



e-ISSN: 2149-3367

e-ISSN: 2149-3367

CİLT / VOLUME: XX

SAYI / NUMBER: 2

NİSAN / APRIL 2020

FEN BİLİMLERİ DERGİSİ

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Ahmet Necdet Sezer Kampüsü
Fen Bilimleri Enstitüsü
AFYONKARAHİSAR
Tel: 444 03 03 / 10702
Belgegeçer: 0 272 228 13 10
E-posta: fmbd@aku.edu.tr

Afyon Kocatepe Üniversitesi FEN ve MÜHENDİSLİK BİLİMLERİ DERGİSİ

Afyon Kocatepe University
Journal of Science and
Engineering



<http://fmbd.aku.edu.tr>

<http://fmbd.aku.edu.tr>

**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN VE MÜHENDİSLİK
BİLİMLERİ
DERGİSİ**

*Afyon Kocatepe University
Journal of Science and Engineering*

Cilt / Volume 20
Sayı / Number 2

e – ISSN: 2149-3367

NİSAN 2020

APRIL 2020

Derginin Amacı ve İÇeriği

Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi (AKÜ FEMÜBİD), fen ve mühendislik bilimleri alanlarındaki güncel gelişmeleri takip etmek, meslek kuruluşları ve bireylerin ulusal ve uluslararası gelişmelerine katkıda bulunmak ve bu alanlarda nitelikli bir kaynak oluşturmak amacıyla yayımlanmaktadır.

Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, özgün bilimsel araştırmalar ile uygulama çalışmalarına yer veren bir dergidir. Dergide, fen ve mühendislik bilimlerinde yapılmış deneysel ve teorik ilerlemeleri içeren bilimsel ve özgün araştırma makalesi türündeki çalışmalara yer verilir.

Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi; Afyon Kocatepe Üniversitesi tarafından 1999'dan bu yana yılda 2 sayı (Haziran ve Aralık) Türkçe veya İngilizce olarak hazırlanan çalışmaları yayınlanan, bilimsel ve hakemli bir dergidir.

Dergimizde makale değerlendirme sürecinin daha şeffaflaştırılması ve hızlandırılması için Şubat 2013 itibarıyla online makale değerlendirme ve takip sistemi uygulamaya alınmıştır.

Ocak 2015 itibaren dergimiz; yayınlanma süreci ile yazarlara ve gerekse yapılan çalışmalara pratik ulaşma imkânları nedeniyle okuyuculara birçok avantajlar sağlayan; elektronik dergi (e-ISSN: 2149-3367) olarak yılda 3 sayı (Nisan, Ağustos ve Aralık) Türkçe ve İngilizce makaleleri kabul edecek ve çift taraflı kör hakemlik esasına göre en az iki hakemli olarak değerlendirilmektedir. Makale göndermek isteyen yazarlarımız, dergi sayfamızdan (<https://fenbildergi.aku.edu.tr/> yada <https://dergipark.org.tr/tr/pub/akufemubid>) kayıt yaptıırarak, özgün bilimsel makalelerini çevrimiçi olarak gönderebilir ve süreci takip edebilirler. Özellikle lisansüstü tezlerden hazırlanan yayınlar veya bu tezlerin bir alt çalışması olarak yapılan özgün bilimsel çalışmalar teşvik edilmektedir.

Ocak 2020 yılından itibaren dergimiz; yılda 6 sayı (Şubat, Nisan, Haziran, Ağustos, Ekim ve Aralık) olmak üzere özgün araştırma makalelerini kabul etmektedir.

Dergimizde yayımlanan makaleler izin alınmaksızın başka bir yerde yayımlanamaz veya bildiri olarak sunulamaz. Makalelerin bir kısmı veya tamamı dergimiz kaynak gösterilmeden kullanılamaz.

Dergimize hem hakem hem de yazar olarak katkılarınızı beklemekteyiz. Dergimize olan desteğiniz için şimdiden teşekkür eder, çalışmalarınızda başarılar dilerim.

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN VE MÜHENDİSLİK BİLİMLERİ DERGİSİ
Afyon Kocatepe University
Journal of Science and Engineering

EDİTÖR / EDITOR-IN-CHIEF

Tamer BAYBURA, Survey Engineering, Afyon Kocatepe University, (Turkey)
e-mail: tbaybura@aku.edu.tr

ALAN EDİTÖRLERİ / EDITORIAL BOARD

Afife Binnaz HAZAR, Metallurgy and Materials Engineering, Yıldız Teknik University, (Turkey)

e-mail: afife.hazar@gmail.com

Ahmet YILDIZ, Geological Engineering, Afyon Kocatepe University, (Turkey)

e-mail: ayildiz@aku.edu.tr

Atilla EVCİN, Material Science and Engineering, Afyon Kocatepe University, (Turkey)

e-mail: evcin@aku.edu.tr

Bojan Zlender, Civil Engineering, University of Maribor, (Slovenia)

e-mail: bojan.zlender@um.si

Cevat İNAL, Survey Engineering, Konya Teknik University, (Turkey)

e-mail: cinal@ktun.edu.tr

Fatih Onur HOCAOĞLU, Electrical Engineering, Afyon Kocatepe University, (Turkey)

e-mail: fohocaoglu@gmail.com

Hüseyin Ali YALIM, Physics, Afyon Kocatepe University, (Turkey)

e-mail: hayalim@aku.edu.tr

Hüseyin BAYRAKÇEKEN, Automotive Engineering, Afyon Kocatepe University, (Turkey)

e-mail: bceken@aku.edu.tr

İbrahim EROL, Chemistry, Afyon Kocatepe University, (Turkey)

e-mail: ierol@aku.edu.tr

İsmail Sedat BÜYÜKSAGIŞ, Mining Engineering, Afyon Kocatepe University, (Turkey)

e-mail: sbsagis@aku.edu.tr

İsmail ZORLUER, Civil Engineering, Afyon Kocatepe University, (Turkey)

e-mail: izarluer@aku.edu.tr

Meltem DİLEK, Chemical Engineering, Afyon Kocatepe University, (Turkey)

e-mail: mdilek@aku.edu.tr

Muhittin BAŞER, Mathematics, Afyon Kocatepe University, (Turkey)
e-mail: mbaser@aku.edu.tr

Mustafa YILDIZ, Molecular Biology and Genetics, Afyon Kocatepe University, (Turkey)
e-mail: mustafa_yildizus@yahoo.com

Mustaque Hossain, Civil Engineering, Kansas State University, (USA)
e-mail: mustak@k-state.edu

Ramazan ŞEVİK, Food Engineering, Afyon Kocatepe University, (Turkey)
e-mail: ramazansevik03@yahoo.com

Regita Bendikiene, Department of Production Technologies, Kaunas University of Technology,
(Lithuania)
e-mail: regita.bendikiene@ktu.lt

Sinan SARAÇLI, Statistics, Afyon Kocatepe University, (Turkey)
e-mail: ssaracli@aku.edu.tr

Şükrü TALAŞ, Metallurgy and Materials Engineering, Afyon Kocatepe University, (Turkey)
e-mail: stalas@aku.edu.tr

Uçman ERGÜN, Biomedical Engineering, Afyon Kocatepe University, (Turkey)
e-mail: uergun@aku.edu.tr

Yüksel OĞUZ, Electrical Electronics Engineering, Afyon Kocatepe University, (Turkey)
e-mail: yukseloguz@aku.edu.tr

ADRES/ADDRESS:

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
Ahmet Necdet Sezer Kampusu, 03200, AFYONKARAHİSAR
Telefon: 0 272 218 1460 - 1465/1467
Belgegeçer: 0 272 228 13 10
e-posta: fmbd@aku.edu.tr

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

FEN BİLİMLERİ / SCIENCE

BİYOLOJİ / BIOLOGY (10)

Araştırma Makalesi / Research Article Su Rezervuarlarının Kalitesinin Değerlendirilebilmesi İçin Çok Değişkenli İstatistiksel Tekniklerin Kullanılması: Yamula Baraj Gölü Örneği Using Multivariate Statistical Techniques to Evaluate the Quality of Water Reservoirs: Yamula Dam Lake Case Study Musa KAR, Zeliha LEBLEBİCİ	021001 (189-195)
---	-------------------------

FİZİK / PHYSICS (11)

Araştırma Makalesi / Research Article Ağır İyon Terapide İnsan Organları ve Dokularının Yüklü Parçacık Etkileşimleri; Etkin Atom Numarası ve Elektron Yoğunluğu Charged Particle Interactions of Human Organs and Tissues in Heavy Ion Therapy; Effective Atomic Number and Electron Density Mehmet BÜYÜKYILDIZ	021101 (196-206)
---	-------------------------

MATEMATİK & İSTATİSTİK / MATHEMATICS & STATISTICS (13)

Araştırma Makalesi / Research Article Sezgisel Fuzzy Normlu Uzaylarda I-Lacunary İstatistiksel Yakınsaklık I-Lacunary Statistical Convergence in Intuitionistic Fuzzy Normed Spaces Ömer KİŞİ	021301 (207-212)
Araştırma Makalesi / Research Article Kesirli Mertebe Kısmi Diferensiyel Denklemlerin Ayrık Homotopi Perturbasyon Metodu ile Çözümü Solution of Fractional Order Partial Differential Equations by Discrete Homotopy Perturbation Method Figen ÖZPINAR	021302 (213-221)

MÜHENDİSLİK BİLİMLERİ / ENGINEERING

ELEKTRİK & ELEKTRONİK / ELECTRICAL & ELECTRONICS(52)

Araştırma Makalesi / Research Article Optimal Gama Değeri Saptama (OGVA) Yöntemi ile Görüntü Parlaklık Seviyesinin Dinamik Optimizasyonu Dynamic Optimization of Image Brightness Level With Optimal Gamma Value Assessment (OGVA) Method Barbaros PREVEZE	025201 (222-228)
Araştırma Makalesi / Research Article Sınır Elemanları Yöntemiyle MEMS Plakası Dışında Oluşan Manyetostatik Potansiyel Analizi Magnetostatic Potential Analysis Outside MEMS Plate by Boundary Element Method Ramazan SOLMAZ, Fevzi HANSU	025202 (229-236)
Araştırma Makalesi / Research Article Bir Termik Enerji Santralinde Ana Buhar Sıcaklığı Parametresinin YSA ve ARIMA Yöntemleriyle Modellenmesi ve Kestirim Performanslarının Araştırılması Modeling of Main Steam Temperature Parameter in a Thermal Power Plant via ANN and ARIMA Methods and Investigation of Prediction Performances Yasin TUNÇKAYA	025203 (237-249)

HARİTA, MİMARLIK & ŞEHİR VE BÖLGE PLANLAMA / MAP, ARCHITECTURE & CITY AND REGIONAL PLANNING(55)

Araştırma Makalesi / Research Article TUSAGA-Aktif Noktaları Kullanılarak Bölgesel TEC Değerlerinin Belirlenmesi Determination of Regional TEC Values using CORS-Tr Stations Sercan BÜLBÜL	025501 (250-266)
Araştırma Makalesi / Research Article CSF (Cloth simulation filtering) Algoritmasının Zemin Noktalarını Filtrelemedeki Performans Analizi Performance Analysis of CSF (Cloth simulation filtering) Algorithm for Filtering Ground Points Lütfiye KARASAKA, Sultan Hilal KELEŞ	025502 (267-275)

<p>Araştırma Makalesi / Research Article</p> <p>Sosyal Medyanın Gönüllü Coğrafi Veri Olarak Kullanımı ve Sosyal Medya Verilerinden Coğrafya Sözlüğü Üretimi</p> <p>Use of Social Media as a Volunteered Geographic Data and the Gazetteer Production from Social Media Data</p> <p>Ayşe Giz GULNERMAN, Himmet KARAMAN</p>	<p>025503 (276-286)</p>
--	--------------------------------

İNŞAAT & ULAŞTIRMA / CIVIL ENGINEERING & TRANSPORTATION (56)

<p>Araştırma Makalesi / Research Article</p> <p>Öğütülmüş Kolemanit Minerali İkameli Beton Yollardaki Aşınma Kaybının Araştırılması</p> <p>Investigation of Abrasion Loss on Concrete Roads with Milled Colemanite Mineral Substitution</p> <p>Tuba KÜTÜK-SERT, Cuma KARA, Sezai KÜTÜK</p>	<p>025601 (287-295)</p>
<p>Araştırma Makalesi / Research Article</p> <p>Rijitleştirme Levhalı Sıvı Depolama Tankının Yapısal Davranışının Dalga Yüğü Altında İncelenmesi</p> <p>Investigation of Structural Behavior of Liquid Storage Tank with Stiffening Plates under Wave Load</p> <p>Mehmet Erkan EFE, İlyas Devran ÇELİK, Tefik Burak KOCAMAN, Kılıç Yasin ARSLAN</p>	<p>025602 (296-303)</p>
<p>Araştırma Makalesi / Research Article</p> <p>Farklı Mineral Katkılı Kendiliğinden Yerleşen Betonların Taze ve Sertleşmiş Özellikleri</p> <p>Fresh and Hardened Behaviour of Self-Compacted Concrete with Different Mineral Additives</p> <p>Cenk KARAKURT</p>	<p>025603 (304-309)</p>
<p>Araştırma Makalesi / Research Article</p> <p>Yeşilirmak Nehri Akış Verisi Tahmininin Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Karınca Aslanı Algoritması ile Zaman Gecikmesi Boyutunun Optimizasyonu</p> <p>Optimization of Time Delay Dimension by Ant Lion Algorithm Using Artificial Neural Networks for Estimation of Yeşilirmak River Flow Data</p> <p>Fatih Ahmet ŞENEL, Tülay Suğra KÜÇÜKERDEM ÖZTÜRK, Kemal SAPLIOĞLU</p>	<p>025604 (310-318)</p>

KİMYA & METALURJİ VE MALZEME / CHEMISTRY & METALLURGY AND MATERIALS (57)

Araştırma Makalesi / Research Article Koloidal Tek Tabaka Transferine Dayalı Metalik Nano Şablonların Biyosensör Yüzeyler Olarak Hazırlanması Preparation of Metallic Nano-Templates Based on Transfer of Colloidal Monolayer as Biosensor Surfaces Numan GÖZÜBENLİ	025701 (319-330)
---	-------------------------

MADEN & JEOLojİ / MINES, & GEOLOGICAL (58)

Araştırma Makalesi / Research Article Çeşitli Temizlik Kimyasallarının Mermerlerin Yüzey Özelliklerine Etkisi Effects of Various Cleaning Chemicals on the Surface Properties of Marbles Harun Reşit CEYLAN, Hakan ÇİFTÇİ, Mustafa GÜRsoy, Zeyni ARsoy, Atilla EVCİN, Bahri ERSoy	025801 (331-339)
Araştırma Makalesi / Research Article Doğal Taşların Dairesel Testerele Kesiminde Birim Enerjinin Kesim ve Ortam Parametrelerinden Kestirimi Estimation of Unit Energy from Cutting and Environment Parameters in Circular Cutting of Natural Stones Fatih BAYRAM	025802 (340-347)
Araştırma Makalesi / Research Article Nefelin Siyenitten Fe ₂ O ₃ +TiO ₂ Uzaklaştırılmasında Kuru Manyetik Ayırmanın Etkisi The Effect of Dry Magnetic Separation on Fe ₂ O ₃ +TiO ₂ Removal from Nepheline Syenite Mustafa ÇINAR	025803 (348-355)

MAKİNE , İMALAT & OTOMOTİV / MACHINERY, MANUFACTURING & AUTOMOTIVE (59)

Araştırma Makalesi / Research Article Taşıtlarda Farklı Frenleme Basınclarında Yakıt Tüketimi ve Fren Kuvvetlerinin Karşılaştırılması Comparison of Fuel Consumption and Braking Force at Different Braking Pressures in Vehicles Hüseyin BAYRAKÇEKEN, Hicri YAVUZ , Faruk Emre AYsAL, Tuğçe TÜRKbAY	025901 (356-361)
--	-------------------------

<p>Araştırma Makalesi / Research Article</p> <p>VVER-1200 Tipi Nükleer Reaktörün Kullanılmış Yakıtları İçin Depolama Tesisi Modeli Geliştirilmesi ve Maliyet Analizi</p> <p>Development of Storage Facility Model for Spent Fuels of VVER-1200 Nuclear Reactor and Cost Analysis</p> <p>Banu BULUT ACAR</p>	<p>027201 (362-373)</p>
--	--------------------------------

Su Rezervuarlarının Kalitesinin Değerlendirilebilmesi İçin Çok Değişkenli İstatistiksel Tekniklerin Kullanılması: Yamula Baraj Gölü Örneği

Musa KAR^{1*}, Zeliha LEBLEBİCİ¹

¹Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü 50300, Nevşehir, TÜRKİYE.

*Sorumlu yazar: e-posta: musa.kar@nevsehir.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7983-4814>
zleblebici@nevsehir.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6127-3809>

Geliş Tarihi: 18.10.2019

Kabul Tarihi: 15.04.2020

Öz

Bu çalışmanın amacı, Kayseri Yamula Baraj Gölü'nün su kalite parametrelerinde meydana gelen değişimleri çok değişkenli istatistiksel yöntemler kullanarak belirlemektir. Kümelenme analizi ve temel bileşenler analizi su kalitesinin belirlenmesi amacıyla kullanılan en yaygın istatistiksel analiz yöntemidir. Çalışmada kullanılan veriler, Devlet Su İşleri (DSİ) Ankara İşletme ve Bakım Daire Başkanlığı tarafından, Eylül 2008 ile Nisan 2009 tarihleri arasında Yamula Baraj Gölü'nden belirlenen beş ayrı noktadan mevsimsel olarak 125 adet örnekleme yapılarak elde edilmiştir. Çalışma alanındaki su kalitesini belirlemek için 16 fiziko-kimyasal parametre belirlenmiştir. Bunlar: pH, elektriksel iletkenlik (EC), amonyak azotu (NH₄-N), nitrit azotu (NO₂-N), nitrat azotu (NO₃-N), toplam fosfor (TP), Sülfat (SO₄), klorür (Cl), bikarbonat (HCO₃), toplam sertlik (TH), magnezyum (Mg), organik madde (pV), Sodyum (Na), potasyum (K), ortofosfat (PO₄³⁻) ve kalsiyum (Ca) olarak belirlenmiştir. Kümelenme analizine göre, kirlilik oranına bağlı olarak iki ana küme bulunmuştur. Temel bileşen analizinde farklı faktörler toplam varyansın % 100'ünü açıklamaktadır. Bu çalışmada, Yamula Baraj Gölü'nün su kalitesini değerlendirmek için en önemli parametrelerin amonyak azotu, nitrit azotu, sülfat, klorür, sodyum, ortofosfat, potasyum, pH, organik madde, toplam fosfor ve nitrat azotu olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler

Yamula Baraj Gölü;
TBA; Çok değişkenli
istatistiksel yöntemler;
Su kalitesi

Using Multivariate Statistical Techniques to Evaluate the Quality of Water Reservoirs: Yamula Dam Lake Case Study

Abstract

The aim of this study is to determine the changes in the water quality parameters of Kayseri Yamula Dam Lake using multivariate statistical methods. For this purpose, principal components analysis / factor analysis (PCA / FA) and cluster analysis (CA) techniques were used. Cluster analysis and principal components analysis are the most common statistical analyzes for determine water quality. The data used in the study were obtained by the State Hydraulic Works (DSI) Ankara Operation and Maintenance Department by seasonally sampling 125 samples from five different points determined from Yamula Dam Lake between September 2008 and April 2009. 16 physico-chemical parameters were selected to determine the water quality in the study area. These are; pH, electrical conductivity (EC), ammonia nitrogen (NH₄-N), nitrite nitrogen (NO₂-N), nitrate nitrogen (NO₃-N), total phosphorus (TP), Sulfate (SO₄), chloride (Cl), bicarbonate (HCO₃), total hardness (TH), magnesium (Mg), organic matter (pV), Sodium (Na), potassium (K), orthophosphate (PO₄³⁻) and calcium (Ca). According to the cluster analysis, two main clusters were found depending on the pollution gradient. In the principal component analysis, different factors explained 100% of the total variance. It has been determined that the most important parameters to evaluate the water quality of Yamula Dam Lake are ammonia nitrogen, nitrite nitrogen, sulfate, chloride, sodium, orthophosphate, potassium, pH, organic matter, total phosphorus and nitrate nitrogen. determined as the most important parameters to evaluate the water quality of Yamula Dam Lake

Keywords

Yamula Dam Lake;
PCA; Multivariable
statistical methods;
Water quality

1. Giriş

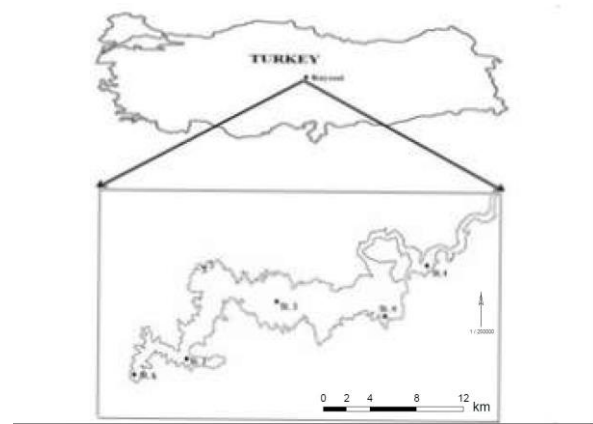
Göller ve baraj gölleri gibi tatlı su kaynakları; özellikle ve içme suyu ve tarımsal sulama için gerekli suyu sağladıkları için insanlar açısından hayati bir rol oynar. Tarih boyunca yerleşim yerleri her zaman ırmak, nehir gibi tatlı su kaynaklarına ulaşımın kolay olduğu bölgelerde yoğunlaşmıştır. Günümüzde tatlı su kaynakları bu yoğun yerleşime bağlı olarak sürekli evsel-endüstriyel ve zirai kirlenme tehdidi altındadır. Tatlı su kaynaklarının aşırı kullanımı ve çok miktarda kirleticinin göllere deşarjı gibi bu faaliyetler, su kalitesinde önemli bir bozulmaya yol açan sorunlara neden olmaktadır (Venkatramanan vd., 2014). Ayrıca özellikle evsel atıklarla beraber tatlı sulara gelen deterjanlardaki Azot (N), Potasyum (K) ve Fosfat (P) gibi besin elementlerinin konsantrasyon artışı tatlı sularda alglerin aşırı çoğalması ile sonuçlanan alg patlamasının ortaya çıkmasına neden olur. Bunun sonucunda ise; tatlı su ekosistemi besin zincirindeki bütün canlılar oldukça ciddi bir şekilde etkilenmektedir (Ouyang vd., 2006). Tatlı su kaynaklarının ekonomik ve ekolojik önemi nedeniyle, kirlenme dönemlerinin tespiti ve izlenmesi, kirleticilerin etkisinin en aza indirilmesi ve kirliliğe karşı önlem alınabilmesi açısından oldukça büyük önem taşımaktadır. Aksi takdirde, su kirliliğinde meydana gelen artışı kontrol altına almak oldukça zor olabilir (Kıymaz ve Karadavur, 2014). Su kalitesini belirlemek için çok sayıda örnekleme yapılması, ölçümlerin gerçekleştirilmesi gerektiğinden dolayı bu kadar çok veri ile analiz yapmak oldukça zor ve karmaşıktır. Toplanan bir çok veri, su hakkında çok zengin bilgilere sahiptir; ancak su kalitesini belirlemek için modelleme ve analiz yapmak gereklidir. Kümelendirme analizi (KA), temel bileşenler analizi (TBA) ve faktör analizi (FA), veri kümesinin önemli bileşenlerini belirlemeye yardımcı olan çok değişkenli önemli istatistiksel analizlerdir. Çok değişkenli veri analizini kullanmak, bilgi kaybetmeden verileri azaltmayı amaçlar (Boyacıoğlu, 2006). Verilerin azaltılması, kirliliğe neden olan ve öncelikli olarak önlenmesi gereken parametrelerin belirlenmesi konusunda hızlı hareket edilmesini sağlar. Ayrıca, su kalite parametrelerindeki değişim ile bu değişime sebep

olan kirletici ajan arasındaki ilişkilerin belirlenmesi için verilerin azaltılması çok önemlidir.

Yamula Baraj Gölü, balıkçılık, tarım ve enerji üretimi gibi çok amaçlı kullanımı nedeniyle oldukça önemli bir barajdır. Bu çalışmada, Yamula Baraj Gölü'nden elde edilen su kalitesi parametrelerine TBA, KA ve FA gibi çok değişkenli veri analizi yöntemleri uygulanarak su kalitesini etkileyen en önemli parametreleri tanımlaması amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

Arazi çalışması, örnekleme istasyonlarının dağılımı ve örnekleme periyodu DSİ Ankara İşletme ve Onarım Dairesi Başkanlığı tarafından gerçekleştirilmiştir (Çevlik ve Elibol 2009). Baraj Gölü'nden alınan örnekler mevsimsel olarak Eylül 2008-Nisan 2009 yılları arasında, 5 farklı istasyondan farklı derinliklerden (5, 10, 15, 20 -m.) numuneler alınarak yapılmıştır. 1. istasyon baraj girişinden, 2., 3. ve 4. istasyonlar tarımsal ve yerleşim arazileri yakınlarından ve 5. İstasyon da baraj setinin kurulmuş olduğu bölgeden seçilmiştir. Bütün örnekleme 3'er tekrarlı olarak yapılmış ve istatistiksel analizlerde değerlerin aritmetik ortalamaları kullanılmıştır..



Şekil 1. Yamula Baraj Gölü'nde çalışma alanı ve su kalite izleme istasyonları (38°58'4"N 35°26'44"E)

Çok değişkenli istatistiksel teknikler yardımıyla çalışma alanındaki su kalitesini belirlemek için 16 farklı parametre ölçülmüştür. Seçilen parametreler: pH, EC, NH₄-N, NO₂-N, NO₃-N, TP, SO₄, Cl, HCO₃, TH, Mg, pV, Na, K, PO₄³⁻ Ca.

Çalışmada kullanılan parametrelerin birimleri ve ölçüm yöntemleri Çizelge 1'de verilmiştir.

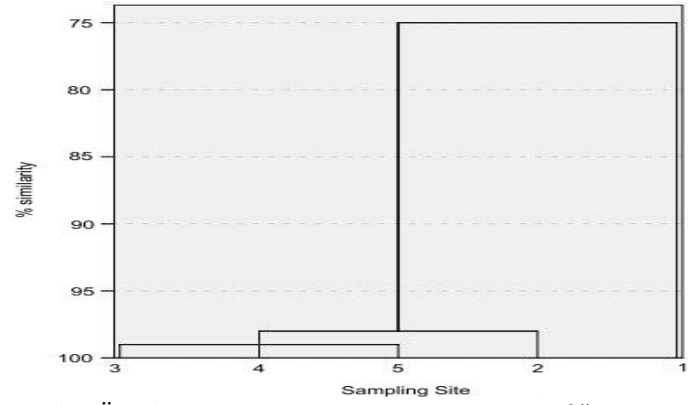
Çizelge 1. Çalışmada kullanılan su parametreleri ve ölçüm teknikleri.

Parametre	Kısaltma	Ölçüm tekniği	Birim
pH	pH	Potansiyometri / pH probu	pH units
Elektriksel İletkenlik	EC	Conductometry	mS/m
Sodyum	Na	İyon kromatografisi	mg/L
Potasyum	K	İyon kromatografisi	mg/L
Toplam sertlik	TH	Titrimetrik yöntem	mg/L
Kalsiyum	Ca	İyon kromatografisi	mg/L
Magnezyum	Mg	İyon kromatografisi	mg/L
Bikarbonat	HCO ₃	Asit±baz titrometrisi	mg/L
Klor	Cl	İyon kromatografisi	mg/L
Sülfat	SO ₄	İyon kromatografisi	mg/L
Amonyak	NH ₄	İyon kromatografisi	mg/L
Nitrit	NO ₂	İyon kromatografisi	mg/L
Nitrat	NO ₃	İyon kromatografisi	mg/L
Ortofosfat	PO ₄	İyon kromatografisi	mg/L
Toplam fosfor	TP	İyon kromatografisi	mg/L
Organik madde	pV	Titrimetrik yöntem	mg/L

İstasyonlar arasında, parametreleri gruplandırmak için kümelenme analizi (KA), toplanan verilerden elde edilen sonuçlara göre su kalitesine etki eden kirlenici faktörlerin çeşitlerini ve etki büyüklüğünü belirlemek için temel bileşenler analizi (TBA) ve bu etki faktörlerinin büyüklüğünü analiz etmek için de faktör analizi (FA) uygulanmıştır. Söz konusu istatistiksel yöntemler IBM SPSS versiyon 21 yazılımı yardımıyla gerçekleştirilmiştir.

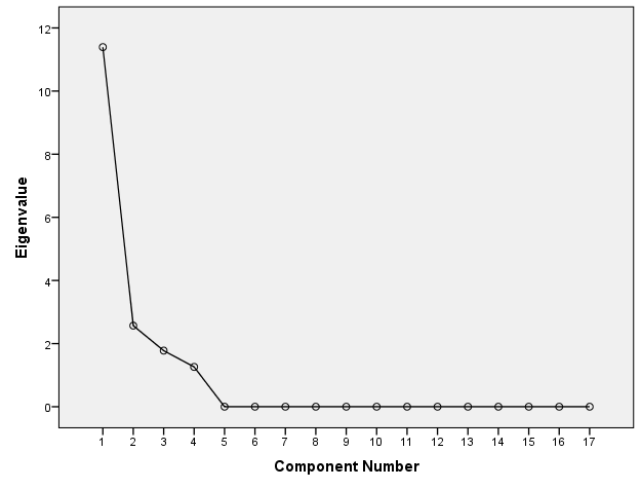
3. Bulgular

İstasyonlar arasındaki benzerliği belirlemek için yapılan hiyerarşik kümelenme analizi KA sonucu elde edilen Dendrogram grafiği Şekil 2'de verilmiştir. Yapılmış olan analize göre; tespit edilen beş farklı örnekleme istasyonu istatistiksel olarak küme 1 (istasyon 3, 4, 5 ve 2) ve küme 2 (istasyon 1) olmak üzere iki temel kümeye ayrılmıştır.



Şekil 2. Örnekleme istasyonlarının Dendrogram grafiği

Temel bileşenleri belirlemek için analiz sonucunda ortaya çıkan grafik kullanılmaktadır. Grafiğin dikey eksen, faktörleri sembolize ederken, yatay eksen temel bileşenleri göstermektedir. Grafikler, kirlenici temel bileşenlerin faktörleri belirlenmesine dayanan bir grafik kombinasyonundan elde edilmiştir. Grafikteki keskin düşüşler, önemli faktörlerin sayısını vermektedir. Yatay çizgiler, faktörlerin getirdiği ek değişikliklerin bireysel katkılarının birbirine yakın olduğunu göstermektedir (Bilgin, 2015). Yamula Baraj Gölü'nden toplanan su örneklerine TBA analizi uygulanmış ve dört faktör belirlenmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Ana bileşenlerin analizinde tespit edilen faktörler grafiği

Temel bileşenler analizinde toplam varyans çok önemlidir.

Ana Bileşenler Analizi, değişkenlerin tamamının varyansını daha az sayıda ve bu değişkenlerinde doğrudan bileşenleri olan yeni değişkenlerle ifade etme imkanı sağlayan çok değişkenli istatistiksel yöntemlerden bir tanesidir. Ana Bileşenler

Analizi'nin genel amaçları; Veri indirgemesi yapmak, tahminleme yapmak, veri setini bazı yöntemlerin analiz edebileceği forma sokmak (Ana Bileşenler Regresyon Analizi, Faktör Analizi gibi), ilişkili değişken setlerinden birimlerin/oluşumların ana bileşen skorlarını hesaplamak ve birimleri skora göre sıraya dizmek (büyükten küçüğe, küçükten büyüğe sıralamak) olarak verilebilir (Cafer vd., 2010). Ana bileşen her bir faktöre karşılık gelir. Orijinal değişkenlik ve ana bileşenlerin varyasyonları eşittir. Toplam varyans, faktörlerin toplamına eşittir. İlk bileşen, doğrusal bileşen ile en yüksek varyanstır. Toplam varyans, bileşenlerin varyansının toplamı ile tanımlanmaktadır (Kıymaz ve Karadavur, 2014). Faktör analizi, normalize edilmiş verileri etkileyen faktörleri belirlemek için kullanılır. Temel bileşenler analizi, aslında farklı parametreler arasındaki korelasyonun matrisi üzerinde gerçekleştirilir ve ardından Varimax rotasyonu takip edilir (Kuppusamy ve Giridhar, 2006). Temel bileşen analizinde, 1'den büyük faktörler verilerdeki varyansın kaynağını açıklamak için önemli kriterlerdir. Temel bileşenler analizinin ilk amacı, ana veri setleriyle karşılaştırıldığında yeni, tamamen yenilenmiş ve düşük sayıda veri setleri oluşturmaktır. Veri setleri sonraki analiz için kullanılabilir. Bu şekilde ana veri kümelerindeki tüm farklılıklar daha az veri ile açıklanabilmektedir. Toplam varyansa ait faktörler Çizelge 2'de, faktör analizleri de Çizelge 3'de verilmiştir

Çizelge 2. Temel bileşenlerin varyansı açıklama miktarları

Bileşenler	Yüklerin Açıklanabilir Döndürülmüş Kareli			Kareler Toplamı		
	Başlangıç Faktörler			Faktörler		
	Toplam	Varyans %'si	Kümülatif %	Toplam	Varyans %'si	Kümülatif %
1	11.39	67.01	67.01	9.23	54.31	54.31
2	2.56	15.11	82.12	3.04	17.91	72.22
3	1.77	10.45	92.58	2.50	14.73	86.96
4	1.26	7.419	100	2.21	13.03	100.0

Temel bileşenler analizinde tespit edilen varyanslara etki eden faktörler Çizelge 2 de verilmiştir. Faktörler etki büyüklüklerine göre "güçlü" (> 0,75) "orta" (0,75-0,50) ve "zayıf" (0,50-0,30) olarak sınıflandırmıştır. (C.-W. Liu vd., 2003).

Çizelge 3. Faktör analizi sonuçları

Bleşenler	Faktör 1	Faktör 2	Faktör 3	Faktör 4
pH	0.557**	0.039	0.829***	-0.008
E.C.	0.885***	0.378*	-0.064	-0.264
NH ₄ -N(mg/L)	0.935***	0.162	-0.222	-0.224

NO ₂ -N(mg/L)	0.859***	0.479*	0.083	-0.159
NO ₃ -N(mg/L)	-0.308*	-0.38*	0.194	0.85***
TP(mg/L)	-0.178	-0.018	-0.127	0.976***
SO ₄ (mg/L)	0.996***	0.064	0.051	-0.033
Cl(mg/L)	0.844***	0.463*	-0.063	-0.264
HCO ₃ (mg/L)	0.028	0.471*	-0.881***	0.035
TH(mg/L)	-0.611**	-0.74**	0.106	0.262
Mg(mg/L)	0.82***	0.424*	0.25	-0.291
pV(mg/L)	-0.23	0.368*	0.9***	0.038
Na(mg/L)	0.962***	0.206	0.093	-0.152
K(mg/L)	0.998***	-0.116	0.07	-0.025
PO ₄ ³⁻ (mg/L)	0.299	0.942***	0.06	-0.143
Ca(mg/L)	0.905***	0.334*	0.126	-0.231

Önemli faktör yükleri koyu renklidir (***) güçlü, > 0.75; ** orta, 0.50-0.75; * zayıf, 0.50-0.30) (C.-W. Liu vd., 2003)

4. Tartışma ve Sonuç

Yamula Baraj Gölü Kayseri ili sınırları içerisinde Kızılırmak nehri üzerine kurulmuştur. Tarımsal sulama, enerji üretimi, olta balıkçılığı ve kültür balıkçılığı gibi oldukça farklı kullanım alanlarına ev sahipliği yapmaktadır. Ayrıca baraj etrafında bir yerleşim alanı bulunmaktadır ve bu alanda oldukça yoğun tarım ve hayvancılık faaliyetleri yürütülmektedir. Bütün bu sebeplerden dolayı baraj gölü sürekli olarak doğrudan veya dolaylı kirleticilere maruz kalmaktadır. Bu çalışmada, Kayseri Yamula Baraj Gölü'nden tespit edilen 5 ayrı istasyondan mevsimsel olarak yapılan örnekleme yapılmış, 16 adet fiziko-kimyasal parametre ölçülmüş, elde edilen veriler temel bileşenler analizi ve kümelenme analizi gibi istatistiksel metotlar kullanarak su kalitesi açısından değerlendirilmiştir. Doğal göller veya baraj gölleri, birçok farklı nehrin döküldüğü yerler olduğu için nehirler ile birlikte taşınan çeşitli kirleticilerin de son alıcısı durumundadır. Kemal Paşa Nehri tarafından beslenen Uluabat Gölü'nde yapılan bir çalışmada istasyonlar arasında iki farklı kümelenme tespit edilmiştir. Yerleşim yerleri ve tarım alanlarının bulunduğu yerden seçilen istasyonlar birincil kümelenmeyi oluştururken, ikinci kümelenme de Mustafa Kemal Paşa Nehri'nin Uluabat Gölü'ne giriş kısmından seçilen istasyonlarda meydana gelmiştir (Işçen vd., 2009). Yamula Baraj Gölü'nde yapılan bir başka çalışmada, tarımsal aktivitenin yoğun olduğu istasyonlardan alınmış toprak ve su örneklerinde yüksek ağır metal konsantrasyonlarına rastlanmıştır

(Duman ve Kar, 2012). Bu iki çalışmaya benzer şekilde, bizim çalışmamızda da Yamula Baraj Gölü'nde belirlenen istasyonlarda iki adet küme belirlenmiştir. İlk kümenin istasyonları, yerleşim ve tarım faaliyet alanlarından, ikinci küme istasyonu ise kirlilik etmeni ile daha az karşılaşma ihtimali olan Yamula Baraj Gölü'nün girişinden belirlenmiştir.

Dört farklı istasyonun aynı kümede gerçekleşmesinin nedeni rezervuarın yakınında ve havza boyunca gerçekleştirilen antropojenik faaliyetlerden etkilenmeleri olabilir. Tanriverdi vd. 2010, Türkiye'de Ceyhan Nehri'nin su havzasındaki yüzey suyunun kalitesini incelerken benzer sonuçlar bulmuş; kümelenme analizi sonucunda da nehrin suyunu kalite parametreleri açısından evsel, endüstriyel ve tarımsal gibi faaliyetlerden etkilenen olarak üç gruba ayırmışlardır (Tanriverdi vd., 2010). Ayrıca Lopes vd. 2014 Brezilya'nın yarı kurak bir bölgesinde büyük bir rezervuarda su kalitesi parametreleri üzerinde çalışılmıştır. Elde etmiş oldukları sonuçların mevcut çalışmamız ile paralellik gösterdiği tespit edilmiştir. (Lopes vd., 2014).

Temel Bileşenler analizi (TBA)'nin sonuçlarına göre, 1'den büyük faktörler sırasıyla 67.013, 15.111, 10.457 ve 7.419'dur ve bu değerler toplam varyansın % 100'ünü açıklamaktadır. Faktörler temel bileşenlerin önemini ifade eder. En yüksek faktör en yüksek katkıyı sağlar (Shrestha ve Kazama, 2007). Li ve diğ. (2011), Çin'deki Haihe ve Yellow nehirlerindeki Changjiang ve Huaihe barajlarının yüzey sularının kirlilik kaynaklarını çok değişkenli analizleri kullanarak tespit etmeye çalışmış, sonuçta toplam varyansın % 83,35'ini oluşturan beş bileşen bulduklarını bildirmişlerdir (Li vd., 2011). Andrade ve arkadaşları, Ceará'daki Yukarı Jaguaribe havzasında bulunan Trussu Nehri'nin su kalitesini inceleyerek, yüzey suları için toplam varyansın % 76,41'ini oluşturan üç bileşen bulmuşlardır (Andrade vd., 2007). Mevcut çalışmamızda tespit edilen 4 farklı bileşen toplam varyansın %100'ünü açıklamaktadır. İlk faktör, veri setindeki kümülatif varyansın % 54,31'ini oluşturmuştur. Potasyum en yüksek pozitif güce sahiptir. Sülfat, sodyum, amonyak-azot, E.C., toplam çözülmüş katı, nitrit-azot, klorür ve magnezyum gibi bileşenlerinde pozitif güce sahip olduğu tespit edilmiştir. pH orta derecede pozitif etkiye sahiptir. Duman ve Kar, Yamula Baraj

Gölü'nün Kızılırmak Nehri üzerinde kurulan ilk baraj gölü olduğunu ve bu durumun oldukça çeşitli kirlenmeye maruz kalmasına neden olabileceğini söylemişlerdir. Ayrıca, araştırmadaki istasyonların tarım alanlarına yakın bölgelerinde olması ve çok yoğun tarımsal faaliyetlerin yanı sıra kafes balıkçılığının da yoğun olması bu varyansda güçlü olan faktörlerin artmasına sebep olmuş olabilir (Duman ve Kar, 2012).

Bilgin yapmış olduğu çalışmasında; evsel ve endüstriyel atık suların varlığının su kalitesini etkilediğini belirlediğini bildirmiştir (Bilgin, 2015). Kullanılan gübrelerin ve pestisitlerin önemli bir kısmı suyla karışarak suyun kalitesini düşürür (H. Liu vd., 2015). Bu çalışmada, Faktör 1'de güçlü bileşenlerin, özellikle tarımsal ve evsel atıklar nedeniyle, baraj gölündeki kirlenmenin kanıtı olduğunu belirlenmiştir.

İkinci faktör veri setindeki kümülatif varyansın % 17.91'ini oluşturmuştur. Anlamli şekilde, sadece ortofosfat çok güçlü pozitif güce sahiptir. Diğer değişkenlerin etki büyüklüğü zayıf ve negatif olarak tespit edilmiştir. Ortofosfat formları doğa da gerçekleşen bazı işlemler sonucunda üretilebilir. İnsan kaynaklı başlıca kirlenmeler; kısmen artırılmış ve ya hiç işlenmemiş lağım atıkları, tarım arazilerindeki kimyasal gübrelerin yoğun kullanımına bağlı olarak sulara karışımı sayılabilir. Ortofosfat en fazla rastlanan kirlilik faktörlerinin basında gelir kirlenmemiş sulara bile çok düşük konsantrasyonlarda bulunabilir. Özellikle evsel atık su ve deterjanlar sudaki ortofosfat konsantrasyonunu artırmaktadır (Abazar, 2014). Bizim çalışmamızda tespit edilen ortofostatin getirmiş olduğu kirlilik yükü varyansın ağırlığını etkileyen en önemli faktördür. Üçüncü faktör, veri setindeki kümülatif varyansın % 14.73'ünü oluşturmaktadır. Organik madde ve pH değerleri, organik kirliliği belirten bir bileşen olarak güçlü bir pozitif etkiye sahiptir. Organik madde, bitkiler ve hayvanlar ve bunların atık ürünleri gibi organizma kalıntılarından gelen organik bileşiklerden oluşan maddelerdir. Organik madde çok yoğun gübre kullanımı ve kanalizasyon suyu ile artabilir. Fernando ve diğ., çalışmalarında pH ve pV değerlerinin büyük ağırlığa sahip olduğunu tespit etmişler ve bu bileşenlerin su kalitesi üzerindeki

antropojenik etkisinin göstergesi olduğunu bildirmişlerdir (Lopes vd., 2014). Filik-İşcen ve diğ., Uluabat Gölü'nde yapılan bir çalışmada, bizim çalışmamıza da paralel olarak, organik atıkların su kalitesini etkilenmesinde önemli bir faktör olduğu bildirmişlerdir. (Filik İscen vd., 2008). Yamula Baraj Gölü, tarımsal alanlardan ve evsel alanlardan gelen büyük miktarda organik maddeye maruz kalmaktadır.

Dördüncü faktör veri setindeki kümülatif varyansın % 13.03'ünü oluşturmuştur. Toplam fosfat ve Nitrat-Nitrojen güçlü pozitif etkilere sahiptir. Bu faktör, evsel atıklardan ve tarımsal alanlardan doğrudan veya dolaylı yollarla kirlilik kaynaklarını içermektedir. Tarım alanlarındaki nitrat gübreleri en yaygın kirleticidir. Özellikle, azot ve fosfat içeren pestisitler ve nitrat gübreleri, sulama suyu ve akıntı yoluyla göllere taşınabilir. Öte yandan, fosfat, özellikle de fitoplankton ve su bitkileri için en önemli besinlerden biri olduğu için, suyun kalitesi açısından çok önemli bir unsurdur. Sudaki fosfat konsantrasyon sınırlarının aşılması, zararlı plankton patlamasına neden olur ve su kalitesini çok fazla düşürür (Delegrange vd., 2015).

Bu çalışmada, Yamula Baraj Gölü'nün su kalitesindeki değişimi değerlendirmek için çok değişkenli veri analizi yöntemi kullanılmıştır. Kümelendirme yöntemi, su örneklemelerine göre beş örnekleme noktasından iki ana küme oluşturmuştur. Temel bileşenler analizi ve faktör analizi kirlilik etmeni olan 4 farklı faktör ve bu faktörlerin varyansa etki büyüklüğünü bulunmuştur. TBA/FA gibi çok değişkenli istatistiksel analiz yöntemlerinin kullanımının, karmaşık su kalitesi veri setlerini yorumlamak, su kalitesindeki zaman-yer ile ilgili değişiklikleri anlamak ve gizli kirlilik kaynaklarını belirlemek için uygun olabileceğini göstermiştir.

Sonuç olarak; Yamula Baraj gölü su kalitesi özellikle evsel ve zirai kirleticilerin baskısı altındadır. Yamula Baraj Gölü'nü kirleten en önemli kaynak, evsel atıkların özellikle de deterjan atıklarının baraj gölüne aktarılmasıdır. Yamula Baraj Gölü'nde tarımsal faaliyetler sonucu oluşan tarımsal kirlilik ve yağış sularının sebep olduğu organik kirlilik de etkilidir. Yamula Baraj Gölü su kalitesini korumak için alınması gereken başlıca tedbirler; göle verilen atık suların arıtım işleminden sonra verilmesi, zirai

mücadele ve gübre kullanımı gibi tarımsal faaliyetlerin daha bilinçli olarak yapılması sayılabilir.

