchi, B., & Montazer, M. (2019). Click electroless plating of nickel nanoparticles on polyester fabric: Electrical conductivity, magnetic and EMI shielding properties. *Colloids and Surfaces, A* 571, 110–124.
- Montazer, M, Alimohammadi F, Shamei A, Rahimi, M K. 2012. In situ synthesis of nano silver on cotton using Tollens' reagent. *Carbohydrate Polymers*, 87, 1706– 1712.
- Montazer, M., Babaahmadi V. (2014). A new route to synthesis silver nanoparticles on polyamide fabric using stannous chloride. *The Journal of The Textile Institute*, 106(9) 970–977.
- Montazer, M., & Nia, Z.K. (2015). Conductive nylon fabric through in situ synthesis of nano-silver: Preparation and characterization. *Materials Science and Engineering, C* 56, 341–347.
- Montes-Hernandez, A. G., Girolamo, M. D., Sarret, G., & Bureau, S., (2021.) In Situ Formation of Silver Nanoparticles (Ag-NPs) onto Textile Fibers. *CS Omega*, 6, 1316–1327.
- Nishimura, S., Mott, D., Takagaki, A, Maenosono, S., Ebitani, K. (2011). Role of base in the formation of silver nanoparticles synthesized using sodium acrylate as a dual reducing and encapsulating agent. *Chemical Physical*, 13, 9335–9343.
- Nur, P. F., Pınar, T., Uğur, P., Ayşenur, Y., Murat, E., & Kenan, Y. (2021). Fabrication of polyamide 6/honey/boric acid mats by electrohydrodynamic processes for wound healing applications. *Materials Today Communications*, 29, 102921.
- Osório, I., Igreja, R., Franco, R., & Cortez, J., (2012). Incorporation of silver nanoparticles on textile materials by an aqueous procedure. *Materials Letters*, 75, 200–203.
- Paszkiwicz, M., GoBdbiewska, A., Rajski, A., Kowal, E., Sajdak, A., & Zaleska-Medynska A. (2016). The Antibacterial and Antifungal Textile Properties Functionalized by Bimetallic Nanoparticles of Ag/Cu with Different Structures. *Journal of Nanomaterials*, Article ID 6056980, 13.

- Perelshtein, I., Applerot, G., Perkas, N., Guibert, G., Mikhailov, S., & Gedanken, A. (2008). Sonochemical coating of silver nanoparticles on textile fabrics (nylon, polyester and cotton) and their antibacterial activity. *Nanotechnology*, 19, 245705.
- Pica, A., Fcal, D., & Guran, C. (2012). In-situ Synthesis of Nano Silver Particles Used in Obtaining of Antimicrobial Film-Forming Materials. *Revista Chimie (Bucharest)*, 63, 5.
- Pivec, T., Hribernik, S., Kolar, M., & Kleinschek, K.S. (2017). Environmentally friendly procedure for in-situ coating of regenerated cellulose fibres with silver nanoparticles. *Carbohydrate Polymers*, 163, 92–100.
- Pollini, M., Russo, M., Licciulli, E.A., Sannino, A., & Maffezzoli, E.A. (2009). Characterization of antibacterial silver coated yarns. *Journal Material Science*, 20, 2361–2366.
- Puiso, J., Prosycevas, I., & Tamulevičius, S. (2009). Investigation of Silver Nanoparticles Formation Kinetics During Reduction of Silver Nitrate with Sodium Citrate. *Materials Science*, 15(1), 1392–1320.
- Raghavendra, G.M., Jung, J., Kim, D., & Seo, j. (2016). Step-reduced synthesis of starch-silver nanoparticles. *International Journal of Biological Macromolecules*, 86, 126–128.
- Raveendran, P., Fu, J., & Wallen, S. L. (2003). Completely “green” synthesis and stabilization of metal nanoparticles. *Journal of American Chemical Society*, 125, 13940–13941.
- Ravindra, S., Mohan, Y. M, Reddy, N., & Raju, K.M. (2010). Fabrication of Antibacterial Cotton Fibres Loaded with Silver Nanoparticles via “Green Approach”. *Colloids and surfaces A: Physicochemical and engineering aspects*, 367, 31-40.
- Saad, M. A., Aldalbahia, A., Al-hajjia, A. B., Chaudharyb, A. A., Panhuis, M., Ahamada, T., & Alhokbanya, N. (2016). Development of carboxymethyl cellulose-based hydrogel andnanosilver composite as antimicrobial agents for UTI pathogens. *Carbohydrate Polymers*, 138, 229–236.
- Sadanand, V., Tian, H., Rajulu, A. V., & Satyanarayana, . (2017). Antibacterial cotton fabric with *in situ* generated silver nanoparticles by one-step hydrothermal method, *International Journal of Polymer Analysis and Characterization*, 22(3), 275-279.
- Tang, B., Kaur, J., Sun, L., & Wang, X., (2013). Multifunctionalization of cotton through in situ green synthesis of silver nanoparticles. *Cellulose*, 20, 3053–3065.
- Textor, T., Fouda, M.M.G., & Mahltig, B. (2010). Deposition of durable thin silver layers onto polyamides employing a heterogeneous Tollens’ reaction. *Applied Surface Science*, 256, 2337–2342.
- Velmurugan, P., Lee, S., Cho, M., Park, J., Seo S., Myung, H., Bang K., Oh. B. (2014). Antibacterial activity of silver nanoparticle-coated fabric and leather against odor and skin infection causing bacteria *Applied Microbiology and Biotechnology*, 98, 8179–8189.
- Wei, Y., Chen, S., Lin, Y., Yuan, X., & Liu, L. (2015). Silver Nanowires Coated on Cotton for Flexible Pressure Sensors. *Journal of Materials Chemistry*, 4, 935-943
- Wu, J., Zheng, Y., Song, W., Luan, J., Wen Zhigu, X., Chen, X., Wang, Q., & Guo, S. (2014). In situ synthesis of silver-nanoparticles/bacterial cellulose composites for slow-released antimicrobial wound dressing. *Carbohydrate Polymers*, 102, 762-771.
- Xue, C. H., Chen, J., Yin, W., Tian Jia, S., & Zhong, Ma J. (2012). Superhydrophobic conductive textiles with antibacterial property by coating fibers with silver nanoparticles. *Applied Surface Science*, 258, 2468–2472.
- Yu, Z., Liu, J., He, H., Wang, Y., Zhao, Y., Lu, Q., Qin, Y., Ke, Y., & Peng, Y. (2021). Hubei Key Laboratory of Biomass Fibers and Eco-Dyeing & Finishing, Department of Chemistry and Chemical Engineering. *Cellulose*, 28, 1827–1842.
- Zahran, M.K. (2014). Surface modification of cotton fabrics for antibacterial application by coating with AgNPs–alginate composite. *Carbohydrate Polymers*, 108, 145–152.