5. Kaynaklar

- Abazar, M., 2014. Application of Multivariate Statistical Methods and Water- Quality Index to Evaluation of Water Quality in the Kashkan River Abazar. *Environmental Management*, **53**, 865–881.
- Andrade, E.M. Araújo, L.D.F.P., Rosa, M.F., Disney, W. and Alves, A.B., 2007. Seleção dos indicadores da qualidade das águas superficiais pelo emprego da análise multivariada. *Engenharia Agrícola*, **27**, 683–690.
- Bilgin, A., 2015. An assessment of water quality in the Coruh Basin (Turkey) using multivariate statistical techniques. *Environmental Monitoring and Assessment*, **187**, 716-721.
- Boyacıoğlu, H., 2006. Surface water quality assessment using factor analysis. *Water SA*, **32**, 389–393.
- Cafer, B., Atay, R., Uysal, K., Köse, E. and Şakir, Ç., 2010. Uluabat Gölü Yüzey Su Kalitesinin Değerlendirilmesi. *İstanbul Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi*, **25**, 9–18.
- Çevlik, H., and Elibol, I., 2009. *Yamula Baraj Gölü Limnolojisi*. Ankara: Devlet Su İşleri İşletme ve Bakımda Dairesi Başkanlığı.
- Delegrange, A., Vincent, D., Courcot, L. and Amara, R., 2015. Testing the vulnerability of juvenile sea bass (*Dicentrarchus labrax*) exposed to the harmful algal bloom (HAB) species *Pseudo-nitzschia delicatissima*. *Aquaculture*, **437**, 167–174.
- Duman, F., and Kar, M., 2012. Temporal variation of metals in water, sediment and tissues of the European chup (*Squalius cephalus* L.). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, **89**, 428–433.
- Filik İscen, C., Emiroğlu, Ö., İlhan, S., Arslan, N., Yılmaz, V. and Ahiska, S., 2008. Application of multivariate statistical techniques in the assessment of surface water quality in Uluabat Lake, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, **144**, 269–276.
- Filik İscen, C., Altın, A., Senoğlu, B. and Yavuz, H.S., 2009. Evaluation of surface water quality characteristics by using multivariate statistical

- techniques: a case study of the Euphrates river basin, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, **151**, 259–264.
- Kıymaz, S., and Karadavur, U., 2014. Application of Multivariate Statistical Analysis in the Assessment of Surface Water Quality in Seyfe Lake. *Journal of Agricultural Sciences*, **20**, 150–163.
- Kuppasamy, M.R., and Giridhar, V. V., 2006. Factor analysis of water quality characteristics including trace metal speciation in the coastal environmental system of Chennai Ennore. *Environment International*, **32**, 174–179.
- Li, S., Li, J. and Zhang, Q., 2011. Water quality assessment in the rivers along the water conveyance system of the Middle Route of the South to North Water Transfer Project (China) using multivariate statistical techniques and receptor modeling. *Journal of Hazardous Materials*, **195**, 306–17.
- Liu, C.-W., Lin, K.-H. and Kuo, Y.-M., 2003. Application of factor analysis in the assessment of groundwater quality in a blackfoot disease area in Taiwan. *The Science of the Total Environment*, **313**, 77–89.
- Liu, H., Benoit, G., Liu, T., Liu, Y. and Guo, H., 2015. An integrated system dynamics model developed for managing lake water quality at the watershed scale. *Journal of Environmental Management*, **155**, 11–23.
- Lopes, F.B., Andrade, E.M. De, Meireles, A.C.M., Becker, H. and Batista, A.A., 2014. Assessment of the water quality in a large reservoir in semiarid region of Brazil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, **18**, 437–445.
- Ouyang, Y., Nkedi-Kizza, P., Wu, Q.T., Shinde, D. and Huang, C.H., 2006. Assessment of seasonal variations in surface water quality. *Water Research*, **40**, 3800–10.
- Shrestha, S., and Kazama, F., 2007. Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: A case study of the Fuji river basin, Japan. *Environmental Modelling & Software*, **22**, 464–475.
- Tanriverdi, C., Alp, A., Demirkiran, A.R. and Uçkardeş, F., 2010. Assessment of surface water quality of the Ceyhan River basin, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, **167**, 175–184.
- Venkatramanan, S., Chung, S.Y., Lee, S.Y. and Park, N., 2014. Assessment of river water quality via environmentric multivariate statistical tools and water quality index: A case study of Nakdong River Basin, Korea. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, **9**, 125–132.

Charged Particle Interactions of Human Organs and Tissues in Heavy Ion Therapy; Effective Atomic Number and Electron Density

Mehmet BÜYÜKYILDIZ

Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Fizik Bölümü

e-posta: mehmet.buyukyildiz@btu.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2025-4916>

Geliş Tarihi: 21.02.2020

Kabul Tarihi: 25.04.2020

Abstract

Keywords

Hadron Therapy;
Effective Atomic
Number; Electron
Density; Tissue
Equivalence; Water
Equivalence

In this work, various organs of human and tissues were studied in terms of the effective atomic numbers (Z_{eff}) and electron densities (N_e) in the continuous kinetic energy region for different types of heavy ions. Variations of Z_{eff} and N_e with kinetic energy were investigated and significant variations were noted. In addition, water and tissue equivalences of the given materials with respect to their Z_{eff} and N_e were evaluated based on the results obtained. The best water equivalents were found to be Urinary Bladder_Urine for H, He and C ions and Skeleton Cartilage for Ne ion since differences in Z_{eff} relative to water for H ($\leq 3\%$), He ($\leq 1\%$), C ($\leq 1\%$) and Ne ($\leq 6\%$) ions were significantly low. Moreover, variations in water equivalences of the materials have been discussed in detail in the continuous energy region. The reported data should be useful when heavy ions are intended to be used in these materials for radiotherapy and dosimetry applications as they represent the interaction of ions with these materials in the continuous kinetic energy region.

Ağır İyon Terapide İnsan Organları ve Dokularının Yüklü Parçacık Etkileşimleri; Etkin Atom Numarası ve Elektron Yoğunluğu

Öz

Anahtar kelimeler

Hadron Terapi; Etkin
Atom Numarası;
Elektron Yoğunluğu;
Doku Eşdeğeri; Su
Eşdeğeri

Bu çalışmada, farklı iyon tipleri için sürekli kinetik enerji aralığında birçok insan organ ve dokuları için etkin atom numaraları (Z_{eff}) ve elektron yoğunlukları (N_e) çalışılmıştır. Z_{eff} ve N_e 'in kinetik enerji ile değişimi incelenmiş ve önemli değişimler not edilmiştir. Ayrıca elde edilen sonuçlara dayalı olarak Z_{eff} ve N_e için verilen malzemelerin su ve doku eşdeğerleri değerlendirilmiştir. En iyi su eşdeğerlikleri H, He ve C iyonları için idrar kesesi ve Ne iyonu için iskelet kırıkdağı olarak bulundu, çünkü suya nispeten Z_{eff} 'deki farklılıklar H ($\leq 3\%$), He ($\leq 1\%$), C ($\leq 1\%$) ve Ne ($\leq 6\%$) iyonları için önemli ölçüde düşüktü. Ayrıca malzemelerin su eşdeğerliklerindeki değişimler sürekli enerji aralığında tartışılmıştır. Rapor edilen veriler, sürekli kinetik enerji aralığında bu malzemelerle iyonların etkileşimini gösterdiklerinden dolayı, ağır iyonlar radyoterapi ve dozimetri uygulamaları için bu materyallerde kullanılmak için hedeflendiğinde kullanışlı olmalıdır.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Introduction

There are various cancer types in the world and some methods such as surgery, chemotherapy and radiotherapy are used to treat these cancers in terms of any cancerous cells or tissues. Differently from the others, the cancerous cells or tissues are exposed to uncharged and charged radiations for treatment in radiotherapy. For this aim, energetic photons, protons, electrons, heavy ions can be generally can be utilized for treatment. To use the

hadrons such as proton or ion, they are accelerated by available systems such as synchrotrons, linacs and cyclotrons. Recently, hadron therapy has been of increasing interest because of its some superiorities over the conventional radiotherapy. For example, helium ion treatment is preferred on ion therapy due to their physical and biological advantages for some patients such as pediatric patients (Gallasa *et al.* 2017). Another example is carbon ion has some physical and biological advantages. It has less Coulomb interactions which

indicates a superior dose distribution, and it has 2-3 range or higher relative biological effectiveness (RBE), while for protons RBE is generally considered to be 1.1 (Mohamad *et al.* 2018). Neon ions used in cancer therapy are another type of ions that and are now showed as a good candidate for hypoxic problems of carcinogenicity (Banaś *et al.* 2018). In conventional X-ray radiotherapy, the radiation dose decreases in the body with the increasing penetration depth. In heavy ion therapy, however, the radiation dose increases with increasing penetration depth in the body and produces the Bragg peak in a specific depth, thus letting selectively irradiation of cancers with a maximum dose. In this regard, studies on ion interaction with different materials of interest become crucial for both therapy and equivalent materials design.

Effective atomic number is a well known term used to characterize composite materials respect to equivalence since a number cannot symbolize the composite material in the continuous energy region. For description of multi-element or composite materials on behalf of equivalent elements, effective atomic number and electron density have an important role in radiation interaction with matter or designing new equivalent materials. Studies on biological materials are interesting for researcher in terms of photon or ion interactions in literature. Z_{eff} of some biological materials were investigated in the energy region 10-200 keV (Rao *et al.* 1985). Yang *et al.* studied Z_{eff} of human tissues for low energy total photon interactions via introduced a new method and the results were compared with water and tissue (1987). Z_{eff} of muscle, spleen and liver were investigated in 1, 5, 10, 20 and 50 MeV for photons, electrons and He ions, the results evaluated by Parthasaradhi *et al.* (1989). Some composite materials such as water, Perspex and nylon were studied in terms of effective atomic numbers for photon (1-50 MeV), electrons (1-50 MeV) and protons (1-200 MeV) (Prasad *et al.* 1997). And important data for particle interactions was reported by authors in the relevant energy regions. Shivaramu calculated effective atomic numbers of human organs and tissues such as ovary, testis, eye lens, adipose tissue, lung tissue

etc. for photon energy absorption and photon interaction by direct method in the energy region of 1 keV to 20 MeV (2002). Z_{eff} and its variation with photon energy have been also discussed in terms of effect of absorption edge in the study. Z_{eff} of some molecules such as fatty acids and carbohydrates were studied for photon absorption and interaction from 1 keV to 20 MeV, and energy dependence of Z_{eff} for photon energy was discussed by Manohara *et al.* (2008). Also, Manohara *et al.* computed energy absorption buildup factors of human organs and tissues for photon energy range 0.015-15 MeV and penetration depths up to 40 mfp (mean free path) and they discussed chemical composition effect and energy dependences in Z_{eff} of human organs and tissues (2011). Manjunatha *et al.* determined Z_{eff} and N_e of cortical and compact bone for photon interactions in the energy region of 1 keV – 100 GeV and useful data were determined for choosing a suitable composite material in place of bone (2012). Mann *et al.* investigated the dosimetric materials to be used as tissue-substitutes in radiological diagnosis in terms of mass energy absorption coefficient, equivalent atomic number and KERMA (kinetic energy released per unit mass) in the energy range 0.015–15 MeV (2012). More recently, Singh *et al.* have used effective atomic numbers of some thermoluminescent materials to study photon buildup factors (2014). Kurudirek calculated effective atomic numbers of 107 different materials of dosimetric interest for electron interactions in the continuous energy region, the tissue equivalent materials were compared with the tissues and dosimetric materials in the study (2014a). In the light of the existing studies in literature, studies for photon radiation are widely available while studies for charged particle radiation are scarce. But literature is poor of studies regarding Z_{eff} and N_e of human organs and tissues for heavy ions which are often used in ion therapy. This motivated us to focus on this study. In the present work, effective atomic numbers (Z_{eff}) and electron densities (N_e) of human organs and tissues such as skin, skeletal muscle, skeleton red and yellow marrow, thyroid, pancreas, ovary,

spleen, prostate, testis, A-150 tissue-equivalent plastic (ICRU), B-100 Bone Eqiv. Plastic (ICRU), bone compact (ICRU and ICRP) etc. have been computed for light and hard ion i.e. in the kinetic energy region of 10 keV-10 (for He and Ne), 250 (for H) and 400 (for C) MeV for different types of heavy ions.

2. Materials and methods

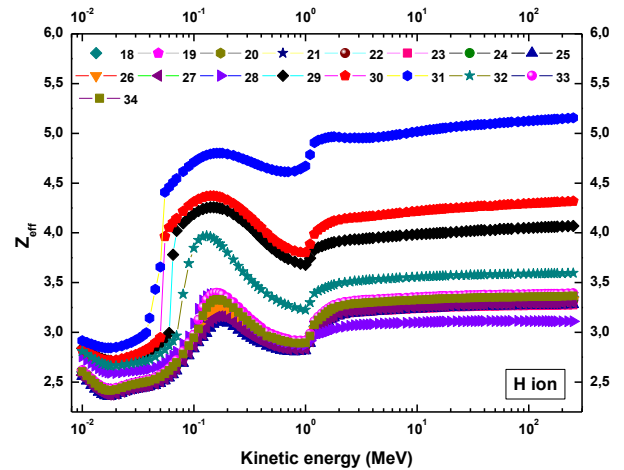
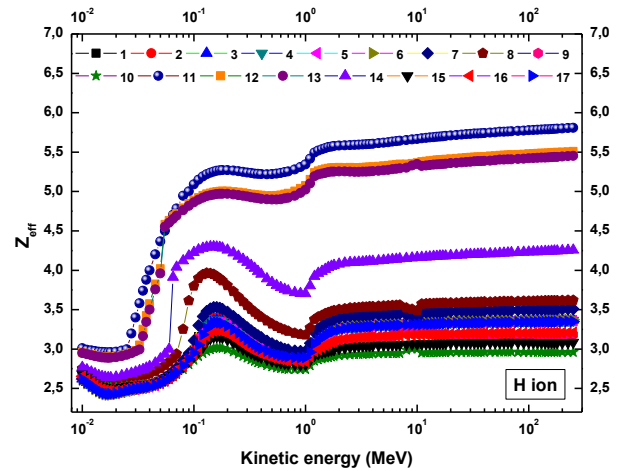
The human organs and tissues used in the present work include Skin 1,2,3, Skeletal muscle (Type 1,2,3), Skeleton Cartilage, Skeleton Spongiosa, Skeleton Red Marrow, Skeleton Yellow Marrow, Cortical Bone Adult, Cort. Bone Ages 6-13, Cort. Bone Ages 2-5, Perinatal Rhesus Monkey, Mammary Gland (Type 1,2,3), Spleen, Testis, Thyroid, Trachea, Ovary, Pancreas, Prostate, Urinary Bladder_Urine, Urinary Bladder_Empty, Urinary Bladder_Filled, A-150 Tissue-Equiv. Plastic (ICRU), B_100 Bone Eqiv. Plastic (ICRU), Bone, Compact (ICRU), Bone, Compact (ICRP), MS_20 Tissue Substitute (ICRU), Muscle_Equiv.Liquid w_sucrose (ICRU) and Muscle_Equiv.Liquid wo_sucrose (ICRU). Also, water and some human tissues such as adipose tissue, muscle skeletal (ICRP) and muscle striated (ICRU) were used for comparison.

In the present work, a similar method described elsewhere was adopted for calculation of effective atomic numbers and electron densities for heavy ions (Kurudirek 2014b, Kurudirek and Onaran 2015, Kurudirek 2015, Büyükyıldız 2017a, 2017b). Briefly, a Z-wise interpolation procedure has been adopted to obtain Z_{eff} for heavy charged particles. First, the mass stopping powers of the given materials were obtained using the SRIM code (Zeigler *et al.* 2010). Z_{eff} then can be obtained by interpolation of Z values between the adjacent stopping cross section data in the kinetic energy region of 10 keV-10 (for He and Ne), 250 (for H) and 400 (for C) MeV for different types of heavy ions. The N_{eS} of the materials were obtained using the well-known formula given elsewhere.

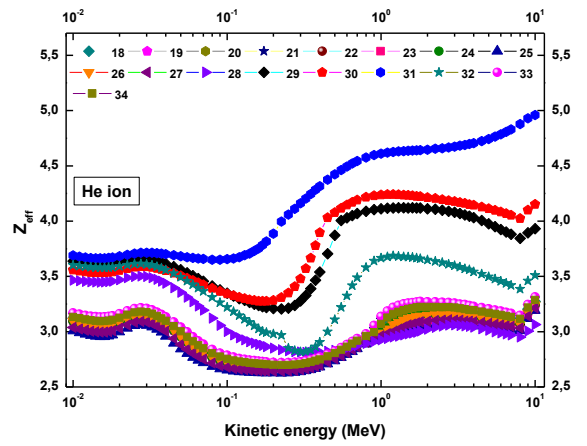
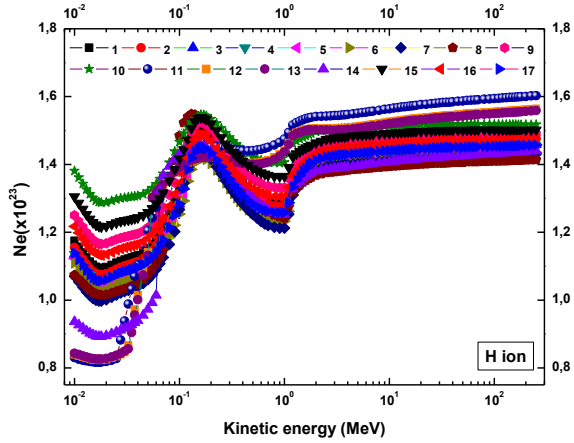
3. Results and discussion

Z_{effS} and N_{eS} of the all biological materials are shown in Figs. 1 - 4 (a,b) for H, He, C and Ne ion interaction in continuous energy region.

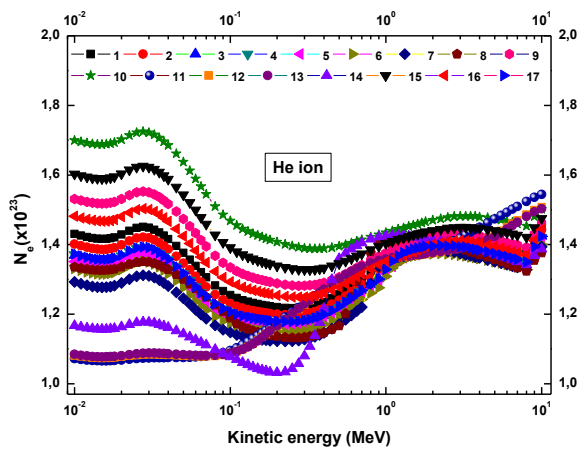
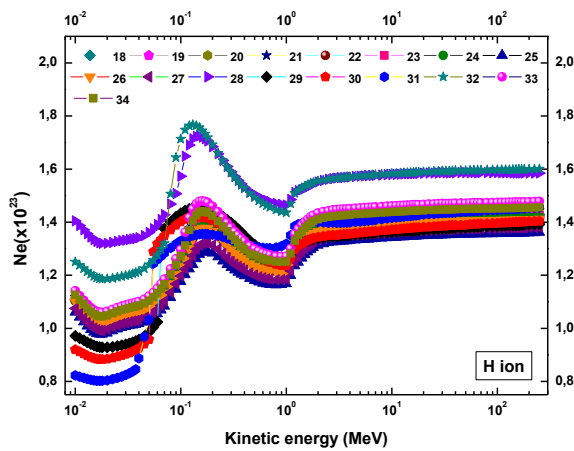
a)



b)

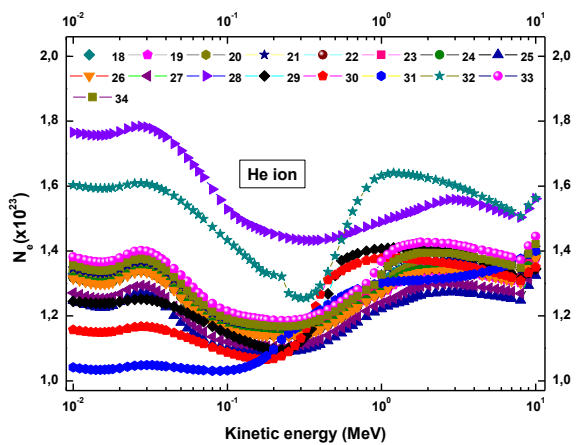
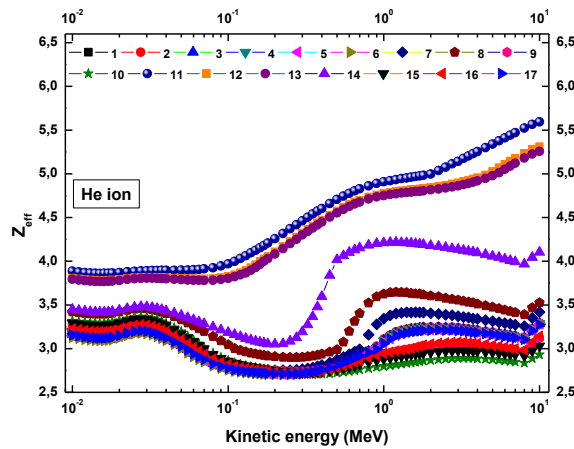


b)



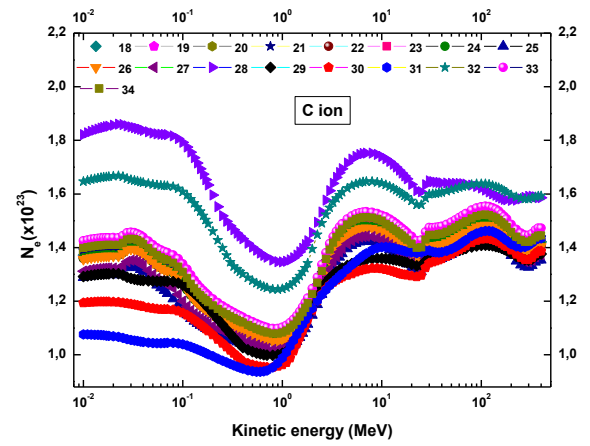
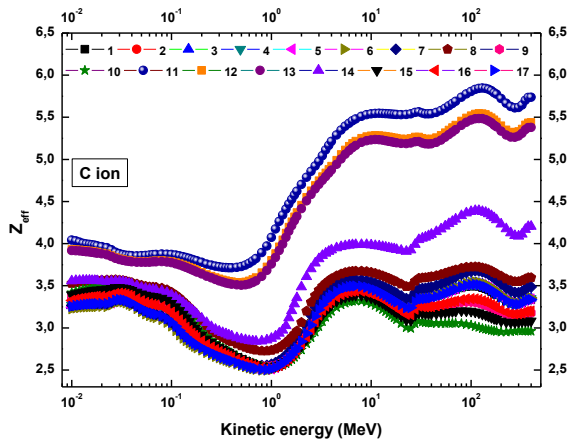
Figs. 1 (a) Z_{eff} s and (b) N_e s of the all biological materials for H ion interaction.

a)

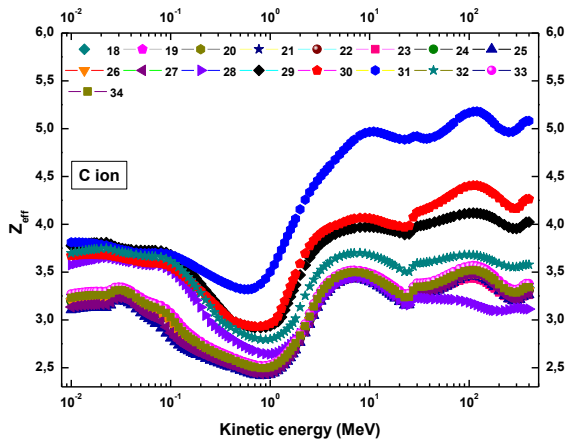


Figs. 2 (a) Z_{eff} s and (b) N_e s of the all biological materials for He ion interaction.

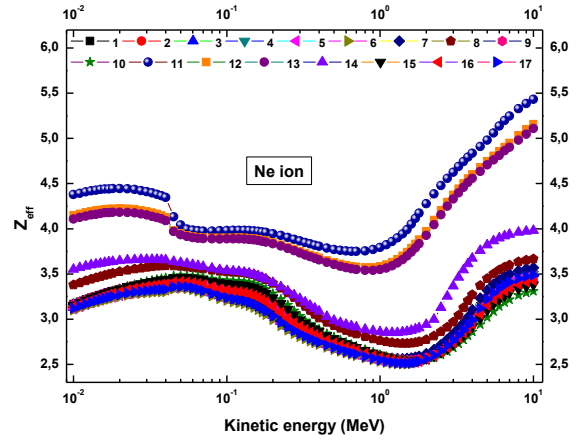
a)



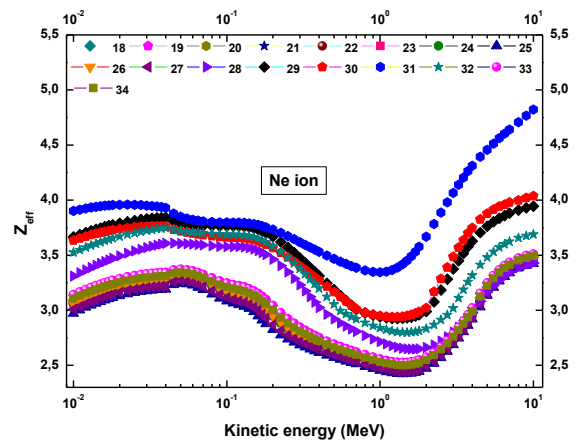
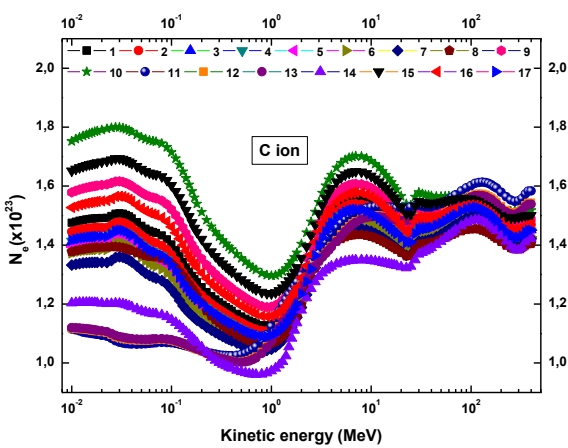
Figs. 3 (a) Z_{eff} and (b) N_e s of the all biological materials for C ion interaction.



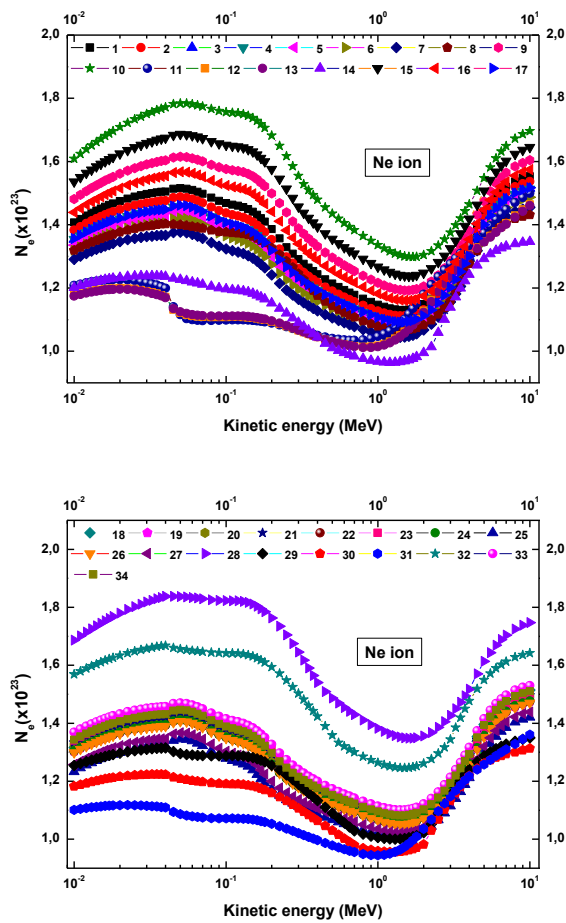
a)



b)



b)



Figs. 4 (a) Z_{eff} s and (b) N_e s of the all biological materials for Ne ion interaction.

As shown in Fig. 1a, generally Z_{eff} has lowest values at low energy values and the lowest values of Z_{eff} were observed for the Perinatal Rhesus Monkey around 0.017-0.018 MeV for H ion interaction. Z_{eff}

has highest values at high energy values and the highest values of Z_{eff} were observed for the Cortical Bone Adult. It can be clearly seen from Fig. 2a and Fig. 3a for He and C ion interaction that Z_{eff} has lowest values at intermediate energy values and the lowest values of Z_{eff} were observed for the Urinary Bladder_Urine around 0.15 - 0.25 MeV (for He) and 0.80 - 0.90 MeV (for C), highest values of Z_{eff} were observed at highest energy values and the highest values of Z_{eff} were observed for the Cortical Bone Adult. One can see from Fig. 4a that Z_{eff} has lowest values at higher energy values and the lowest values of Z_{eff} were observed for the Skeleton Cartilage in 3.75 MeV and the highest values of Z_{eff} were observed for the Cortical Bone Adult at highest energies. On the other hand, when Figs. 1a – 4a are scrutinized, Z_{eff} shows minimum values at minimum energies, then takes a peak, but interestingly minimum values of Z_{eff} shift to the maximum energies as atomic number of heavy ions rises (H, He, C and Ne, respectively). Variation of N_e s of the materials with energy has the same energy dependence approximately as Z_{eff} s, so the N_e is closely related to the Z_{eff} as shown Figs. 1b – 4b.

For biological materials, relative differences (%) in Z_{effRW} (relative to water) less than 10% are shown in Table 1 for H, He, C and Ne ion interaction in different energy regions, respectively.

Table 1. Maximum relative differences (%) below 10% in Z_{eff} RW for H (10 keV-250 MeV), He (10 keV-10 MeV), C (10 keV-400 MeV) and Ne (10 keV-10 MeV) heavy ions

	Materials	H ion	He ion	C ion	Ne ion
1	Skin 1		1.08		0.92
2	Skin 2		1.07		0.92
3	Skin 3		1.06		0.91
4	Skeletal Musc.(Type1)		1.06		0.91
5	Skeletal Musc.(Type2)		1.06		0.91
6	Skeletal Musc.(Type3)		1.06	1.09	0.91
7	Skeleton Cartilage				0.94
8	Skeleton Spongiosa				
9	Skeleton Red Marrow	1.08			
10	Skeleton Yellow Marrow	0.91			
11	Cortical Bone Adult				
12	Cort. Bone Ages 6-13				
13	Cort. Bone Ages 2-5				
14	Perinatal Rhesus Monkey				
15	Mammary Gland (Type 1)	1.07			
16	Mammary Gland (Type2)	1.07	1.08		
17	Mammary Gland (Type3)		1.06		0.91
18	Spleen		1.05	1.08	0.91
19	Testis	1.06	1.03	1.07	
20	Thyroid	1.08	1.04	1.08	
21	Trachea		1.06		0.92
22	Ovary	1.07	1.04	1.07	
23	Pancreas	1.07	1.05	1.09	
24	Prostate	1.08	1.04	1.07	
25	Urinary Bladder_Urine	1.03	1.01	1.01	
26	Urinary Bladder_Empty	1.07	1.04	1.07	
27	Urinary Bladder_Filled	1.04	1.02	1.04	
28	A-150 Tissue-Equiv. Plastic (ICRU)				
29	B_100 Bone Equiv. Plastic (ICRU)				
30	Bone, Compact (ICRU)				
31	Bone, Compact (ICRP)				
32	MS_20 Tissue Substitute (ICRU)				
33	Muscle_Equiv.Liquid with sucrose (ICRU)		1.07		0.92
34	Muscle_Equiv.Liquid without sucrose (ICRU)		1.06	1.09	0.91

The relative differences (%) in Z_{eff} RW (relative to water) refer to the deviation from the value one. It can be seen from Table 2 that max difference (%) in Z_{eff} RW for H ion interaction was estimated as %8 for Thyroid, Prostate, Skeleton Red and

Yellow Marrow in different energy regions and min difference (%) in Z_{eff} RW was estimated as <%1 for Mammary Gland (Type 1 and 2), Urinary Bladder_Urine, Skeleton Red and Yellow Marrow.

Table 2. Water equivalence based on Z_{eff} RW for some materials for H ion interaction

	Z_{eff} RW	Energy region (MeV)	Z_{eff} RW	Energy region (MeV)
Skeleton Red Marrow	1.08	1.30E-01/1.60E-01	< 1.01	1.20E+00/1.50E+00
Skeleton Yellow Marrow	0.91	1.00E+02/2.50E+02	< 1.01	1.40E-01/1.70E-01
Mammary Gland (Type 1)	1.07	1.40E-02/1.80E-02	< 1.01	1.00E+00 and 1.10E+00
Mammary Gland (Type2)	1.07	1.30E-02/1.70E-02	< 1.01	1.30E+00/1.80E+00
Testis	1.06	1.40E-01/1.80E-01	1.02	1.00E-02/5.50E-02 and 8.00E-1/2.50E+02
Thyroid	1.08	1.40E-01/1.80E-01	1.02	1.00E-02/3.75E-02
Ovary	1.07	1.40E-01/1.80E-01	1.02	1.00E-02/4.50E-02 and 2.00E+01/2.50E+02
Pancreas	1.07	1.50E-01	1.01	1.60E+00/2.50E+02
Prostate	1.08	1.50E-01	1.02	1.00E-02/4.50E-02
Urinary Bladder_Urine	1.03	1.60E-01/1.80E-01	< 1.01	1.00E-02/1.30E-02
Urinary Bladder_Empty	1.07	1.30E-01/1.80E-01	1.02	1.00E-02/4.50E-02 and 13.00E+00/2.50E+02
Urinary Bladder_Filled	1.04	1.40E-01/2.00E-01	1.01	1.00E-02/5.50E-02

Max dif. (%) in Z_{effRW} for He ion interaction was obtained as %8 for Skin 1 and Mammary Gland

(Type2) in different energy regions and min dif. (%) in Z_{eff} was \leq %2 as seen Table 3.

Table 3. Water equivalence based on in Z_{effRW} for some materials for He ion interaction

	Z_{effRW}	Energy region (MeV)	Z_{effRW}	Energy region (MeV)
Skin 1	1.08	4.50E-02/5.50E-02	1.02	5.00E-01/9.00E-01
Skin 2	1.07	4.50E-02/5.50E-02	1.02	4.50E-01/8.00E-01
Skin 3	1.06	1.20E+00/5.50E+00	1.02	2.75E-01/9.00E-01
Skeletal Musc.(Type1)	1.06	1.20E+00/5.00E+00	1.02	3.00E-01/9.00E-01
Skeletal Musc.(Type2)	1.06	2.25E+00/3.75E+00	1.01	6.50E-01/9.00E-01
Skeletal Musc.(Type3)	1.06	1.60E+00/4.50E+00	1.01	5.50E-01/7.00E-01
Mammary Gland (Type2)	1.08	4.50E-02/6.50E-02	<1.01	6.50E+00/9.00E+00
Mammary Gland (Type3)	1.06	5.00E-02/5.50E-02	1.01	6.00E-01/9.00E-01
Spleen	1.05	1.60E+00/6.00E+00	1.01	3.75E-01/9.00E-01
Testis	1.03	2.25E+00/6.50E+00	<1.01	4.00E-01/1.10E+00
Thyroid	1.04	1.80E+00/6.00E+00	1.01	2.50E-01/1.00E+00
Trachea	1.07	2.50E+00	1.02	2.75E-01/9.00E-01
Ovary	1.04	2.50E+00/5.00E+00	<1.01	5.50E-01/9.00E-01
Pancreas	1.05	5.00E-02	<1.01	4.50E-01/1.50E+00
Prostate	1.04	2.00E+00/6.00E+00	<1.01	5.50E-01/8.00E-01
Urinary Bladder_Urine	1.01	1.00E-02/1.00E+01	<1.01	1.70E+00/2.25E+00
Urinary Bladder_Empty	1.04	2.50E+00/5.00E+00	<1.01	5.50E-01/9.00E-01
Urinary Bladder_Filled	1.02	2.50E+00/1.00E+01	\leq 1.01	1.00E-02/2.00E+00
Muscle_Equiv.Liquid with sucrose (ICRU)	1.07	1.10E+00/5.00E+00	1.02	3.50E-01/8.00E-01
Muscle_Equiv.Liquid without sucrose (ICRU)	1.06	1.70E+00/4.50E+00	1.02	5.00E-01/8.00E-01

For C ion interaction, max and min dif. (%) in Z_{effRW} were determined as %9 for Skeletal Musc.(Type3), Pancreas, Muscle_Equiv.Liquid

without_sucrose (ICRU) and \leq %1 for Urinary Bladder_Urine, respectively as shown in Table 4.

Table 4. Water equivalence based on in Z_{effRW} for some materials for C ion interaction

	Z_{effRW}	Energy region (MeV)	Z_{effRW}	Energy region (MeV)
Skeletal Musc.(Type3)	1.09	1.00E-01	1.03	3.50E+00/1.70E+01 and 7.00E+01/1.60E+02
Spleen	1.08	9.00E-02/1.10E-01	1.02	5.50E+00/9.00E+00
Testis	1.07	9.00E-02/1.00E-01	1.01	11.00-12.00 and 9.00E+01/1.70E+02
Thyroid	1.08	9.00E-02/1.00E-01	1.02	3.50E+00/1.00E+01 and 5.50E+01/2.00E+02
Ovary	1.07	9.00E-02/1.00E-01	1.02	1.70E+00/1.00E+01 and 2.75E+01/4.00E+02
Pancreas	1.09	9.00E-02/1.20E-01	1.01	3.75E+00/1.00E+01 and 8.00E+01/2.00E+02
Prostate	1.07	9.00E-02/1.00E-01	1.02	3.25E+00/1.00E+01 and 5.50E+01/2.00E+02
Urinary Bladder_Urine	1.01	1.00E-02/5.00E-02	<1.01	5.50E-02/1.00E+01
Urinary Bladder_Empty	1.07	9.00E-02/1.10E-01	1.02	1.70E+00/1.00E+01 and 2.75E+01/4.00E+02
Urinary Bladder_Filled	1.04	8.00E-02	1.01	3.25E-01/1.00E+01 and 6.50E+01/1.60E+02
Muscle_Equiv.Liquid without_sucrose (ICRU)	1.09	9.00E-02 and 1.00E-01	1.03	1.70E+00/1.20E+01

In addition, Urinary Bladder_Urine seems to be the best water equivalent as relative differences (%) in Z_{effRW} are significantly low %3 for H, %1 for He and C ions in the energy regions 0.16 - 0.18 MeV for H, 10 keV - 10 MeV for He and 5.50 keV - 10 MeV for C. Therefore, it can be considered as

a water equivalent in these energy regions when bombarded with H, He and C ions, respectively. For Ne ion interaction, generally max. dif. (%) in Z_{effRW} was found to be %8-9 for all materials (except Skeleton Cartilage) in the energy region 3.75 - 4.00 MeV as shown in Table 5.

Table 5. Water equivalence based on in $Z_{\text{eff}}^{\text{RW}}$ for some materials for Ne ion interaction

	$Z_{\text{eff}}^{\text{RW}}$	Energy region (MeV)	$Z_{\text{eff}}^{\text{RW}}$	Energy region (MeV)
Skin 1	0.92	3.75E+00 and 4.00E+00	<1.01	5.50E-01/7.00E-01
Skin 2	0.92	3.75E+00 and 4.00E+00	<1.01	4.50E-01/5.50E-01
Skin 3	0.91	4.00E+00	<1.01	3.00E-01/3.75E-01
Skeletal Musc.(Type1)	0.91	4.00E+00	<1.01	3.25E-01/4.00E-01
Skeletal Musc.(Type2)	0.91	3.75E+00 and 4.00E+00	<1.01	2.50E-01/3.25E-01
Skeletal Musc.(Type3)	0.91	4.00E+00	<1.01	1.30E-01/2.50E-01
Skeleton Cartilage	0.94	3.75E+00	<1.01	3.50E-01/6.00E-01
Mammary Gland (Type3)	0.91	3.75E+00 and 4.00E+00	<1.01	2.75E-01/3.50E-01
Spleen	0.91	3.75E+00 and 4.00E+00	<1.01	5.00E-02/2.25E-01
Trachea	0.92	3.75E+00 and 4.00E+00	<1.01	2.75E-01/3.50E-01
Muscle_Equiv.Liquid with sucrose (ICRU)	0.92	3.75E+00 and 4.00E+00	<1.01	2.25E-01/4.00E-01
Muscle_Equiv.Liquid without sucrose (ICRU)	0.91	3.75E+00 and 4.00E+00	<1.01	1.70E-01/2.50E-01

Skeleton Cartilage has the lowest deviation (%6 for Ne ion) among the max dif. (%) in $Z_{\text{eff}}^{\text{RW}}$ in this energy region. Table 5 also presents the obtained min. dif. (%) in $Z_{\text{eff}}^{\text{RW}}$ as <1% in the relevant energy regions. Parthasaradhi *et al.* have calculated Z_{eff} for spleen at 1, 5 and 10 MeV and they found values 3.30, 3.40 ve 3.20 (± 0.2) (1989). Values of Z_{eff} obtained in the present work (3.04, 3.15 and 3.27 at 1, 5 and 10 MeV, respectively) agree well with the findings of Parthasaradhi *et al.* as relative differences are significantly low ($\leq 8\%$ at 1 MeV, $\leq 7\%$ at 5 MeV and $\leq 2\%$ at 10 MeV).

4. Conclusions

This work presents data on water and tissue equivalence properties of some human organs and tissues in terms of effective atomic number and electron density in the relevant kinetic energy region for different types of heavy ions. Some of Z_{eff} s of the organs and tissues were compared with the other values available in the literature. Also relative differences (%) in $Z_{\text{eff}}^{\text{RW}}$ (relative to water) of the organs and tissues, and significant variations were determined in the relevant energies. In the light of the results obtained, the best water equivalents were found to be Urinary Bladder_Urine for H, He and C ions (differences in $Z_{\text{eff}}^{\text{RW}}$ are $\leq 3\%$ for H, $\leq 1\%$ for He, $\leq 1\%$ for C) and Skeleton Cartilage for Ne ion (difference in $Z_{\text{eff}}^{\text{RW}}$ is $\leq 6\%$). The reported data should be useful when heavy ions are intended to be used in these materials for radiotherapy or hadron therapy and dosimetry applications as they represent the interaction of ions with these

materials in the continuous kinetic energy region. The data should be also significant if a new material is designed for radiotherapy or hadron therapy due to definition of effective atomic number.

Conflict of interest

There is no conflict of interest to declare.

Ethical approval

This article does not contain any studies with human or animal subjects performed by any of the authors.

References

- Banaś, C.D., Braziewicz, J., Buraczewska, I., Jaskóła, M., Kaźmierczak, U., Korman, A., Lankoff, A., Lisowska, H., Szepliński, Z., Wojewódzka, M., Wójcik, A., 2018. Biological effects of mixed-ion beams. Part 1: Effect of irradiation of the CHO-K1 cells with a mixed-ion beam containing the carbon and oxygen ions. *Appl. Radiat. Isot.* **139**, 304-309.
- Büyükyıldız, M., 2017a. Investigation of radiological properties of some shielding materials on charged and uncharged radiation interaction for neutron generator. *Radiat. Effec. Deffec. Solids*, **172**, 216-234.
- Büyükyıldız, M., 2017b. A study of effective atomic numbers and electron densities of some vitamins for electron, H, He and C ion interactions. *Eur. Phys. J. Plus*, **132**, 1-8.

- Gallasa, R.R., Arico, G., Burigo, L.N., Gehrke, T., Jakůbek, J., Granja, C., Tureček, D., Martišíkovác, M., 2017. A novel method for assessment of fragmentation and beam-material interactions in helium ion radiotherapy with a miniaturized setup. *Physica Medica*, **42**, 116-126.
- Kurudirek, M., 2014a. Effective atomic numbers, water and tissue equivalence properties of human tissues, tissue equivalents and dosimetric materials for total electron interaction in the energy region 10 keV–1 GeV. *Appl. Radiat. Isot.* **94**, 1-7.
- Kurudirek, M., 2014b. Effective atomic numbers and electron densities of some human tissues and dosimetric materials for mean energies of various radiation sources relevant to radiotherapy and medical applications. *Radiat. Phys. Chem.* **102**, 139-146.
- Kurudirek, M., 2015. Studies on heavy charged particle interaction, water equivalence and Monte Carlo simulation in some gel dosimeters, water, human tissues and water Phantoms. *Nucl. Instrum. Methods A.* **795**, 239-252.
- Kurudirek, M., Onaran, T., 2015. Calculation of effective atomic number and electron density of essential biomolecules for electron, proton, alpha particle and multi-energetic photon interactions. *Radiat. Phys. Chem.* **112**, 125-138.
- Manjunatha, H.C., Rudraswamy, B. 2012. Photon interaction parameters of dosimetric interest in bone. *Health. Phys.* **10**, 322-329.
- Mann, K.S., Kurudirek, M., Sidhu, G.S. 2012. Verification of dosimetric materials to be used as tissue-substitutes in radiological diagnosis. *Appl. Radiat. Isot.* **70**, 681,691.
- Manohara, S.R., Hanagodimath, S.M., Gerward, L., 2008. Energy dependence of effective atomic numbers for photon energy absorption and photon interaction: studies of some biological molecules in the energy range 1 keV-20 MeV. *Med. Phys.* **35**, 388-401.
- Manohara, S.R., Hanagodimath, S.M., Gerward, L., 2011. Energy absorption buildup factors of human organs and tissues at energies and penetration depths relevant for radiotherapy and diagnostics. *J. Appl. Clin. Med. Phys.* **12**, 3557-3565.
- Mohamad, O., Yamada, S., Durante, M., 2018. Clinical indications for Carbon ion radiotherapy. *Clinical Oncology*, **30**, 317-329.
- Parthasaradhi, K., Rao, B.M., Prasad, S.G., 1989. Effective atomic numbers of biological materials in the energy region 1 to 50 MeV for photons, electrons and He ions. *Med. Phys.* **16**, 653-654.
- Prasad, S.G., Parthasaradhi, K., Bloomer, W.D., 1997. Effective atomic numbers of composite materials for total and partial interaction processes for photons, electrons and protons. *Med. Phys.* **24**, 883-885.
- Rao, B.V., Raju, M.L., Narasimham, K.L., Parthasarahi, K., Rao, B.M., 1985. Interaction of low-energy photons with biological materials and effective atomic number. *Med. Phys.* **12**, 745-748.
- Shivaramu, 2002. Effective atomic numbers for photon energy absorption and photon attenuation of tissues from human organs. *Med. Dosim.* **27**, 1-9.
- Singh, V.P., Badiger, N.M., 2016. Studies on photon buildup for some thermoluminescent dosimetric compounds. *Indian. J. Phys.* **90**, 259-269.

Yang, N.C., Lechner, P.K., Hawkins, W.G., 1987.

Effective atomic numbers for low-energy total photon interactions in human tissues. *Med. Phys.* **14**, 759-766.

Ziegler, J.F., Ziegler, M.D., Biersack, J.P., 2010.

SRIM - The stopping and range of ions in matter (2010). *Nucl. Instrum. Methods B* **268**, 1818-1823.

AKÜ FEMÜBİD 20 (2020) 021301 (207-212)

AKU J. Sci. Eng. 20 (2020) 021301 (207-212)

DOI: 10.35414/akufemubid.675886

Araştırma Makalesi / Research Article

 \mathcal{J} -Lacunary Statistical Convergence in Intuitionistic Fuzzy Normed Spaces**Ömer Kişi**

Bartın Üniversitesi, Fen Fakültesi, Matematik Bölümü, Bartın.

e-posta: okisi@bartin.edu.tr. ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-6844-3092>

Geliş Tarihi: 16.01.2020

Kabul Tarihi: 24.04.2020

KeywordsIdeal convergence;
 \mathcal{J} -lacunary statistical
convergence;
Intuitionistic fuzzy
normed space; Banach
space; Cauchy
sequence**Abstract**

In this study, first, we investigate the notions of \mathcal{J} -lacunary statistical convergence and strongly \mathcal{J} -lacunary convergence with regards to the intuitionistic fuzzy norm (IFN for short) (μ, ν) . Then, we investigate relationships among this new concepts and make important observations about them. Furthermore, we examine the relations among \mathcal{J} -lacunary statistical convergence and \mathcal{J} -statistical convergence in terms of IFN (μ, ν) in the corresponding intuitionistic fuzzy normed space.

Sezgisel Fuzzy Normlu Uzaylarda \mathcal{J} -Lacunary İstatistiksel Yakınsaklık**Anahtar kelimeler**İdeal yakınsaklık;
 \mathcal{J} -lacunary istatistiksel
yakınsaklık; Sezgisel
fuzzy normlu uzay;
Banach uzayı; Cauchy
dizisi**Öz**

Bu çalışmada, ilk olarak (μ, ν) sezgisel normuna göre \mathcal{J} -lacunary istatistiksel yakınsaklık ve kuvvetli \mathcal{J} -lacunary yakınsaklık kavramları tanımlandı. Daha sonra bu kavramlar arasındaki ilişkiler incelendi ve bu kavramlar üzerine önemli gözlemler yapıldı. Bununla birlikte, ilgili sezgisel fuzzy normlu uzayda (μ, ν) sezgisel normuna göre \mathcal{J} -lacunary istatistiksel yakınsaklık ile \mathcal{J} -istatistiksel yakınsaklık arasındaki ilişkiler incelendi.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Introduction and Definitions

Statistical convergence of a real number sequence was firstly originated by Fast (1951). It became a notable topic in summability theory after the work of Fridy (1985) and Šalát (1980).

Theory of \mathcal{J} -convergence of sequences was given by Kostyrko et al. (2000). It is known that \mathcal{J} -convergence is a significant generality of statistical convergence. The other studies of ideals can be done by Das and Ghosal (2010), Das et al. (2011) and Savaş and Das (2011).

Using lacunary sequence, Fridy and Orhan (1993a) examined lacunary statistical convergence. Subsequently, it was studied by Fridy and Orhan (1993b), Li (2000), Mursaleen and Mohiuddine (2009), Bakery (2014). Lacunary ideal convergence for real sequences was investigated by Tripathy et al. (2012). The other studies of this concept can be examined by Yamancı and Gürdal (2014a, 2014b), Ulusu and Dündar (2014), Kişi and Dündar (2018), Savaş et al. (2019).

Several authors have studied invariant convergent sequences (see, Ulusu et al. (2018), Pancaroğlu Akın et al. (2018)).

Fuzzy set theory has become an important working area after the study of Zadeh (1965). Atanassov (1986) investigated intuitionistic fuzzy set; this concept was utilized by Atanassov et al. (2002) in the study of decision-making problems. The idea of an intuitionistic fuzzy metric space was put forward by Park (2004). Saadati and Park (2006) initially introduced the concept of an intuitionistic fuzzy normed space (IFNS). Several studies of the convergence of sequences in some normed linear spaces with a fuzzy setting might be revealed by the research of the Hosseini et al. (2008), Debnath (2012), Sen and Debnath (2011), Debnath and Sen (2014), Debnath (2015). Karakuş et al. (2008) defined statistical convergence in IFNS. Savaş and Gürdal (2015) studied the concept of $\mathcal{J} - [V, \lambda]$ -summability and $\mathcal{J} - \lambda$ -statistical convergence with regards to the IFN (μ, ν) .

2. Main Results

Definition 2.1 Let $(X, \Phi, \omega, *, \theta)$ be an IFNLS. A sequence $x = (x_k)$ is called to be *J*-lacunary statistically convergent to $\xi \in X$ in terms of IFN (μ, ν) , and is demonstrated by $S_\theta(\mathcal{J})^{(\mu, \nu)} - \lim x = \xi$ or $x_k \xrightarrow{(\mu, \nu)} \xi(S_\theta(\mathcal{J}))$, if for every $\varepsilon > 0$, every $\delta > 0$, and $t > 0$,

$$\left\{ r \in N: \frac{1}{h_r} |\{k \in I_r : \mu(x_k - \xi, t) \leq 1 - \varepsilon \text{ or } \nu(x_k - \xi, t) \geq \varepsilon\}| \geq \delta \right\} \in I.$$

We consider \mathcal{J}_f as the family of all finite subsets of \mathbb{N} . Then \mathcal{J}_f is an admissible ideal and *J*-lacunary statistically convergence coincides with lacunary statistically convergence introduced in the study of Mursaleen and Mohiuddine (2009).

Definition 2.2 Let $(X, \Phi, \omega, *, \theta)$ be an IFNLS. $x = (x_k)$ in X is called strongly *J*-lacunary convergent to $\xi \in X$ or $N_\theta(\mathcal{J})$ -convergent to $\xi \in X$ in terms of IFN (μ, ν) , and is demonstrated by $x_k \xrightarrow{(\mu, \nu)} \xi(N_\theta(\mathcal{J}))$, if for every $\delta > 0$, and $t > 0$,

$$\left\{ r \in N: \frac{1}{h_r} \sum_{k \in I_r} \mu(x_k - \xi, t) \leq 1 - \delta \text{ or } \frac{1}{h_r} \sum_{k \in I_r} \nu(x_k - \xi, t) \geq \delta \right\} \in I.$$

Theorem 2.1 Let $(X, \Phi, \omega, *, \theta)$ be an IFNLS, and $x = \{x_k\} \in X$, then

1.
 - a. If $x_k \xrightarrow{(\mu, \nu)} \xi(N_\theta(\mathcal{J}))$ then $x_k \xrightarrow{(\mu, \nu)} \xi(S_\theta(\mathcal{J}))$.
 - b. If $x \in m(X)$, the space of all bounded sequences of X and $x_k \xrightarrow{(\mu, \nu)} \xi(S_\theta(\mathcal{J}))$ then $x_k \xrightarrow{(\mu, \nu)} \xi(N_\theta(\mathcal{J}))$.
2. $S_\theta(\mathcal{J})^{(\mu, \nu)} \cap m(X) = N_\theta(\mathcal{J})^{(\mu, \nu)} \cap m(X)$.

Proof. 1 (a) By assumption, for each $\varepsilon > 0$, $\delta > 0$, and $t > 0$, let $x_k \xrightarrow{(\mu, \nu)} \xi(N_\theta(\mathcal{J}))$. We have

$$\begin{aligned} & \sum_{k \in I_r} (\mu(x_k - \xi, t) \text{ or } \nu(x_k - \xi, t)) \\ \geq & \sum_{\substack{k \in I_r \\ \mu(x_k - \xi, t) \leq 1 - \varepsilon \text{ or } \nu(x_k - \xi, t) \geq \varepsilon}} (\mu(x_k - \xi, t) \text{ or } \nu(x_k - \xi, t)) \\ \geq & \varepsilon \cdot |\{k \in I_r : \mu(x_k - \xi, t) \leq 1 - \varepsilon \text{ or } \nu(x_k - \xi, t) \geq \varepsilon\}|. \end{aligned}$$

Then, observe that

$$\begin{aligned} & \frac{1}{h_r} |\{k \in I_r : \mu(x_k - \xi, t) \leq 1 - \varepsilon \text{ or } \nu(x_k - \xi, t) \geq \varepsilon\}| \geq \delta \\ \Rightarrow & \frac{1}{h_r} \sum_{k \in I_r} \mu(x_k - \xi, t) \leq (1 - \varepsilon)\delta \\ & \text{or } \frac{1}{h_r} \sum_{k \in I_r} \nu(x_k - \xi, t) \geq \varepsilon\delta, \end{aligned}$$

which implies

$$\begin{aligned} & \left\{ r \in N: \frac{1}{h_r} |\{k \in I_r : \mu(x_k - \xi, t) \leq 1 - \varepsilon \text{ or } \nu(x_k - \xi, t) \geq \varepsilon\}| \geq \delta \right\} \\ \subset & \left\{ r \in N: \frac{1}{h_r} \left\{ \sum_{k \in I_r} \mu(x_k - \xi, t) \leq 1 - \varepsilon \text{ or } \sum_{k \in I_r} \nu(x_k - \xi, t) \geq \varepsilon \right\} \geq \varepsilon\delta \right\}. \end{aligned}$$

Since $x_k \xrightarrow{(\mu, \nu)} \xi(N_\theta(\mathcal{J}))$, we see that $x_k \xrightarrow{(\mu, \nu)} \xi(S_\theta(\mathcal{J}))$, hence we get the result.

1 (b) Assume that $x_k \xrightarrow{(\mu, \nu)} \xi(S_\theta(\mathcal{J}))$ and $x \in l_\infty^{(\mu, \nu)}$. The inequalities $\mu(x_k - \xi, t) \geq 1 - M$ or $\nu(x_k - \xi, t) \leq M$ hold for all k . For $\varepsilon > 0$, we get

$$\begin{aligned} & \frac{1}{h_r} \sum_{k \in I_r} (\mu(x_k - \xi, t) \text{ or } \nu(x_k - \xi, t)) \\ = & \frac{1}{h_r} \sum_{\substack{k \in I_r \\ \mu(x_k - \xi, t) \leq 1 - \varepsilon \text{ or } \nu(x_k - \xi, t) \geq \varepsilon}} (\mu(x_k - \xi, t) \text{ or } \nu(x_k - \xi, t)) \\ + & \frac{1}{h_r} \sum_{\substack{k \in I_r \\ \mu(x_k - \xi, t) > 1 - \varepsilon \text{ or } \nu(x_k - \xi, t) < \varepsilon}} (\mu(x_k - \xi, t) \text{ or } \nu(x_k - \xi, t)) \\ \leq & \frac{M}{h_r} |\{k \in I_r : \mu(x_k - \xi, t) \leq 1 - \varepsilon \text{ or } \nu(x_k - \xi, t) \geq \varepsilon\}| + \varepsilon. \end{aligned}$$

Note that

$$\begin{aligned} A_{\mu, \nu}(\varepsilon, t) = & \left\{ r \in N: \frac{1}{h_r} |\{k \in I_r : \mu(x_k - \xi, t) \leq 1 - \varepsilon \text{ or } \nu(x_k - \xi, t) \geq \varepsilon\}| \geq \frac{\varepsilon}{M} \right\} \end{aligned}$$

belongs to \mathcal{J} . If $r \in (A_{\mu, \nu}(\varepsilon, t))^c$ then we have

$$\begin{aligned} & \frac{1}{h_r} \sum_{k \in I_r} \mu(x_k - \xi, t) > 1 - 2\varepsilon \\ & \text{or } \frac{1}{h_r} \sum_{k \in I_r} \nu(x_k - \xi, t) < 2\varepsilon. \end{aligned}$$

Now

$$\begin{aligned} T_{\mu, \nu}(\varepsilon, t) = & \left\{ r \in N: \frac{1}{h_r} \sum_{k \in I_r} \mu(x_k - \xi, t) \leq 1 - 2\varepsilon \text{ or } \frac{1}{h_r} \sum_{k \in I_r} \nu(x_k - \xi, t) \geq 2\varepsilon \right\}. \end{aligned}$$

Hence, $T_{\mu,\nu}(\varepsilon, t) \subseteq B_{\mu,\nu}(\varepsilon, t)$ and so, by the definition of an ideal,

$$T_{\mu,\nu}(\varepsilon, t) \in \mathcal{J}.$$

Therefore, we conclude that $x_k \xrightarrow{(\mu,\nu)} \xi(N_\theta(\mathcal{J}))$.

2. This readily follows from 1 (a) and 1 (b).

Theorem 2.2 $(X, \Phi, \omega, *, \theta)$ be an IFNLS. If $\theta = \{k_r\}$ be a lacunary sequence with $\liminf q_r > 1$, then

$$x_k \xrightarrow{(\mu,\nu)} \xi(S(\mathcal{J})) \Rightarrow x_k \xrightarrow{(\mu,\nu)} \xi(S_\theta(\mathcal{J})).$$

Proof. Suppose first that $\liminf q_r > 1$, then there exists a $\alpha > 0$ such that $q_r \geq 1 + \alpha$ for quite large r , which emphasize that

$$\frac{h_r}{k_r} \geq \frac{\alpha}{1 + \alpha}.$$

If $x_k \xrightarrow{(\mu,\nu)} \xi(S(\mathcal{J}))$, then for every $\varepsilon > 0$, for each $x \in X$ and for quite large r , we have

$$\begin{aligned} & \frac{1}{k_r} |\{k \leq k_r : \mu(x_k - \xi, t) \leq 1 - \varepsilon \text{ or} \\ & \quad \nu(x_k - \xi, t) \geq \varepsilon\}| \\ & \geq \frac{1}{k_r} |\{k \in I_r : \mu(x_k - \xi, t) \leq 1 - \varepsilon \text{ or} \\ & \quad \nu(x_k - \xi, t) \geq \varepsilon\}| \\ & \geq \frac{\alpha}{1 + \alpha} \frac{1}{h_r} |\{k \in I_r : \mu(x_k - \xi, t) \leq 1 - \varepsilon \text{ or} \\ & \quad \nu(x_k - \xi, t) \geq \varepsilon\}| \end{aligned}$$

For any $\delta > 0$, we get

$$\begin{aligned} & \left\{ r \in \mathbb{N} : \frac{1}{h_r} |\{k \in I_r : \mu(x_k - \xi, t) \leq 1 - \varepsilon \text{ or} \right. \\ & \quad \left. \text{or } \nu(x_k - \xi, t) \geq \varepsilon\}| \geq \delta \right\} \\ & \subseteq \left\{ r \in \mathbb{N} : \frac{1}{k_r} |\{k \leq k_r : \mu(x_k - \xi, t) \leq 1 - \varepsilon \text{ or} \right. \\ & \quad \left. \text{or } \nu(x_k - \xi, t) \geq \varepsilon\}| \geq \frac{\delta \alpha}{(\alpha + 1)} \right\}. \end{aligned}$$

This shows that $x_k \xrightarrow{(\mu,\nu)} \xi(S_\theta(\mathcal{J}))$.

To prove of the following theorem, we accept that the lacunary sequence θ satisfies the situation that for any set $C \in F(\mathcal{J})$, $\cup\{n: k_{r-1} < n \leq k_r, r \in C\} \in F(\mathcal{J})$.

Theorem 2.3 $(X, \Phi, \omega, *, \theta)$ be an IFNLS. If $\theta = \{k_r\}$ be a lacunary sequence with $\limsup q_r < \infty$, then

$$x_k \xrightarrow{(\mu,\nu)} \xi(S_\theta(\mathcal{J})) \Rightarrow x_k \xrightarrow{(\mu,\nu)} \xi(S(\mathcal{J})).$$

Proof. If $\limsup q_r < \infty$ then without any loss of generalization we can accept that there exists a $0 < M < \infty$ such that $q_r < M$ for all $r \geq 1$. Suppose that

$$\begin{aligned} & x_k \xrightarrow{(\mu,\nu)} \xi(S_\theta(\mathcal{J})), \text{ and for } \varepsilon, \delta, \delta_1 > 0 \text{ define the sets} \\ & C = \left\{ r \in \mathbb{N} : \frac{1}{h_r} |\{k \in I_r : \mu(x_k - \xi, t) \leq 1 - \varepsilon \right. \\ & \quad \left. \text{or } \nu(x_k - \xi, t) \geq \varepsilon\}| < \delta \right\} \end{aligned}$$

and

$$T = \left\{ n \in \mathbb{N} : \frac{1}{n} |\{k \leq n : \mu(x_k - \xi, t) \leq 1 - \varepsilon \text{ or} \right. \\ \left. \text{or } \nu(x_k - \xi, t) \geq \varepsilon\}| < \delta_1 \right\}.$$

It is clear from our assumption that $C \in F(\mathcal{J})$, the filter associated with the ideal \mathcal{J} . Observe that

$$K_j = \frac{1}{h_j} |\{k \in I_j : \mu(x_k - \xi, t) \leq 1 - \varepsilon \text{ or} \\ \text{or } \nu(x_k - \xi, t) \geq \varepsilon\}| < \delta$$

for all $j \in C$. Let $n \in \mathbb{N}$ be such that $k_{r-1} < n \leq k_r$ for some $r \in C$. Now

$$\begin{aligned} & \frac{1}{n} |\{k \leq n : \mu(x_k - \xi, t) \leq 1 - \varepsilon \text{ or} \\ & \quad \nu(x_k - \xi, t) \geq \varepsilon\}| \\ & \leq \frac{1}{k_{r-1}} |\{k \leq k_r : \mu(x_k - \xi, t) \leq 1 - \varepsilon \text{ or} \\ & \quad \nu(x_k - \xi, t) \geq \varepsilon\}| \\ & = \frac{1}{k_{r-1}} |\{k \in I_1 : \mu(x_k - \xi, t) \leq 1 - \varepsilon \text{ or} \\ & \quad \nu(x_k - \xi, t) \geq \varepsilon\}| \\ & \quad + \frac{1}{k_{r-1}} |\{k \in I_2 : \mu(x_k - \xi, t) \leq 1 - \varepsilon \text{ or} \\ & \quad \nu(x_k - \xi, t) \geq \varepsilon\}| \\ & \quad + \dots + \frac{1}{k_{r-1}} |\{k \in I_r : \mu(x_k - \xi, t) \leq 1 - \varepsilon \text{ or} \\ & \quad \nu(x_k - \xi, t) \geq \varepsilon\}| \\ & = \frac{k_1}{k_{r-1}} \frac{1}{h_1} |\{k \in I_1 : \mu(x_k - \xi, t) \leq 1 - \varepsilon \text{ or} \\ & \quad \nu(x_k - \xi, t) \geq \varepsilon\}| \\ & \quad + \frac{k_2 - k_1}{k_{r-1}} \frac{1}{h_2} |\{k \in I_2 : \mu(x_k - \xi, t) \leq 1 - \varepsilon \text{ or} \\ & \quad \nu(x_k - \xi, t) \geq \varepsilon\}| \\ & \quad + \dots + \frac{k_r - k_{r-1}}{k_{r-1}} \frac{1}{h_r} |\{k \in I_r : \mu(x_k - \xi, t) \leq 1 - \varepsilon \text{ or} \\ & \quad \nu(x_k - \xi, t) \geq \varepsilon\}| \\ & = \frac{k_1}{k_{r-1}} K_1 + \frac{k_2 - k_1}{k_{r-1}} K_2 + \dots + \frac{k_r - k_{r-1}}{k_{r-1}} K_r \\ & \leq \{ \sup_{j \in C} K_j \} \frac{k_r}{k_{r-1}} \\ & \quad < M \delta. \end{aligned}$$

Choosing $\delta_1 = \frac{\delta}{M}$ and given the fact that

$$\bigcup \{n: k_{r-1} < n \leq k_r, r \in C\} \subset T$$

where $C \in F(\mathcal{J})$ it follows from our assumption on θ that the set $T \in F(\mathcal{J})$.

Combination of Theorem 2.2 and Theorem 2.3 we have

Theorem 2.4 $(X, \Phi, \omega, *, \theta)$ be an IFNLS. If $\theta = \{k_r\}$ be a lacunary sequence with $1 < \liminf q_r \leq \limsup q_r < \infty$, then

$$x_k \xrightarrow{(\mu,\nu)} \xi(S_\theta(\mathcal{J})) \Leftrightarrow x_k \xrightarrow{(\mu,\nu)} \xi(S(\mathcal{J}))$$

Proof. This is an immediate consequence of Theorem 2.2 and Theorem 2.3.

Theorem 2.5 $(X, \Phi, \omega, *, \Theta)$ be an IFNLS such that

$$\frac{1}{4} \varepsilon_n \Theta \frac{1}{4} \varepsilon_n < \frac{1}{2} \varepsilon_n$$

and

$$\left(1 - \frac{1}{4} \varepsilon_n\right) * \left(1 - \frac{1}{4} \varepsilon_n\right) > 1 - \frac{1}{2} \varepsilon_n.$$

If X is a Banach space, then $S_\theta(\mathcal{J})^{(\mu, \nu)} \cap m(x)$ is a closed subset of $m(x)$.

Proof. We first assume that $(x^n) \subset S_\theta(\mathcal{J})^{(\mu, \nu)} \cap m(x)$ is a convergent sequence that it converges to $x \in m(x)$. We have to show that $x \in S_\theta(\mathcal{J})^{(\mu, \nu)} \cap m(x)$. Suppose that $x^n \xrightarrow{(\mu, \nu)} L_n(S_\theta(\mathcal{J}))$ for all $n \in \mathbb{N}$. Consider a sequence $\{\varepsilon_n\}$ of reducing positive numbers converging to zero. We can determinate an $n \in \mathbb{N}$ such that $\sup_j v(x - x^j, t) < \frac{1}{4} \varepsilon_n$ for all $j \geq n$. Choose $0 < \beta < \frac{1}{5}$. Let

$$A_{\mu, \nu}(\varepsilon_n, t) = \left\{ \begin{array}{l} r \in N: \frac{1}{h_r} |\{k \in I_r : \\ \mu(x_k^n - L_n, t) \leq 1 - \frac{\varepsilon_n}{4} \text{ or } \\ v(x_k^n - L_n, t) \geq \frac{\varepsilon_n}{4}\}| < \delta \end{array} \right\}$$

belongs to $F(\mathcal{J})$ and

$$B_{\mu, \nu}(\varepsilon_n, t) = \left\{ \begin{array}{l} r \in N: \frac{1}{h_r} |\{k \in I_r : \\ \mu(x_k^{n+1} - L_{n+1}, t) \leq 1 - \frac{\varepsilon_n}{4} \text{ or } \\ v(x_k^{n+1} - L_{n+1}, t) \geq \frac{\varepsilon_n}{4}\}| < \delta \end{array} \right\}$$

belongs to $F(\mathcal{J})$. Since $A_{\mu, \nu}(\varepsilon_n, t) \cap B_{\mu, \nu}(\varepsilon_n, t) \in F(\mathcal{J})$ and $\emptyset \notin F(\mathcal{J})$, we can select $r \in A_{\mu, \nu}(\varepsilon_n, t) \cap B_{\mu, \nu}(\varepsilon_n, t)$. Then

$$\frac{1}{h_r} |\{k \in I_r : \mu(x_k^n - L_n, t) \leq 1 - \frac{\varepsilon_n}{4}$$

$$\text{or } v(x_k^n - L_n, t) \geq \frac{\varepsilon_n}{4} \vee$$

$$\mu(x_k^{n+1} - L_{n+1}, t) \leq 1 - \frac{\varepsilon_n}{4} \text{ or}$$

$$v(x_k^{n+1} - L_{n+1}, t) \geq \frac{\varepsilon_n}{4}\}| \leq 2\delta < 1.$$

Since $h_r \rightarrow \infty$ and $A_{\mu, \nu}(\varepsilon_n, t) \cap B_{\mu, \nu}(\varepsilon_n, t) \in F(\mathcal{J})$ is finite, we can select the above r so that $h_r > 5$. So, there must exist a $k \in I_r$ for which we get at the same time, $\mu(x_k^n - L_n, t) > 1 - \frac{\varepsilon_n}{4}$ or $v(x_k^n - L_n, t) < \frac{\varepsilon_n}{4}$ and $\mu(x_k^{n+1} - L_{n+1}, t) > 1 - \frac{\varepsilon_n}{4}$ or $v(x_k^{n+1} - L_{n+1}, t) < \frac{\varepsilon_n}{4}$. For a given $\varepsilon_n > 0$ select $\frac{\varepsilon_n}{2}$ such that $\left(1 - \frac{\varepsilon_n}{2}\right) * \left(1 - \frac{\varepsilon_n}{2}\right) > 1 - \varepsilon_n$ and $\frac{1}{4} \varepsilon_n \Theta \frac{1}{4} \varepsilon_n < \varepsilon_n$. Then, it follows that

$$\begin{aligned} & v\left(L_n - x_k^n, \frac{t}{2}\right) \Theta v\left(L_{n+1} - x_k^{n+1}, \frac{t}{2}\right) \\ & \leq \frac{\varepsilon_n}{4} \Theta \frac{\varepsilon_n}{4} < \frac{\varepsilon_n}{2} \end{aligned}$$

and

$$\begin{aligned} v(x_k^n - x_k^{n+1}, t) & \leq \sup_n v\left(x - x^n, \frac{t}{2}\right) \\ & \Theta \sup_n v\left(x - x^{n+1}, \frac{t}{2}\right) \\ & \leq \frac{1}{4} \varepsilon_n \Theta \frac{1}{4} \varepsilon_n < \frac{1}{2} \varepsilon_n. \end{aligned}$$

Hence, we have

$$\begin{aligned} v(L_n - L_{n+1}, t) & \leq \left[v\left(L_n - x_k^n, \frac{t}{3}\right) \right. \\ & \Theta v\left(x_k^{n+1} - L_{n+1}, \frac{t}{3}\right) \\ & \left. \Theta v\left(x_k^n - x_k^{n+1}, \frac{t}{3}\right) \right] \\ & \leq \frac{1}{2} \varepsilon_n \Theta \frac{1}{2} \varepsilon_n < \varepsilon_n \end{aligned}$$

and likewise $\mu(L_n - L_{n+1}, t) > 1 - \varepsilon_n$. This implies that $\{L_n\}_{n \in \mathbb{N}}$ is a Cauchy sequence in X and let $L_n \rightarrow L \in X$ as $n \rightarrow \infty$. We have to show that $x \xrightarrow{(\mu, \nu)} L(S_\theta(\mathcal{J}))$. For any $\varepsilon > 0$ and $t > 0$, choose $n \in \mathbb{N}$ such that $\varepsilon_n < \frac{\varepsilon}{4}$, $\sup_n v(x - x^n, t) < \frac{1}{4} \varepsilon$, $\mu(L_n - L, t) > 1 - \frac{1}{4} \varepsilon$ or $v(L_n - L, t) < \frac{1}{4} \varepsilon$. Now, since

$$\begin{aligned} & \frac{1}{h_r} |\{k \in I_r : v(x_k - L, t) \geq \varepsilon\}| \\ & \leq \frac{1}{h_r} |\{k \in I_r : v\left(x_k - x_k^n, \frac{t}{3}\right) \Theta \\ & \left[v\left(x_k^n - L_n, \frac{t}{3}\right) \Theta v\left(L_n - L, \frac{t}{3}\right) \right] \geq \varepsilon\}| \\ & \leq \frac{1}{h_r} |\{k \in I_r : v\left(x_k^n - L_n, \frac{t}{3}\right) \geq \frac{\varepsilon}{2}\}| \end{aligned}$$

and similarly

$$\begin{aligned} & \frac{1}{h_r} |\{k \in I_r : \mu(x_k - L, t) \leq 1 - \varepsilon\}| \\ & > \frac{1}{h_r} |\{k \in I_r : \mu\left(x_k^n - L, \frac{t}{3}\right) \leq 1 - \frac{\varepsilon}{2}\}|. \end{aligned}$$

It follows that

$$\begin{aligned} & \left\{ r \in N: \frac{1}{h_r} |\{k \in I_r : \mu(x_k - L, t) \leq 1 - \varepsilon \right. \\ & \left. \text{or } v(x_k - L, t) \geq \varepsilon\}| \geq \delta \right\} \\ & \subset \left\{ r \in N: \frac{1}{h_r} |\{k \in I_r : \mu\left(x_k^n - L, \frac{t}{3}\right) \leq \right. \\ & \left. 1 - \frac{\varepsilon}{2} \text{ or } v\left(x_k^n - L, \frac{t}{3}\right) \geq \frac{\varepsilon}{2}\}| \geq \delta \right\} \end{aligned}$$

for given $\delta > 0$. Hence, we have $x \xrightarrow{(\mu, \nu)} L(S_\theta(\mathcal{J}))$.

3. References

- Atanassov, K.T., 1986. Intuitionistic fuzzy sets. *Fuzzy Sets and Systems*, **20**, 87-96.
- Atanassov, K., Pasi, G. and Yager, R., 2002. Intuitionistic fuzzy interpretations of multi-person multicriteria decision making. *Proceedings of First International IEEE Symposium Intelligent Systems*, **1**, 115-119.
- Bakery, A.A., 2014. Operator ideal of Cesàro type sequence spaces involving lacunary sequence. *Abstract and Applied Analysis*, **2014**, 6 pp. Article ID 419560.
- Das, P. and Ghosal, S., 2010. Some further results on J -Cauchy sequences and condition (AP). *Computers & Mathematics with Applications*, **59**, 2597-2600.
- Das, P. and Debnath, P., 2011. On generalizations of certain summability methods using ideals. *Applied Mathematics Letters*, **24**, 1509-1514.
- Debnath, P., 2012. Lacunary ideal convergence in intuitionistic fuzzy normed linear spaces. *Computers & Mathematics with Applications*, **63**, 708-715.
- Debnath, P. and Sen, M., 2014. Some completeness results in terms of infinite series and quotient spaces in intuitionistic fuzzy n -normed linear spaces. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, **26**, 975-782.
- Debnath, P., 2015. Results on lacunary difference ideal convergence in intuitionistic fuzzy normed linear spaces. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, **28**, 1299-1306.
- Fast, H., 1951. Sur la convergence statistique. *Colloquium Mathematicum*, **2**, 241-244.
- Fridy, J.A., 1985. On statistical convergence. *Analysis*, **5**, 301-313.
- Fridy, J.A. and Orhan, C., 1993a. Lacunary statistical convergence. *Pacific Journal of Mathematics*, **160**(1), 43-51.
- Fridy, J.A. and Orhan, C., 1993b. Lacunary statistical summability. *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, **173**, 497-504.
- Hosseini, S.B., Regan, D.O. and Saadati, R., 2007. Some results of intuitionistic fuzzy spaces. *Iranian Journal of Fuzzy Systems*, **4**(1), 53-64.
- Karakuş, S., Demirci, K. and Duman, O., 2008. Statistical convergence on intuitionistic fuzzy normed spaces. *Chaos, Solitons & Fractals*, **35**, 763-769.
- Kişi, Ö. and Dündar, E., 2018. Rough J_2 -lacunary statistical convergence of double sequences. *Journal of Inequalities and Applications*, 2018:**230**, 1-16.
- Kostyrko, P., Šalát, T. and Wilczyński, W., 2000. J -convergence. *Real Analysis Exchange*, **26**(2), 669-686.
- Li, J., 2000. Lacunary statistical convergence and inclusion properties between lacunary methods. *International Journal of Mathematics and Mathematical Sciences*, **23**(3), 175-180.
- Mursaleen, M. and Mohiuddine, S.A., 2009. On lacunary statistical convergence with respect to the intuitionistic fuzzy normed space. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, **233**(2), 142-149.
- Pancaroglu, Akın, N., Dündar, E. and Ulusu, U., 2018. Asymptotically $J_{\sigma\theta}$ -statistical equivalence of sequences of sets defined by a modulus functions. *Sakarya University Journal of Science*, **22**(6), 1857-1862.
- Park, J.H., 2004. Intuitionistic fuzzy metric spaces. *Chaos, Solitons & Fractals*, **22**, 1039-1046.
- Saadati, R. and Park, J.H., 2006. On the intuitionistic fuzzy topological spaces. *Chaos, Solitons & Fractals*, **27**, 331-344.
- Savaş, E. and Das, P., 2011. A generalized statistical convergence via ideals. *Applied Mathematics Letters*, **24**, 826-830.
- Savaş, E. and Gürdal, M., 2015. A generalized statistical convergence in intuitionistic fuzzy normed spaces. *Science Asia*, **41**, 289-294.
- Savaş, E., Yamancı, U. and Gürdal, M., 2019. J -lacunary statistical convergence of weighted g via modulus functions in 2-normed spaces. *Communications*

Faculty of Sciences University of Ankara Series A1-Mathematics and Statistics, **68**(2), 2324-2332.

Šalát, T., 1980. On statistically convergent sequences of real numbers. *Mathematica Slovaca*, **30**, 139-150.

Sen, M. and Debnath, P., 2011. Lacunary statistical convergence in intuitionistic fuzzy n normed spaces. *Mathematical and Computer Modelling*, **54**(11-12), 2978-2985.

Sen, M., Savaş, E. and Ghosal, SKr., 2011. On generalizations of certain summability methods using ideals. *Applied Mathematics Letters*, **24**, 1509-1514.

Tripathy, B.C., Hazarika, B. and Choudhary, B., 2012. Lacunary \mathcal{J} -convergent sequences. *Kyungpook Mathematical Journal*, **52**(4), 473-482.

Ulusu, U., Dündar, E. and Nuray, F., 2018. Lacunary \mathcal{J}_2 -invariant convergence and some properties. *International Journal of Analysis and Applications*, **16**(3), 317-327.

Ulusu, U. and Dündar, E., 2018. \mathcal{J} -lacunary statistical convergence of sequences of sets. *Filomat*, **28**(8), 1567-1574.

Yamancı, U. and Gürdal, M., 2014a. \mathcal{J} -statistical convergence in 2-normed space. *Arab Journal of Mathematical Sciences*, **20**(1), 41-47.

Yamancı, U. and Gürdal, M., 2014b. \mathcal{J} -statistically pre-Cauchy double sequences. *Global Journal of Mathematical Analysis*, **2**(4), 297-303.

Zadeh, L.A., 1965. Fuzzy sets. *Information and Control*, **8**, 338-353.

Kesirli Mertebe Kısmi Diferensiyel Denklemlerin Ayrık Homotopi Perturbasyon Metodu ile Çözümü

Figen ÖZPINAR¹

¹Afyon Kocatepe Üniversitesi, Bolvadin Meslek Yüksekokulu, Büro Yönetimi ve Yönetici Asistanlığı, Afyonkarahisar.

e-posta: fozpinar@aku.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7428-498>

Geliş Tarihi: 07.02.2020

Kabul Tarihi: 13.04.2020

Anahtar kelimeler

Ayrık homotopi perturbasyon metodu; Caputo kesirli mertebe türev; Kesirli mertebe ayrık difüzyon denklemi; Kesirli mertebe ayrık Schrödinger denklemi; Kesirli mertebe ayrık Burgers denklemi

Öz

Bu çalışma, lineer ve lineer olmayan zaman kesirli mertebeli kısmi diferensiyel denklemleri çözmek için ayrık uzak biçimli ayrık homotopi perturbasyon metodunu geliştirmiştir. Kesirli mertebe türevler Caputo anlamında göz önüne alınmıştır. Bu metodun başarısı ve uygulanabilirliği bazı örnek problemler ile gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlar kesirli mertebe bir olduğunda, tam çözümler ile iyi bir uyumluluk göstermiştir. Bu çalışmada gösterilen metodun kesirli mertebe hesabındaki benzer problemleri çözmesi beklenmektedir.

Solution of Fractional Order Partial Differential Equations by Discrete Homotopy Perturbation Method

Keywords

Discrete homotopy perturbation method; Caputo fractional derivative; Fractional discrete diffusion equation; Fractional discrete Schrödinger equation; Fractional discrete Burgers' equation

Abstract

This work is developed the discrete homotopy perturbation method with a space discrete version to solve the linear and nonlinear time derivative fractional partial differential equations. The fractional derivatives are considered in the sense of Caputo. The success and applicability of this method has been demonstrated by some sample problems. When fractional order is unit, obtained results are good agreement with the exact solutions. The method demonstrated in this study is expected to solve similar problems in fractional calculus.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

Kesirli mertebe türev teorisi, üç yüz yıldır sadece matematikçiler için yararlı olan teorik matematik alanında gelişme göstermiştir.

Son yirmi-otuz yıldır birçok araştırmacı kesirli mertebe modellerin önceden kullanılan tamsayı mertebe modellerden daha yeterli olduklarına işaret etmişlerdir. Kesirli mertebe türevler, çeşitli materyallerin ve işlemlerin hafızasını ve kalıtsal

özelliklerini tanımlamak için mükemmel bir araçtır. Kesirli mertebe türevlerin avantajları, gerçek malzemelerin mekanik ve elektriksel özelliklerinin modellenmesinde, kayaların reolojik özelliklerinin tanımlanmasında ve diğer birçok alanda öne çıkar. Çoğu kesirli mertebe diferensiyel denklemin analitik çözümleri olmadığından, bu denklemlerin çözümlerini elde etmek için yaklaşık ve sayısal metotlar kullanılır. Homotopi perturbasyon metodu(HPM) lineer/lineer olmayan problemlere

analitik yaklaşım sağlamak için oldukça yeni bir yaklaşımdır. HPM ilk olarak 1998 yılında He tarafından önerilmiştir. HPM uygulaması birçok araştırmada kullanılmıştır(He 1998, He 2000, He 2003, He 2009, Maitama 2016, Zhu *et al.* 2010, Zhu and Ding 2014). Son yıllarda, ayırık HPM(AHPM) Burgers denkleminin ve ısı denkleminin sayısal çözümünü elde etmek için kullanıldı(Zhu and Ding 2014). Ayrıca ayırık Adomian ayrışım metodu ve ayırık homotopi analiz metodu kesirli mertebe kısmi diferensiyel denklemlerin sayısal çözümlerini elde etmek için kullanıldı (Dhaigude and Birajdar 2014, Özpınar 2018).

Bu çalışmada, kesirli mertebe ayırık difüzyon, ayırık Schrödinger ve ayırık Burgers denklemlerinin sayısal çözümünü elde etmek için AHPM kullanıldı.

2. Ön Bilgiler ve Gösterimler

2.1. Kesirli Mertebe Analizi

Tanım 1 (Luchko and Gorenflo 1999): $f_1(x) \in C[0, \infty)$ olmak üzere, $f(x) = x^p f_1(x)$ olacak biçimde $p > \alpha$, $\alpha \in \mathbb{R}$ reel sayısı varsa $f(x)$, $x > 0$ reel fonksiyonu C_α uzayındadır denir.

Tanım 2 (Luchko and Gorenflo 1999): $f^m \in C_\alpha$ ise $f(x)$, $x > 0$ fonksiyonu C_α^m , $m \in \mathbb{N} \cup \{0\}$ uzayındadır denir.

Tanım 3 (Podlubny 1999): $f \in C_\alpha$ ve $\alpha \geq -1$ ise $f(x, t)$ 'nin t 'ye göre α mertebe Riemann-Liouville kesirli mertebe integrali

$$J^\alpha f(x, t) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_0^t (t - \tau)^{\alpha-1} f(x, \tau) d\tau, \quad t > 0, \alpha > 0.$$

ile tanımlanır.

$$J^\alpha t^\gamma = \frac{\Gamma(\gamma + 1)t^{\gamma+\alpha}}{\Gamma(\gamma + \alpha + 1)},$$

J^α Riemann-Liouville operatörünün önemli bir özelliğidir.

Tanım 4 (Caputo 1967). $\alpha > 0$ sayısından büyük en küçük tamsayı m olmak üzere $f(x, t)$ 'nin t 'ye göre α mertebe Caputo kesirli mertebe türevi

$$D_t^\alpha f(x, t) = \frac{\partial^\alpha f(x, t)}{\partial t^\alpha} = \begin{cases} \frac{1}{\Gamma(m - \alpha)} \int_0^t (t - \tau)^{m-\alpha-1} \frac{\partial^m f}{\partial t^m} d\tau, & m - 1 < \alpha < m, \\ \frac{\partial^m f(x, t)}{\partial t^m}, & \alpha = m \in \mathbb{N}. \end{cases}$$

olarak tanımlanır.

Riemann-Liouville operatörü ve Caputo kesirli mertebe türev operatörü arasında iyi bilinen bağıntılar aşağıda verildiği gibidir:

$$D^\alpha (J^\alpha f(x, t)) = f(x, t),$$

$$\begin{aligned} J^\alpha (D^\alpha f(x, t)) &= J^\alpha (J^{m-\alpha} f^{(m)}(x, t)) \\ &= J^m f^{(m)}(x, t) \\ &= f(x, t) - \sum_{k=0}^{m-1} f^{(k)}(x, 0) \frac{t^k}{k!}. \end{aligned}$$

Tanım 5 (Podlubny 1999): $z \in \mathbb{C}$ ve $Re(\alpha) > 0$ olmak üzere, bir parametrelili Mittag-Leffler fonksiyonu

$$E_\alpha(z) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{z^n}{\Gamma(n\alpha + 1)}$$

ile tanımlanır.

2.2. Ayırık Homotopi Perturbasyon Metodu

Bu metodu açıklamak için; A , genel fark operatörü olmak üzere

$$A(u_j(t)) - f_j(t) = 0, \quad j \in \mathbb{Z}, \quad t \in \mathbb{R} \quad (1)$$

j 'ye göre genel fark denklemini göz önüne alalım. $\Delta x = h$ ve $u(x, t) = u(j\Delta x, t)$ fonksiyonunun $u_j(t)$ ile gösterilen bir ayırık fonksiyon olduğunu kabul edelim. Benzer biçimde $f(x, 0) = f(j\Delta x)$, f_j ile gösterilen ayırık fonksiyondur.

A operatörü; L lineer ve N lineer olmayan operatör olarak iki parçaya ayrılabilir. Böylece (1) denklemi aşağıdaki gibi yeniden yazılabilir:

$$L(u_j(t)) + N(u_j(t)) - f_j(t) = 0. \quad (2)$$

Homotopi tekniğini kullanarak, (2) denklemi için

$$H(v_j(t; p), p) = (1-p) [L(v_j(t; p)) - L(u_{j,0}(t))] + p [A(v_j(t; p)) - f_j(t)] = 0 \quad (3)$$

veya

$$H(v_j(t; p), p) = L(v_j(t; p)) - L(u_{j,0}(t)) + p [N(v_j(t; p)) - f_j(t) + L(u_{j,0}(t))] = 0$$

biçiminde bir homotopi kurulur. Burada $p \in [0,1]$ gömme parametresi ve $u_{j,0}(t)$ orijinal denklemin çözümüne bir başlangıç yaklaşımıdır. $p = 0$ olduğunda (3) denklemi lineerleştirilmiş denklem olur:

$$H(v_j(t; 0), 0) = L(v_j(t; 0)) - L(u_{j,0}(t)) = 0 \quad (4)$$

ve $p = 1$ olduğunda (3) denklemi orijinal denklem olur:

$$H(v_j(t; 1), 1) = A(v_j(t; 1)) - f_j(t) = 0. \quad (5)$$

p 'nin sıfırdan bire değişmesi, $v_j(t; p)$ 'nin başlangıç koşulu $u_{j,0}(t)$ 'den orijinal denklemin çözümü olan $u_j(t)$ 'ye değişmesidir. Topolojide bu durum homotopi olarak adlandırılır.

(3) denkleminin çözümünün p 'nin bir serisi olarak yazılabileceğini kabul edelim:

$$v_j(t; p) = v_{j,0}(t) + pv_{j,1}(t) + p^2v_{j,2}(t) + \dots \quad (6)$$

$p = 1$ alarak, (1) denkleminin bir yaklaşık çözümü

$$u_j(t) = \lim_{p \rightarrow 1} v_j(t; p) = v_{j,0}(t) + v_{j,1}(t) + v_{j,2}(t) + \dots \quad (7)$$

olarak elde edilebilir.

3. Örnekler

Örnek 1. İlk olarak aşağıdaki zaman kesir mertebeli ayrık difüzyon denklemini

$$D_t^\alpha u_j(t) = D_h^2 u_j(t) + jhD_h u_j(t) + u_j(t), \quad 0 < \alpha \leq 1, \quad (8)$$

$$u_j(0) = jh \quad (9)$$

başlangıç koşuluyla göz önüne alalım.

$D_h u_j(t)$ ve $D_h^2 u_j(t)$;

$$D_h u_j(t) = \frac{u_{j+1}(t) - u_{j-1}(t)}{2h},$$

$$D_h^2 u_j(t) = \frac{u_{j+1}(t) - 2u_j(t) + u_{j-1}(t)}{h^2}$$

ile tanımlanan standart merkezi farklardır. (8)-(9) başlangıç değer problemi

$$u(x, 0) = x,$$

başlangıç koşullu

$$D_t^\alpha u(x, t) = u_{xx}(x, t) + xu_x(x, t) + u(x, t), \quad 0 < \alpha \leq 1,$$

difüzyon denklemini için başlangıç değer probleminin ayrık biçimidir. Burada $D_t^\alpha u(x, t)$, α mertebe Caputo kesirli mertebe türevdir. .

(8)-(9) başlangıç değer problemini AHPM ile çözmek için aşağıdaki homotopi kurulur:

$$(1-p) [D_t^\alpha v_j(t; p) - D_t^\alpha u_{j,0}(t)] + p [D_t^\alpha v_j(t; p) - D_h^2 v_j(t; p) - jhD_h v_j(t; p) - v_j(t; p)] = 0. \quad (10)$$

(6)'yı (10)'da yazarak ve p 'nin aynı dereceli terimlerinin katsayıları karşılaştırılarak:

$$p^0 : D_t^\alpha v_{j,0}(t) - D_t^\alpha u_{j,0}(t) = 0,$$

$$\begin{aligned}
 p^1 : D_t^\alpha v_{j,1}(t) + D_t^\alpha u_{j,0}(t) - D_h^2 v_{j,0}(t) \\
 -jhD_h v_{j,0}(t) - v_{j,0}(t) = 0, \\
 p^2 : D_t^\alpha v_{j,2}(t) - D_h^2 v_{j,1}(t) - jhD_h v_{j,1}(t) - v_{j,1}(t) \\
 = 0, \\
 \vdots \\
 p^\ell : D_t^\alpha v_{j,\ell}(t) - D_h^2 v_{j,\ell-1}(t) - jhD_h v_{j,\ell-1}(t) \\
 -v_{j,\ell-1}(t) = 0
 \end{aligned}$$

elde edilir.

Başlangıç değeri

$$v_{j,0}(t) = u_{j,0}(t) = u_j(0) = jh$$

olduğunda,

$$v_{j,1}(t) = (jh) \frac{2t^\alpha}{\Gamma(\alpha + 1)},$$

$$v_{j,2}(t) = (jh) \frac{2^2 t^{2\alpha}}{\Gamma(2\alpha + 1)},$$

$$v_{j,3}(t) = (jh) \frac{2^3 t^{3\alpha}}{\Gamma(3\alpha + 1)},$$

⋮

$$v_{j,n}(t) = (jh) \frac{2^n t^{n\alpha}}{\Gamma(n\alpha + 1)}.$$

sonuçları elde edilir. (7)'den

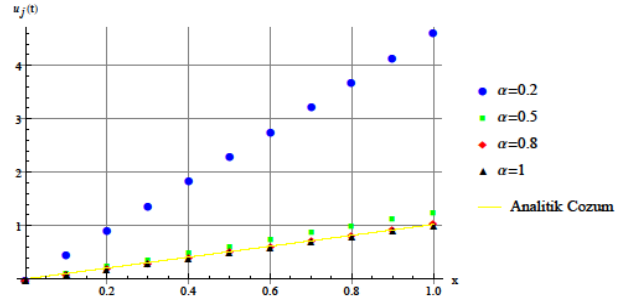
$$u_j(t) = \sum_{n=0}^{\infty} (jh) \frac{2^n t^{n\alpha}}{\Gamma(n\alpha + 1)} = (jh) E_\alpha(2t^\alpha)$$

elde edilir. Burada E_α Mittag-Leffler fonksiyonudur.

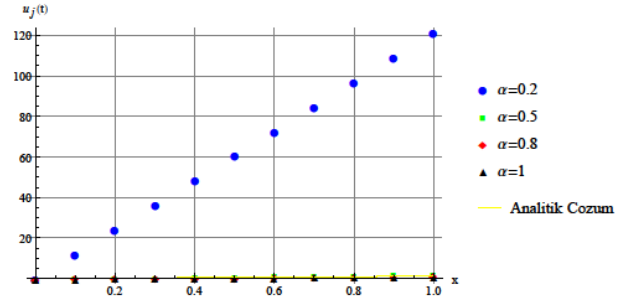
$$u(x, t) = x E_\alpha(2t^\alpha).$$

Sürekli biçimin analitik çözümüdür.

Şekil 1, α 'nın farklı değerleri için $u(x, t)$ 'nin AHPM yaklaşık çözümlerini gösterir.



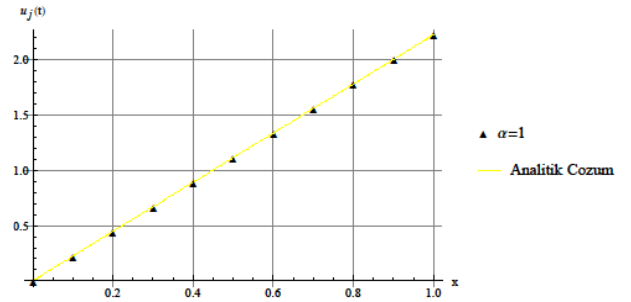
(a) $t = 0.01$



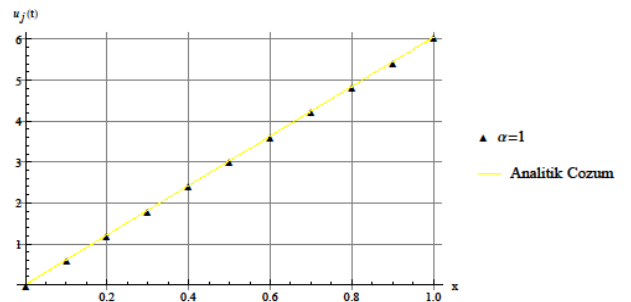
(b) $t = 0.1$

Şekil 1. $u(x, t)$ 'nin AHPM ile yaklaşık çözümünün sayısal gösterimi.

Şekil 2'de $\alpha = 1$ olduğunda, metodun analitik çözümle iyi bir uyumu olduğunu görürüz.



(a) $t = 0.4$



(b) $t = 0.9$

Şekil 2. $\alpha = 1$ olduğunda, AHPM ile elde edilen $u(x, t)$ 'nin sayısal çözümü ile analitik çözümün karşılaştırması.

Örnek 2. Bu örnekte, aşağıdaki lineer olmayan kesirli mertebe ayırık Schrödinger denklemini

$$iD_t^\alpha u_j(t) + D_h^2 u_j(t) + q|u_j(t)|^2 u_j(t) = 0, \quad j \in \mathbb{Z}, \quad t > 0, \quad 0 < \alpha \leq 1, \quad (11)$$

$$u_j(0) = e^{ijkh} \quad (12)$$

başlangıç koşulu ile göz önüne alalım.

(11)-(12) başlangıç değer problemi

$$u(x, 0) = e^{ikx}$$

başlangıç koşullu

$$iD_t^\alpha u(x, t) + u_{xx}(x, t) + q|u(x, t)|^2 u(x, t) = 0, \quad t > 0, \quad 0 < \alpha \leq 1,$$

Schrödinger denklemi için başlangıç değer probleminin ayırık biçimidir.

$|u_j(t)|^2 u_j(t) = u_j^2(t) \bar{u}_j(t)$ alacağız.

(11) denklemi için AHPM kullanarak aşağıdaki homotopi kurulabilir:

$$(1-p)[D_t^\alpha v_j(t; p) - D_t^\alpha u_{j,0}(t)] + p[D_t^\alpha v_j(t; p) - iD_h^2 v_j(t; p) - iqv_j^2(t; p)\bar{v}_j(t; p)] = 0. \quad (13)$$

(6)'yı (13)'te yazıp, p 'nin aynı dereceli terimlerinin katsayılarını karşılaştırarak:

$$\begin{aligned} p^0 : D_t^\alpha v_{j,0}(t) - D_t^\alpha u_{j,0}(t) &= 0, \\ p^1 : D_t^\alpha v_{j,1}(t) + D_t^\alpha u_{j,0}(t) - iD_h^2 v_{j,0}(t) \\ &\quad - iqv_{j,0}^2(t)\bar{v}_{j,0}(t) = 0, \\ p^2 : D_t^\alpha v_{j,2}(t) - iD_h^2 v_{j,1}(t) \\ &\quad - iq[2v_{j,0}(t)v_{j,1}(t)\bar{v}_{j,0}(t) + v_{j,0}^2(t)\bar{v}_{j,1}(t)] = 0, \\ p^3 : D_t^\alpha v_{j,3}(t) - iD_h^2 v_{j,2}(t) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} -iq[2v_{j,0}(t)v_{j,2}(t)\bar{v}_{j,0}(t) + v_{j,1}^2(t)\bar{v}_{j,0}(t) \\ + 2v_{j,0}(t)v_{j,1}(t)\bar{v}_{j,1}(t) \\ + v_{j,0}^2(t)\bar{v}_{j,2}(t)] = 0, \end{aligned}$$

⋮

$$p^\ell : D_t^\alpha v_{j,\ell}(t) - iD_h^2 v_{j,\ell-1}(t) - iq \left[\sum_{m=0}^{\ell-1} \sum_{n=0}^{\ell-m-1} v_{j,m}(t) v_{j,n}(t) \bar{v}_{j,\ell-n-m-1}(t) \right] = 0$$

elde ederiz.

Başlangıç değeri

$$v_{j,0}(t) = u_{j,0}(t) = u_j(0) = e^{ijkh}$$

olduğunda aşağıdaki sonuçlar elde edilir:

$$v_{j,1}(t) = -i\omega e^{ijkh} \frac{t^\alpha}{\Gamma(\alpha + 1)},$$

$$v_{j,2}(t) = -\omega^2 e^{ijkh} \frac{t^{2\alpha}}{\Gamma(2\alpha + 1)},$$

$$v_{j,3}(t) = i\omega^3 e^{ijkh} \frac{t^{3\alpha}}{\Gamma(3\alpha + 1)}$$

$$\left[1 + q \frac{\Gamma(2\alpha + 1) - 2(\Gamma(\alpha + 1))^2}{\omega(\Gamma(\alpha + 1))^2} \right],$$

⋮

Burada $\omega = (4/h^2)\sin^2(kh/2) - q$ dir.

(7)'den

$$\begin{aligned} u_j(t) = e^{ijkh} \left\{ 1 - \frac{i\omega t^\alpha}{\Gamma(\alpha + 1)} - \frac{\omega^2 t^{2\alpha}}{\Gamma(2\alpha + 1)} \right. \\ \left. + \frac{i\omega^3 t^{3\alpha}}{\Gamma(3\alpha + 1)} \right. \\ \left. \left[1 + q \frac{\Gamma(2\alpha + 1) - 2(\Gamma(\alpha + 1))^2}{\omega(\Gamma(\alpha + 1))^2} \right] + \dots \right\}. \quad (14) \end{aligned}$$

sonucunu elde ederiz.

$\alpha = 1$ özel durumu için ayırık Schrödinger denkleminin tam çözümü olan

$$u_j(t) = e^{ijkh} \left\{ 1 - i\omega t - \frac{\omega^2 t^2}{2} + \frac{i\omega^3 t^3}{6} + \dots \right\}$$

$$= e^{ijkh} \left\{ 1 + \frac{(-i)\omega t}{1!} + \frac{(-i)^2 \omega^2 t^2}{2!} + \frac{(-i)^3 \omega^3 t^3}{3!} + \dots \right\}$$

$$= e^{ijkh} e^{-i\omega t}$$

$$= e^{i(jkh - \omega t)}$$

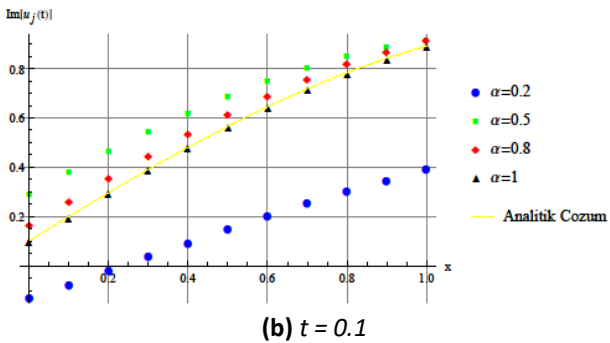
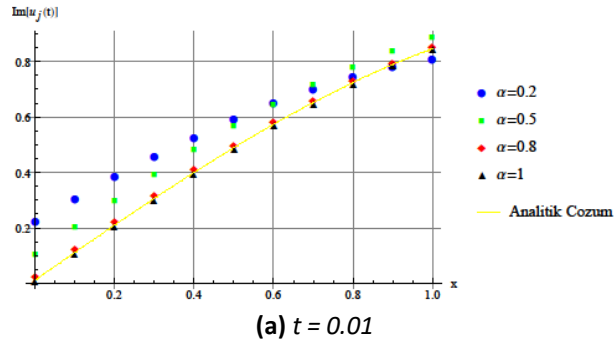
sonucu elde edilir (Bratsos et al. 2008).

k dalga sayısı ve ω frekansı göstermek üzere sürekli biçim;

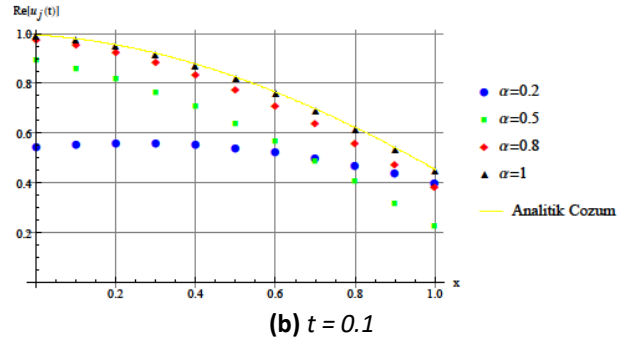
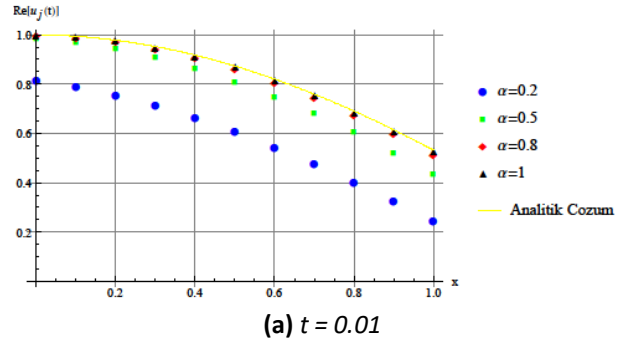
$$u(x, t) = e^{i(kx - \omega t)}, \quad x \in \mathbb{R}, \quad t > 0,$$

düzlemsel dalga çözümüne sahiptir.

Şekil 3 ve Şekil 4, $k = 1$ ve $q = 2$ için, α 'nın farklı değerleri için $u(x, t)$ 'nin AHPM ile elde edilen yaklaşık çözümlerini gösterir.

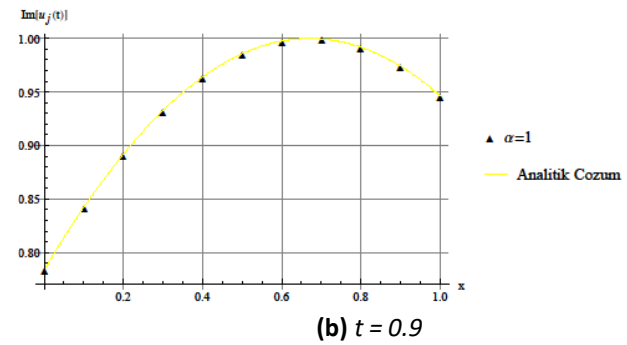
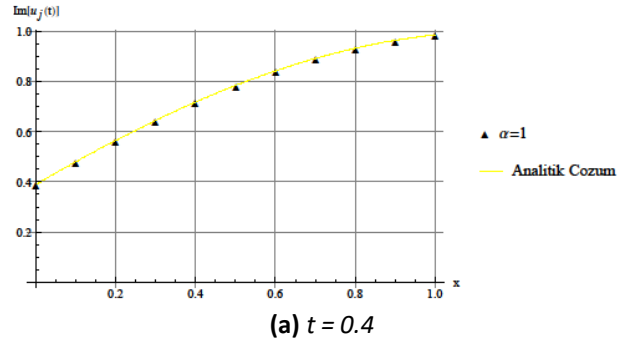


Şekil 3. AHPM ile elde edilen $u(x, t)$ 'nin yaklaşık çözümünün sanal kısmının sayısal gösterimi.

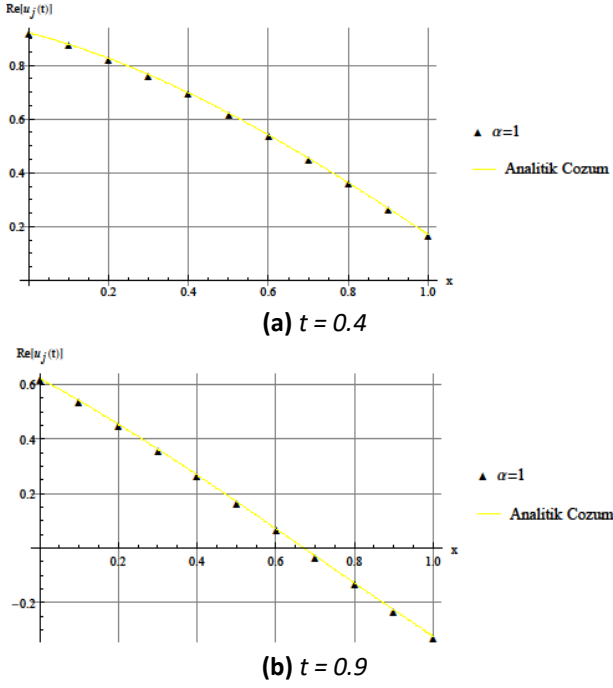


Şekil 4. AHPM ile elde edilen $u(x, t)$ 'nin yaklaşık çözümünün reel kısmının sayısal gösterimi.

Şekil 5 ve Şekil 6'da ise $\alpha = 1$ olduğunda, metodun analitik çözümle iyi bir uyumu olduğunu görürüz.



Şekil 5. $\alpha = 1$ olduğunda, AHPM ile elde edilen $u(x, t)$ 'nin sayısal çözüm ile analitik çözümün sanal kısımlarının karşılaştırması.



Şekil 6. $\alpha = 1$ olduğunda, AHPM ile elde edilen $u(x, t)$ 'nin sayısal çözüm ile analitik çözümün reel kısımlarının karşılaştırması.

Örnek 3. Son olarak aşağıdaki zaman kesir mertebeli lineer olmayan ayrık uzay Burgers' denklemini

$$D_t^\alpha u_j(t) + u_j(t)D_h u_j(t) = D_h^2 u_j(t),$$

$$j \in \mathbb{Z}, \quad 0 < t < 1, \quad 0 < \alpha \leq 1, \quad (15)$$

$$u_j(0) = jh \quad (16)$$

başlangıç koşulu ile göz önüne alalım. (15)-(16) başlangıç değer problemi

$$u(x, 0) = x$$

başlangıç koşullu

$$D_t^\alpha u(x, t) + u(x, t)u_x(x, t) = u_{xx}(x, t),$$

$$0 < t < 1, \quad x \in [0,1], \quad 0 < \alpha \leq 1,$$

lineer olmayan kesirli mertebe Burgers denklemini için başlangıç değer probleminin ayrık biçimidir. (15) denklemini AHPM ile çözmek için, aşağıdaki homotopi kurulur:

$$(1-p)[D_t^\alpha v_j(t; p) - D_t^\alpha u_{j,0}(t)] + p[D_t^\alpha v_j(t; p) + v_j(t; p)D_h v_j(t; p) - D_h^2 v_j(t; p)] = 0. \quad (17)$$

(6)'yı (17)'de yazarak ve p 'nin aynı dereceli terimlerinin katsayılarını karşılaştırarak:

$$p^0 : D_t^\alpha v_{j,0}(t) - D_t^\alpha u_{j,0}(t) = 0,$$

$$p^1 : D_t^\alpha v_{j,1}(t) + D_t^\alpha u_{j,0}(t) + v_{j,0}(t)D_h v_{j,0}(t) - D_h^2 v_{j,0}(t) = 0,$$

$$p^2 : D_t^\alpha v_{j,2}(t) + v_{j,0}(t)D_h v_{j,1}(t) + v_{j,1}(t)D_h v_{j,0}(t) - D_h^2 v_{j,1}(t) = 0,$$

$$p^3 : D_t^\alpha v_{j,3}(t) + v_{j,0}(t)D_h v_{j,2}(t) + v_{j,1}(t)D_h v_{j,1}(t) + v_{j,2}(t)D_h v_{j,0}(t) - D_h^2 v_{j,2}(t) = 0,$$

$$\vdots$$

$$p^\ell : D_t^\alpha v_{j,\ell}(t) + \sum_{k=0}^{\ell-1} v_{j,k}(t)D_h v_{j,\ell-1-k}(t) - D_h^2 v_{j,\ell-1}(t) = 0$$

elde edilir.

Başlangıç değeri

$$v_{j,0}(t) = u_{j,0}(t) = u_j(0) = jh$$

olduğunda aşağıdaki sonuçlar elde edilir:

$$v_{j,1}(t) = -jh \frac{t^\alpha}{\Gamma(\alpha + 1)},$$

$$v_{j,2}(t) = 2jh \frac{t^{2\alpha}}{\Gamma(2\alpha + 1)},$$

$$v_{j,3}(t) = -4jh \frac{t^{3\alpha}}{\Gamma(3\alpha + 1)} - jh \frac{\Gamma(2\alpha + 1)t^{3\alpha}}{\Gamma(3\alpha + 1)(\Gamma(\alpha + 1))^2},$$

$$\vdots$$

(7)'den (15)-(16) başlangıç değer probleminin çözümü

$$u_j(t) = v_{j,0}(t) + v_{j,1}(t) + v_{j,2}(t) + \dots$$

$$\begin{aligned}
 &= -jh \frac{t^\alpha}{\Gamma(\alpha + 1)} + 2jh \frac{t^{2\alpha}}{\Gamma(2\alpha + 1)} \\
 &\quad - 4jh \frac{t^{3\alpha}}{\Gamma(3\alpha + 1)} \\
 &\quad - jh \frac{\Gamma(2\alpha + 1)t^{3\alpha}}{\Gamma(3\alpha + 1)(\Gamma(\alpha + 1))^2} + \dots
 \end{aligned}$$

elde edilir.

$\alpha = 1$ özel durumu için

$$\begin{aligned}
 u_j(t) &= jh[1 - t + t^2 - t^3 + \dots] \\
 &= jh \frac{1}{1 + t}
 \end{aligned}$$

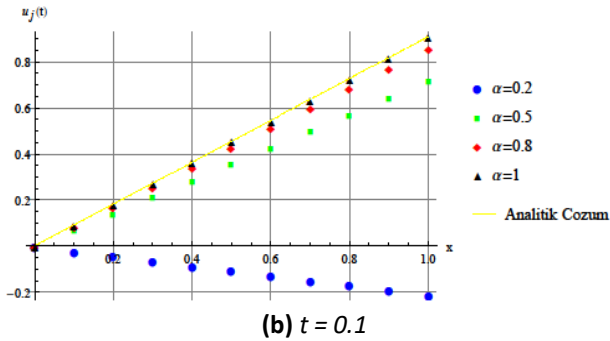
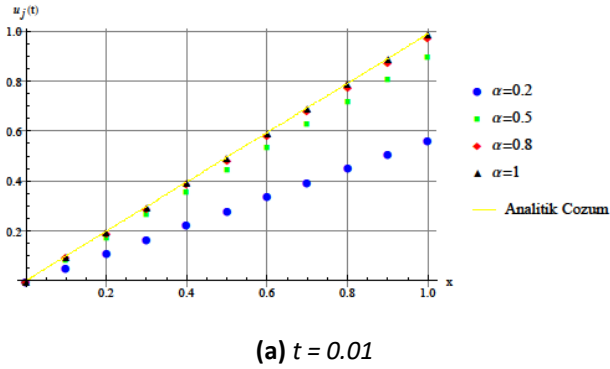
çözümü elde edilir.

Sürekli biçim;

$$u(x, t) = \frac{x}{1 + t}$$

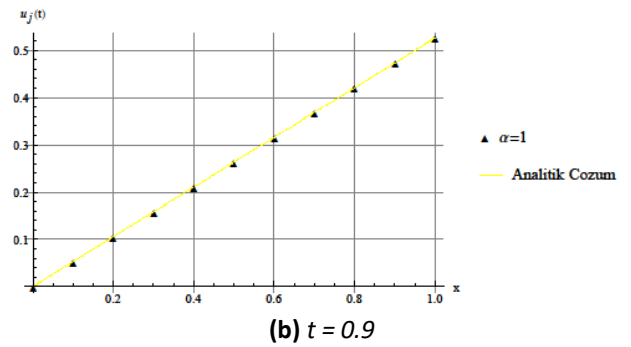
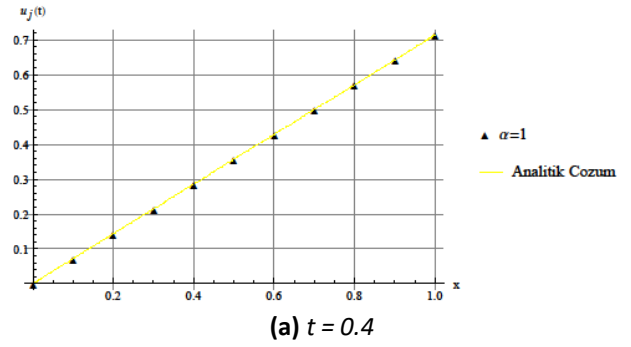
analitik çözümüne sahiptir(Taghizadeh *et al.* 2011).

Şekil 7, α 'nın farklı değerleri için $u(x, t)$ 'nin AHPM yaklaşık çözümlerini gösterir.



Şekil 7. $u(x, t)$ 'nin AHPM ile yaklaşık çözümünün sayısal gösterimi.

Şekil 8'de $\alpha = 1$ olduğunda, metodun analitik çözümle iyi bir uyumu olduğunu görürüz.



Şekil 8. $\alpha = 1$ olduğunda, AHPM ile elde edilen $u(x, t)$ 'nin sayısal çözümü ile analitik çözümün karşılaştırması.

4. Tartışma ve Sonuçlar

Bu makalede, lineer ve lineer olmayan kesirli-mertebe kısmi diferensiyel denklemlerin çözümlerini bulmak için ayrık HPM tanıtıldı. Önerilen metodun doğruluğu ve etkisi test problemlerle gösterildi. Sonuçlar, AHPM'nin bilim ve mühendisliğin kesirli-mertebe kısmi diferensiyel denklemlerini çözmek için son derece basit, kullanımı kolay ve doğruluğunun yüksek olduğunu göstermektedir. Bu makalede açıklanan temel düşüncenin, diğer benzer lineer olmayan kesirli-mertebe kısmi diferensiyel denklemleri çözmek için daha sık kullanılması beklenmektedir.

5. Kaynaklar

- Bratsos, A., Ehrhardt, M. and Famelis, I.T., 2008. A Discrete Adomian decomposition method for discrete nonlinear Schrödinger equations. *Applied Mathematics and Computation*, **197**, 190—205.
- Burgers, J.M., 1948. A Mathematical model illustration the theory of turbulence. *Advances in Applied Mechanics*, **1**, 171—199.
- Caputo, M., 1967. Linear models of dissipation whose Q is almost independent. II, *Geophys. J. Roy. Astron.*, **13**, 529—539.
- Dhaigude, D.B. and Birajdar, G.A., 2014. Numerical solutions of fractional partial differential equations by discrete Adomian decomposition method. *Advances in Applied Mathematics and Mechanics*, **6**, 107—119.
- He, J.H., 1998. An approximate solution technique depending on an artificial parameter: a special example. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, **3**, 92—97.
- He, J.H., 2000. A coupling method of homotopy technique and perturbation technique for nonlinear problems. *International Journal of Non-Linear Mechanic.*, **35**, 37—43.
- He, J.H., 2003. Homotopy perturbation method: A new nonlinear analytic technique. *Applied Mathematics and Computation*, **135**, 73—79.
- He, J.H., 2009. An elementary introduction to the homotopy perturbation method. *Computers and Mathematics with Applications*, **57**, 410—412.
- Hemeda, A.A., 2012. Homotopy perturbation method for solving partial differential equations of fractional order. *International Journal of Mathematical Analysis*, **6(49)**, 2431—2448.
- Luchko, Y. and Gorenflo, R., 1999. An operational method for solving fractional differential equations with the Caputo derivative. *Acta Mathematica Vietnamica*, **24**, 207—233.
- Özpinar F., 2018. Applying discrete homotopy analysis method for solving fractional partial differential equations. *Entropy*, **20(5)**, 332.
- Özpinar F., 2018. Solving fractional difference equations by discrete Adomian decomposition method. *Journal of Balıkesir University Institute of Science and Technology*, **20(3)**, 15-22.
- Özpinar F. and Belgacem F.B.M., 2019. The discrete homotopy perturbation Sumudu transform method for solving partial difference equations. *Discrete Continuous Dynamical Systems - S*, **12(3)**, 615-624.
- Podlubny, I., , 1999. Fractional Differential Equations. Academic Press, San Diego.
- Sripacharasakullert, P., Sawangtong, W. and Sawangtong, P., 2019. An approximate analytical solution of the multi-dimensional Burgers equations by the homotopy perturbation method. *Advances in Difference Equations*, **252(2019)**, <https://doi.org/10.1186/s13662-019-2197-y>.
- Taghizadeh, N., Akbari, M. and Ghelichzadeh, A., 2011. Exact solution of Burgers equations by homotopy perturbation method and reduced differential transformation method. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, **5(5)**, 580—589.
- Zhu, H., Shu, H. and Ding, M., 2010. Numerical solutions of two-dimensional Burgers' equations by discrete Adomian decomposition method. *Computers and Mathematics with Applications*, **60**, 840—848.
- Zhu, H., Shu, H. and Ding, M., 2010. Numerical solutions of partial differential equations by discrete homotopy analysis method. *Applied Mathematics and Computation*, **216**, 3592—3605.
- Zhu, H. and Ding, M., 2014. The discrete homotopy perturbation method for solving Burgers' and heat equations. *Journal of Information and Computing Science*, **11(5)**, 1647—1657.

AKÜ FEMÜBİD 20 (2020) 025201 (222-228)

AKU J. Sci. Eng. 20 (2020) 025201 (222-228)

DOI: 10.35414/akufemubid.542090

Araştırma Makalesi / Research Article

Dynamic Optimization of Image Brightness Level With Optimal Gamma Value Assessment (OGVA) Method

Barbaros PREVEZE

Çankaya Üniversitesi Elektrik & Elektronik Mühendisliği Bölümü, Ankara

e-posta: b.preveze@cankaya.edu.tr, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4108-0150>

Geliş Tarihi: 19.03.2019

Kabul Tarihi: 01.04.2020

Abstract

Keywords
Image; Dynamic
Intensity; Gamma
Correction; Histogram

In this study, the proposed Optimum Gamma Value Assignment (OGVA) method is intended to dynamically optimize the image intensity level in non-desired images due to undesired light levels. For this purpose, it is aimed to make the dark images which cannot be seen due to lack of light, while bright images are dynamically dimmed by using the optimum gamma correction value applied on the image momentarily. It has been shown that this novel method, which will only be implemented as software, without requiring any additional hardware, yields satisfying results even at different light levels.

Optimal Gama Değeri Saptama (OGVA) Yöntemi ile Görüntü Parlaklık Seviyesinin Dinamik Optimizasyonu

Öz

Anahtar Kelimeler
Görüntü; Dinamik;
Parlaklık; Gama
düzeltimi; Histogram

Bu çalışmada, önerilen Optimum Gama Değeri Ataması (OGVA) yöntemi ile istenmeyen ışık seviyeleri içeren görüntülerde görüntü ışık seviyesinin dinamik olarak optimize edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla ışığın yetersizliğinden dolayı görülemeyen karanlık görüntüler aydınlatılırken, parlak görüntülerin ise anlık olarak uygulanan en iyi gama düzeltme değeri kullanılarak dinamik olarak karartılması amaçlanmaktadır. Herhangi bir ek donanım gerektirmeden sadece yazılım olarak uygulanacak olan bu yeni yöntemin, çok küçük hesaplama maliyeti ile farklı ışık seviyeleri için bile tatmin edici sonuçlar verdiği gösterilmiştir.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Introduction

Today, all cameras, including surveillance cameras, are used effectively in many areas such as healthcare, traffic monitoring, astronomy and defense industry. However, in many cases, the image quality may not be at the desired level if the amount of light is insufficient or too much glare.

Nowadays, for the purpose of enhancing the images obtained, there are many operations for optimizing the image light by methods such as

filtering the image by high-pass filter (Gonzalez and Woods 2002), histogram equalization (Gonzalez and Woods 2002), or histogram scattering methods (Gonzalez and Woods 2002). However, these processes require either the Fourier

transformation of the image and the inverse Fourier transformation after the operations in the frequency domain, or it may cause delays so that it requires a lot of processing power on the basis of pixels in the time space and which may prevent its use in real time video shooting.

(Huanga et. al 2016) are *proposed* a novel image enhancement method improving the contrast of local pixels through adaptive gamma correction (AGC), which is formed by incorporating a cumulative histogram or cumulative sub-histogram into the weighting distribution. However, the proposed method is difficult to implement in a short time and not suitable for real time video applications.

(Yang et. al 2007), proposed a weighted calculation to prevent the unexpected effects appearing and the local bihistogram equalization (LBHE) to reduce the over-enhancing artifacts. However, the proposed method is difficult to implement in a short time and not suitable for real time video applications.

Recently, in a work (Hao et. Al 2020) a low-light image enhancement by semi-decoupled Retinex decomposition During the decomposition process is proposed, where the Retinex image decomposition is achieved in an efficient semi-decoupled way.

In another work (Wu et al. 2019) proposed a novel low light image enhancement method based on the non-uniform illumination prior model and used fast Fourier transform to accelerate the results.

A work by (Sajevu and Babu K.K.,2019), proposes a fusion based method and existing method (BBF) has been modified by repeating the proposed method partially and fully. They achieved the improvement of the contrast to noise ratio by 11 % and 12 % compared to BBF and BBFR respectively.

(Saxena S et all 2016) tried to provide the comparative study for the existing contributions of parallel image processing applications with their benefits and limitations. In that work the CPU elapse times for evaluated images using brightening image transformation for the images with resolutions 256x 256, 512 x 512, 1024 x 1024, 1800 x 1400 and 4000 x 4000 are given.

Even if all these works succeeded in image enhancement either under low visibility or high foggy conditions, the proposed algorithms seem to be usable only after having an input image and implementation of complex and long delayed operations on that image. Thus, it will be very difficult to implement these methods on a camera during the real time recording operation.

However, in this study, it is aimed to optimize the image illuminance level by the proposed Optimal Gamma (γ) Value Assignment (OGVA) method. By this method, a gamma value for the instant image intensity level is adaptively calculated to the image by using average value of all the pixel values of the image. Then the optimized gamma value can be rapidly applied as a single transfer function to the whole image without any pixel based operation. With the proposed Optimum Gamma Value Assignment (OGVA) method, it is intended to have a lightened image in the case of having a dark image, or if the image is too bright, the image will be faded instantaneously where the process will require a low processing load and low delay in both cases.

2.Effects of Gamma Value on Image Intensity Level

Gamma correction method is used by CRT (Cathode Ray Tube) monitors to eliminate unintentional illumination, which is used in image contrast due to the nature of the monitor (Lee and Chan 2005).

The gamma value that will generate the new pixel value (s), from the old one (r) as seen in Figure 1 is generally applied as (Stokes et. al 1996).

$$S = c.r^\gamma \quad (1)$$

Any coefficient (c) value will be applied for the optimization and then it will be optimized into the image intensity level scale. This dynamic correction can also be used, for example, to bring a deleted image on a washed paper into an over-lit image effect, and this will move this image closer to the original with a correct gamma value selection. In eq. 1 , as c and γ are positive coefficients, and r is the original intensity level value of the pixel being studied, the intensity level of the same pixel after the conversion (s) is evaluated. In all cases of this study, the value of c is taken as 1 and the optimum

gamma value is tried to be determined in this way. Figure 1 shows transfer functions to be formed for different values used in Gamma correction.

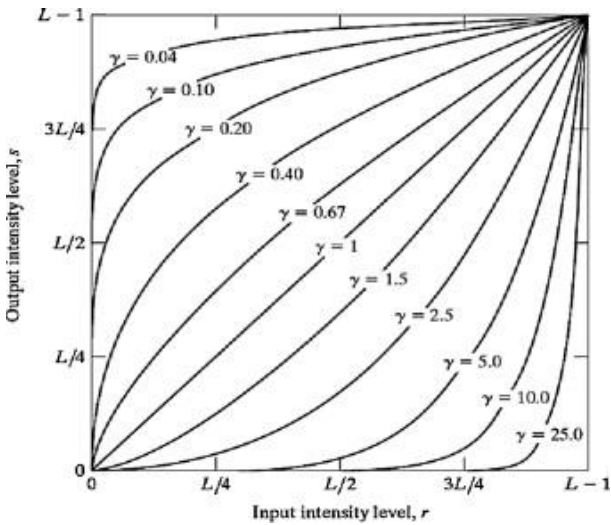


Figure 1. Transfer functions to be formed for different values used in Gamma correction. (Gonzalez and Woods 2002)

3.Determination of Optimum value in using OGVA method

It is normally possible only for a human to look at the image and compare it with the normal level of light that an image must have.

On the other hand, it can be said that, although the difference between the minimum and maximum intensity level values of the pixels in an image is higher than a certain threshold value (in this case it is understood that the image has sufficiently bright and dark pixel values), the average intensity level value of the image can be carried to a mean value of overall scale.

In this study, a new method has been proposed for adjusting the gamma value to be applied image while adjusting the intensity level of such images by using gamma correction and starting from the pixel values of the image and performing a calculation without the need of high processing power and high delay.

In this method, if the image is naturally light or dark, taking into account all the pixels of the image. The formula given in eq. 2 is proposed to be applied. With this formula, the gamma value to be used will dynamically be produced using the average intensity level of the image.

The aim here is to draw the average intensity value of an image with a n-bit resolution and 2^n intensity level, to the $2^n / 2$ average expected intensity level, which is the exact center point of the light and dark levels. Normally, gamma value of 1 will have no effect on the image. By obtaining and using the optimum gamma value, the average of the pixel values will be decreased or increased. In both cases the image will be able to bring the average intensity level to $L / 2$. For this purpose, to generate the desired optimum gamma value the formulas in eqs. 2-4 are used;

$$\gamma = \log_{average}^{L/2} \tag{2}$$

$$\gamma = \frac{\log_{10}\left(\frac{L}{2}\right)}{\log_{10}(average)} \tag{3}$$

$$\gamma = \frac{\log_{10}\left(\frac{L}{2}\right)}{\log_{10}\left(\frac{\sum_{k=1}^N \sum_{l=1}^M p(k,l)}{N \times M}\right)} \tag{4}$$

where, L represents the total intensity level of the image, average represents the average intensity value of overall image and p (k, l) is the intensity level of the pixel of k.th row and l.th column, N is the total number of pixels in a column and M is the total number of pixels in a row in the image. In this way, as the new gamma value is determined by eqs.2-4 the average intensity level value of the image is drawn to $L / 2$. Eqs. 5-7 are used to determine the new values of each pixel,

$$r_{new} = C.r_{old}^{\gamma} \tag{5}$$

$$r_{new} = c.r_{old} \log_{\left(\frac{\sum_{k=1}^N \sum_{l=1}^M p(k,l)}{N \times M}\right)}\left(\frac{L}{2}\right) \tag{6}$$

$$r_{new} = C.r_{old} \frac{\log_{10}\left(\frac{L}{2}\right)}{\log_{10}\left(\frac{\sum_{k=1}^N \sum_{l=1}^M p(k,l)}{N \times M}\right)} \tag{7}$$

In eq. 7, when n is taken as 8 bits/pixel, L will be in 256 range and the intensity level values will range



from 0 to 255 for each pixel at different average overall intensity levels. Figure 2 shows the graph of gamma values that

should be applied to the image according to eq.3.

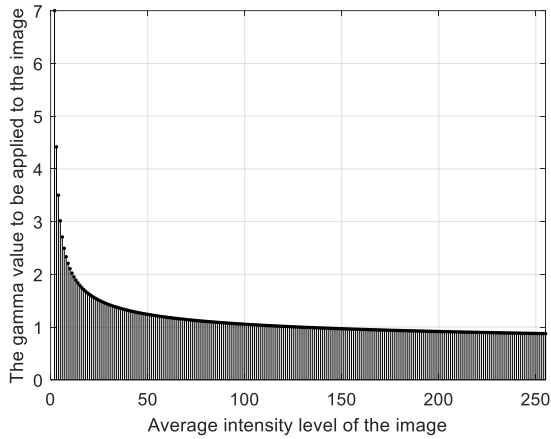


Figure 2. The optimum gamma value to be applied according to the image average intensity value

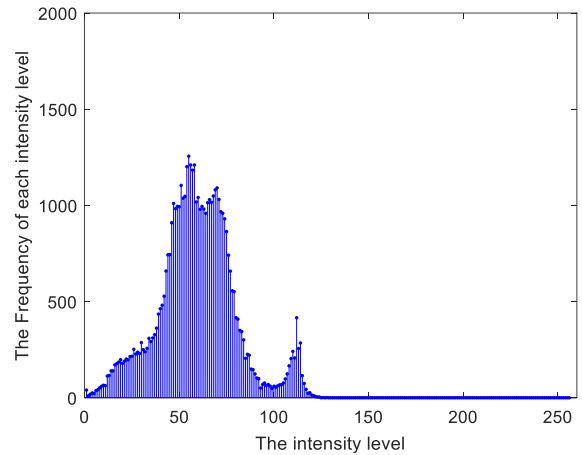
4.The effects of evaluated Optimum γ value by use of OGVA method, on the image

Figure 4 shows a dark image with insufficient light and when we apply the recommended OGVA method on this image, it is expected that the average intensity level of this image will be equal to 128 for the 255 intensity levels. For this reason, it is expected that the current value of the image will be illuminated by applying new pixel values to the image.

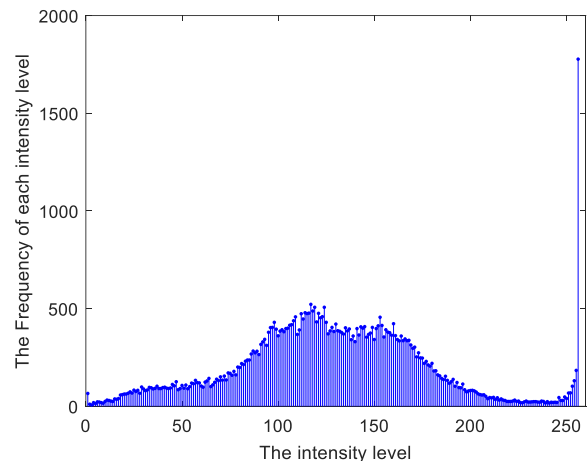


Figure 3. The Original Image

The application of OGVA method to this image which yields the Gamma value as 1.1911, gives the obtained image for figure 3 as in Figure 4



(c)



(d)

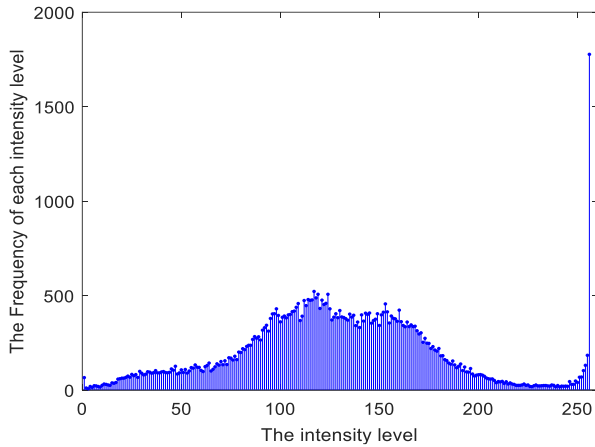
Figure 4. (a) The image to be optimized by OGVA (b) The evaluated image after the application of OGVA by dynamically adjusting the intensity of the image according to image intensity level. (c) The histogram of the image in "a" before applying OGVA (d) The histogram of the image in "b" after applying OGVA

In addition, the application of the OGVA method to the already optimized image according to the image intensity level (with the 0.9983 gamma value found) is shown in Figure 5. It is seen that almost no illumination or dimming is applied by OGVA method on the images it still remains with sufficient intensity levels.

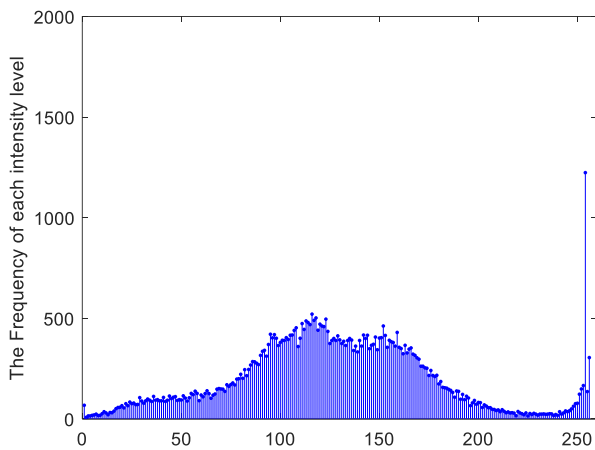


(a)

(b)



(c)



(d)

Figure 5. (a) An already optimized image by the application of OGVA method (b) result of application of OGVA method to the already optimized image (c) The histogram of the image in “a” before applying OGVA (d) The histogram of the image in “b” after applying OGVA

In addition, when we apply the OGVA method to a darker image with more insufficient intensity level, the obtained gamma value ($\gamma = 1.3258$) from eq. 3 yields the image given in figure 6, which is very similar to obtained images in other cases.

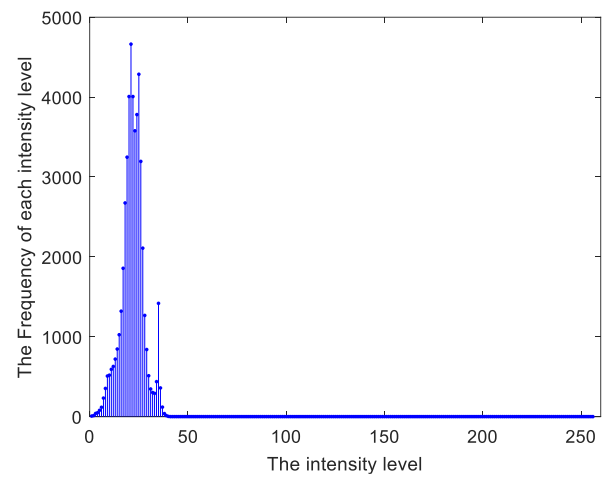
It is seen from the results given on figure 4 to figure 6 that OGVA method also succeeds in images with different intensity levels and different histograms,

by having almost normally distributed and almost same histograms for all cases with different intensity level of images.

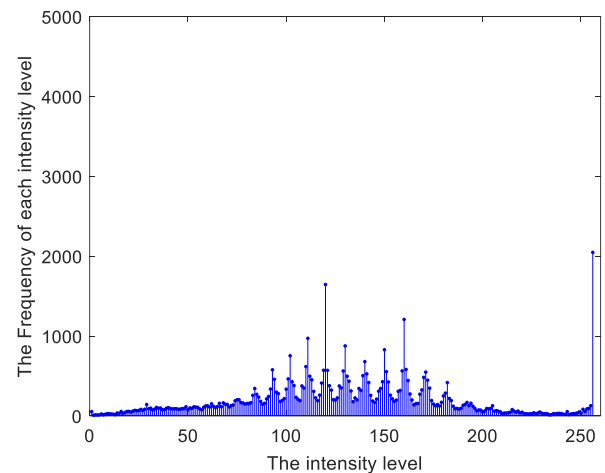


(a)

(b)



(c)



(d)

Figure 6. (a) An image with a very dark level average (b) image obtained by applying the OGVA method to this image (c) The histogram of the image in “a” before applying OGVA (d) The histogram of the image in “b” after applying OGVA.

Comparing the CPU time performances of the proposed OGVA method for different image

resolutions, with the CPU time performances evaluated by (Saxena Set all 2016) using brightening image transformation, the results in figure 7 are evaluated for the images with resolutions 256x 256 (65536 pixels), 512 x 512 (262144 pixels), 1024 x 1024 (1048576 pixels), 1800 x 1400 (2520000 pixels) and 4000 x 4000 (16x10⁶pixels)

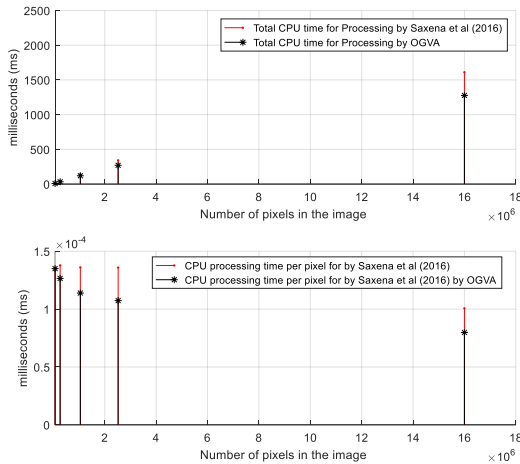


Figure 7. CPU time performance of OGVA with respect to brightening transformation method used by (Saxena S. et. all 2016)

Note that the evaluated results are normalized such that they have the same CPU time values for the image with the resolution 256 x 256. By this way, both the positive or negative effects of used computer hardware while evaluating the resultant images are eliminated, and the results are observed under fair conditions.

According to the results evaluated in figure 7, it is seen that, although the total CPU time for both algorithms increase by an increased resolution of the image, the proposed OGVA method provides less amount of required time per pixel by increased image resolutions.

Table 1 shows the evaluated results and provided improvement rates up to 20.73 % by OGVA using different image resolutions.

Table 1. The evaluated results and provided improvement rates by OGVA using different image resolutions.

Image Resolutions	Number of Pixels	Normalized CPU Time elapsed using OGVA	Total CPU time per pixel elapsed using OGVA (ms)	Total CPU time elapsed using Saxena S. et al (2016) (ms)	Total CPU time per pixel elapsed using Saxena S. et al (2016) (ms)	Reduce time per pixel by OGVA (%)
256 x 256	65536	8,847	95	8,847	95	0,00
512 x 512	262144	33,17625	57	36,12	94	8,16

1024x1024	10485		0,0001139	142,6	0,0001360	
24	76	119,4345	02	78	68	16,29
1800x1400	25200	270,5707	0,0001073	342,4	0,0001358	
00	00	5	69	27	84	20,98
4000x4000			7,98073E-	1610,	0,0001006	
00	16x10 ⁶	1276,917	05	85	78	20,73

5.Conclusion

In this work, a novel method called Optimal Gamma Value Assessment (OGVA) is proposed. By this method, the dynamic intensity adjustment of real-time images became possible in different areas. The optimum gamma value obtained by OGVA method will give an opportunity of having fast dynamic intensity adjustment, and faster histogram equalization effect on the image without delay requiring pixel by pixel high processing power or frequency domain transforms and filtering operations. It has been observed that this method brings the average light level to 2ⁿ / 2 value of either the dark or the bright images, however it can leave the images with sufficient intensity level unchanged even though the OGVA is applied.

In addition, since this method can be calculated rapidly without high processing load and delay, it can be applied also in the real time systems such as security cameras.

It is shown that, the proposed OGVA method increased the processing time performance especially for higher resolutions by decreased required time per pixel. The results show that up to 20.73 % processing time decrease is provided per pixel for 4000 x 4000 image by use of the proposed OGVA method.

From the results obtained, it can be concluded that the proposed OGVA method achieves optimized results with less processing power causing less delay, as well as the recent studies (Hao S. et. al 2020), (Sajeevu S. et. al 2020) and (Wu Y. 2019) in the literature which succeeded in adjusting the intensity level of the image even under different intensity levels.

In subsequent studies, an algorithm might be studied which will be able to perform an alternative short way to detect specific objects even in dark images without process load and delay.

Nuclear Science Symposium conference record. Nuclear Science Symposium, Vol. 1, 3951 – 3954.

References

- Gonzalez R.C., Woods R.E., 2002, Digital Image Processing, Vol. 3, Pearson, 76-137.
- Hao S., Han X., Guo Y., Xu X., and Wang M., 2020 Low-Light Image Enhancement with Semi-Decoupled Decomposition, *IEEE transactions on multimedia*, **Vol. 1**: 1-14.
- Huanga Z. , Zhanga T. , Lib Q. , Fangc H. , 2016, Adaptive gamma correction based on cumulative histogram for enhancing near-infrared images, *Infrared Physics & Technology* **Vol. 79**, 205-215.
- Lee P.M, Chen H.Y, 2005, Adjustable gamma correction circuit for TFT LCD, *IEEE International Symposium on Circuits and Systems*, Kobe, 2005, **Vol. 1.**, 780-783.
- Roberts A., 1993, Measurement of display transfer characteristic (gamma, γ), *European Broadcasting Union (EBU) Technical Review* 257 , **Vol. 13**, 32–40.
- Sajeevu S, Anish Babu K. K., 2019, Visibility Driven Contrast Enhanced Surgical Defogging, *International Conference on Signal Processing and Communication (ICSPC -2019)*, 29 – 30, 2019, Coimbatore, INDIA 144-147.
- Saxena S.,, Sharma S., and Sharma N., 2016, Parallel Image Processing Techniques, Benefits and Limitations, *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology* **Vol. 12(2)**: 223-238.
- Stokes M., Anderson M., Chandrasekar S., Motta R., 1996, A Standard Default Color Space for the Internet – sRGB”, *IS&T’s 4th Color Imaging Conference Proceedings.*, 238.
- Wu Y, Zheng J, Song W, Liu F, 2019, Low light image enhancement based on non-uniform illumination prior model, *Institution of Engineering and Technology (IET) Image Processing*, **Vol. 1**, 2448-2456.
- Yen H.- Yang, Lee Y. C. , Fan Y.Ch, Taso H.W. , 2007, A Novel algorithm of local contrast enhancement for medical image, *IEEE*

Sınır Elemanları Yöntemiyle MEMS Plakası Dışında Oluşan Manyetostatik Potansiyel Analizi

Ramazan SOLMAZ^{1*}, Fevzi HANSU²

¹Siirt Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Siirt.

²Siirt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Siirt.

^{1*}Sorumlu yazar e-posta: rsolmaz23@gmail.com ID: <http://orcid.org/0000-0001-8933-2922>

²e-posta: f_hansu@hotmail.com ID: <http://orcid.org/0000-0002-5325-5459>

Geliş Tarihi: 18.07.2019

Kabul Tarihi: 15.04.2020

Öz

MEMS ve NEMS cihazlarının, gittikçe küçülen yapılarıyla beraber kararlı ve verimli çalışabilmesi için tasarımları önem kazanmaktadır. Sınır elemanları yöntemi bu tür cihazların tasarımı için son zamanlarda yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bu çalışmada, klasik yöntemler olarak ifade edilen sonlu farklar yöntemi ve sonlu elemanlar yöntemine göre daha yeni bir metod olan sınır elemanları metodu araştırılmıştır. Sınır elemanları yönteminin MEMS tasarımındaki performansını incelemek için MEMS plakası dışında oluşan skaler manyetik potansiyel analiz edilmiştir. İlk olarak problem bölgesi sınırları, sabit sınır elemanı ile bölümlenmiş ve Dirichlet sınır şartları tanımlanarak problem modellenmiştir. Problemi çözmek için Matlab ortamında yeni bir program geliştirilmiştir. Tasarlanan program, limitleri ve eleman sayıları belirlenen iki boyutlu problem bölgesinde, otomatik olarak sonlu elemanlar yöntemi ve sınır elemanları yöntemi için çözüm yapmaktadır. Sonuçların doğruluk derecesini kontrol etmek için problem analitik olarak çözülerek tüm sonuçlar karşılaştırılmıştır. Uygulamada elde edilen sonuçlara göre sınır elemanları yönteminin sonlu elemanlar yöntemine göre problem çözmek için gerekli veriler, uygulama kolaylığı ve sonuçların doğruluğu açısından birçok pozitif yöne sahip olduğu ifade edilebilir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre MEMS ve NEMS cihazların elektrostatik ve manyetostatik algılama mesafeleri tespitinde sınır elemanları metodunun kullanılması önerilebilir. Geliştirilen yeni program, bu tür cihazların daha iyi bir tasarıma sahip olmalarına katkı sunabilir.

Anahtar kelimeler

Sınır elemanları
metodu; MEMS;
NEMS;
Manyetostatik
potansiyel

Magnetostatic Potential Analysis Outside MEMS Plate by Boundary Element Method

Abstract

Designs of MEMS and NEMS devices are gaining importance for their stable and efficient operation with their shrinking structures. Boundary element method is a widely used method for design of such devices, recently. In this study, finite difference method, which is expressed as classical methods, and boundary element method, which is a newer method compared to finite element method, was investigated. To examine the performance of boundary element method in MEMS design, the scalar magnetic potential formed outside the MEMS plate was analyzed. Firstly, the boundaries of problem region are divided with a fixed boundary element and the problem is modeled by defining Dirichlet boundary conditions. A new program has been developed in Matlab environment to solve the problem. The designed program automatically solves the finite element method and the boundary element method in two-dimensional problem region whose limits and number of elements are determined. To check the accuracy of the results, the problem was solved analytically and all results were compared. According to the results obtained in the application, it can be stated that boundary element method has many positive aspects in terms of the data required for problem solving, the ease of application and the accuracy of the results according to the finite element method. According to the results obtained in this study, it may be suggested to use the boundary element method in detection of electrostatic and magnetostatic sensing distances of MEMS and NEMS devices. The developed program can contribute to better design of such devices.

Keywords

Boundary element
method; MEMS;
NEMS;
Magnetostatic
potential

1. Giriş

Yaşam kalitesini artırmak için yapılan çalışmalar sayesinde teknolojinin uygulanma alanı küçük ve ince duvarlı yapılara doğru sürekli genişlemektedir. Bu sayede istenen özelliklere sahip veya istenen görevleri yerine getirebilecek nanometre boyutlarında malzeme üretimi ile Mikro-Elektro-Mekanik (MEMS) veya Nano-Elektro-Mekanik Sistemler (NEMS) üretilebilmektedir. MEMS ve NEMS cihazların gittikçe küçülen yapılarıyla beraber kararlı ve verimli çalışabilmesi için tasarımları önem kazanmaktadır.

Mikro-Elektro-Mekanik Sistemler (MEMS), mikro-elektro-mekanik, mikro-akışkan, mikro-opto-elektro-mekanik ve mikro-termo-mekanik cihazları ve sistemleri kapsayan sabit veya hareketli mikro yapıları içeren çok geniş alana sahiptirler (Jog and Kunal 2016).

Elektrostatik veya manyetostatik harekete geçirme, imalat sürecinin basitliği, uygun ölçekleme yasaları, büyük kuvvetler geliştirme kabiliyeti, düşük güç tüketimi ve standart bir entegre devre ortamıyla entegrasyon imkânı nedeniyle çeşitli MEMS'ler üretilmektedir. Bu tür MEMS cihazların mikro sensörler, mikro-aktüatörler, mikro jetler, mikro hoparlörler, anahtarlar, mikro aynalar, ivmeölçerler, basınç sensörleri, mikro pompalar, hareketli valfler, günümüzde otomotiv elektroniği, tıbbi cihazlar, taşınabilir akıllı elektronik, sabit disk sürücüler, bilgisayar çevre birimleri vb. uygulamaları bulunmaktadır (Zhang et al. 2014, Zozulya and Saez 2014, Ding et al. 2017). Bu küçük ve ince yapıları cihazların doğru, verimli ve kararlı bir şekilde çalışabilmeleri için iyi bir tasarıma sahip olmaları gerekmektedir.

Mikro mekanik yapılar doğal olarak üç boyutlu olup analitik analiz için geometrik olarak çok karmaşıktır. Bu nedenle sayısal bir yaklaşıma ihtiyaç duyulmaktadır. MEMS'teki mekanik dağılımı, elektrik veya manyetik alan dağılımını öngörmek için sınır integral denklemi (Boundary Integral Equation-BIE) ideal bir uygulama olabilir (Frangi 2009, Rodriguez et al. 2015).

Elektrikle çalıştırılan MEMS cihazlarının sayısal simülasyonunda, 1990 yılı başlarından beri çok ince iletken plakaların dışındaki alan analizi için sınır elemanı yöntemi kullanılmaktadır. Kalınlıkları ihmal edilmiş her plakanın üst ve alt yüzeyindeki yüklerin toplamını bulmak için zayıf tekil çekirdekli standart

sınır integral denklemi kullanılmaktadır (Mukherjee et al. 2005, Eshraghia and Dag 2018).

Sınır elemanları metodu (SEM, Boundary Element Method-BEM) yaklaşık olarak son 20 yılda elektrik mühendisliği ve özellikle elektromanyetikte farklı problemleri çözmek için yaygın olarak kullanılan köklü bir teknik haline gelmiştir. Yöntem, klasik sınır integral denklemi yöntemlerinin ve kısmi diferansiyel denklemlerin çözümü için sonlu elemanlar yönteminden (Finite Element Method-FEM) türetilen sayısal tasarımların bir kombinasyonu olarak düşünülebilir. SEM, FEM ayrıklaştırma kavramlarını kullanarak integral denklemlerini çözmek için gelişmiş uygun sayısal bir araç haline gelmiştir. Sınır elemanları yöntemi (SEM) yaygın olarak kullanılan köklü iki sayısal yöntem, yani sonlu farklar (FDM) ve sonlu elemanlar (FEM) yöntemlerine göre yeni bir metottur (Patridge et al. 1992, Brebbia and Poljak 2005).

Bu çalışmamızda MEMS plakası dışında oluşan manyetostatik alan dağılımının sınır elemanları metoduyla analiz edilmesiyle elde edilen sonuçlar, aynı problem için sonlu elemanlar ve analitik çözüm yöntemleri kullanılarak elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

2. Metot

2.1. Elektromanyetik potansiyel

Tüm elektromanyetik olayların analizinde Maxwell denklemleri temel oluşturmaktadır. Elektrik ve manyetik alanların matematiksel olarak ifade edilmesi, alanlar yerine yardımcı potansiyel fonksiyonlar kullanılarak basitleştirilebilir. Bu yardımcı fonksiyonlar, elektriksel skaler potansiyeli ϕ , manyetik vektör potansiyeli A ve manyetik skaler potansiyel ϕ_m 'dir. Bu potansiyeller doğrudan Maxwell denklemlerinden türetilmektedir (Patridge et al. 1992, Brebbia and Poljak 2005).

Bir f vektörü için bilinen vektör özdeşliği dikkate alınır;

$$\nabla_x \nabla_x f = 0 \quad (1)$$

bu, iki kere türevlenebilir vektör f için geçerlidir. Akım yoğunluğu B , bir yardımcı vektör A vasıtasıyla ifade edilirse Maxwell manyetik diverjans denklemi ($\nabla B = 0$) her zaman sağlanabilir.

$$B = \nabla_x A \quad (2)$$

İlk Maxwell denklemi olan Eşitlik 3, Faraday yasasının diferansiyel formu olup zamanla değişen manyetik akı yoğunluğu B , E elektrik alanının curl'ünü verir.

$$\nabla \times E = -\frac{\partial}{\partial t}(\nabla \times A) \quad (3)$$

Bu denklem düzenlenirse Eşitlik 4 elde edilir (10).

$$\nabla \times \left(E + \frac{\partial A}{\partial t} \right) = 0 \quad (4)$$

Herhangi bir türevlenebilir skaler fonksiyon V 'nin gradyanının curl'ü, her zaman sıfır olduğu için,

$$\nabla \times \nabla V = 0 \quad (5)$$

Eşitlik 4 'te parantez içindeki terim, skaler potansiyel fonksiyon φ 'inin gradyanı olarak yazılabilir;

$$E + \frac{\partial A}{\partial t} = -\nabla \varphi \quad (6)$$

veya

$$E = -\frac{\partial A}{\partial t} - \nabla \varphi \quad (7)$$

A ve φ genellikle manyetik vektör potansiyeli ve elektrik skaler potansiyeli olarak ifade edilir. Böylece, potansiyel fonksiyonları A ve φ , manyetik ve elektrik alanı Eşitlik 1 ve Eşitlik 6 'dan belirlenebilir. Elektrik akımından bağımsız olan ($j=0$), manyetik alanların var olmasından dolayı birçok manyetostatik problemler vardır. Bu tür kaynaktan bağımsız alanlar için, manyetik alan H 'in curl'ü sıfıra eşittir.

$$\nabla \times H = 0 \quad (8)$$

Herhangi bir sıfır-curl vektörü, bir skaler fonksiyonunun gradyanı cinsinden temsil edilebildiğinden, bu tür durumlarda manyetik alan şiddeti şu şekilde yazılabilir;

$$H = -\nabla \varphi_m \quad (9)$$

Burada elektrostatik potansiyel ile uygun bir benzetme sağlamak için eksi işaret alınır. Bu durum, elektrostatikteki $E = -\nabla V$ eşitliğine benzer şekilde, V_m ile gösterilen ve negatif gradyanı manyetik alan şiddetini veren bir manyetostatik potansiyelin tanımlanabileceği anlamına gelir.

$$H = -\nabla V_m \quad (10)$$

Bu sonucun doğruluğunu kontrol etmek için Eşitlik 10'da tanımlanan manyetik alan şiddeti Eşitlik 8'de yerine yazılırsa,

$$\nabla \times H = J = -\nabla \times (\nabla V_m) = 0 \quad (11)$$

elde edilir. Eşitlik 11'in sağ tarafındaki manyetostatik potansiyelin gradyanının curl'ü sıfır olduğundan, akım yoğunluğu sıfır olur. Böylece Eşitlik 8 sağlanmış olur.

Manyetik malzeme lineer ve homojen ($B = \mu H$ ve manyetik geçirgenliği sabit) kabul edilirse, Eşitlik 8 ve Eşitlik 10'dan manyetostatik potansiyel için,

$$\nabla B = \mu \nabla H = 0 \quad (12)$$

$$\nabla B = \mu \nabla (-\nabla V_m) = 0 \quad (13)$$

$$\nabla^2 V_m = 0 \quad (J = 0) \quad (14)$$

Laplace denklemi elde edilir. Burada manyetostatik potansiyel V_m , akım yoğunluğunun sıfır olduğu bölgede ve homojen manyetik malzemede her zaman Eşitlik 14'teki Laplace denklemini sağlar. V_m 'in birimi Amper-sarım'dır. Laplace denkleminin çözümünden edilen manyetostatik potansiyel değeri kullanılarak manyetik alan şiddeti hesaplanabilir (Patridge et al. 1992, Brebbia and Poljak 2005, Matthew 2001, Gürdal 2015, Dorfmann and Ogden 2014).

2.2. Laplace denklemi için sınır elemanları yöntemi

Sınır elemanları yöntemi (SEM) ile bir problem çözümlenirken ilk olarak problemin sınır integral ifadesinin elde edilmesi gerekmektedir.

$$\nabla^2 V_m = 0 \quad (15)$$

V_m , manyetik skaler potansiyel olmak üzere Eşitlik 15'te ifade edilen Laplace denkleminin bir sınır integral denklemi türetmek için, ağırlıklı artıklar metodu ya da ikinci Green özdeşliğinden biri tercih edilebilir. Bu Laplace denkleminin türetilen sınır integral denklemi şu şekildedir.

$$c_i V_i + \int_S V_m q^* dS = \int_S q V_m^* dS \quad (16)$$

Burada V_m^* , Eşitlik 15'in temel çözümü, q^* ise bu çözümün normale göre türevidir. Temel çözüm olan V_m^* , bir "i" noktasında yer alan yoğunlaştırılmış birim kaynağın oluşturduğu alanı ifade eder. Kaynağın meydana getirdiği etki, problem sınırında herhangi bir sınır koşulu tanımlanmamış ise sonsuza

gider. Bu durum Eşitlik 17'deki Poisson denklemi ile ifade edilebilir.

$$\nabla^2 V_m^* + \Delta_i = 0 \quad (17)$$

Bu denklemin çözülmesiyle, temel çözüm elde edilir. Δ_i Dirac delta fonksiyonu olup bu fonksiyon $x = x_i$ noktasında sonsuza giderken, bu nokta dışındaki yerlerde sıfırdır. V_m^* temel çözümü, iki boyutlu problemlerde aşağıdaki gibidir.

$$V_m^* = \frac{1}{2\pi} \ln\left(\frac{1}{r}\right) \quad (18)$$

Burada r , kaynağın bulunduğu nokta ile temel çözümün uygulandığı " i " düğümü arasındaki mesafedir. Düğüm, çözümün sınırdaki uygulandığı noktalara denir. Bu yöntemde, Eşitlik 18'de verilen denklem tüm " i " düğümlerine uygulanır ve her düğümün diğer düğümlere olan etkisiyle sınırdaki bilinmeyenler bulunur.

Sınır elemanı yönteminde iki boyutlu bir problem sınırı N parçaya bölünür. Her bir sınır parçası sabit, lineer veya eğrisel eleman olarak ifade edilir. Çözüm, sabit eleman, lineer eleman veya eğrisel eleman seçilerek gerçekleştirilir. Kullanılan sınır elemanı tipi sabit eleman ise elemanların orta noktası düğüm olarak alınır ve eleman boyunca gerilim değeri sabit kabul edilir.

Eşitlik 16, sınır koşulları tanımlanmadan önce bir " i " kaynak noktası için aşağıdaki gibi ayrıştırılabilir.

$$c_i V_i + \sum_{j=1}^N \int_{S_j} V_m q^* dS = \sum_{j=1}^N \int_{S_j} q V_m^* dS \quad (19)$$

(Burada, " i " sınırdaki düğümü, " j " ise sınır elemanlarını temsil etmektedir.) " i " 1'den N 'e kadar (düğüm sayısı) değişmekte ve Eşitlik 18'de verilen temel çözüm sırasıyla her bir " i " düğümü ve sınır elemanı için gerçekleştirilirse Eşitlik 20'de verilen matris formundaki denklem sistemi elde edilir.

$$[H][V_m] = [G][q] \quad (20)$$

Problem alanı tanımlanırken belirlenen sınır koşulları Eşitlik 20'ye uygulanır ve bu eşitlikte bilinmeyenler bir tarafa toplanırsa Eşitlik 21 elde edilir.

$$Ax = y \quad (21)$$

Eşitlik 21'in çözümüyle problem sınırındaki tüm bilinmeyen bulunur. Sınır elemanları metodunda sınır değerleri bilinen problemde sınırın iç tarafında

kalan herhangi bir iç nokta için Eşitlik 22 kullanılarak manyetik skaler potansiyel değeri hesaplanabilir (Patridge et al. 1992, Brebbia and Poljak 2005, Yıldırım 1999).

$$V_i = \int_S q V_m^* dS - \int_S V_m q^* dS \quad (22)$$

3. Bulgular ve Tartışma

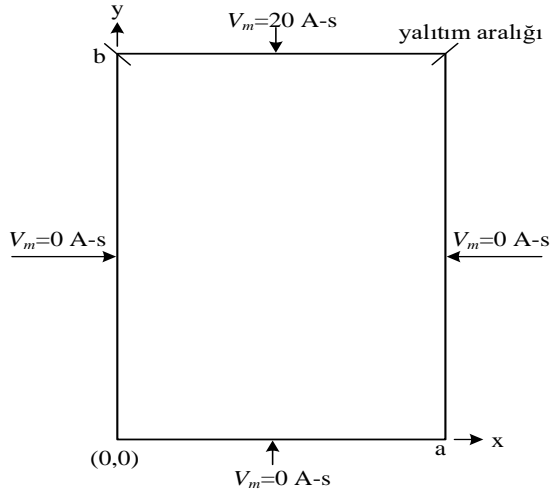
Uygulamada, MEMS plakası dışında oluşan manyetostatik alan dağılımını hesaplamak için problem bölgesi Şekil 1'deki gibi temsil edilmiştir. Alan analizi sınır elemanları metodu ve sonlu elemanlar metodu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sonuçları karşılaştırmak için problem analitik olarak çözülmüştür.

Sınır elemanları yöntemi ile çözüm için problem bölgesinin sınırları sabit sınır elemanları ile bölümlendikten sonra sınır şartları tanımlanmıştır. Şekil 1'de gösterildiği gibi, Dirichlet sınırları için $y=b$ sınırında $V_m=20$ (A-s) diğer sınırlarda $V_m=0$ (A-s) olarak tanımlanmıştır. Tanımlanan sınır şartları uygulanarak problem modellenmiştir. Daha sonra Matlab'da yazılan program ile manyetostatik potansiyel değerleri iki ayrı uygulama için hesaplanmıştır.

Sonlu elemanlar yöntemi ile çözüm, Şekil 1'de gösterilen problem alanı üçgen elemanlar ile bölümlendikten sonra, Dirichlet sınırları için $y=b$ sınırında $V_m=20$ (A-s), diğer sınırlarda $V_m=0$ (A-s) sınır şartları tanımlanarak modellenmiştir. Modellenen bu problem Matlab'da yazılan program ile çözümlenerek sonlu elemanlar metodunun sonuçları elde edilmiştir.

Yöntemlerin doğruluk derecelerini belirlemek için aynı problemin analitik çözümü yapılmıştır. Analitik çözüm sonuçları Eşitlik 23'te verilen denklem kullanılarak elde edilmiştir.

$$V(x, y) = \frac{4V_m}{\pi} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\sin \frac{n\pi x}{a} \sinh \frac{n\pi y}{a}}{n \sinh \frac{n\pi b}{a}}, \quad 2k - 1 \quad (23)$$



Şekil 1. MEMS plakası dışında oluşan manyetostatik problem alanı.

Şekil 1’de gösterilen alan için iki farklı uygulama yapılmıştır. Burada $a=1$, $b=2$ ve $a=1$, $b=1$ birim olmak üzere ve sınır şartları aynı olmak kaydıyla

Çizelge 1. Şekil 1’de verilen $a=1$, $b=2$ ve $V_m=20$ A-s değerleri için, SEM sonuçlarının analitik ve FEM sonuçlarıyla karşılaştırılması ($x=0,5$ için).

y	SEM (60 Eleman) 0,08 s	FEM (400 Eleman) 24,75 s	Analitik Sonuç 0,0035 s	SEM Hata (%)	FEM Hata (%)
1,9	16,06771	16,00784	16,06416	0,02211	-0,35186
1,5	5,218634	5,225264	5,218867	-0,00446	0,122434
1,3	2,811224	2,834172	2,811794	-0,02026	0,789569
1	1,097293	1,116205	1,097698	-0,03695	1,658017
0,7	0,423272	0,433925	0,423483	-0,04996	2,406372
0,1	0,030369	0,031434	0,030373	-0,01412	3,376574

İlk uygulamada Şekil 1’de gösterilen problemin iç bölgesinde $x=0,1...0,9$ ve $y=0,1...1,9$ noktaları için manyetostatik potansiyel hesaplanmıştır.

Bu uygulamada sınır elemanları metodu için problem bölgesi sınırları 60 adet sabit sınır elemanı ile temsil edilerek problem modellenmiştir. Daha sonra Dirichlet sınır şartları ve sabit sınır elemanları koordinatları belirlenmiştir. Matlab R2014a programında 0,08 s işlem süresi ile problem çözülmüştür. İlk olarak sınırda bilinmeyen q değerleri hesaplanmış daha sonra Çizelge 1’de iç bölgede bulunan noktalar için manyetostatik potansiyel analiz sonuçları elde edilmiştir.

Sonlu elemanlar metodu ile aynı Dirichlet sınırlar için yapılan uygulamada, problem bölgesi 400 üçgen eleman ile modellenerek problem Matlab R2014a programında ortalama 24,75 s işlem süresiyle çözülmüştür. Çizelge 1’de verilen bazı noktalar için sonlu elemanlar metoduna ait sonuçlar verilmiştir. Eşitlik 23’te verilen denklem kullanılarak

yapılan hesaplamada elde edilen sonuçlar Çizelge 1 ve Çizelge 2’de verilmiştir. Burada değişen problem bölgesi için yöntemlerin doğruluk derecesi analiz edilmiştir. Sınır elemanları ve sonlu elemanlar metodunda kullanılan elemanların boyları eşit olacak şekilde problem modellenmiştir. Sınır elemanlar yönteminde sabit eleman boyu 0,1 birim ve sonlu elemanlar yönteminde üçgen elemanın dik kenar boyu 0,1 birimdir. Birinci uygulamada sınır elemanları yönteminin sabit eleman sayısı 60 adet, ikinci uygulama için 40 elemandır. Sonlu elemanlar yönteminde birinci uygulama için 400 üçgen eleman ikinci uygulama için 200 üçgen eleman ile problem temsil edilmiştir. Çizelge 1 ve 2’de verilen süreler, yöntemlerin bir uygulama için tüm aşamalarına ait işlem sürelerini kapsamaktadır. Çizelgelerde verilen değerler yapılan uygulamadan alınmış bazı noktalar için örneklerdir.

Çizelge 1’deki analitik sonuçlar elde edilmiştir. Çizelge 1’deki analitik sonuçlar referans alınarak incelendiğinde sınır elemanları yöntemi sonuçları çok kısa işlem süresi ve ihmal edilebilir hata ile elde edilmiştir. Sonlu elemanlar metodu ile yapılan çözümde ise yaklaşık 300 kat daha fazla bir zaman harcanarak $x=0,5$ ve $y=1,9$ noktasından $y=0,1$ noktasına giderek artan bir hata ile sonuçlar elde edilmiştir.

Literatürde sınır elemanları ile sonlu elemanların kombinasyonunun daha iyi sonuç verdiği ifade edilmektedir. Çizelge 1’deki hatalar incelendiğinde sınır elemanlarının hatasının negatif olduğu noktalarda sonlu elemanlar yönteminin hatasının pozitif, yine sınır elemanları hatasının pozitif olduğu noktalarda sonlu elemanlar yöntemi hatasının negatif olduğu görülmektedir.

Çizelge 2. Şekil 1’de verilen $a=1$, $b=1$ ve $V_m=20$ A-s değerleri için, SEM sonuçlarının analitik ve FEM sonuçlarıyla karşılaştırılması ($x=0,5$ için).

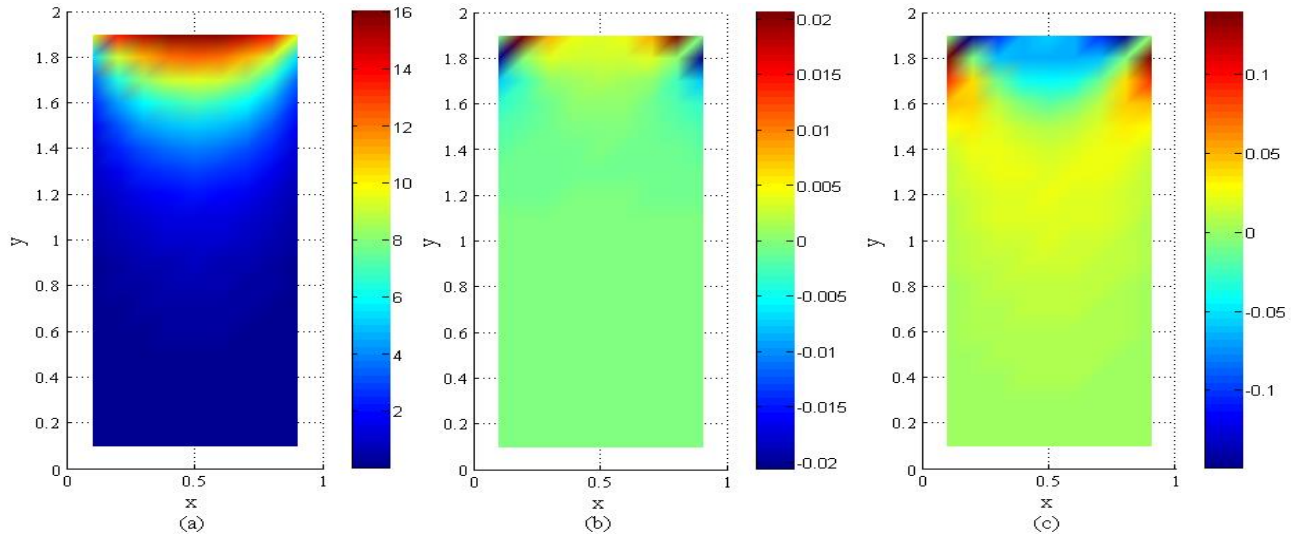
y	SEM (40 Eleman) 0,046 s	FEM (200 Eleman) 3,14 s	Analitik Sonuç 0,003 s	SEM Hata (%)	FEM Hata (%)
0,9	16,03736	15,9764	16,03379	0,022275	-0,3592
0,7	9,359611	9,311914	9,358044	0,016735	-0,49539
0,5	5	5	5	1E-08	-3,9E-07
0,2	1,474019	1,483906	1,474017	0,000123	0,666399
0,1	0,702907	0,708133	0,70268	0,032313	0,770118

İkinci uygulamada ise $a=1$ ve $b=1$ birim için yöntemlerin manyetik skaler potansiyel dağılımı incelenmiştir. Burada hesaplama $x=0,1\dots0,9$ ve $y=0,1\dots0,9$ noktaları için yapılmıştır.

Uygulamada sınır elemanları yöntemi için problem sınırı 40 adet sabit sınır elemanı ile temsil edilmiştir. Yapılan çözümde $x=0,5$ noktası ve $0,1 \leq y \leq 0,9$ değerleri için iç noktalarda elde edilen değerler, analitik çözümden elde edilen değerler ile karşılaştırılmıştır. Bu noktalar için sınır elemanlarına ait sonuçlar küçük hatalar ile elde edilmiştir. Sınır elemanları yönteminin sonuçları incelendiğinde,

Çizelge 1 ve Çizelge 2’de görüldüğü gibi, değişen problem bölgesi için hata oranlarının birbirilerine yakın olduğu görülmüştür. Bu da yöntemin potansiyel analizinde kararlı olduğunu göstermektedir.

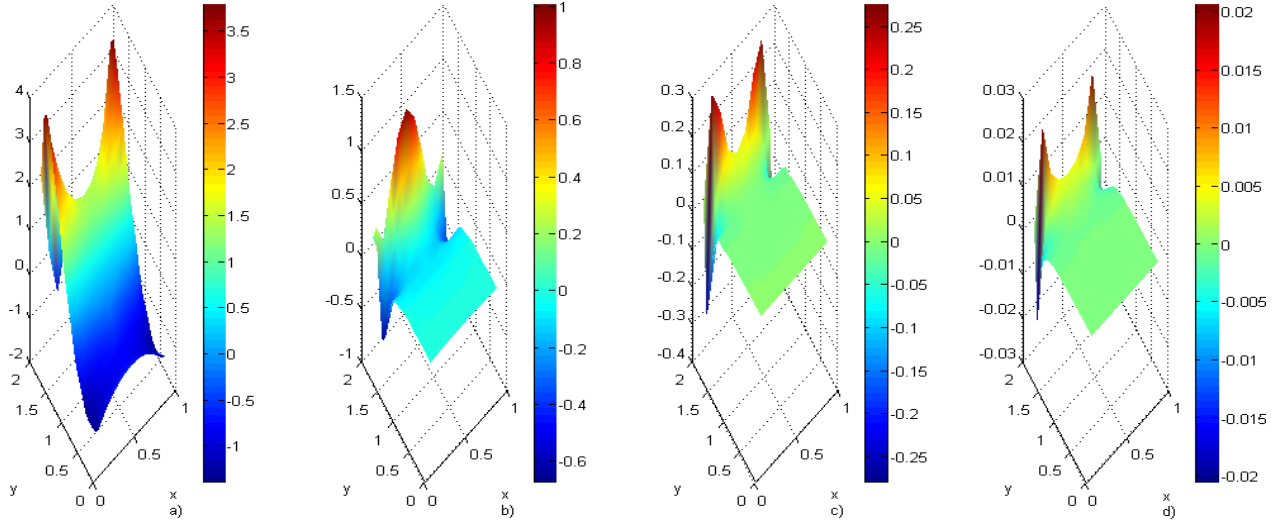
Sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan çözümde 200 üçgen eleman kullanılmıştır. Bu çözümde eleman sayısı %50 azalmasına karşın işlem süresi yaklaşık olarak sekiz kat azalmıştır. Daha büyük problem bölgesi için işlem yükü artacağından problemin çözümü daha çok zaman alacaktır. Bu uygulamada elde edilen hata oranları ilk uygulamaya göre yaklaşık olarak %60 oranında azalmıştır.



Şekil 2. Şekil 1’de $a=1$, $b=2$ ve $V_m=20$ A-s için iç noktalardaki manyetostatik potansiyel dağılımı, a) Sınır elemanları metodu manyetostatik potansiyel dağılımı, b) SEM’in analitik sonuçlara göre fark dağılımı, c) FEM’in analitik sonuçlara göre fark dağılımı.

Şekil 2a sınır elemanları yöntemi ile $a=1$ ve $b=2$ problem alanı için yapılan hesaplamada manyetostatik potansiyel dağılımını göstermektedir. Şekil 2b’de sınır elemanları ile analitik çözümden elde edilen manyetostatik potansiyel dağılımların farkı gösterilmektedir.

Şekil 2c’de sonlu elemanlar ile analitik çözümden elde edilen manyetostatik potansiyel dağılımların farkı gösterilmektedir. Şekil 2b ve 2c karşılaştırıldığında Şekil 2b’deki fark dağılımı $y \leq 1,2$ noktaları için sıfıra yakın olup Şekil 2c’de ise $y \leq 0,3$ noktalarında fark dağılımı sıfıra yaklaşmıştır.



Şekil 3. Şekil 1’de $a=1$, $b=2$ ve $V_m=20$ A-s için SEM’in analitik sonuçlara göre iç noktalardaki manyetostatik potansiyel hata dağılımı, a) Dört eleman ve 0,0012 s işlem süresi, b) On iki eleman ve 0,0173 s işlem süresi, c) Yirmi dört eleman ve 0,0236 s işlem süresi, d) Altmış eleman ve 0,0534 s işlem süresi.

Sınır elemanları yöntemi ile yapılan uygulamada sınır eleman sayısının sonuçlara etkisini görmek için Şekil 3’te görüldüğü gibi 4, 12, 24 ve 60 sabit sınır elemanı ile ayrı ayrı çözüm yapılmıştır. İşlem süresi sırasıyla 0,0012 s, 0,0173 s, 0,0236 s ve 0,0534 s olmuştur. Sonuçlar incelendiğinde eleman sayısı arttıkça işlem süreleri yaklaşık iki katına çıkmıştır. Manyetostatik potansiyelin hata dağılımı eleman sayısı arttıkça düşmüş, Şekil 3d’de sifıra yaklaşmıştır.

Sonlu elemanlar metodu ile yapılan çözümde $y=0$ noktasına yaklaşıldıkça analitik sonuçlara göre hatanın arttığı görülmektedir. Sınır elemanları metodunda aynı durum geçerli değildir. Her iki yöntemin işlem süreleri ve kullanılan eleman sayıları göz önüne alındığında sonlu elemanlar yönteminin işlem süresinin daha çok azaldığı görülmektedir. Daha büyük alanların analizinde işlem yükü daha fazla olacağından bu yöntem ile yapılan çözümlerde daha uzun süreye ihtiyaç duyulacağı açıktır. Sınır elemanları metodunda problem bölgesinin büyük olması ekstra işlem gerektirmediği için bu metod açık alan olarak ifade edilen problemlerde kullanılabilir.

Uygulamalar gerçekleştirilirken, belirtilen yöntemlerle problem çözümü için gerekli bilgiler göz önüne alındığında, sınır elemanları yöntemi ile problem çözmek için sadece sınırdaki elemanların koordinatları ve sınır şartları yeterli iken, sonlu elemanlar yönteminde bunlara ek olarak alanın bölünmesi gerekmektedir.

Sınır elemanları ile sınırdaki değerler bulunduktan sonra istenen herhangi bir iç nokta için skaler potansiyel dağılımı hesaplanabilir. Sonlu

elemanlarda ise potansiyel hesaplanacak iç noktalar alan bölünürken belirtilmelidir.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada MEMS plakası dışında oluşan manyetostatik potansiyel analiz edilmiştir. Analiz işleminde sınır elemanları yöntemi kullanılarak Laplace problemi çözülmüştür. Sınır elemanları yönteminin başarısını belirlemek amacıyla aynı problem analitik ve sonlu elemanlar yöntemi ile çözülerek elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Analiz işlemi için Matlab ortamında genel amaçlı yeni bir program geliştirilmiştir. Tasarlanan program ile iki boyutlu problem bölgesinin, alan koordinatlarının, sınırların tanımlanması ve eleman uzunluğunun belirlenmesiyle otomatik olarak sonlu elemanlar ve sınır elemanları yöntemleri için çözüm yapılabilmektedir.

Yapılan uygulamalarda yöntemlerin eleman sayıları, çözüm aşamaları ve çözüm süreleri değerlendirildiğinde, sınır elemanları yönteminin iki boyutlu manyetostatik alan problemi çözümünde daha başarılı olduğu tespit edilmiştir. Sınır elemanları yöntemiyle elde edilen sonuçların, sonlu elemanlar metoduna göre daha az hatalı olduğu ve analitik çözüm sonuçlarına oldukça yakın olduğu görülmüştür.

Şekil 2 incelendiğinde sınır elemanları yöntemi ile manyetostatik alan dağılımının daha düzgün olduğu, SEM hata dağılımının daha homojen olduğu görülmüştür. Şekil 3’te sınır elemanları yönteminin

eleman sayılarının çözüme etkisi incelenmiş, artan eleman sayısına karşılık hata oranının düştüğü tespit edilmiştir.

Şekil 1’de modellenen problemin çözümünde sonlu elemanlar metoduna göre daha başarılı olan sınır elemanları metodunun, MEMS sensörlerin algılama veya etkilenme mesafelerinin belirlenmesinde önerilebilir olduğu kanaatine varılmıştır. Geliştirilen yeni program bu tür cihazların daha iyi bir tasarıma sahip olmalarına katkı sunabilir.

Kaynaklar

- Brebbia, C. A., and Poljak, D., 2005. Boundary element methods for electrical engineers (Series: Advances in electrical engineering and electromagnetics), Vol. 4, ISBN:1-84564-033-0, WIT press, Southampton Boston, A.B.D, 92-94.
- Ding, X., Jia, J., Gao, Y., Li, H., 2017. Mechanical and Electrical Noise in Sense Channel of MEMS Vibratory Gyroscopes. *Sensors*, vol. 17 (10), 1-21.
- Dorfmann, L., and Ogden, R.W., 2014. Nonlinear Theory of Electroelastic and Magnetoelastic interactions. *Springer Science & Business Media*, ISBN 978-1-4614-9596-3, New York, A.B.D, 24-31.
- Eshraghia, I., and Dag, S., 2018. Domain-boundary element method for elastodynamics of functionally graded Timoshenko beams. *Computers and Structures*, vol. 195, 113-125.
- Frangi, A., 2009. A BEM technique for free-molecule flows in high frequency MEMS resonators. *Engineering Analysis with Boundary Elements*, vol. 33, 493–498.
- Gürdal, O., 2015. Elektromanyetik alan teorisi. *Bursa Orhangazi Üniversitesi Yayınları*, Bursa, 277-279.
- Jog, C. S., and Kunal, D. P., 2016. A hybrid finite element strategy for the simulation of MEMS structures. *International Journal For Numerical Methods In Engineering*, vol. 106, 527–555.
- Matthew, N. O. S., 2001. Numerical techniques in electromagnetics, Library of Congress Cataloging-in-Publication Data, Second Edition, by CRC Press LLC, ISBN 0-8493-1395-3, New York, A.B.D, 14-21.
- Mukherjee, S., Telukunta, S., Mukherjee, Y. X., 2005. BEM modeling of damping forces on MEMS with thin plates. *Engineering Analysis with Boundary Elements*, vol. 29, 1000–1007.
- Partridge, P. W., Brebbia, C. A., Wrobel L. C., 1992. The dual reciprocity boundary element method, Computational Mechanics Publications, Co-published with Elsevier Applied Science, ISBN 1-85166-700-8, Southampton Boston, A.B.D, 11-66.
- Rodriguez-Tembleque, L., Buroni, F. C., Sáez, A., 2015. 3D BEM for orthotropic frictional contact of piezoelectric bodies. *Comput Mech.*, vol. 56, 491–502.
- Yıldırım S., 1999. Yüksek gerilimli sistemlerde elektrik alanlarının sınır elemanları yöntemi yardımıyla incelenmesi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elâziğ, 125.
- Zhang, W. M., Yan, H., Peng, Z. K., Meng, G., 2014. Electrostatic pull-in instability in MEMS/NEMS: A review. *Sensors and Actuators A*, vol. 214, 187–218.
- Zozulya, V. V. and A. Saez, 2014. High-order theory for arched structures and its application for the study of the electrostatically actuated MEMS devices. *Archive of Applied Mechanics*, vl. 84, 1037–1055.

AKÜ FEMÜBİD 20 (2020) 025203 (237-249)

AKU J. Sci. Eng. 20 (2020) 025203 (237-249)

DOI: 10.35414/akufemubid.628232

Araştırma Makalesi / Research Article

Bir Termik Enerji Santralinde Ana Buhar Sıcaklığı Parametresinin YSA ve ARIMA Yöntemleriyle Modellenmesi ve Kestirim Performanslarının Araştırılması

Yasin TUNÇKAYA¹¹ Honeywell Teknoloji A.Ş., Çayır Cad. No:7 Üçgen Plaza Kat:5 İçerenköy, Ataşehir - İstanbul.e-posta: yasin.tunckaya@honeywell.com. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6690-2694>

Geliş Tarihi: 02.10.2019

Kabul Tarihi: 31.03.2020

Öz

Dünyada enerji üretim yöntemleri arasında hala büyük bir yüzdeye sahip olan termik santraller, kömür kullanımının çevreye olumsuz etkisi nedeniyle yoğun eleştirilere maruz kalmakla birlikte, elektrik ve buhar gibi kritik çıktıları nedeniyle vazgeçilmez bir öneme sahiptir. Bu çalışmada, Türkiye’de kurulu bulunan 600 MW nominal üretim kapasitesine sahip termik santral prosesine yönelik yeni bir analiz yapılmıştır ve seçilen kritik işletme parametreleri vasıtası ile Yapay Sinir Ağları (YSA) metodu kullanılarak güncel bir modelleme çalışması gerçekleştirilmiştir. Santralin daha önceki dönemlere ait proses değerleri veri madenciliği yöntemleri ile harmanlanarak, tesis verimliliği ve üretim miktarını etkilemesi nedeniyle kilit bir parametre olan ana buhar sıcaklığı değerinin tahminlendiği bir kestirim çalışması literatüre sunulmuştur. YSA modeli çıktıları, istatistiksel veri analiz ve kestirim yöntemlerinden biri olan Otoregresif Entegre Hareketli Ortalama (ARIMA) yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Determinasyon katsayısı ve ortalama kök karesel hata yaklaşımı hesaplamaları ile başarımları ve hata analizinin yapıldığı çalışmada, optimum YSA modeli için bu performans değerleri sırasıyla 0,994 ve 1,489 olarak bulunmuştur ve sistemin yüksek başarı oranı ile tahminleme yaptığı gösterilmiştir.

Anahtar kelimeler

Kestirim; Otoregresif entegre hareketli ortalama; Termik santral; Yapay sinir ağları

Modeling of Main Steam Temperature Parameter in a Thermal Power Plant via ANN and ARIMA Methods and Investigation of Prediction Performances

Abstract

Thermal power plants, which still have a large percentage of the energy production methods in the world, are subject to intense criticism due to the negative impact of coal usage to the environment, but indispensable because of their critical output such as electricity and steam. In the study, a novel analysis is carried out to investigate the process of thermal power plant located in Turkey with 600 MW nominal power output and the plant is modeled selecting the most critical operations parameters using Artificial Neural Networks (ANN) approach. Past process data is obtained from the plant, blended using data mining techniques, and presented literature to track and predict the main steam temperature, which is a key parameter for plant’s efficiency and production rate, by various approaches and experiments. The results off ANN model is compared with the Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) method, which is one of the statistical data analysis and estimation method. Performance and error analysis is executed using determination coefficient and root mean square error approaches in the study within optimum ANN model, these performance values are found as 0.994 and 1.489 respectively and it is revealed that the system predicts with high success rate.

Keywords

Artificial neural networks; Autoregressive integrated moving average; Prediction; Thermal power plants

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

Son yıllarda yaşanan hızlı teknolojik değişimler nedeniyle, elektrik enerjisi üretimin çeşitliliği büyük

oranda değişim göstermektedir ve dolayısıyla yaşanan bu gelişmeler, enerji üretim konseptini, kalitesini, verimliliğini ve maliyetini etkilemektedir.

Günümüzde enerji santralleri, işletme verimliliğini olabildiğince yükseltmek, optimum yanmayı sağlayarak NO_x, SO_x ve CO₂ emisyon salınımlarını azaltmak, ısıl kararlılığı en üst düzeye çıkartmak ve MW üretim başına birim işletme maliyetlerini olabildiğince düşük tutabilmek için büyük bir yarışın içerisinde (Tunçkaya vd. 2015). Ulusal, uluslararası kısıtlamalar ve Kyoto protokolünün dikte ettiği karbon tutma, baca gazı arıtma ve yakma kontrolü sistemlerinin kurulumu gibi iyileştirme mekanizmaları ile fosil yakıtların kullanımı arasında bir denge ve kontrol mekanizması kurulmaya çalışılmaktadır.

Doğalgaz, kömür, petrol gibi hidrokarbon içeriğe sahip olan fosil yakıtlar, termik santrallerde yanıcı ana hammadde malzeme olarak kullanılmaktadır. Son dönemde rüzgar, güneş ve hidroelektrik gibi yenilenebilir kaynakların ve nükleer güç santrallerinin kullanımı her ne kadar artmış olsa da, ülkelerin mevcut kömür, petrol ya da gaz yatakları nedeniyle güvenilir ve ucuz arz güvenliği sağlayan fosil yakıtlı tesislerin kullanım oranı oldukça yüksektir. Fosil yakıtların karbon salınımı, küresel ısınma ve iklimsel etkileri olmasına rağmen, mevcut konjonktür nedeniyle enerji üretiminde yoğun olarak kullanılmaya devam edileceği anlaşılmaktadır. Dünyada elektrik üretimi sırasıyla % 38,3 kömür, % 22,9 doğal gaz, % 16,3 hidro, % 10,2 nükleer, % 6,6 civarında güneş, rüzgar ve jeotermal, % 3,3 petrol ve fuel oil, % 2,3 de diğer kaynaklardan sağlanmaktadır (1).

Ülkemizde kullanılmakta olan enerjinin büyük bölümü birincil enerji kaynakları vasıtasıyla karşılanmaktadır. Türkiye’de tüketilen toplam birincil enerji, 2016 verilerine göre 129,27 Mtep (milyon ton eşdeğer petrol) olarak gerçekleşmiştir ve kaynak türüne göre %31 doğalgaz, %30 petrol, %17 taş kömürü, %13 hidroelektrik ve yenilenebilir enerji kaynakları ve %9 linyit şeklinde sıralanmaktadır (Kaya vd. 2018). Enerji Bakanlığı’nın verilerine göre, 2019 Eylül ayı sonunda toplam kurulu güç 90.720 MW’ a ulaşmıştır ve elektrik enerjisi üretiminde en büyük paya sahip olan kaynaklar sırası ile % 31,4 hidrolik enerji, % 28,6 doğal gaz, % 22,4 kömür, % 8,1 rüzgar, % 6,2 güneş,

% 1,6 jeotermal ve % 1,7 diğer kaynaklar şeklinde değişmektedir (2). Son dönemde rüzgar, güneş, biyokütle gibi yenilenebilir enerji ile hidroelektrik santrallerinin elektrik üretimindeki payı artmış olsa da, hala en yüksek kaynak kullanımı fosil yakıtlı santrallerdedir.

Proses için kritik bir öneme sahip olduğu düşünülen parametreler göz önünde bulundurularak oluşturulan matematiksel ifadelerle dayalı modeller, enerji santralleri ve endüstriyel tesislerin günlük çalışmasını anlayabilmek için oldukça yararlıdır, ancak bu tür modeller genellikle karmaşık bir yapıya sahiptir ve büyük ölçekli tesisler için bu fiziksel modelleri kullanılarak gerçekleştirilen çıkış parametrelerinin kestirimi için uzun zaman harcamak gerekmektedir (Tunçkaya vd. 2015). Bu riski düşürebilmek ve etkin bir modelleme çalışması yapabilmek amacıyla çeşitli veri madenciliği teknikleri kullanılarak gerçekleştirilen bu çalışmada, matematiksel modellerin yerine yazılım simülasyonu vasıtasıyla farklı bir yaklaşım geliştirilmekte ve tahminleme başarımını olabildiğince arttırmak hedeflenmektedir. Son dönemde, fosil yakıtlı enerji santrallerinin işletme ve bakım performanslarının geliştirilmesine yönelik yeni çalışmalar sunan araştırmacıların özetlendiği literatür çalışmaları şu şekilde gösterilmektedir.

Kazan ve buhar türbinlerinin verimli çalışması için, superheat ve reheat buhar sıcaklığı değerlerinin geleneksel PI kontrolörü kullanılarak modellenmesi, zaman gecikmesi ve türbin yükünün bir fonksiyonu olarak değişen işlem dinamikleri nedeniyle zordur. Bu nedenle 250 MW’ lik bir kazanın buhar superheat ve reheat sıcaklığı dinamik modelleme teknolojisi sağlayan bir Smith kestirimci uygulaması ile kontrolü sağlanmıştır. Simülasyon sonuçları sonrasında önerilen tasarımın, herhangi bir bozukluk ve zaman gecikmesi nedeniyle meydana gelen buhar sıcaklığındaki olağandışı geçici tepkileri PI kontrolörüne göre daha doğru modelleme ve kontrol etme yeteneğine sahip olduğu görülmüştür (Saran *et al.* 2016).

210 MW üretim gücüne sahip bir termik enerji santralinde, kazan çıkış buhar sıcaklığının optimal

kontrol stratejisi kapsamında sunulan matematiksel model ile tahminleyen bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Kapalı çevrim döngü kontrolündeki 8 ila 10 dakika arasındaki proses gecikme farkı nedeniyle ± 10 °C sıcaklık farkı oluşmaktadır. Çalışmada sunulan 8. dereceli matematiksel model ve Kalman filtre tabanlı öngörümü denetleyici kullanılarak kazan buhar sıcaklığının ± 2 °C' lik yaklaşıklıkla tahminlenmekte ve kontrol edilmekte olduğu, böylece kazan veriminin arttırılabileceği gösterilmiştir (Valsalam *et al.* 2011).

Bir diğer çalışmada ise, 300 MW' lık bir güç santrali kazan ünitesi süperheater buhar sıcaklığı için ters dinamik nöro-denetleyici (IDNP) tasarlanmış ve kullanılmıştır. Süperheater sistemi modellemesi için kullanılacak ters dinamik proses modeli (IDPM) yapısı tekrarlayan YSA modeli kullanılarak oluşturulmuştur. İki adet ters dinamik sinir ağı modeli iki aşamalı su sprej sistemi uygulayıcısı olarak ayrı ayrı kurulmuştur. Sinir ağı geçmiş verilerle eğitilmiştir ve IDNP' ler yeterince iyi eğitilmiş olan IDPM' ler tarafından dizayn edilerek buhar sıcaklığı kontrolü için kullanılmaya başlanmıştır. Ayrıca kararlı çalışma dönemindeki hataları kompanze edebilmek için basit bir PI kontrolör dizayn edilerek IDNP sistemine entegre edilmiştir. Gerçekleştirilen simülasyon sonuçları, IDNP kontrolörünün klasik PID yöntemine göre daha iyi sonuçlar elde ettiğini göstermektedir (Ma *et al.* 2010).

Biyokütle enerji santrallerinde kazan kirlenmesi davranışını analiz etmek için kullanılan yapay sinir ağı tabanlı bir teknik ile ısı transferi sırasında ısı emiliminin, kazan buhar sıcaklığının azalması ve termal verimliliğin kaybedilmesi takip edilmektedir. Eşitlik bazlı matematiksel modellere göre daha güçlü avantajlar sunan sinir ağı modelinin, gerçek verilerle uyum içerisinde olduğu, kazanların kirlilik etkisini kontrol etmek ve azaltmak için kullanılabileceği rapor edilmiştir (Romeo and Gareta 2006). Normal ve güvenli çalışma koşullarında performansı korumak için, kritik zamanda muhtemel kazan duruşlarının tespit edilmesi çok önemlidir. Diyagnostik ve arıza tespit için FDDNN yapay sinir ağı

modelinin kullanıldığı bir başka çalışmada, 32 adet farklı kazan değeri giriş parametresi olarak kullanılmıştır ve hata tespiti için insana bağımlılığı minimize edecek karmaşıklıkta bir mimari ile tatmin edici bir performansa ulaşıldığı görülmüştür (Alnaimi and Al-Kayiem 2011).

600 MW' lık farklı bir süperkritik enerji santralinde kazan buhar sıcaklığını modellemek için radyal temel fonksiyonuna dayanan en küçük kareler destek vektör makinaları (LS-SVM) yöntemi kullanılmıştır. Destek vektörlerinin ayarlanması için eğitim sürecindeki en küçük yapısal riske uyum sağlayan budama algoritmasının kullanıldığı çalışmada, LS-SVM yönteminin doğrusal olmayan ve zamanla değişen bu proses için başarılı sonuç verdiği gösterilmiştir (Haijun and Jingru 2012).

Bu sene gerçekleştirilen benzer bir çalışmada, biyoyakıt temelli bir kazan prosesi üzerinde buhar sıcaklığını kestiren makina öğrenmesi tahminleyici model sistematığı sunulmaktadır. Kazanın tasarım sıcaklığı olan 400 °C' nin üstündeki çalışma bölgelerinde (420-440 °C) bozulma ve zararlı koşulları teşhis eden bir kök neden analizinin araştırıldığı çalışmada, kazan kontrol sisteminden elde edilen veriler YSA, destek vektör regresyon ve rasgele orman makina öğrenmesi yöntemleriyle analiz edilmiştir. Çalışma sonunda kullanılan modellerin kazan çalışma trendlerini başarılı bir şekilde yakaladığı ve buhar çıkış sıcaklığına etki eden faktörlerin ağırlığını tespit edebildiği bulunmuştur (Laubscher *et al.* 2018).

Bu çalışmanın temel amacı, Türkiye' de kurulu bulunan 600 MW nominal elektrik üretim kapasitesine sahip bir termik enerji santralinin, önemli çalışma göstergelerinden birisi olan ana buhar sıcaklığı parametresini modellemek, matematiksel ve istatistiksel yaklaşımlarla yeni bir veri madenciliği yöntemi geliştirerek tahminleme yapan bir kurallar sistemi oluşturmaktır. Sunulan modellerin sonuçları, ana buhar sıcaklığı parametresinin ve dolayısı ile santralin verimliliğinin nasıl etkilediğini ortaya koyarak, tesis işletme grubu için ileriye dönük stratejik bir rehber olacaktır. Bu çalışmada modelleme güncel yapay zeka

yaklaşımlarından biri olan YSA ile istatistiksel regresyon analiz metodu olan ARIMA yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilmektedir.

Güvenilir ölçümlerin kolay yapılamadığı, geçerli matematiksel modellerin bulunmadığı çok karmaşık, zamanla değişen ve doğrusal olmayan sistemler söz konusu olduğunda, yapay zeka yöntemleri araştırmacılara yeni yaklaşımlar geliştirmeyi teşvik etmektedir (Tunçkaya, 2017). Önerilen YSA metodu, son yıllarda örüntü tanıma, sınıflandırma ve tahminleme uygulamalarındaki çoklu avantajları nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Bir diğer taraftan literatürde yüksek başarımlı tahminleme yeteneğine sahip olduğu gösterilen ve regresyon temelli tekniklere göre daha güçlü olduğu bilinen YSA modelinden elde edilen sonuçlar, literatürde daha çok karşılaştırma amacıyla kullanılan bir istatistiksel yöntem olan ARIMA modeliyle kıyaslanmaktadır.

Çalışmada modelleme sonuçlarının başarımlı analizleri, kök ortalama karesel hata ve regresyon katsayısı performans kriterlerine göre karşılaştırılmıştır. Termik enerji santrali prosesi, önerilen modeller, malzeme, yöntem ve deneyler takip eden bölümlerde açıklanmaktadır, son bölümde ise modelleme çıktıları karşılaştırmalı olarak yorumlanmaktadır ve santral işletme grubu için daha etkin bir çalışma ve kontrol ortamı sağlayabilmek için yeni öneriler sunulmaktadır.

2. Fosil Yakıtlı Termik Enerji Santrali Prosesi

Termik santraller, fosil yakıtların kullanıldığı, genel proses akışı ile yoğun olarak su ve buhar hal dönüşümlerinin gerçekleştirildiği, kazan ünitesinden yüksek basınç ve sıcaklıktaki buharın, türbin ünitesine iletilmesi ve türbin rotoruna bağlı jeneratör ünitesi vasıtasıyla elektrik enerjisinin üretildiği endüstriyel tesislerdir (Tunçkaya vd. 2015). Ana yakıtı kömür olarak santrallerde, kömür öncelikle toz hale getirilir ve kazanlara üflenerek ısıtılmış hava ile reaksiyona girmesi sağlanır. Kazan bu tür santrallerin en kritik proses ekipmanıdır ve ısı enerjisini tüpler içerisinde dolaşan suya aktararak

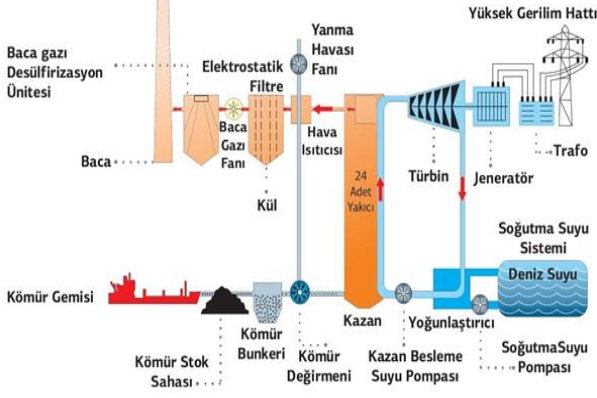
yüksek sıcaklık dönüşümünü sağlamaktadır. Besleme suyu pompasından alınan su kazana gönderilir ve kazanda ısıtılan su önce buharlaşır, sonrasında kızdırıcı ünitesinden geçirilerek nemi alınarak kızdırılmış olur.

Kızgın buharın türbin ünitesine gönderilmesi ile buhar türbininin kanatlarına çarpan buhar ile türbin belirli bir hızda döndürülür. Buhar türbinine bağlı alternatör ile bu dönme hareketi elektrik enerjisine dönüştürülmüş olur. Belirli akım ve gerilim aralığındaki elektrik enerjisi, yükseltici trafo vasıtasıyla yüksek gerilim enerji nakil hatlarındaki değerlere uyumlu olarak iletilmiş olur. Buhar türbinindeki çürük buhar kondenser ünitesine gelerek yoğunlaşır, tekrar su fazına dönüştürülür ve besleme suyu pompası ile tekrar kazan ünitesine gönderilir. Böylelikle, bir döngü içerisinde devam eden bu su ve buhar dönüşümleri ile sürekli olarak bir elektrik enerjisi üretimi gerçekleştirilmiş olur.

Evaporatör, ekonomizer, drum, superheater gibi ekipmanlardan oluşan kazan bölümünde, kömürün orantılı ve kontrollü olarak yakılması genel santral verimliliği açısından çok önemlidir (Chandrasekharan *et al.* 2017). Ekonomizer, kazana gönderilen basınçlı besleme suyunun uğradığı ilk bölümdür. Kazanın en soğuk kısmı olan ekonomizer besleme suyunun ısıtılması için kullanılır. Ekonomizerden gelen suyun, sıvı haldeki su ve buhar olarak ayrıştığı bölüm olan evaporatör, buharlaştırıcı olarak da adlandırılır. Suyun aynı anda su ve buhar olarak iki farklı fazda bulunduğu kısım ise tambur olarak adlandırılan drum ünitesidir. Superheater ya da kızdırıcı olarak adlandırılan ünite ise buhar sıcaklığının artırılarak kızdırıldığı kısımdır.

Besleme suyu, ön ısıtma amacı için ekonomizer ünitesine girerek ısıtılır ve buhara dönüşüm için tambur ünitesine iletilir. Sıcak suyun doymamış buhar haline geldiği ekonomizer ve yükselticiden sıcak su transfer eder. Doymamış buhardan gelen buhar ve su damlacıkları, sırasıyla, tambur ünitesinin üst ve alt kısımlarında ayrılır. Buhar daha sonra kızdırıcıya aktarılır ve su, dönüşüm için tamburun içinde dolaşır. Böylece doymamış buhar, superheater ünitesinde doymuş buhara

dönüştürülür (Chandrasekharan *et al.* 2017). Bir termik santrale ilişkin temel ekipmanlar ve proses akış şeması aşağıdaki şekilde verilmektedir.



Şekil 1. Fosil yakıtlı bir termik elektrik santrali prosesine ilişkin akış şeması

Enerji santralleri için önemli verimlilik göstergelerinden birisi olan ısıl verimlilik ve ısı dengesi terimini hesaplayabilmek için, kazana farklı formlarda giren ve çıkan enerji toplamlarının hesaplanabilir olması gerekmektedir. Tüketilen buharda etkili olan ısı enerjisi çıktısının kazana giren ve üretilen buharda etkili olan toplam ısı enerjisine oranının yüzdesi kazanın ısıl verimliliğini ifade etmektedir ve bu değer aşağıdaki ifade kullanılarak hesaplanmaktadır (Shah and Adhyaru 2011).

$$\eta = \frac{Q \times (H-h)}{q \times GCV} \times 100 \quad (1)$$

Bu eşitlikte Q (kg/saat) kazanda saat başına üretilen toplam buhar miktarını, q (kg/saat) kazanda saat başına kullanılan toplam yakıt miktarını, GCV (kcal/kg) kullanılan yakıtın genel kalorifik değerini, H (kcal/kg) doyuma ulaşmış buhar entalpisini ve h (kcal/kg) besleme suyu entalpisini göstermektedir.

Giriş-çıkış yöntemi olarak adlandırılan bu yöntem ile hesaplamada sadece ısı girdisi ve faydalı buhar çıktısı değerlerini bilmek yeterlidir. Isı kayıplarının hesaba katılmaması nedeniyle bu formülde bir dezavantaj bulunmaktadır. Bu nedenle literatürde aşağıda gösterilen formül ile hesaplanan ve dolaylı model olarak adlandırılan farklı bir ısıl verimlilik hesabı daha bulunmaktadır (Tunçkaya vd. 2015).

$$\eta = 100 - L \quad (2)$$

Formülde L ifadesiyle gösterilen ısı kayıplarını genel olarak suyun baharlaşma nedeniyle kaybı, iyi yanmamış atık gaz, yakma havası ve yakıttaki nemlenme kaybı, termal radyasyon, yanmayan yakıt külü kaybı ve hesaplanamayan diğer kayıplar ifade etmektedir.

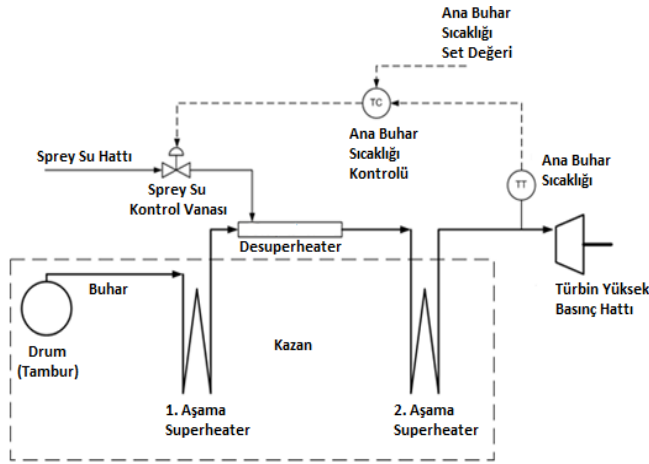
Termik santrallerde, özellikle kazan ve buhar türbin ünitelerinde çok fazla sayıda basınç, sıcaklık, akış, seviye ölçümleri ile yakıt, hava, su, buhar gibi kritik parametrelere yönelik kontroller ve izlemeler üst seviyeli kontrol sistemleri vasıtası ile yürütülmektedir. Matematiksel yaklaşımlar ve fiziksel formülasyona dayalı eşitlikler kullanılarak tesis prosesini modellemek mümkündür, ancak çok fazla parametreye dayanan ve doğruluğu zaman zaman tartışma konusu olan bu yöntemler doğası gereği karmaşıktır ve yinelemeli optimizasyon yöntemleri nedeniyle oldukça zaman alıcıdır (Tunçkaya vd. 2015). O nedenle, hem bu modeller için bir karşılaştırma hem de doğrulama yöntemi olarak yapay zeka ve deneysel yazılımsal yaklaşımlar ile tahmin çalışmaları gerçekleştirilmektedir.

Günümüzde alternatif yenilenebilir enerji kaynaklarıyla elektrik enerjisi üretimi anlamında hızlı bir dönüşüm yaşanmakla birlikte, klasik üretim yöntemlerinin başında gelen termik santraller, bir takım avantajları nedeniyle halen yaygın bir şekilde kullanılmaya devam etmektedir. Özellikle süperkritik ve ultra süperkritik termik santrallerdeki teknolojik gelişmeler ile verimlilik oranları %50' leri aşmaktadır (Kocatepe ve Yıldız 2016).

Enerji santrallerinde, üzerinde hassasiyetle durulması gereken önemli proses parametrelerinden birisi de ana buhar sıcaklığı değeridir (Mazalana *et al.* 2014). Ana buhar sıcaklığı, bir taraftan nominal verimliliği korumak ve güçlendirmek, diğer taraftan da özellikle kazan borulama sistemi, kazan ve tesis güvenliği için kontrol altında tutulmalıdır. Bu değer başarılı bir şekilde kontrol edilmesi, ayrıca dengeli bir yük üretimi ve gönderimini de garanti altına almaktadır. Ancak, bu sıcaklık değerinin doğrusal olmayan, değişken, uzun ölü zaman ve yüke bağlı davranışları, kontrol edilmesini zorlaştıran etkenler olarak ortaya

çıkılmaktadır. Günlük operasyon sırasında üretimin %100 seviyelerinden, ani ya da planlı olarak %30-40' lı seviyelere çekilmesi, ana buhar sıcaklığı değerlerindeki oynaklığı, doğrusal olmayan değişimleri ve kontrol zorluğunu beraberinde getirmektedir (Peng *et al.* 2001).

Ana buhar sıcaklığı kontrolü, tesis ekipmanının kullanım ömrünü, verimliliğini ve kapasitesini etkilemesi açısından oldukça önemlidir. Çok yüksek sıcaklıklar, termal şok etkisini tetikler ve mekanik boru sistemine yapısal zararlar verir, düşük sıcaklıklar ise diğer parametrelerde kararsızlığa sebebiyet vermektedir (Mazalana *et al.* 2014). Azalan sıcaklığı arttırmak için yeniden ısıtma ekipman sıcaklığı ve ana buhar sıcaklığı değerlerinin hızlı bir şekilde arttırılması gerekir ve talep edilen santral yükünün istenilen zamanda elde edilememesi problemine neden olabilmektedir. Tipik bir kazan sistemi için ana buhar sıcaklığı kontrolünü gösteren mimari aşağıdaki şekilde verilmektedir.



Şekil 2. Bir kazan sisteminde ana buhar sıcaklığı ve kontrol sistemi ekipmanlarının şematik gösterimi

Termik santral otomasyon ve kontrol sistemlerinde genel olarak PID (oransal, integral, türev) tipinde kontrolör yapısı kullanılmaktadır. PID kontrolörü, yalın mimarisi ve sağlamlığı nedeniyle endüstriyel uygulamalarda sıklıkla tercih edilmektedir, ancak bu denetleyicinin bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Genel olarak, santrallerin otomasyon sistemlerinde ana buhar sıcaklığı kontrol algoritması ana buhar sıcaklığı değerinin olabildiğince stabil tutulması temeline dayanmaktadır.

Kontrol işlemiyle, ana buhar sıcaklığı proses değerinin, set edilen değerlere yaklaştırabilmek için su spray sistemi kontrol vanası çıkışındaki daha düşük sıcaklıktaki buhar karışımı ile ayarlanması hedeflenmektedir. Spray su kontrol vanası ise tek ya da iki aşamalı superheater hattından gelen kızgın buhar ve spray su hattından gelen düşük sıcaklıklı suyun desuperheater ünitesinde karışımı ile bu oranının döngüsel olarak kontrolü yöntemiyle regüle edilmektedir. Böylelikle kullanılan bu iki kaskat kontrol sistemi ile ana buhar sıcaklığının düzenli olarak ve belirlenen set değerlerine olabildiğince yaklaştırılması hedeflenmektedir.

Bir santralde, en zorlu kontrol döngülerinden biri olan buhar sıcaklığı, çok sayıda etmene bağlı olarak değişkenlik gösterir ve bu zorluğa ek olarak, kazan yükü, bu yükün değişim oranından, hava akış hızından, yakma sisteminden ve borulama sistemi üzerindeki kurum miktarından da anlık olarak etkilenmektedir. Kazan içindeki kazan besleme suyundan ayrıldıktan sonra buhar, buhar türbini ünitesinin ısı verimliliğini arttırmak için aşırı derecede ısıtılmaktadır. Modern kazanlarda buhar sıcaklığının yüksekliği, kazan borularında çeliğin deformasyon sürecini hızlandırır ve kazanın kullanılabilir ömrünü kısaltabilir. Bu nedenle, ana buhar sıcaklığı değerini sabit tutmak ve bir anlamda kontrol altına alabilmek, kazan ve türbin üzerindeki termal gerilimleri en aza indirebilmek ve işletme verimliliğini arttırabilmek için çok önemlidir.

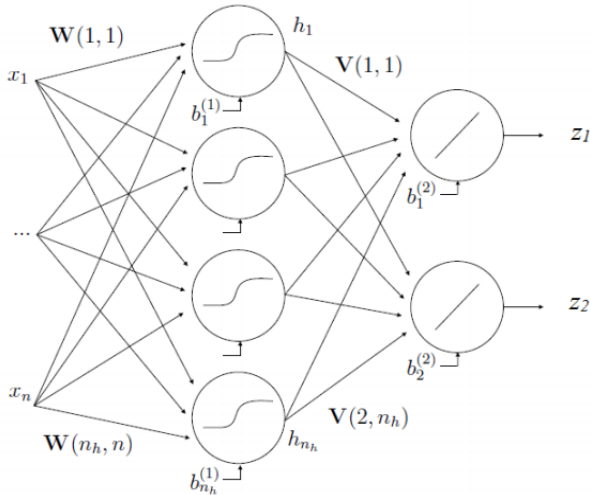
3. Çalışmada Kullanılan Modeller

3.1 Yapay sinir ağı modeli

İnsan beyninin ve merkezi sinir sisteminin biyolojik bir fonksiyonel gösterimi olarak kabul edilen Yapay Sinir Ağ modeli, son dönemde regresyon hesaplamalarının açıklamakta zorlandığı konularda regresyon analizine ve istatistiksel çalışma mimarisine alternatif bir yöntem olarak eşleştirme, kestirim, örüntü tanıma, sistem tanımlama ve optimizasyon gibi uygulamalarda sıkça kullanılmaktadır. Özellikle çok sayıda parametrenin

bulunduğu karmaşık problemlerin çözümünde yüksek başarımlı gösteren bu model, yoğun veriye sahip üst düzey otomasyon sistemleri ile kontrol edilen endüstriyel tesislerin, doğrusal olmayan problemlerin ve yüksek hacimli işlemin analizi için oldukça uygundur (Tunçkaya vd. 2015).

Bir sinir ağı, araştırmacının elinde bu sistem için gerekli miktarda veri varsa, tanımlanan ve sisteme uygulanan girdi kümesinin, belirli ayarlama ve işlemler gerçekleştirmek suretiyle çıkış kümesini üretilebileceği şekilde kullanılabilir (Önder ve Hasgül 2009). Kestirim başarısı, seçilen giriş parametrelerinin çıkış parametresi ile ilişkisinin yüksekliğine bağlıdır, az sayıda giriş değişkeni seçilirse modelleme başarısız olur, çok fazla değişken seçilirse de hesaplama hızı ve veri boyutunda olumsuz bir etki meydana gelir. Bu nedenle giriş parametre sayısı ve seçiminin, sistemi düzgün bir şekilde karakterize edebilen ve hesaplama hızını da minimumda tutacak şekilde optimize edilmesi gerekmektedir. Şekil 3'te tek gizli katmana sahip bir sinir ağı modeline ilişkin yapı mimarisi gösterilmektedir.



Şekil 3. Çok katmanlı bir sinir ağı model mimarisi

Bir YSA, temel olarak giriş katmanı, bir ya da birden fazla sayıda gizli katman ve çıkış katmanlarından oluşmaktadır ve geçmiş örnekleri kullanarak girdi çıktı değerleri arasındaki ilişkiyi öğrenmeye çalışmaktadır. Daha önceden belirlenmiş tip ve sayıda giriş parametresine ait normalleştirilmiş ham veriler öncelikle giriş katmanından ara bağlantılar ile

gizli katmandaki nöronlara bağlanır. Her bir nöron, sinaps olarak adlandırılan bağlantı linkleri ile birbirine bağlıdır ve dışarıdan ya da ona bağlı diğer nöronlardan gelen girdileri almaktadır. Bu bilgiyi her bir girdi ağırlığına veya bağlantı kuvvetine göre toplamaktadır ve böylece çıktı, eğitime işlemine tabi tutulmuş ağı, çıkış sınırları belirlenerek seçilen bir transfer fonksiyonunun uygulanması ile elde edilmektedir. Tek katmanlı bir yapay sinir ağının, i. gizli katman nöronunun çıktısı h , eşitlik (3)'te gösterilen formül ile hesaplanmaktadır (Kara vd. 2015).

$$h_i = f^{(1)} \left(b_i^{(1)} + \sum_{j=1}^n W(i,j)x_j \right) \quad (3)$$

W ağırlık matrisi olarak tanımlanmaktadır ve yukarıdaki eşitlik (3)'te yer alan $W(i,j)$ i. gizli katmanın j. girdi bağlantısının ağırlık katsayısını göstermektedir. Çıktı (z) eşitlik (4)'te gösterilmekte olan formül ile hesaplanmaktadır.

$$z_i = f^{(2)} \left(b_i^{(2)} + \sum_{j=1}^{n_h} V(i,j)h_j \right) \quad (4)$$

Burada V ağırlık matrisi olarak adlandırılmaktadır ve eşitlik (4)'te yer alan $V(i,j)$ j. gizli katmanın i. çıktı bağlantısının ağırlık katsayısını göstermektedir. Denklemden gösterilen b katsayıları, ilgili nörona eklenen ve bias olarak adlandırılan sabit değerlerini, f ise transfer fonksiyonlarını ifade etmektedir. Transfer fonksiyonunun literatürde genellikle hiperbolik tanjant sigmoid fonksiyonu, lineer fonksiyon, log sigmoid fonksiyonu gibi çeşitli türleri kullanılmaktadır.

Yapay sinir ağı modelinin öğrenme kabiliyeti, uygun öğrenme yönteminin kullanılması ve ağırlık değerlerinin uyumlu olarak seçilmesi ile doğru orantılıdır. Ağı verimli bir şekilde çıktı verebilmesi için anlık hataların olabildiğince düşük tutulması çok önemlidir. Hata payı, genel olarak ortalama karesel hata yaklaşımı ile kontrol edilmektedir ve ağın eğitimi sırasında bu hata değerinin önceden belirlenen değerlere ulaşması halinde kontrol işlemi sonlandırılmaktadır. Son dönemde, en başarılı maksimum komşuluk fikri üzerine kurulmuş bir en küçük kareler hesaplama yöntemi bünyesinde

barındıran geri yayılım Levenberg-Marquardt eğitim algoritması literatürde sıklıkla kullanılmaktadır (Şahin 2019).

3.2 Otoregresif entegre hareketli ortalama modeli

Kesikli, doğrusal ve stokastik süreçler içeren zaman serilerinin modellenmesinde literatürde Box-Jenkins olarak tanınan ve tek değişkene sahip olan zaman serilerinde, tahminleme için kullanılan otoregresif hareketli ortalama (ARMA) yöntemi kullanılmaktadır (Filik ve Filik 2017). Regresyon modellerinde y_t ifadesi k adet değişken $x_1, x_2, x_3, \dots, x_k$ değerleri vasıtasıyla açıklanırken, ARMA modelinde y_t , y 'nin daha önceki ya da gecikmeli değerleri ve olasılıklı hata terimleri vasıtası ile açıklanabilmektedir (Önder ve Hasgül 2009).

Bu yöntemlerde temel amaç örnek verilerden yola çıkılarak, bu verileri türeten bir istatistik modeli düşünerek karar vermek ve çıkış değerlerini tahmin etmek olarak açıklanabilir. Tahmin edilmekte olan bu modelin, tahminleme ve kestirim amacıyla kullanılabilmesinin ön koşulu, modelin özelliklerinin zaman içinde ve özellikle gelecek dönemlerde değişmemesi (yani durağan ve kararlı olması), otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon katsayılarının incelenerek uygun yapının seçilmesi gerekmektedir (Filik ve Filik 2017). Durağan olmayan bir seri, ARMA modelinin bir başka versiyonu olan ve otoregresif entegre hareketli ortalama olarak adlandırılan ARIMA (p, d, q) modeli ile, d ' inci mertebeden türevinin alınarak durağan hale getirilerek kestirim çalışmalarında kullanılabilir hale gelmektedir. ARIMA modeline ilişkin matematiksel gösterim eşitlik (5)' te verilmektedir.

$$Z_t = \varphi_1 Z_{t-1} + \varphi_2 Z_{t-2} + \dots + \varphi_p Z_{t-p} + a_t + \theta_1 a_{t-1} + \theta_2 a_{t-2} + \dots + \theta_q a_{t-q} \quad (5)$$

Burada φ_p ifadesi otoregresif operatöre ilişkin parametre değerleri, a_t hata teriminin katsayıları, θ_q hareketli ortalama operasyonu için parametre değerleri ve Z_t de, orijinal serinin d ' inci dereceden farkı alınmış zaman serisi olarak tanımlanmaktadır. Yani, $t = 1, 2, \dots, t$ değerleri için,

$$W_t = Y_t - Y_{t-1} \quad (6)$$

ifadesi birinci farklar serisi olarak tanımlanmaktadır. Burada, W_t birinci farklar serisini, Y_t ise orijinal zaman serisinin tesadüfi değişkenler serisi olarak tanımlanır. Birinci farklar serisinin yine durağan olmadığı gözlenirse, yeni serinin de tekrar farkının alınması suretiyle yeni bir durağanlık kontrolü yapılması gerekir (Tunçkaya vd. 2015). Burada, fark alma derecesinin bir olduğu durumda ($d = 1$ için) seri doğrusal, iki olması durumunda ($d = 2$ için) ise seri parabolik hale gelecektir. Orijinal seri durağan ise, yani fark alma derecesi $d = 0$ için, ARIMA modeli ARMA, AR ya da MA modeli haline dönüşür ve böylece Box-Jenkins modellerinin tümünü bünyesinde bulundurmuş olur.

ARIMA modelinin kurulmasında temel olarak dört aşamanın tamamlanması beklenmektedir. Bunlardan ilk aşama, otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon fonksiyonlarının grafiklerinden yararlanılarak genel model sınıfının belirlenmesi, ikinci aşama geçici model belirleme, üçüncü aşama geçici model parametrelerinin istatistiksel teknikler vasıtasıyla tahmin edilerek hataların kontrolünün sağlanması ve son olarak modelin tahmin amacına uygunluğunun kontrolü yapılır.

Burada, geçici modelin hatalarının otokorelasyon değerleri incelenerek, bu hataların tesadüfi olup olmadığına bakılır. Bu değerlerin fonksiyonu belirli bir şekli ifade ediyor ve gösteriyorsa, bu durum hataların tesadüfi olarak dağılmadığı şeklinde yorumlanır ve ikinci aşamaya geri dönülerek yeni bir model belirleme yoluna gidilir ve döngü bu şekilde en uygun sonuç bulunana kadar devam eder.

4. Yöntem, Veri ve Hesaplamalar

Endüstriyel tesislerde günlük operasyonları tanımlamak için kullanılan matematiksel modellerin doğruluğu, sistemde kullanılan kritik proses

parametrelerin bu modeller içerisinde uygun bir şekilde kullanılmasına bağlıdır. Genel olarak karmaşık bir yapıya sahip olan bu modellerin gereğinden fazla proses değişkeni içermesi durumunda, çok fazla sayıda iterasyona gerek duyulur ve bu durum zaman ve hesaplama zorluğuna yol açar. Özellikle yapay sinir ağları gibi yazılım uygulamaları, matematiksel modellerin kullanımındaki sıkıntılara bir alternatif olması bakımından oldukça önemlidir.

YSA modelleri, daha önceden ölçülerek kontrol sistemi bünyesinde depolanmış olan mevcut verilerin, veri madenciliği teknikleri kullanılarak konsolide edilmesi, ayıklanması ve skalalandırılması sonrasında tahminleme ve kestirim çalışmalarını gerçekleştirmek için son derece faydalı bir yöntemdir (Tunçkaya vd. 2015). Bu çalışma için seçilen 600 MW' lik termik enerji santralinde, ana buhar sıcaklığı parametresinin kestiriminin YSA yöntemi ile gerçekleştirilmesi durumunda, matematiksel modellere göre daha az parametrenin seçileceği ve daha az işlem ile etkili bir kestirim çalışması yapılabileceği öngörülmüştür. YSA uygulamaları ile birlikte kullanılan istatistiksel ARIMA modeli, sonuçların birbiriyle karşılaştırılması ve seçilen proses parametrelerinin uygunluğunu anlamak açısından oldukça yararlı olacaktır.

Enerji santrali prosesi ve otomatik kontrol sistemleri yüzlerce değişkenin düzenli olarak izlendiği, kontrol edildiği ve saklandığı kritik bir üretim sürekliliğine sahiptir. Bu değişken ölçüm değerlerinin bir kısmı ana buhar sıcaklığı parametresinin değişimine yoğun olarak etki etmekteyken, bir kısmı da nispeten daha düşük bir etkiye sahiptir. Termik santralde saha sensörlerinden ve enstrümanlarından gelen, modern otomasyon sistemleri tarafından kayıt altında tutulan proses parametrelerine ilişkin değerler, fiziksel ve kimyasal reaksiyonlara bağlı olarak anlık olarak değişmektedir. Bu değişimlerin kontrol altında tutulabilmesi için dalgalanmaların mümkün olduğunca düşük seviyelerde olması ve ani dalgalanmaların önceden kestirilebilmesi ya da prosesin bir sonraki aşamasının tahminlenebilmesi gerekmektedir.

Termik santrallerde, en kritik ekipmanlardan biri olan kazan ünitesinin çıkışındaki ana buhar sıcaklığı değeri, türbin ve jeneratör gruplarındaki enerji üretimini ve genel verimliliği önemli bir şekilde etkilemektedir. Kazan ünitesindeki yanma kontrolü ve optimizasyonu, ana buhar parametrelerinin çalışma regülasyonu ve koordinasyonunun sağlanması ile ilişkilidir. Bu çalışmada 600 MWe nominal çıkış gücüne sahip kömür yakıtlı bir termik enerji santralinin ana buhar sıcaklığı parametresinin değişimini yüksek oranda etkilediği düşünülen ve aşağıdaki tabloda verilen 16 adet değişken gözönüne alınmıştır.

Çizelge 1. Ana buhar basıncı tahminlenmesi için seçilen proses parametreleri, ortalama değerleri ve mühendislik birimlerinin gösterimi.

Seçilen Proses Parametreleri	Ortalama Değer	Birim
Ana Buhar Basıncı	21,758	bar
HP Giriş Buhar Sıcaklığı	558,976	°C
Sıcak RH Basıncı	3,132	bar
Gaz Giriş Sıcaklığı	29,814	°C
Konsenser A Sirkülasyon Su Giriş Sıcaklığı	19,822	°C
IP Buhar Sıcaklığı	559,467	°C
IP Buhar Basıncı	3,126	bar
Ekonomizer Besleme Suyu Sıcaklığı	261,739	°C
LP Isıtıcı Kondense Su Sıcaklığı	29,862	°C
LP Isıtıcı Giriş Su Sıcaklığı	76,417	°C
Deaeratör Giriş Su Sıcaklığı	128,235	°C
HP Header Giriş Sıcaklığı	172,923	°C
Ekonomizer Çıkış Su Sıcaklığı	16,726	°C
RH Su Basıncı	9,423	bar
RG Su Sıcaklığı	25,078	°C
Tesis Çıkış Gücü	559,453	MWe

Bu değişken parametrelerin seçiminde, daha önceki işletme ve bakım tecrübeleri ile literatürde bulunan bazı çalışmalardan yararlanılmıştır. Seçilen bu 16 adet giriş parametresinin her biri için 5 saniyede bir değişen 1250 adet veri kümesi kullanılmıştır ve

toplamda çıkış parametresi ile birlikte 21250 adet veri işlenmiştir.

YSA modeli MathWorks Matlab R2009b yazılımı vasıtasıyla test edilirken, ARIMA modeli için IBM SPSS 17.0 yazılımı kullanılmıştır. Matlab paket programı, YSA yöntemine ilişkin eğitim algoritması, transfer fonksiyonu, eğitilen ve test edilen nöron sayısı ile gizli nöron sayısı gibi alt parametrelerin kolay bir şekilde değiştirilebilir olması özelliği nedeniyle bu çalışma için oldukça uygundur. Bununla birlikte SPSS yazılımı da, gerçekleştirilen istatistiksel deneyler için sunduğu kullanıcı dostu veri giriş sayfası ve arayüzü nedeniyle oldukça kullanışlıdır.

Literatürde yoğun olarak kullanılmakta olan ve tahmin edilen değerler ile gözlenen değerler arasındaki farklılığı ortaya koyan performans ölçütlerinden birisi kök ortalama karesel hata (KOKH) terimidir. Bu değer, hata ortalama büyüklüğünü ölçmektedir ve gerçek veri seti ile tahmin edilen veri seti arasında bir güvenilirlik, verimlilik ve ikinci dereceden bir puanlama ölçütüdür. KOKH parametresine ilişkin matematiksel ifade aşağıdaki eşitlik (7)' de verilmektedir.

$$KOKH = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i^p - x_i^o)^2} \quad (7)$$

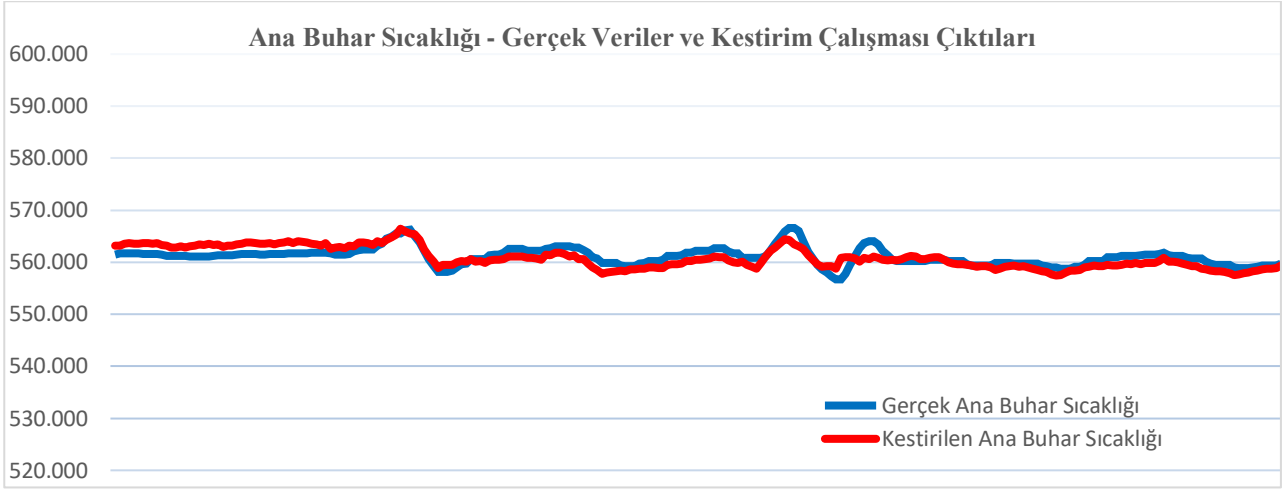
Burada, x_i^p değerleri veri setindeki orijinal değerleri, x_i^o terimi tahminlenen değerleri ve n ise toplam örnek sayısını göstermektedir. KOKH değerinin düşük olduğu durumlar, hatanın azaldığını göstermektedir ve bu durumda sistemin daha iyi ve verimli bir performans gösterdiği anlaşılmaktadır.

Bir başka istatistiksel karşılaştırma yöntemi olan determinasyon katsayısı (R^2), herhangi bir değişkendeki bir birim değişimin diğer değişkeni hangi şekilde etkilediğini bulmak için kullanılan ve değişkenler arasındaki ilişkinin yönü ile değerini saptayabilmek için kullanılan bir ifadedir (Tunçkaya vd. 2015). Determinasyon katsayısı, 0 ile 1 arasında değerler almaktadır ve eğer bu değer sıfıra yaklaşırsa aradaki regresyon ilişkisinin azaldığını bire yaklaştıkça da arada daha yüksek bir uyum ve regresyon ilişkisinin olduğu anlaşılmaktadır.

Çalışmada YSA modeli, literatürde tahminleme için sıkça kullanılan ileri beslemeli geri yayılım ağı yapısında seçilmiştir. Daha önceki deneyleri göz önünde bulundurarak en iyi performansı gösteren Levenberg-Marquardt eğitim algoritması ile işlem yapılmıştır. Aktivasyon fonksiyonu olarak Sigmoid fonksiyonu seçilmiştir.

Kullanılan veri kümesinin %70' lik kısmı öğrenme, %10' luk kısmı doğrulama ve geriye kalan %20' lik kısmı ise test amaçlı kullanılmıştır. Ayrıca işlem kolaylığı açısından gizli katman sayısı çalışmada "1" olarak seçilmiştir ve deneme-yanılma metodu kullanılarak gerçekleştirilen çok sayıda deney sonucunda optimum performansı gösteren gizli nöron sayısı ise 15 olarak bulunmuştur.

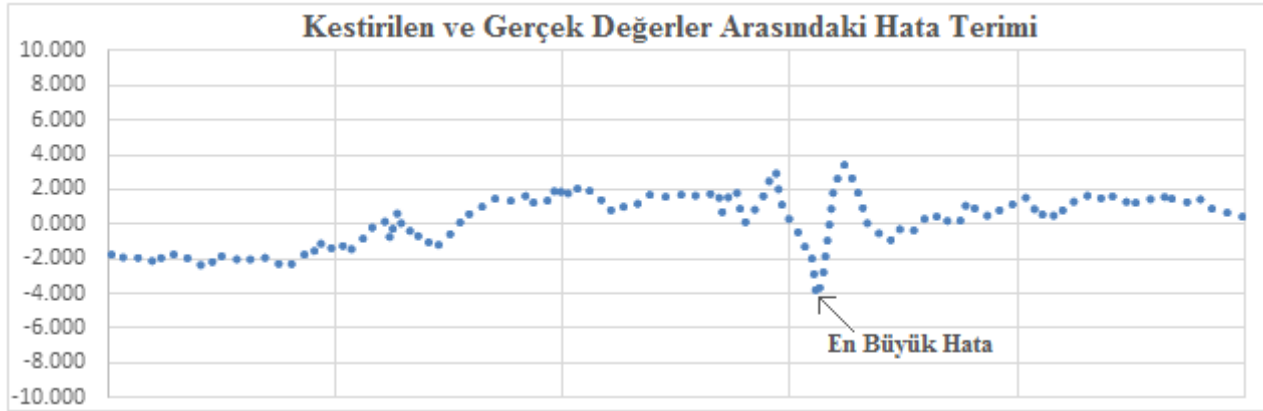
YSA yöntemi ile gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda, en iyi performansı gösteren ağ modeline ilişkin 250 adet (veri setinin %20' si mertebesinde) test edilmiş ana buhar sıcaklığı değeri aşağıda gösterilen Şekil 4' te kırmızı renk ile, gerçek ana buhar sıcaklığı değerleri ise mavi renk ile gösterilerek karşılaştırmalı olarak sunulmaktadır.



Şekil 4. Kestirilen ana buhar sıcaklığı değerlerinin gerçek değerler ile karşılaştırılması

YSA modeli ile gerçekleştirilen bu çalışmada, gerçek değerler ile kestirim sonucu elde edilen değerlerin birbiri ile çok uyumlu olduğu ve düşük bir hata oranı ile birbirlerini takip ettiği gözlenmektedir. Şekilde ana buhar sıcaklığı değerlerinin yukarı ya da aşağı yöndeki hareketlerinin model tarafından yüksek bir doğruluk oranı ile algılandığı ve iyi bir başarımın sağlandığı görülmektedir.

YSA model çıktıları incelendiğinde maksimum mutlak kestirim hatasının, gerçek ana buhar sıcaklığı değerinin 556,7 °C olduğu sıcaklık için 4,12 °C olduğu gözlenmektedir. Aşağıda gösterilen Şekil 5' te, 250 adet çıkış verisi için, gerçek verilerden toplanan proses değerleri ile kestirim çalışması sonrasında elde edilen değerler arasındaki farklar hata terimi olarak verilmektedir.



Şekil 5. Kestirilen ana buhar sıcaklığı değerleri ile gerçek değerler arasındaki hatanın gösterimi

YSA çalışması sonrasında, gerçek ana buhar sıcaklığı değerleri ile kestirilen değerler arasındaki hatanın gösterildiği grafik incelendiğinde, hata değerlerinin birkaç pik değer dışında -2 ile 2 °C aralığında yoğunlaştığı gözlenmektedir. Modelleme sonucunda R^2 terimi 0,994 gibi yüksek bir değer elde edilmiştir ve KOKH hatası değeri ise 1,489 bulunmuştur. Sonuç olarak YSA ile modellenen bu termik santrale ilişkin ana buhar sıcaklığı değerinin, yüksek bir doğruluk oranıyla ve kararlılıkla tahminlenebildiği gösterilmektedir.

Çalışmanın ikinci bölümünde, ARIMA modeline ilişkin veri kümesi SPSS paket programına yüklenmiştir. Yine YSA modelinde olduğu gibi, bağımlı değişken olarak tanımlanan ana buhar sıcaklığı değeri ve 16 bağımsız değişkene ait her biri 1250 adet veri olmak üzere toplamda 21250 adet veri işlenmiştir.

ARIMA modeli ile çalışma yapılırken, p, d ve q değerlerinin hepsi "1" olarak seçilmiştir. Gerçekleştirilen simülasyon çalışması sonrasında ARIMA (1, 1, 1) modeline ilişkin R^2 değeri 0,991 ve

KOKH değeri ise 1,971 olarak bulunmuştur. Tablo 2' de, her iki model kullanılarak gerçekleştirilen çalışmalar özetlenmektedir ve performans kriteri değerleri karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir.

Çizelge 2. Uygulanan YSA ve ARIMA model çıktılarının karşılaştırmalı gösterimi

Karşılaştırma Kriterleri	YSA Modeli	ARIMA Modeli
R ²	0,994	0,991
KOKH	1,489	1,971

5. Sonuç ve Tartışma

Bu çalışmada, 600 MWe nominal üretim gücüne sahip bir termik elektrik santralının ana buhar sıcaklığı değeri, YSA ve ARIMA yöntemleri kullanılarak modellenmiştir. Elektrik üretim miktarını ve genel verimliliği etkileyen kritik bir işletme parametresi olan ana buhar sıcaklığının değişimi, tecrübe ve literatürde gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda seçilen 16 adet giriş parametresinin değişimi ile uyumluluğu araştırılmıştır. YSA modeli için MathWorks Matlab R2009b ve ARIMA modeli için ise IBM SPSS 17.0 paket programları kullanılmıştır.

Çalışmada her parametrenin 5 saniyelik örnekleme periyodu ile alınan 1250 adet geçmiş değeri kullanılmış ve toplamda 21250 adet veri işlenmiştir. Model çıktılarının başarımlı performansları, kök ortalama karesel hata ve determinasyon katsayısı ifadeleri ile karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Optimum değerlerin elde edildiği bilgisayar simülasyonları sonucunda aşağıda sıralanan sonuçlara ulaşılmıştır.

- İleri beslemeli geri yayılım ağı mimarisindeki, bir gizli katman, 15 gizli nöron ve Levenberg-Marquardt eğitim algoritmasının kullanıldığı YSA modeli en optimum performansı göstermiştir
- Optimum YSA modelinin R² değeri 0,994 ve KOKH değeri 1,489 olarak bulunmuştur. Bu değerler, YSA modelinin oldukça başarılı

seçildiğini ve kullanılan 16 giriş parametresinin oldukça uygun olduğunu göstermektedir

- Optimum YSA modeli için en büyük mutlak hata değeri ana buhar sıcaklığı 556,7 °C olduğunda 4,12 °C olarak bulunmuştur. Çalışmada, 1250 örnek için ana buhar sıcaklığı değerlerinin 545,50 ve 566,57 °C arasında değiştiği değerlendirildiğinde, maksimum hata oranının % 0,74 mertebesinde olduğu ve hata değerlerinin -2 ve 2 °C arasında yoğunlaştığı gözlenmiştir
- ARIMA (1, 1, 1) modelinin, R² değeri 0,991 ve KOKH değeri 1,971 olarak bulunmuştur. ARIMA modeli, YSA modeline göre biraz daha kötü bir performans göstermiş olmasına rağmen, yine de yüksek bir regresyona sahip olduğu ifade edilebilir

Tüm bu sonuçlar göz önüne alındığında, benzer yapıdaki enerji santrallerinde YSA modeli ile çalışan çevrimdışı bir simülasyon uygulamasının kurulmasının katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Böylelikle işletme grubunun ve operatörlerin, giriş parametrelerinin değişimi ile ana buhar sıcaklığı değerlerini kolay ve gerçeğe yakın bir şekilde takip edebileceği değerlendirilmektedir.

6. Kaynaklar

- Alnaimi F.I. and Al-Kayiem H.H., 2011. Artificial Intelligent System for Steam Boiler Diagnosis based on Superheater Monitoring. *Journal of Applied Sciences*, **11**, 9, 1566-1572.
- Chandrasekharan S., Panda R.C. and Swaminathan B.N., 2017. Statistical modeling of an integrated boiler for coal fired thermal power plant. *Heliyon*, **3**, 6, 1-15.
- Filik Ü.B. ve Filik T., 2017. Kısa-Dönem Rüzgar Hızının Tahmininde Ototregresif ve Yapay Sinir Ağları Tabanlı Yeni Bir Hibrit Yaklaşım. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, **7**, 2, 419-427.
- Haijun T. and Jingru W., 2012. Modeling of Power Plant Superheated Steam Temperature Based on Least Squares Support Vector Machines. *Energy Procedia*, **17**, 61-67.

- Kara F., Aslantaş K. and Çiçek A., 2015. ANN and multiple regression method-based modelling of cutting forces in orthogonal machining of AISI 316L stainless steel. *Neural Computing & Applications*, **26**, 1, 237-250.
- Kaya K., Şenel M.C. ve Koç E., 2018. Dünyada ve Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Değerlendirilmesi. *Technological Applied Sciences*, **13**, 3, 219-234.
- Kocatepe C.İ ve Yıldız O., 2016. Ekonomik Endeksler Kullanılarak Türkiye’deki Altın Fiyatındaki Değişim Yönünün Yapay Sinir Ağları İle Tahmini. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, **4**, 926-934.
- Laubscher R., Engelbrecht Q. and Marais C.F.P., 2018. Application of Machine Learning Algorithms in Boiler Plant Root Cause Analysis: A Case Study on an Industrial Scale Biomass Unit Co-firing Sugarcane Bagasse and Furfural Residue at Excessive Final Steam Temperatures. *Proceedings of The South African Sugar Technologists ' Association*, **91**, 283-293.
- Ma L., Lin Y. and Lee K.Y., 2010. Superheater steam temperature control for a 300MW boiler unit with Inverse Dynamic Process Models. *IEEE PES General Meeting*, **1**, 1-6.
- Mazalana N.A., Malek A.A., Wahid M.A. and Mailaha M., 2014. Neural Network Modeling For Main Steam Temperature System. *Jurnal Teknologi*, **69**, 3, 93-97.
- Önder E. and Hasgül Ö., 2009. Time Series Analysis with Using Box Jenkins Models and Artificial Neural Network for Forecasting Number of Foreign Visitors. *Istanbul University Business Economy Institute Journal of Management*, **62**, 62-83.
- Peng H., Ozaki T., Toyoda Y. and Oda K., 2001. Exponential ARX Model-Based Long-Range Predictive Control Strategy for Power Plants. *Control Engineering Practice*, **9**, 1353-1360.
- Romeo L.M. and Garetta R., 2006. Neural network for evaluating boiler behaviour. *Applied Thermal Engineering*, **26**, 14-15, 1530-1536.
- Saran N., Anish G., Akileshwaran U. and Balaji S.R., 2016. Adaptive Superheater Reheater Control in 250mw Thermal Power Plant. *International Journal of Engineering Science and Computing*, **6**, 4.
- Shah S. and Adhyaru D. M., 2011. Boiler efficiency analysis using direct method. *2011 Nirma University International Conference on Engineering*, **1**, 1-5.
- Şahin M., 2019. İç Mekan Aydınlatma Sistemlerinde Ortalama Aydınlik Düzeyinin Yapay Sinir Ağları İle Tahmini. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **19**, 348-360.
- Tunçkaya Y., 2017. Performance assessment of permeability index prediction in an ironmaking process via soft computing techniques. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part E: Journal of Process Mechanical Engineering*, **231**, 1-6.
- Tunçkaya Y. and Köklükaya E., 2015. Comparative Prediction Analysis of 600 MWe Coal-Fired Power Plant Production Rate using Statistical and Neural-based Models. *Journal of the Energy Institute*, **88**, 1, 11-18.
- Valsalam S.R., Anish S. and Singh B.R., 2011. Boiler Modelling and Optimal Control of Steam Temperature in Thermal Power Plants. *Journal of Energy and Power Engineering*, **5**, 677-684.

İnternet kaynakları

- 1-<https://www.world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/nuclear-power-in-the-world-today.aspx>, (10.03.2020)
- 2-<https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Elektrik>, (10.03.2020)

TUSAGA-Aktif Noktaları Kullanılarak Bölgesel TEC Değerlerinin Belirlenmesi

Sercan BÜLBÜL¹

¹ Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Konya.

e-posta: sbulbul@ktun.edu.tr, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6066-611X>

Geliş Tarihi: 13.11.2019

Kabul Tarihi: 24.03.2020

Öz

GNSS (Global Navigation Satellite Systems - Küresel Navigasyon Uydu Sistemleri) sinyalleri alıcıya ulaşınca kadar birçok tabakadan geçmektedir. Bu tabakalardan iyonosfer, günün saatine, mevsimlere, coğrafi konuma ve güneşteki patlamalara bağlı olarak sürekli değişim halindedir. İyonosferin karakteristik özelliği TEC (Total electron content - Toplam Elektron Yoğunluğu) ile belirlenmektedir. TEC, GNSS ölçülerini direk olarak etkilemez fakat üretilen kombinasyonlarla kestirilebilir. Bu çalışmada Türkiye'nin kuzey doğusunda bulunan 13 TUSAGA-AKTİF istasyonu ile 12 IGS (The International GNSS Service- Uluslararası GNSS Servisi) istasyonunun bulunduğu toplam 25 istasyon seçilmiş ve değerlendirilmiştir. Değerlendirmede Bernese v5.2 Bilimsel GNSS yazılımı kullanılmıştır. 2009 yılından 2015 yılına kadar TEC değerleri ikişer saat aralıklarla hesaplanmıştır. Tek Tabaka Modelinin kullanıldığı çalışmada GNSS ölçülerinden elde edilen TEC değerleri, CODE(The Centre for Orbit Determination in Europe -Avrupa yörünge belirleme merkezi), ESA (The European Space Agency -Avrupa Uzay Ajansı), Jet Propulsion Laboratory (JPL) tarafından yayınlanan global iyonosfer haritası (GIM-TEC) ve uluslararası iyonosfer referans modeli programından elde edilen TEC (IRI TEC) değerleriyle karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda bölgesel (RIM) TEC değerleri ile global (CODE, ESA, JPL) TEC değerleri arasında büyük oranda benzerlik olduğu ve aralarındaki farkın en fazla 2,58 TECU olduğu görülmektedir. IRI' den elde edilen TEC değerleri bu dört değere nazaran daha düşüktür ve bölgesel TEC (RIM) değerleri ile aralarındaki fark 15.67 TECU (TEC unit)' ya kadar ulaşmaktadır.

Anahtar kelimeler

Bernese; GIM; GNSS;
İyonosfer; TEC;
TUSAGA-Aktif

Determination of Regional TEC Values using CORS-Tr Stations

Abstract

GNSS(Global Navigation Satellite Systems) signals pass through various layers of atmosphere until they reach the receiver on earth. the ionosphere, one of these layers, is constantly changing depending on the time of day, seasons, geographical location and explosions in the sun. One of the most important parameters expressing the ionosphere is TEC (Total electron content). GNSS signals affected by the variable structure of the ionosphere are proportional to TEC. The determination of TEC exchange is important for the modeling of the ionosphere. The TEC value cannot be obtained directly from GNSS measurements, but can be estimated by the combinations produced. 13 CORS-Tr stations which are located at northeast of Turkey and 12 IGS stations were used. At process, Bernese GNSS software was used. From 2009 to 2015, TEC values were calculated in two hour intervals. The TEC values obtained from GNSS measurements were compared with Global Ionesphere Maps published by CODE, ESA, JPL and IRI -2012. As a result of the comparison, RIM-TEC values and CODE, ESA, JPL TEC values are similar and there is a maximum difference of 2.58 TECU. TEC values obtained from IRI-2012 are lower than these four values and the difference between RIM-TEC values and IRI-2012 TEC values are up to 15.67 TECU.

Keywords

Bernese; GIM; GNSS;
Ionesphere; TEC; Cors-
Tr

1. Giriş

Teknolojinin hızla gelişmesi uydu konum belirleme sistemlerine olan ilgiyi her geçen gün artırmaktadır. Askeri amaçlı olarak 1970' lerde Amerika Birleşik

Devletleri (ABD) tarafından kurulan GPS (Global Positioning Services), daha sonra sivil kullanım alanında kara, hava ve deniz araçlarının navigasyonunda, araç takip sistemlerinde, coğrafi bilgi sistemlerinin geliştirilmesinde, iyonosfer ve

troposfer araştırmalarında uygulama olanağına kavuşmuştur (Gümrükcü 2009). Günümüzde genel adı GNSS (Global Navigation Satellite System) olan sistemde birçok (GPS, GLONASS, GALILEO (European Global Navigation Satellite System), BeiDou /COMPASS (Chinese satellite navigation system), QZSS(Quasi-Zenith Satellite System), IRNSS(Indian Regional Navigation Satellite System)) uydu sistemi bulunmaktadır (Ateş 2011).

Yeryüzünden yaklaşık 20200 km yükseklikte bulunan GNSS uydularından yayınlanan sinyaller atmosfere girdiğinde, sırasıyla iyonosferden ve troposferden geçerek GNSS alıcılara ulaşmaktadır. Nötr atmosfer olarak da adlandırılan troposfer, yeryüzünden 20 km yüksekliğe kadar olan alan içinde yer alır. Sinyalin yayılımı; büyük ölçüde sıcaklık, basınç ve atmosferdeki su buharına bağlıdır (Arslan 2004). İçinden geçtikleri ve doğal bir plazma olan iyonosfer, sürekli değişim halinde olduğundan, GNSS sinyallerinin gecikmesine neden olmaktadır. İyonosferin geciktirme etkisi, iyonosferin elektron yoğunluğuna bağlı olarak bir değişim göstermektedir. Bu etki, metreküpteki elektron sayısının fonksiyonu olarak hesaplanmaktadır (Seeber 2003). İyonosferin gözlenmesi başta GNSS olmak üzere, haberleşme, güvenlik, navigasyon gibi çalışma alanları için de önem arz etmektedir. İyonosferdeki değişim uydu bazlı çalışmaları doğrudan etkilemektedir. Son zamanlarda GNSS alıcılarının dünyanın büyük bir bölümüne yayılmış olması ve bu alıcılar sayesinde izlenen uydulardan iyonosfere ilişkin bilginin elde edilebilir olması sebebiyle, iyonosfere ilişkin çalışmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Alçay et al. 2014).

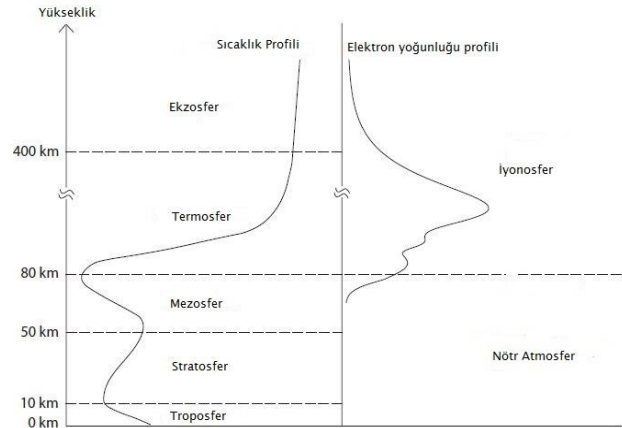
Bu çalışmadaki amaç, 2009 yılından 2015 yılı sonuna kadar Türkiye' nin Kuzey-Doğu bölgesinde bulunan 13 adet TUSAGA-Aktif (CORS-TR) istasyonu ve seçilen yıllar arasında kesintisiz veriye sahip on iki adet IGS istasyonundan yararlanarak bölgesel TEC (Total electron content - Toplam Elektron Yoğunluğu) değerlerini belirlemek, bölgesel TEC değerlerini global TEC değerleriyle karşılaştırmaktır. Bu kapsamda bölgesel TEC değerlerinin belirlenmesi için Bernese v5.2 Bilimsel GNSS yazılımı kullanılmıştır.

2. İyonosfer

Dünya atmosferi çeşitli gaz ve küçük parçacıklardan oluşmaktadır. Atmosfer kabaca deniz seviyesinden 1000 km yüksekliğe kadar olan bölge olarak tanımlanabilir. Atmosfer kütesinin %99'lık kısmı 30 km yükseklik altındadır (Memarzadeh 2009). 80 km

yükseklik ötesinde ise atmosfer iyonize molekülleri ve serbest elektronları ihtiva etmektedir.

Atmosfer ısıya, iyonizasyona ve dağılıma göre farklı tabakalara bölünebilir. Sıcaklığın düşey değişimine göre atmosfer; Troposfer (10 km' ye kadar), Stratosfer (10 km -50 km arası), Mezosfer (50 km – 80 km arası), Termosfer (80 km - 400 km arası) olmak üzere genellikle dört tabaka ile tanımlanmaktadır (Memarzadeh 2009) (şekil 2.1). Ekzosfer atmosferin en dışındaki tabakadır.



şekil 2.1. Atmosfer bölümleri (Memarzadeh 2009)

Atmosferden geçen uydu sinyalleri, sinyallerin durumunu etkilemektedir. Troposferik ve iyonosferik olmak üzere bu etkiler ikiye ayrılmaktadırlar. Troposferik etki ve iyonosferik etki uydu sinyallerini farklı etkilemektedir. Troposfer dağıtıcı bir özelliğe sahip olmadığı için, troposferik kırılma hem kod hem de faz modülasyonunda benzer etkiye neden olmaktadır. Troposfer tabakası, eğik sinyal yolu boyunca 30 metreye kadar bir sinyal gecikmesine neden olmaktadır. Bu nedenle troposferin etkisi, uydu sinyallerindeki hataların en büyük kaynaklarından biri olarak kabul edilir. Diğer yandan, iyonosfer, iyonize atmosfer tabakaları içinde, dağıtıcı özelliğe sahip olanıdır. Bu nedenle iyonosfer sinyal kodunu ve faz modülasyonunu ters yönde etkiler (Başpınar 2012, Başçıftçı 2017).

Yeryüzünden 60 ile 1100 km arasında bulunan iyonosfer, dünyayı çevreleyen ve güneş ışınları ile iyonize olmuş gazların meydana getirdiği atmosfer tabakası olarak tanımlanır (Arıkan et al. 2003, Turel et al. 2007, Aysezen 2008). Bu tabaka serbest elektronlar ve pozitif yüklü iyonlardan oluşmaktadır. Sinyal yayılımı ve ortamın elektriksel özellikleri bu parçacıklardan etkilenmektedir (Hunsucker and Hargreaves 2003, Dach et al. 2015, Başçıftçı et al. 2018). İyonosferin büyük kısmı nötr gazlardan oluşmaktadır. İyonize olmuş gazlar ise çoğunlukla güneşten gelen kısa dalga (mor ötesi ve X ısınımı)

ışınlar ile iyonlaşma sonucu oluşur. İyonosferin konuma göre değişen kırılma indisi, GPS sinyalleri için taşıyıcı frekansın fonksiyonudur (Aysezen 2008). Genel olarak iyonosfer; coğrafi konuma, jeomanyetik konuma, jeomanyetik aktiviteye, güneş aktivitesine, güneş lekeleri sayısına, mevsimselliğe, yerel zamana, nükleer patlamalara, kuvvetli yıldırım ve şiddetli fırtınalara, balistik füze uçuşlarına ve yüksekliğe bağlı değişimler gösterebilir (Wild 1994, Hawarey ve Ayan 2004, Namgaladze et al. 2012, Liu et al. 2014). İyonosfer tabakasındaki düzensizlikler, nükleer olaylar, kimyasal patlamalar ve roketlerin fırlatılışı gibi insan kaynaklı olaylar ya da güneş tutulması, güneş patlamaları, depremler, volkanlar ve manyetik fırtınalar gibi doğal olaylar nedeniyle oluşur (Afraimovich et al. 2000). İyonosferde düzensizliğe neden olan manyetik fırtınaların oluşum süreci, dünyanın manyetik alan çizgileri boyunca elektron parçacıklarının akmasıyla başlar. Bu elektronlar, güneş rüzgârı ve dünyanın manyetik alanı arasındaki karmaşık etkileşim nedeniyle yüklenirler. Yüklü elektronlar manyetik fırtınalara neden olur (Skone and Jong 2000). İyonosferdeki elektron yoğunluğu; gece/gündüz, mevsimsel, coğrafi konum ve güneşte meydana gelen manyetik fırtınalar gibi etkenlerin tümünden etkilenerek değişir. Güneş ışınımı ile elektronlarından ayrılıp serbest hale geçen elektronlar gün içerisinde yerel saatle 12:00 – 14:00 arasında en yoğun değerine ulaşır. Elektronların iyonlarla birleşmesinden dolayı geceleri iyonlaşma azalır. İyonosferdeki mevsimsel elektron yoğunluğu değişimleri dünya ile güneş arasındaki açı ve mesafe değişimlerinden kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte 11 yıllık güneş çevriminin de iyonosferdeki elektron yoğunluğu üzerinde etkisi bulunmaktadır (Komjathy 1997, Başçiftçi et al. 2017a). İyonosferin durumunu ifade etmek için kullanılan parametrelerden biri TEC'dir. TEC 1 m² kesitli silindir boyunca toplam serbest elektron miktarı olup birimi TECU (TEC Unit)'dur. 1 TECU 10¹⁶ el/m²'dir (Schaer 1999; Abdullah et al. 2009; Dach et al. 2015; Başçiftçi et al. 2017b; Ya'acob et al. 2010, Namgaladze et al. 2012, Chakraborty et al. 2014, Başçiftçi et al. 2017a). İyonosfer tabakasının bir fonksiyonu olan TEC iyonosonda, geri saçılım radarı, TOPEX/Poseidon uydusu gibi çeşitli yollarla belirlenebilmektedir. Fakat son yıllarda GNSS ile TEC belirleme çalışmaları oldukça hız kazanmıştır. Bunun sebebi diğer yöntemlere göre GNSS sistemlerinin maliyetinin az olmasının yanı sıra kesintisiz olarak iyonosferin izlenebilmesine olanak sağlamasıdır (Başçiftçi et al. 2018).

GNSS gözlemleri ile iyonosferdeki TEC değişimleri deprem öncesi, deprem anı ve deprem sonrası belirlenebilmektedir (Ulukavak ve Yalçınkaya, 2014). Depremlerden dolayı deprem bölgesi ve çevresinde elektrik ve manyetik alan değişiklikleri meydana gelmektedir. Bu değişiklikler atmosfere doğru ilerlerken iyonosfer de bulunan nötr atmosfer ile iyonize olmuş plazmanın birleşmesi sonucu (coupling), iyonosferin elektron yoğunluğu değişir (Calais and Minster 1998).

2.1. İyonosferin Yapısı

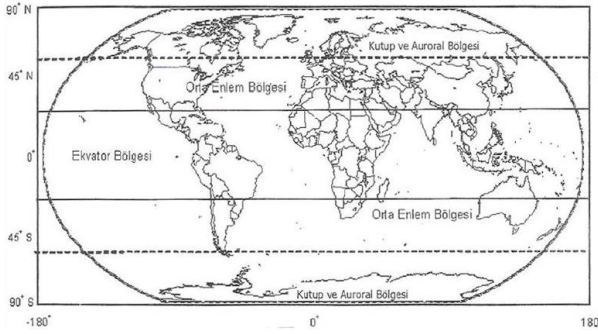
İyonosfer, coğrafi enleme göre yüksek enlem bölgesi, orta enlem bölgesi ve ekvator bölgesi olmak üzere üç ana bölgeye ayrılmakta ve yapılan bilimsel çalışmalarda bu bölgeler temel alınmaktadır (Şekil 2.2).

Yüksek enlem bölgesi auroral ve kutup bölgelerinden oluşur. Elektron yoğunluğu değerleri ekvatordakine oranla bu bölgede daha düşüktür. Ancak kısa dönemli iyonosferik değişimler ekvator bölgesine göre daha fazladır (Skone and Cannon 1999, Danilov and Lastovicka 2001). *Auroral bölge*, kuzey enlemlerde görülmekte olup zenginleştirilmiş üretken enerji yüklü elektron yağışı (precipitation) anlamına gelmektedir. Bu bölge yaklaşık 55° ile 65° coğrafi enlemleri arasında yer almaktadır. Auroral bölge Kanada, Alaska, Kuzey Avrupa ve Rusya'nın sadece bir bölümünü kapsamaktadır (Arslan 2010). Gündüz zamanı bu bölgede ultraviyole (UV) ışınlarının düşük iyonlaşma eğilimi göstermesinden dolayı iyonosferik gecikme düşüktür. *Kutup bölgesi* ise auroral bölgenin üst enlemlerinde yer almaktadır. Bu enlemlerde 50 km-1000 km uzunluğunda kümeler biçiminde yoğun elektron grupları oluşmaktadır. Bu yoğun elektron kümeleri F₂ tabakasında bulunmakta ve parlamalar (Scintillation) bu bölgede meydana gelmektedir. Bu bölgedeki TEC değeri düşüktür fakat meydana gelen ani değişimler TEC' in genel anlamda davranışını belirlemeye engel olmaktadır. Bu bölgede iyonlaşma hem güneş ışınının etkisi hem de parçacıkların birbirine çarpması sonucu gerçekleşmektedir (Başçiftçi et al. 2018). Kutup bölgesindeki yoğun elektron kümeleri 250-400 km yüksekliklerde, F₂ tabakasında bulunmaktadır (Gizawy 2003).

Türkiye' ninde içinde yer aldığı *orta enlem bölgesi*, büyük bir bölümü incelenmiş olduğundan en iyi bilinen bölgedir. İyonosferin sakin ve değişimin az olduğu bölgedir. Bu nedenle iyonosferi inceleme istasyonlarının yoğunluğu bu bölgedeki ülkelerde olduğundan en fazla iyonosfer araştırmaları orta enlem bölgesinde yapılmaktadır (Schaer 1999). Bu

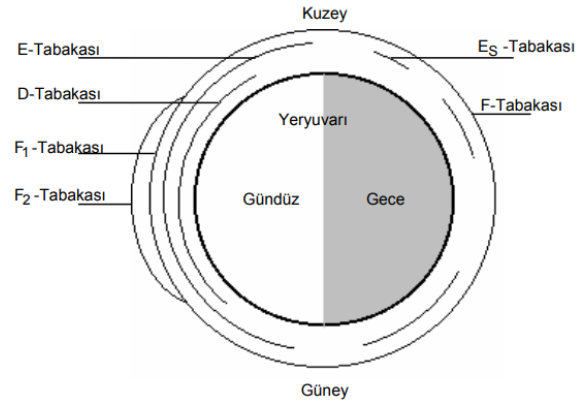
bölgede oluşan iyonlaşma genellikle güneşten gelen X ışını emisyonu ve enerji yüklü ultraviyole radyasyon ile üretilir. İyonlaşma, nötr atmosfer yanında iyonize olmuş kısımları da içine alan kimyasal işlemlerle son bulur (Arslan 2004).

Ekvatorial bölge en yüksek elektron yoğunluğunun olduğu, sinyalin genliği ve fazı sıkça değişen bir bölgedir. Bunun nedeni güçlü güneş radyasyonu ve yoğun iyonlaşmadır. Ekvator bölgesinde meydana gelen iyonosferik aktivite ekvatorial anomali olarak adlandırılır. Ekvatorial anomali, manyetik fırtına gibi nedenlerle jeomanyetik ekvatorda oluşan elektron yoğunluğu azalmasıyla tanımlanmaktadır. Bu anomali ekvator da bölgesel elektrik alanına neden olan ve global gel-git rüzgarlarıyla kontrol edilen, E tabakasının dinamosu ile değişmektedir. Günlük ekvatorial anomali yerel zamana göre 9:00-10:00 saatleri arasında başlayıp 14:00-15:00 saatlerinde en yüksek değerine ulaşmaktadır (Gizawy 2003).



Şekil 2.2 İyonosfer bölgeleri (Odijk 2002)

Farklı dalga boylarına sahip olan güneş ışınının emilmesi ve değişik yüksekliklerdeki iyonlaşma farklılıkları, iyonosferin tabaka yapısını belirlemektedir. Yükseklik arttıkça iyonlaşma miktarı da artar. İyonosferin güneşe göre olan konumu zamanla değiştiğinden iyonlaşma miktarı zamana göre de değişmektedir. Gündüz vaktinde güneş ışınları ile atomlar ve moleküller elektron ve iyonlara ayrılmasından dolayı serbest elektron miktarı daha fazladır (URL1) (Şekil 2.3). İyonosfer tabakaları sırasıyla D, E, F (F₁, F₂) olarak ifade edilmektedir.



Şekil 2.3. İyonosfer tabakaları (Wild 1994, Arslan 2004) D tabakası yerkabuğuna en yakın tabakadır. Bu tabaka yeryüzünden 60-90 km yükseklikte bulunmaktadır. Bu tabakadaki iyonlaşma güneş tarafından kontrol edilmektedir (Wild, 1994). Bu bölgenin GNSS ölçülerine etkisinin olmadığı kabul edilir (Petrie et al. 2011).

E Tabakası yeryüzünden yüksekliği 90-140 km' dir. E tabakasının normal durumunda iyonlaşma, güneş ışınımı ile oluşur. Bu tabakanın GNSS' e etkisi azdır (Başpınar 2012).

F tabakası, diğer iyonosferik tabakalardan daha fazla serbest elektron ve iyon içerir ve iki katmandan oluşur (F₁ ve F₂). F₁ katmanı, GNSS sinyalinin iyonosferde gecikmesinin %10' u burada meydana gelmektedir (Parkinson and Spilker 1996). Yapısı düzenli olup güneşteki değişimler ile kontrol edilmekte, yeryüzünden 140-200 km yükseklikte bulunmaktadır. D, E tabakaları ve F₁ katmanı iyonosferin orta bölümünü oluştururken F₂ ve daha üstü iyonosferin üst kısmını oluşturmaktadır. F₂ katmanı, düzensiz bir yapıya sahip olup yeryüzünden 200-1000 km yükseklikte bulunmaktadır (Wild 1994). F₂ katmanı iyonlaşmanın en çok olduğu katmandır. Bu katmanda elektron yoğunluğu zaman, mevsim ve güneş lekesine göre değişmektedir. GNSS ölçülerine en çok etki eden katmandır (Arslan 2004). F₂ katmanında elektron yoğunluğunun maksimum olduğu aralık 250-400 km arasında değişiklik göstermektedir. Bu değer manyetik fırtınalar, gece zamanı, ekvatorial bölge gibi etkenler ile farklılık gösterebilir (Petrie et al. 2011). İyonosfer tabakalarına ait özellikler Çizelge 2.1' de verilmiştir.

Çizelge 2.1. İyonosfer tabakalarına ait özellikler (Wild 1994, Arslan 2004)

Tabakalar	Yükseklik (km)	Elektron Yoğunluğu (1 / cm ²)		Nötr gaz yoğunluğu (1 / cm ³)
		Gece	Gündüz	
D	60-90	10 ² -10 ⁴	---	10 ¹⁵
E	90-140	10 ⁵	2.10 ⁵	2.10 ¹²

F_1	140-200	$3 \cdot 10^5$	10^3	10^{10}
F_2	200-1000	$5 \cdot 10^5$	$3 \cdot 10^3$	10^6-10^{10}

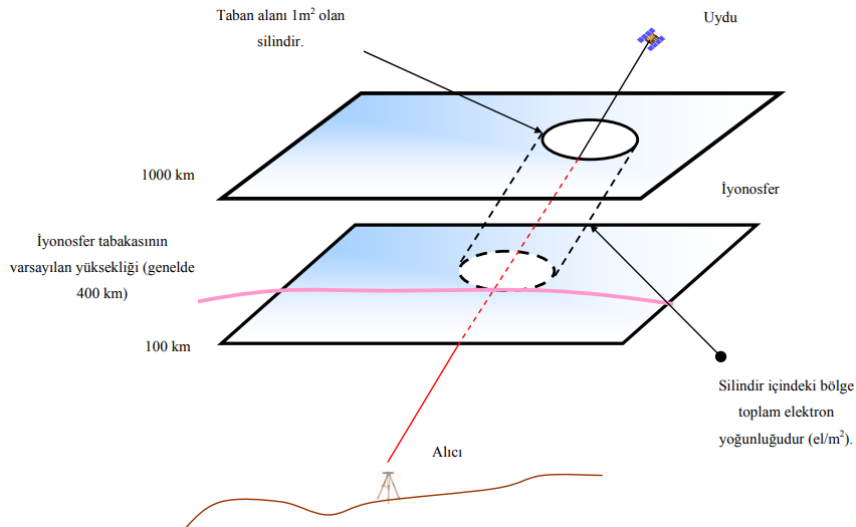
$$L_4=L_1-L_2 \quad (2.1)$$

2.2. GNSS ölçüleri ile TEC değerinin belirlenmesi

Sinyal yolu üzerinde bulunan iyonosfer veya parametresi olan TEC, serbest elektronların sayısına bağlı olarak farklılık gösterir. Serbest elektronların sayısı iklim koşulları, zaman, coğrafi enlem, güneş ve jeomanyetik değişim gibi faktörlere bağlıdır (Parkinson and Spilker 1996). İyonosferle ilgili verilere, yeryüzüne dağılmış çok sayıda GNSS gözlem istasyonu ve GNSS uydusu yardımıyla ayrıntılı bir biçimde ulaşılabilmektedir. İyonosfer, saçıcı bir ortam olduğundan GNSS uydularından gönderilen L1 ve L2 taşıyıcı sinyalleri yardımıyla TEC değerleri belirlenebilmektedir. TEC değerleri global ya da bölgesel iyonosfer yapısı hakkında bilgiler içermektedir (Davies and Hartmann 1997, Fedrizzi et al. 2001). L_1 ve L_2 faz ölçülerinin farkı olan L_4 doğrusal kombinasyonuna Taylor serisi açılımı uygulanarak Yerel (bölgesel) TEC haritası elde edilmektedir.

Bölgesel nitelikteki Taylor serisi açılımı global iyonosfer etkilerinin modellendirilmesinde yetersiz kalmaktadır. Bunun için küresel harmonik serilere açılım kullanılmaktadır (Schaer et al. 1995, Ateş 2011).

GNSS ölçüleri ile TEC değerlerinin belirlenmesi, iyonosferin yapısını anlamada kullanılan maliyeti düşük ve hızlı bir metottur. TEC, STEC (The slant TEC) ve VTEC (The vertical TEC) olarak iki şekilde ifade edilir. STEC, alıcı ile uydu arasındaki hat üzerinde hesaplanan eğik toplam serbest elektron yoğunluğu, VTEC ise alıcıya göre dik doğrultuda hesaplanan toplam serbest elektron yoğunluğudur (Zou 2010). GNSS alıcıları ile elde edilen veriler, kod ve faz gözlemlerini içermektedir. İyonosferik gecikme kod ölçüleri için pozitif iken faz ölçüleri için negatiftir. İyonosferdeki toplam elektron yoğunluğunun grafik gösterimi şekil 2.4' te verilmektedir. TEC artı işaretli bir değerdir; eksi bir değer olursa bunun nedeni alıcı ve uydu hatalarıdır (Başçıftçi et al. 2017a).



Şekil 2.4. Toplam elektron yoğunluğunun grafiksel gösterimi (Langley 2002, Arslan 20

iyonosfer tabakasının yüksekliği, akademik yazılımlarda genel olarak 450 km alınmakta ve bu yükseklikteki TEC' in en yüksek değerinde olduğu kabul edilmektedir (Komjathy and Langley 1996).

2.2.1. Tek Tabaka Modeli

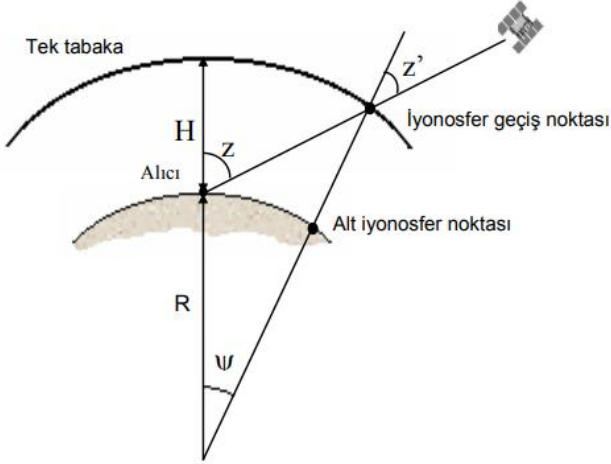
İyonosfer tabakası geniş bir banta sahiptir. Bandın tanımı için maksimum yoğunluğa sahip serbest elektronların sonsuz incelikte bir alan içinde olduğunun kabul edildiği tek tabaka (single layer) modelinden yararlanılmaktadır (Hugentobler et al.

2001). Model, iyonosferde yer alan tüm elektronların dünyadan yaklaşık 300 km ile 450 km arasındaki sonsuz incelikte bir tabakada toplandığını kabul eder (Inyurt 2015, Başçıftçi 2017). Şekil 2.5' te Tek Tabaka modeli gösterilmektedir. Tek tabaka izdüşüm fonksiyonu F_1 ,

$$F_1(z) = \frac{E}{E_v} = \frac{1}{\cos Z'} \quad (2.2)$$

$$\sin Z' = \frac{R}{R+H} \sin Z \quad (2.3)$$

eşitlikleri ile elde edilir. Burada; E : sinyal yolu boyunca elektron yoğunluğu; E_v : düşey elektron yoğunluğu; Z ve Z' : zenit açıları; R : yeryuvarının ortalama yarıçapı (≈ 6371 km); ψ : z ve z' zenit açıları farkı; H : yeryuvarı yüzeyinden tek tabakaya olan uzaklıktır.



Şekil 2.5 Tek tabaka modeli (Schaer, 1999)

Alt iyonosfer noktası, iyonosferik bilginin dönüştürüldüğü yer olup toplam elektron miktarını (düşey) temsil etmektedir.

2.2.2. Yerel TEC Modeli

$E_V(\beta, s)$ düşey toplam elektron yoğunluğunu temsil etmek için iki boyutlu Taylor serisine göre açılırsa;

$$E_V(\beta, s) = \sum_{n=0}^{n_{max}} \sum_{m=0}^{m_{max}} E_{nm} (\beta - \beta_0)^n (s - s_0)^m \quad (2.4)$$

eşitliği elde edilir. Burada; n_{max} ve m_{max} : enlem ve boylamdaki iki boyutlu Taylor serisi açılımının maksimum derecesini; E_{nm} : Taylor serisinin bilinmeyenlerini, (β, s) : iyonosfer geçiş noktasının güneş-coğrafi koordinatlarını; (β_0, s_0) : Taylor açılım merkezi koordinatlarını temsil etmektedir (Wild 1994).

Her bir uydu ve alıcı için bilinmeyen parametreler E_{nm} , en küçük kareler ilkesi uygulanarak kestirilir. Taylor dizisinin derecesi iyonosferin davranışına bağlıdır. Derecesi çok yüksek olursa kestirilen iyonosfer parametrelerinin güvenilirliği azalır (Wild 1994). E_{00} ile ifade edilen sıfır derece TEC

parametrelerinin seriye açılımı referans istasyonu üzerindeki TEC hakkında bilgi vermektedir.

GNSS ölçüleri ile TEC değerleri doğrudan istasyona ilişkin verilerden elde edilebildiği gibi oluşturulan GNSS tabanlı modellerden de çıkarılabilmektedir. Buna örnek olarak GIM (Global Ionosphere Maps) verilebilir. Ayrıca günümüzde International Reference Ionosphere (IRI) modeli, TEC bilgisinin yanı sıra, elektron yoğunluğu, iyon ve elektron sıcaklığı gibi iyonosfere ilişkin parametreleri sunmaktadır (Başçıftçi et al. 2017b).

2.2.3. Global TEC modeli

Taylor açılımı ile yapılan TEC temsili küresel anlamda yetersiz kaldığı için global TEC temsili için küresel harmonik serilere açılımı ile yapılmaktadır. Küresel harmonik serilere açılım;

$$E_V(\beta, s) = \sum_{n=0}^{n_{max}} \sum_{m=0}^{m_{max}} P_{nm}(\sin\beta) (C_{nm} \cos(ms) + S_{nm} \sin(ms)) \quad (2.5)$$

şekindedir. Burada; $E_V(\beta, s)$: Düşey Toplam Elektron Miktarı; $P_{nm}(\sin\beta)$: Normalize edilmiş Legendre Fonksiyonunu; C_{nm} ve S_{nm} : Bilinmeyen Katsayılar; n_{max} ve m_{max} : küresel harmonik açılımın maksimum derece ve mertebesi; β : enlemi; s : güneş sabit boylamı ifade etmektedir (Arslan 2004).

2.3. Global İyonosfer Haritası Üreten Merkezler (Global İyonosfer Model- GIM)

Dünyada global iyonosfer TEC haritası üreten kurumlar, İyonosfer Ortak Analiz Merkezi (IAAC-Ionosphere Associate Analysis Center) olarak adlandırılmış ve aşağıda listelenmiştir (Feltens and Schaer 1998, Orús Pérez 2005, Orus et al. 2005, Başçıftçi et al. 2017a):

- CODE: Avrupa Yörünge Belirleme Merkezi, Bern, İsviçre,
- DLR: Fernerkundungsstation Neustrelitz, Almanya,
- ESA/ESOC: Avrupa Uzay Operasyon Merkezi, Darmstadt, Almanya,
- JPL: Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, CA, U.S.A.,
- NOAA: Ulusal Okyanus ve Atmosfer Dairesi, Silver Spring, U.S.A.,
- NRCan: Doğal Kaynaklar, Ottawa, Ontario, Kanada,
- ROB: Belçika Kraliyet Gözlemevi, Brüksel, Belçika,
- UNB: New Brunswick Üniversitesi, Fredericton, N.B., Kanada,

-UPC: Katalunya Politeknik Üniversitesi, Barcelona, İspanya,

-WUT: Varşova Teknoloji Üniversitesi, Varşova, Polonya.

Global iyonosfer haritası (GIM) IONEX (IONosphere map EXchange) formatında yayınlanır. IONEX formatındaki TEC verileri bütün dünyayı kapsayacak şekilde dizilmişlerdir. Bu dizi içerisinden istenilen noktadaki TEC değeri elde edilebilmektedir. Bir noktanın enlem ve boylamı biliniyorsa iki değişkenli enterpolasyon noktayı içerisine alan en yakın 4 TEC değeri yardımıyla ilgili TEC değeri elde edilir (Schaer et al. 1998). TEC' i TECU biriminde belirleyebilmek için hesaplanan değer 0.1 ile çarpıldığında ilgili noktaya ait TEC değeri TECU biriminde belirlenmektedir. IONEX formatlı küresel iyonosfer haritaları 2'şer saatlik aralıklarla üretilmektedir. TEC değerleri için, boylamdaki artış miktarı 5° ve enlemdaki artış miktarı 2.5° olmaktadır (Arslan 2004, Orús Pérez 2005). IONEX formatından yayınlanan TEC değerlerinin doğruluğu 2-8 TECU arasında değişiklik göstermektedir. Son yıllarda yapılan çalışmalarda yaygın olarak CODE, ESA, JPL ve IRI kurumlarının yayınladıkları iyonosfer modelleri kullanılmaktadır (Gao et al. 2002, Liu et al. 2005, Mao et al. 2008, Liu et al. 2009, Hernández-Pajares et al. 2009, Scharroo and Smith 2010, Ya'acob et al. 2010, Wan et al. 2012, Bilitza et al. 2014, Leong et al. 2015, Başçiftçi et al. 2018).

CODE-GIM, IGS ve diğer kurumların yaklaşık 200 GPS istasyonu verilerini kullanarak TEC değerlerini 2 saat aralıklarla günlük bazda üretir (Todorova et al. 2003, Liu et al. 2005). CODE analiz merkezinde GIM IONEX formatlı üretilmektedir.

ESA VTEC değerleri, haritalama fonksiyonu olarak $\cos z$ ve kod gözlenebilirliği için taşıyıcı faz seviyesi kullanılarak Chapman Profili modeli üzerinde dikey entegrasyon ile belirlenir (Todorova et al. 2003).

JPL iyonosferik ve atmosferik uzaktan algılama grubu TEC değerlerini belirlemek için küresel olarak dağılmış GPS istasyonlarının verilerini kullanmaktadır. İyonosferik modelleme, dünyadan

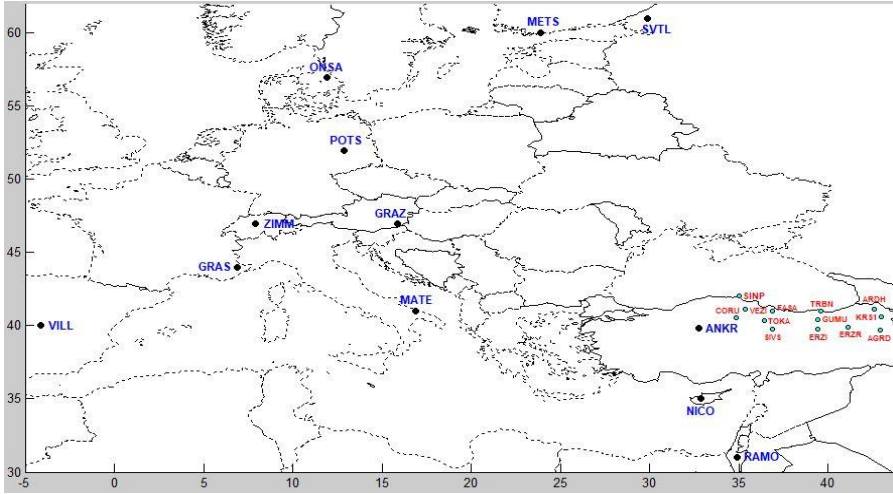
yaklaşık 350 km yüksekte olduğu varsayılan ince iyonosferik kabuğun varsayımı üzerine kuruludur (Liu et al. 2005).

GIM haritalarına ait çözümler IGS veri merkezinin sayfasından indirilebilir (URL 2). Şuana kadar farklı analiz merkezlerinin yayınladığı çözümlerde herhangi bir tutarsızlık ortaya çıkmamıştır.

IRI, İyonosfer' in yoğunluk ve sıcaklık parametrelerini aylık ortalamalar olarak tanımlamak amacıyla geliştirilmiş uluslararası standart modeldir. Bu model International Union of Radio Science (URSI) ve COmmittee on SPace Research (COSPAR) ortak çalışmasıyla geliştirilip iyileştirilmektedir (Bilitza et al. 2014). IRI, verilen yer, tarih ve saate göre 60 km ile 2000 km arasındaki iyonosfer yükseklikleri için TEC değerinin de içinde bulunduğu iyonosfere ilişkin çok sayıda parametre sunabilmektedir (Leong et al. 2015). IRI programı sayesinde TEC değerleri (URL3) internet adresinden ilgili güne ait enlem ve boylam değerleri ile online olarak hesaplanabilmektedir.

3. Uygulama

Bu çalışmada bölgesel TEC değerlerini elde etmek için toplam yirmi beş (25) istasyon kullanılmıştır. Bu istasyonların 13 tanesi Türkiye' nin Kuzey-Doğu bölgesinde bulunan TUSAGA-Aktif (CORS-TR) istasyonu olup diğerleri IGS istasyonlarıdır (Şekil 3.1) (Çizelge 3.1). Seçilen istasyonlarının 2009-2015 yılları arasında her ayın 15. gününe ait GNSS verileri temin edilmiş, verilerin değerlendirilmesi Bernese v5.2 Bilimsel GNSS yazılımı ile yapılmıştır. Bernese v5.2 Bilimsel GNSS yazılımı ile yapılan değerlendirme aşamasında, yüksek dereceden iyonosferik düzeltme (HOI: Higher Order Ionospheric) uygulanmış olsada, seçilen günlerde iyonosferik fırtınanın etkisini ortadan kaldırmak için, jeomanyetik fırtına (Kp), jeomanyetik aktivite (Dst) ve güneş aktivite (F10.7) indeksleri incelenmiştir. Mevcut günlerde herhangi bir aktivite olması durumunda aktivitenin az olduğu gün seçilerek değerlendirme yapılmıştır.



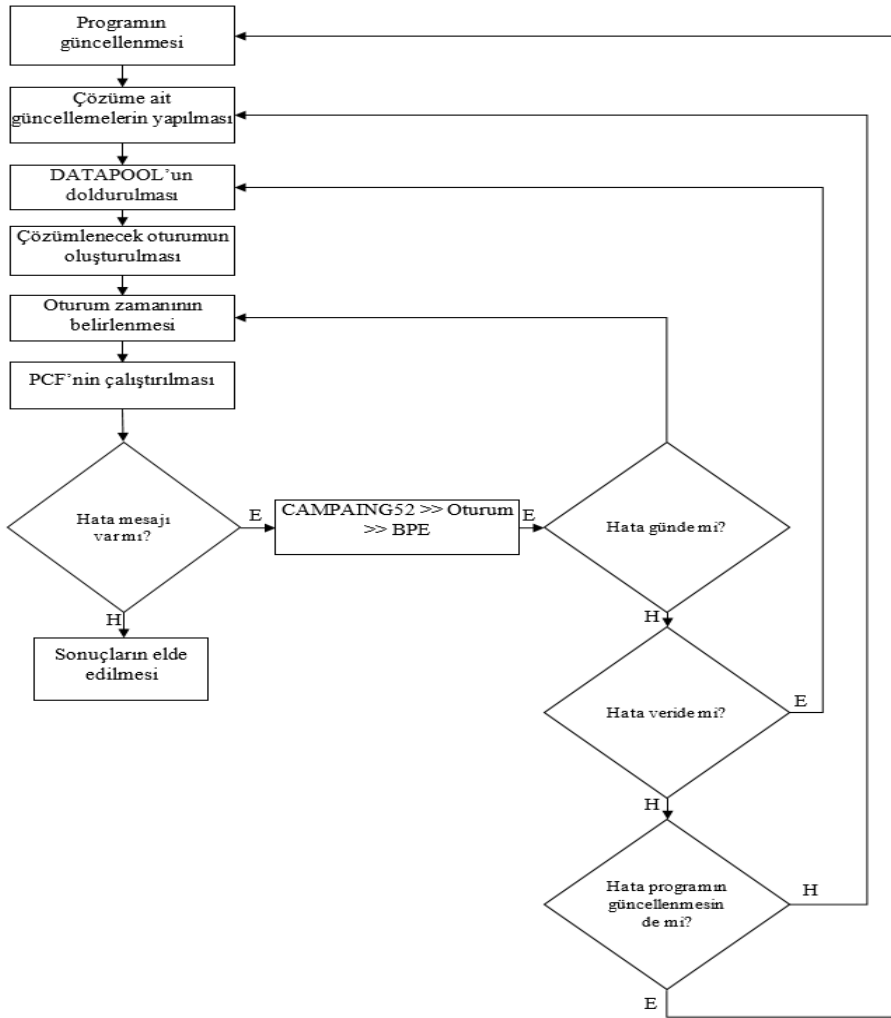
Şekil 3.1. Ağın Genel yapısı

Çizelge 3.1. Uygulamada kullanılan TUSAGA- Aktif (CORS-TR) ve IGS noktaları

TUSAGA-Aktif (CORS-TR) Noktaları	IGS Noktaları
AGRD	ANKR
ARDH	GRAS
CORU	GRAZ
ERZI	MATE
ERZR	METS
FASA	NICO
GUMU	ONSA
KRS1	POTS
SINP	RAMO
SIVS	SVTL
TOKA	VILL
TRBN	ZIMM
VEZI	

Seçilen istasyonlara ait veriler ve Bernese v5.2 Bilimsel GNSS yazılımı için hem kullanıcı tarafından hazırlanan hem de internet ortamında indirilen veriler temin edilerek çözümler gerçekleştirilmiştir.

Bernese v5.2 Bilimsel GNSS yazılımı ile çözüm sonucunda bölgesel iyonosfer modeli kullanılacağı için bu modelin elde edildiği PPP_DEMO.PCF hazır komutu kullanılarak otomatik çözümlenme yapılmıştır. PPP_DEMO.PCF otomatik çözüm modülünün iş akış şeması Şekil 3.2' de gösterilmiştir. Yapılan değerlendirme sonucunda bölgesel TEC değerleri (RIM*.INX) elde edilmiştir.



Şekil 3.2. PPP_DEMO.PCF iş akış diyagramı

Gerçekleştirilen analizler sonucunda 2009 yılından 2015 yılına kadar bölgesel TEC değerleri elde edilmiştir. Bernese v5.2 Bilimsel GNSS yazılımı ile GNSS ölçülerinden elde edilen bölgesel TEC değerlerinin karşılaştırmasını yapmak için CODE, ESA ve JPL tarafından yayınlanan GIM-TEC değerleri (URL 2) adresinden indirilmiş, IRI modelinden elde edilen TEC değerleri ilgili güne ait noktanın enlem ve boylamları girilerek (URL 3) adresinden online olarak elde edilmiştir.

Çizelge 3.2' de 2009 yılından 2015 yılı sonuna kadar yıllık ortalamaları alınarak TRBN istasyonuna ait elde edilen bölgesel (RIM) ve global (CODE, ESA, JPL, IRI) TEC değerleri, çalışmada ulaşılan minimum TECU değerleri UTC 02:00 da elde edilmiş, maksimum sonuçlar ise genelde UTC 10:00'da elde edilmesine rağmen, CODE için 2014'de UTC 08:00, 2015 de ise UTC 12:00'da, ESA için 2011 ve 2015 de UTC 12:00'da elde edilmiş ve Çizelge 3.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. TRBN istasyonuna ait 2009 yılından 2015 yılına kadar elde edilen TEC değerleri (TECU)

Yıllar	iyonosfer Modelleri	ZAMAN (UTC)											
		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
2009	RIM	6,3	5,9	7,6	9,9	11,7	12,0	11,5	10,6	10,0	8,8	7,3	6,5
	CODE	8,0	7,3	9,0	10,9	12,5	12,8	12,0	10,8	10,4	9,9	8,6	7,6
	ESA	6,0	5,2	7,2	9,7	11,7	12,0	11,7	10,9	10,7	9,8	8,0	6,6
	JPL	9,6	9,0	10,6	12,8	14,8	15,1	14,4	13,1	12,6	11,6	10,3	9,7
	IRI	1,9	1,8	3,7	6,0	7,9	8,3	7,0	5,6	4,4	3,4	2,6	2,1
2010	RIM	7,9	7,5	10,2	13,3	16,0	16,7	15,4	13,8	12,9	11,3	9,4	8,3

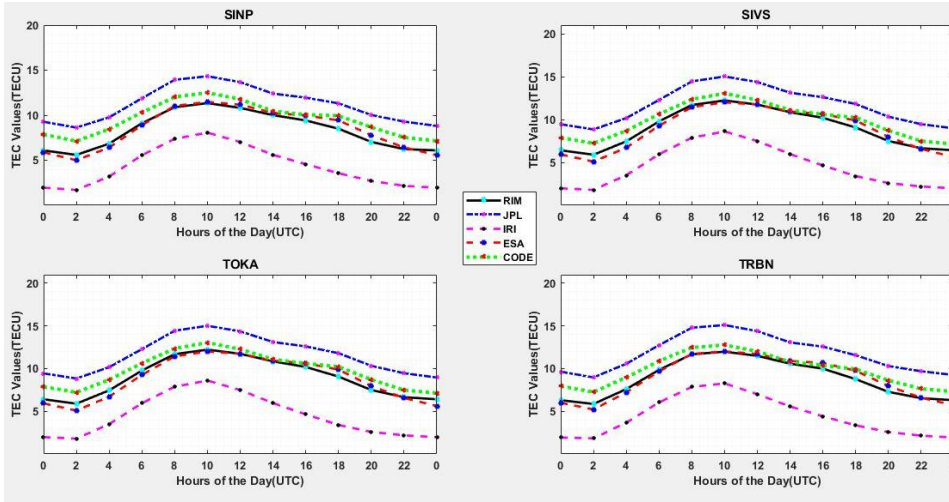
	CODE	9,8	9,2	11,8	14,5	17,0	16,9	16,2	14,5	13,4	12,9	11,8	10,4
	ESA	7,1	6,2	9,4	12,7	15,6	16,0	15,6	14,3	13,6	12,7	10,6	8,4
	JPL	10,5	9,9	12,6	15,9	18,8	19,2	18,0	16,0	14,8	13,6	12,1	10,9
	IRI	2,4	2,3	4,7	7,9	10,2	10,7	9,2	7,3	5,6	4,1	3,2	2,7
2011	RIM	10,5	9,9	14,2	20,7	24,9	26,4	25,6	21,9	18,0	14,4	12,3	11,2
	CODE	10,7	10,2	14,5	21,0	24,6	25,4	24,6	21,3	16,8	13,7	12,9	12,1
	ESA	9,2	8,4	12,9	20,0	24,4	26,1	26,2	22,7	18,8	15,5	13,4	11,7
	JPL	12,0	11,8	15,7	22,7	27,4	28,2	27,5	23,9	19,7	16,0	14,6	13,3
	IRI	3,4	3,5	7,1	12,4	15,9	16,4	14,4	11,6	8,4	5,7	4,4	3,9
2012	RIM	11,4	11,1	15,7	23,5	29,0	30,9	28,1	23,5	19,6	15,5	12,5	11,7
	CODE	12,2	11,7	15,6	23,3	28,2	30,0	26,7	21,9	18,9	15,2	13,2	12,5
	ESA	10,7	9,8	14,0	22,3	27,9	30,3	28,0	23,7	20,2	15,7	12,6	11,0
	JPL	12,8	12,7	16,9	25,3	31,0	33,0	29,8	25,0	21,3	16,9	14,0	13,2
	IRI	4,0	4,1	8,4	15,1	19,5	19,9	17,6	14,2	10,1	6,6	5,1	4,5
2013	RIM	11,9	11,6	16,4	24,2	29,3	31,3	29,5	24,6	20,1	16,1	13,4	12,3
	CODE	12,8	12,7	16,7	24,4	29,1	30,3	28,8	23,9	19,5	16,1	14,4	13,5
	ESA	11,6	11,0	15,7	23,6	28,9	31,5	30,0	25,4	20,9	16,9	14,1	12,7
	JPL	13,7	13,7	18,1	26,5	31,8	33,5	31,4	26,4	21,4	18,0	15,7	13,9
	IRI	4,2	4,3	8,8	16,0	20,7	21,1	18,6	15,1	10,6	6,8	5,3	4,7
2014	RIM	13,2	12,6	18,3	28,6	36,2	37,8	35,8	29,9	23,4	18,2	15,2	13,8
	CODE	14,1	13,4	18,6	28,8	36,2	36,5	34,7	29,0	22,5	17,8	16,2	16,0
	ESA	13,5	12,8	18,2	28,4	36,8	38,5	37,8	31,5	25,1	20,1	16,9	15,6
	JPL	14,5	14,2	19,6	30,2	38,5	39,7	37,2	32,0	24,6	19,7	17,5	16,2
	IRI	4,6	4,8	9,8	17,6	22,7	23,0	20,4	16,6	11,7	7,4	5,8	5,1
2015	RIM	11,9	11,5	16,0	23,2	28,6	30,7	29,9	26,5	21,0	16,0	13,7	12,4
	CODE	12,6	11,9	15,9	22,8	28,0	29,4	28,9	26,0	20,9	16,0	13,9	13,3
	ESA	12,6	11,7	16,1	23,3	29,1	32,4	32,4	28,4	21,9	17,0	14,4	13,2
	JPL	13,1	12,8	17,5	24,5	30,3	31,8	31,1	28,2	23,0	17,3	14,9	13,9
	IRI	4,6	4,8	9,8	17,2	22,0	22,3	19,9	16,5	11,9	7,7	6,0	5,2

Çizelge 3.3. Minimum ve maksimum gözlenen TEC değerleri (TECU)

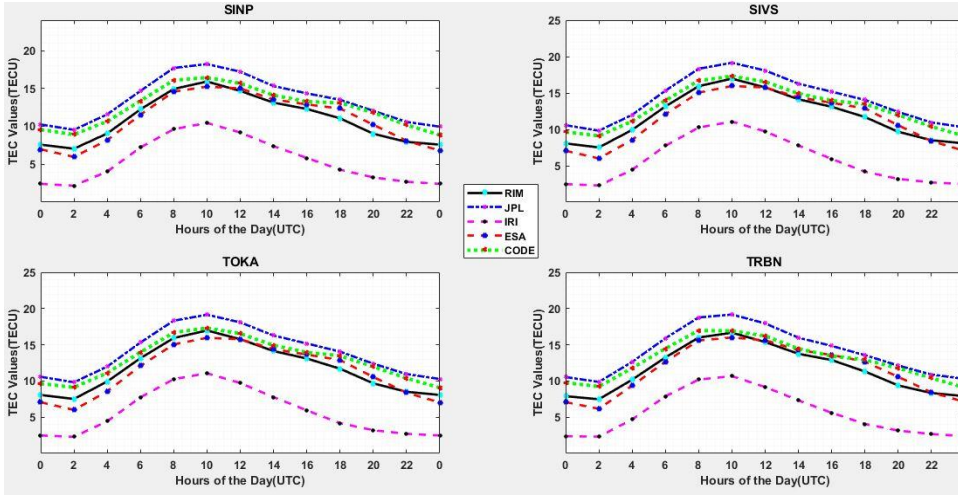
Yıllar	Minimum Gözlenen Değerler					Maksimum Gözlenen Değerler				
	RIM	CODE	ESA	JPL	IRI	RIM	CODE	ESA	JPL	IRI
2009	5,74	7,23	5,00	8,63	1,71	12,58	13,04	12,03	15,11	8,60
2010	7,05	8,92	5,97	9,53	2,17	17,33	17,32	16,01	19,18	11,07
2011	9,53	9,69	8,00	11,30	3,23	27,08	25,57	26,38	28,33	16,90
2012	10,48	10,94	9,12	12,46	3,83	32,43	30,12	30,33	33,07	20,45
2013	11,24	11,91	10,60	13,01	3,98	32,64	30,25	31,64	33,93	21,57
2014	11,99	12,72	12,29	13,63	4,43	39,08	36,98	38,93	40,23	23,41
2015	11,08	10,99	10,89	12,04	4,45	31,81	29,70	32,95	31,99	22,84

Elde edilen TEC değerlerinin çizimi MATLAB (matrix laboratory) programı ile yapılmıştır. Yapılan değerlendirmeler sonucu 2009 yılından 2015 yılına kadar bölgesel TEC değerlerinin ortalama değeri hesaplanmış IRI ve GIM (JPL, ESA,

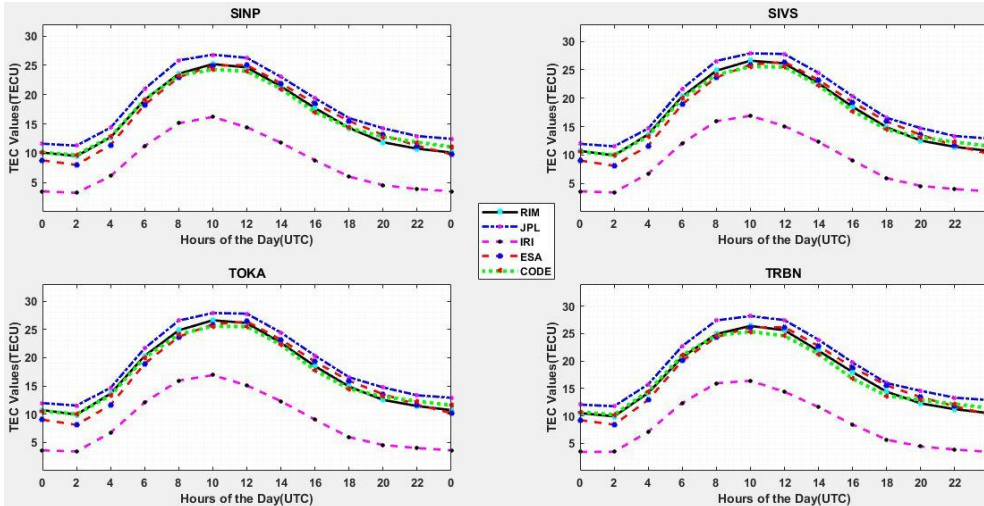
CODE) ortalama TEC değerleri ile karşılaştırılmıştır. Değerlendirmede tüm istasyonlar benzer davranış gösterdiği grafik gösterimlerde SINP, SIVS, TOKA ve TRBN istasyonlarına ait karşılaştırma çizimleri örnek olarak verilmiştir (Şekil 3.3-3.9).



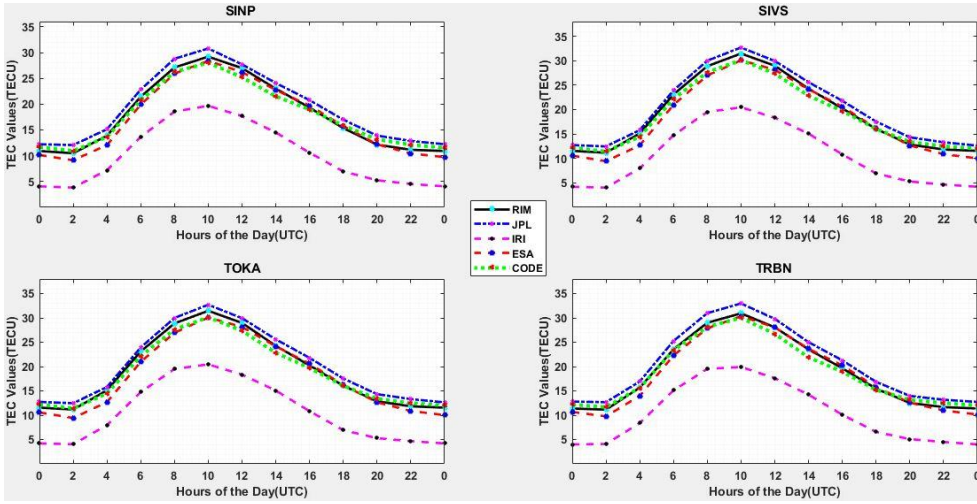
Şekil 3.3. 2009 yılı için SINP, SIVS, TOKA, TRBN istasyonlarının analiz sonucu elde edilen ortalama TEC (RIM-Result) değerlerinin CODE, ESA, JPL, IRI değerlerinin karşılaştırılması



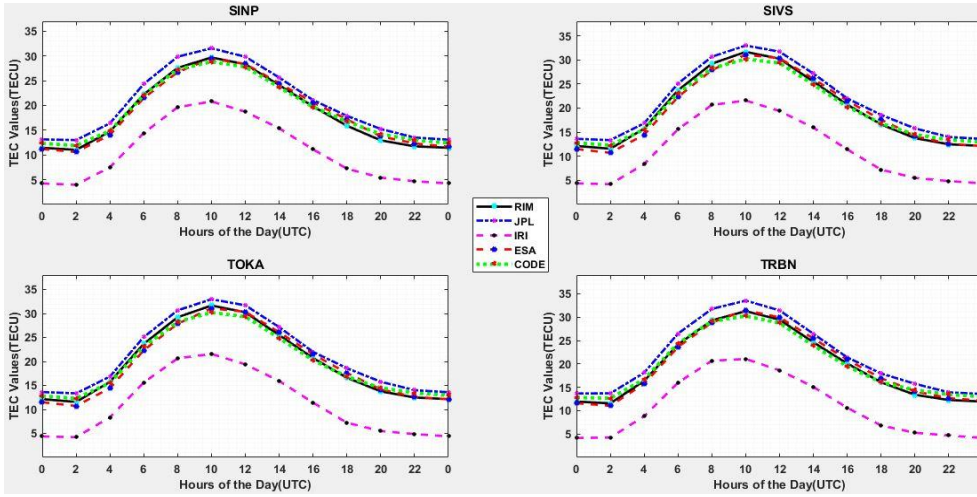
Şekil 3.4. 2010 yılı için SINP, SIVS, TOKA, TRBN istasyonlarının analiz sonucu elde edilen ortalama TEC (RIM-Result) değerlerinin CODE, ESA, JPL, IRI değerlerinin karşılaştırılması



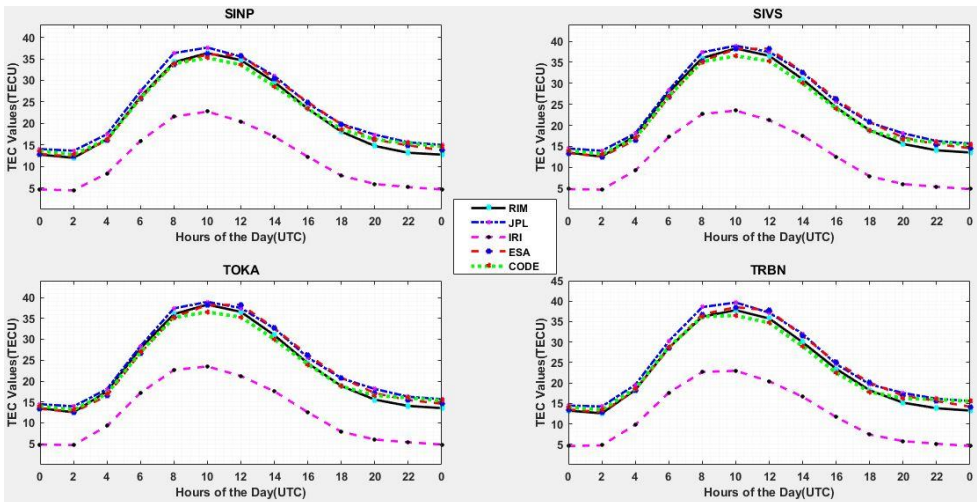
Şekil 3.5. 2011 yılı için SINP, SIVS, TOKA, TRBN istasyonlarının analiz sonucu elde edilen ortalama TEC (RIM-Result) değerlerinin CODE, ESA, JPL, IRI değerlerinin karşılaştırılması



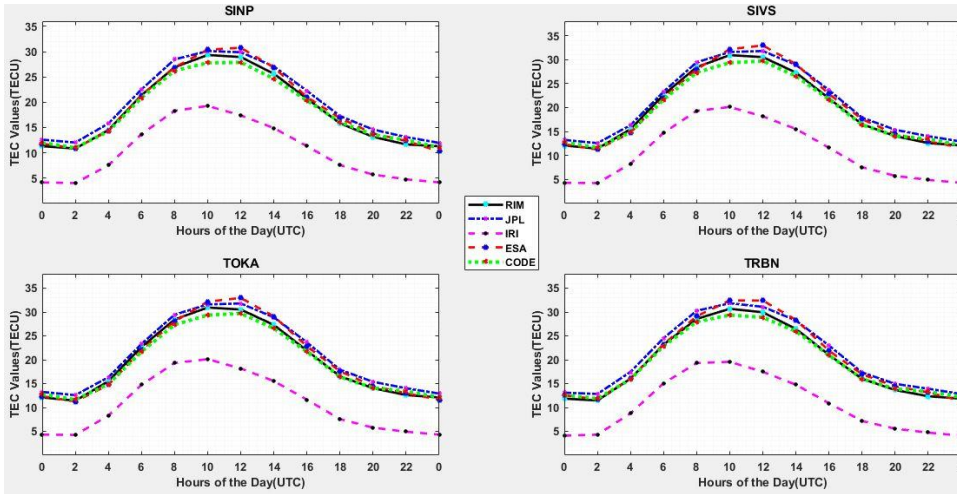
Şekil 3.6. 2012 yılı için SINP, SIVS, TOKA, TRBN istasyonlarının analiz sonucu elde edilen ortalama TEC (RIM-Result) değerlerinin CODE, ESA, JPL, IRI değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 3.7. 2013 yılı için SINP, SIVS, TOKA, TRBN istasyonlarının analiz sonucu elde edilen ortalama TEC (RIM-Result) değerlerinin CODE, ESA, JPL, IRI değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 3.8. 2014 yılı için SINP, SIVS, TOKA, TRBN istasyonlarının analiz sonucu elde edilen ortalama TEC (RIM-Result) değerlerinin CODE, ESA, JPL, IRI değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 3.9. 2015 yılı için SINP, SIVS, TOKA, TRBN istasyonlarının analiz sonucu elde edilen ortalama TEC (RIM-Result) değerlerinin CODE, ESA, JPL, IRI değerlerinin karşılaştırılması

Analiz sonucu elde edilen bölgesel TEC değerlerinden yararlanarak çözüm yapılan günler için ikişer saat aralıklarla üretilen ortalama TEC değerleri, GIM ve IRI ortalama TEC değerleri ile karşılaştırılmıştır. Grafikte yatay eksen evrensel zamanı saat biriminde, dikey eksen TEC değerlerini TECU biriminde göstermektedir. Lejantta siyah renk RIM (Result) analiz sonucu elde edilen bölgesel TEC değerlerini gösterirken, mavi JPL, kırmızı ESA, yeşil CODE GIM haritasından elde edilen TEC değerlerini ve sarı renk ise IRI modelinden elde edilen TEC değerlerini ifade etmektedir.

Şekil 3.3-3.9 incelendiğinde bölgesel iyonosfer modeli (RIM) ile Global iyonosfer modeli (CODE, ESA, JPL) ve IRI modelinden elde edilen TEC değerinin genel olarak gece saat 02:00' da artmaya başlamış ve saat 10:00' da en yüksek değerine ulaşmıştır. Saat 12:00' dan itibaren azalmaya başladığı ayrıca saat 02:00' da yoğunluğun minimum değerlerde, saat 10:00 - 12:00 arasında ise yoğunluğun maksimum değerlerde olduğu görülmektedir.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada Türkiye' nin Kuzey-Doğu bölgesinde bulunan 13 tanesi TUSAGA-Aktif (CORS-TR) istasyonu olmak üzere IGS istasyonlarının da bulunduğu toplam 25 GNSS istasyonundan yararlanılarak 2009 yılından 2015 yılına kadar bölgesel (RIM) TEC değerleri üretilmiştir. Elde edilen sonuçlar CODE, ESA, JPL tarafından yayınlanan GIM değerleri ve IRI modelinden elde edilen TEC değerlerinin ortalama değerleri üzerinden karşılaştırılmıştır (Şekil 3.3-3.9). Bu kapsamda bölgesel TEC değerlerinin belirlenmesi için

İsviçre'nin Bern Üniversitesi tarafından geliştirilen Bernese v5.2 Bilimsel GNSS yazılımı kullanılmıştır. Şekil 3.3-3.9 ile Çizelge 3.3-3.4 incelendiğinde; Global iyonosfer modelinden (CODE, ESA, JPL) elde edilen TEC değerleri gece saat 02:00' da artmaya başlamış ve saat 12:00' da en yüksek değerine ulaşmıştır. Genel olarak global TEC değerlerinin saat 02:00' da en düşük değerinde, saat 10:00 - 12:00 arasında ise en yüksek değerinde olduğu görülmektedir. IRI modelinde online olarak elde edilen TEC değerleri gece saat 02:00' da en düşük değerinde, saat 10:00 da ise en yüksek değerinde olduğu görülmektedir. Bölgesel iyonosfer modelinde (RIM), değerlendirme sonucu elde edilen TEC değerlerinin global iyonosfer modellerinde olduğu gibi gece saat 02:00' dan itibaren artmaya başlamış ve saat 12:00' da yüksek değerine ulaşmıştır. Genel olarak RIM-TEC değerlerinin global TEC değerlerine benzer olarak saat 02:00' da en düşük değerinde, saat 10:00 - 12:00 arasında ise en yüksek değerinde olduğu görülmektedir. Elde edilen bölgesel (RIM) TEC değerleri ile global (CODE, ESA, JPL) TEC değerleri arasında büyük oranda benzerlik olduğu, IRI-2012'den elde edilen TEC değerlerinin bu dört değere nazaran daha düşük kaldığı gözlemlenmiştir. Diğer yandan elde edilen beş farklı TEC değerinin gün içerisinde benzer davranış gösterdiği görülmüştür. Genel anlamda elde edilen beş TEC değerinin de öğle saatine kadar arttığı, daha sonra serbest halde bulunan iyonların tekrar birleşmesinden dolayı TEC değerlerinin azaldığı görülmektedir. Bunun en önemli sebeplerinden birinin güneş ışını olduğu düşünülmektedir. Güneş ışınının en etkin olduğu öğle saatlerinde havada bulunan moleküller bu ışının etkisiyle ayrılmakta bu

da serbest halde bulunan elektron sayısının artmasına sebep olmaktadır.

Çizelge 3.3 incelendiğinde bölgesel TEC değerleri (RIM) ile global TEC (CODE, ESA, JPL) değerlerinin uyumlu olduğu aralarındaki farkların maksimum 2.58 TECU seviyesinde olduğu görülmüştür. IRI modelinden elde edilen TEC değerleri bölgesel TEC (RIM) değerlerinden düşük seviyede olup arasındaki fark maksimum 15.67 TECU seviyesine ulaşmaktadır. IRI TEC kestiriminin düşük kalmasının en önemli nedeni ise Türkiye’de ionosonda istasyonunun olmamasından dolayı elde edilen TEC kestiriminin düşük seviyede kaldığı savunulabilir. TUSAGA-Aktif (CORS-TR) ile ülke geneline dağılmış 142 sabit GNSS istasyonundan elde edilecek anlık verilerle ionosferin yakın gerçek zamanlı modellemesi daha hassas olarak yapılabilecektir. Kısa dalga iletişimde ve konum belirlemede önemli bir yere sahip olan ionosfer tabakası hakkında geçmişe dönük yeterli verinin olmaması sebebiyle öncesinde yapılmış olan GNSS ölçülerinin oluşturulacak modellere önemli katkı sağlayacaktır.

5. Kaynaklar

Abdullah, M., Strangeways, H. J. ve Walsh, D. M., 2009, Improving ambiguity resolution rate with an accurate ionospheric differential correction. *Journal of Navigation*, 62,1, 151-166.

Afraimovich, E. L., Chernukhov V.V. ve Demyanov, V. V., 2000, The Updated Ionospheric Delay Model to Improve the Performance of GPS Single-Frequency Receivers, *Radio Science*, 35, 1, 257-262.

Alcay, S., Yigit, C. O., Seemala, G., Ceylan, A., 2014. GPS-Based Ionosphere Modeling: A Brief Review. *Fresenius Environmental Bulletin*, 23,3a, 815-824.

Arıkan, F., Erol, C. ve Arıkan, O., 2003, Regularized estimation of vertical total electron content from Global Positioning System data, *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 108 (A12), 1469-1480.

Arslan, N., 2004, GPS ile İyonosfer Toplam Elektron Yoğunluğu Değişimlerinin Koordinatlara Etkilerinin Araştırılması, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul,104.

Arslan, N., 2010, İyonosferdeki Değişimlerin TEQC Yazılımı ile İzlenmesi, 5. *Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu*, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Merkez Kampüsü, Zonguldak.

Ateş, H. B., 2011, TUSAGA-AKTİF GPS Ağ Verileri İle Bölgesel İyonosferik Modelin Oluşturulması, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik Ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze,92.

Ayseven, M. Ş., 2008, Türkiye İçin İONOLAB-TEC Kullanılarak GPS Tabanlı TEİ Ve Alıcı Yanlılığı Veri Tabanı Hazırlanması, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak,92.

Başçiftçi, F., 2017, GNSS Verileri Kullanılarak İyonosfer Modelinin Oluşturulması ve Global Modellerle Karşılaştırılması, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Konya,296.

Başçiftçi, F., İnal, C., Yıldırım, Ö. ve Bülbül, S., 2017a, Determination of Regional TEC Values by GNSS Measurements, A Case Study: Central Anatolia Sample, Turkey. *Surveying the world of tomorrow – From digitalisation to augmented reality, FIG Working Week 2017*. Helsinki/Finland.

Başçiftçi, F., İnal, C., Yıldırım, Ö., Bülbül, S., 2017b, Determining Regional Ionospheric Model and Comparing With Global Models, *Geodetski Vestnik*, 61, 3, 427-440.

Başçiftçi, F., İnal, C., Yıldırım, Ö., Bülbül, S.,2018. Comparison of Regional and Global TEC Values: Turkey Model, *International Journal of Engineering and Geosciences*, 3, 2, 61-72

Başpınar, S., 2012, CORS-TR Verileriyle İyonosfer Modellerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, İstanbul Kültür Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul,277.

Bilitza, D., Altadil, D., Zhang, Y., Mertens, C., Truhlink, V., Richards, P., McKinnell, L., Reinish, B., 2014. The International Reference Ionosphere 2012-a model of international collaboration. *Journal of Space Weather and Space Climate*, 4, A107,12

Calais, E. ve Minster, J. B., 1998, GPS, earthquakes, the ionosphere, and the Space Shuttle, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 105, 3, 167-181.

Chakraborty, M., Kumar, S., De, B. K. ve Guha, A., 2014, Latitudinal characteristics of GPS derived ionospheric TEC: a comparative study with IRI 2012 model, *Annals of geophysics*, 57, 5, p. A0539.

- Dach, R., Lutz, S., Walser, P. ve Fridez, P., 2015, Bernese GNSS Software Version 5.2, *Switzerland*, Astronomical Institute, University of Bern, Publikation Digital AG, Switzerland.
- Danilov, A. ve Lastovicka, J., 2001, Effects of geomagnetic storms on the ionosphere and atmosphere, *International Journal of Geomagnetism and Aeronomy*, 2, 3, 209-224.
- Davies, K. ve Hartmann, G., 1997, Studying The Ionosphere With The Global Positioning System, *Radio Science*, 32, 4), 1695-1703.
- Feltens, J. ve Schaer, S., 1998, IGS Products for the Ionosphere, *Proceedings of the 1998 IGS Analysis Center Workshop Darmstadt, Germany*.
- Fedrizzi, M., Langley, R. B., Komjathy, A., Santos, M. C., de Paula, E. R. ve Kantor, I. J., 2001, The Low-Latitude Ionosphere: Monitoring Its Behavior With GPS, *Proceedings of ION GPS*, Salt Lake City, Utah, USA.
- Gao, Y. ve Liu, Z. Z., 2002, Precise ionosphere modelling using regional GPS network data, *Journal of Global Positioning Systems*, 1, 1, 18-24.
- Gizawy, M. L., 2003, Development of an ionosphere monitoring technique using GPS measurements for high latitude GPS users, Ph.D. Thesis, University of Calgary, Italy,173.
- Gümrükcü, O., 2009, GPS Sinyalleri İle Konum Belirlemede İyonosferik Etkilerin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul,74.
- Hawarey, M. ve Ayan, T., 2004, Uzay mekiği tırmanışı, deprem, ve füze fırlatılışından kaynaklanan TEC değişimlerinin GPS ile belirlenmesi, *İTÜ Dergisi*, 3, 2-3-4-5, 45-66.
- Hernández-Pajares, M., Juan, J. M., Sanz, J., Orus, R.,Garcia-Rigo, A., Feltens, J., ... & Krankowski, A., 2009. The IGS VTECmaps: a reliable source of ionospheric information since 1998. *Journal of Geodesy*, 83, 3, 263-275.
- Hugentobler, U., Schaer, S., Pridez, F., Beutler, G., Bock, H., 2001. Bernese GPS Software Version 4.2. Astronomical Institute University of Bern, Switzerland.
- Hunsucker, R.D., Hargreaves, J.K., 2003, The High-Latitude Ionosphere and its Effects on the Radio Propagation, Cambridge University Press 2003
- İnyurt, S., 2015, İyonosferdeki Toplam Elektron Miktarı (TEC) Ve Kod Yanlılık Değerlerinin (DCB) GNSS Ölçümleriyle Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak,84.
- Komjathy, A. ve Langley, R., 1996, An assessment of predicted and measured ionospheric total electron content using a regional GPS network, *Proceedings of the national technical meeting of the Institute of Navigation*, 615-624.
- Komjathy, A., 1997, Global Ionospheric Total Electron Content Mapping Using the Global Positioning System, Ph. D. Thesis, University of New Brunswick Department of Geodesy and Geomatics Engineering, Canada, 248.
- Langley, R. B., 2002, Monitoring the Ionosphere and Neutral Atmosphere with GPS, *Viewgraphs of invited presentation to the Canadian Association of Physicists Division of Atmospheric and Space Physics Workshop*, Fredericton, N.B.
- Leong, S. K., Musa, T. A., Omar, K., Subari, M. D., Pathy, N. B., Asillam, M. F., 2015. Assessment of ionosphere models at Banting: Performance of IRI-2007, IRI-2012 and NeQuick 2 models during the ascending phase of Solar Cycle 24. *Advances in Space Research*, 55, 8, 1928–1940.
- Liu, Z., Skone, S., Gao, Y. ve Komjathy, A., 2005, Ionospheric modeling using GPS data, *Gps Solutions*, 9, 1, 63-66.
- Liu, J.-Y., Chen, Y., Chen, C.-H., Liu, C., Chen, C., Nishihashi, M., Li, J., Xia, Y., Oyama, K. ve Hattori, K., 2009, Seismoionospheric GPS total electron content anomalies observed before the 12 May 2008 Mw7.9 Wenchuan earthquake, *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 114, A4.
- Liu, M., Luo, G. ve Wang, H., 2014, The 2013 Lushan earthquake in China tests hazard assessments, *Seismological Research Letters*, 85, 1, 40-43.
- Mao, T., Wan, W., Yue, X., Sun, L., Zhao, B., & Guo, J., 2008. An empirical orthogonal function model of total electron content over China. *Radio Science*, 43, 2.

- Memarzadeh, Y., 2009, Ionospheric modeling for precise GNSS applications, Ph.D. Thesis, Delft University of Technology, Netherlands.
- Namgaladze, A. A., Zolotov, O. V., Karpov, M. I. ve Romanovskaya, Y. V., 2012, Manifestations of the earthquake preparations in the ionosphere total electron content variations, *Natural Science*, 4, **11**, 848-855.
- Odiş, D., 2002, Fast precise GPS positioning in the presence of ionospheric delays, Ph.D. Thesis, Delft University of Technology, The Netherlands, 264.
- Orús Pérez, R., 2005, Contributions on the improvement, assessment and application of the Global Ionospheric VTEC Maps computed with GPS data, Ph. D. dissertation, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, Spain, 125.
- Orus, R., Hernández-Pajares, M., Juan, J. ve Sanz, J., 2005, Improvement of global ionospheric VTEC maps by using kriging interpolation technique, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 67, **16**, 1598-1609.
- Parkinson, B. W. ve Spilker, J. J., 1996, Global Positioning System: Theory and Applications, 163, Paul Zarchan, . American Institute of Aeronautics and Astronautics, SW, Washington, DC, 57-175.
- Petrie, E. J., Hernández-Pajares, M., Spalla, P., Moore, P. ve King, M. A., 2011, A Review of Higher Order Ionospheric Refraction Effects on Dual Frequency GPS, *Surveys in geophysics*, 32, **3**, 197-253.
- Schaer, S., Beutler, G., Mervart, L., Rothacher, M. ve Wild, U., 1995, Global and regional ionosphere models using the GPS double difference phase observable, IGS Workshop on Special Topics and New Directions, Germany.
- Schaer, S., Gurtner, W. ve Feltens, J., 1998, IONEX: The ionosphere map exchange format version 1, *Proceedings of the IGS ESA/ESOC workshop* Darmstadt, Germany.
- Schaer, S., 1999, Mapping and Predicting the Earth's Ionosphere Using the Global Positioning System, Ph.D Thesis, Universitat Bern, Switzerland, 228.
- Scharroo, R., and Smith, W. H. F., (2010). A global positioning system-based climatology for the total electroncontent in the ionosphere. *Journal of Geophysical Research: SpacePhysics*, **115**, A10318, 16.
- Seeber, G., 2003, Satellite geodesy: foundations, methods, and applications, Walter de Gruyter.
- Skone, S. ve Cannon, M., 1999, Ionospheric effects on differential GPS applications during auroral substorm activity, *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, 54, **4**, 279-288.
- Skone, S. ve Jong, M. D., 2000, The Impact of Geomagnetic Substorms on GPS Receiver Performance, *Earth Planets and Space*, **52**, 1067-1071.
- Todorova, S., Hobiger, T., Weber, R., Schuh, H., 2003, Regional Ionosphere Modelling With GPS And Comparison With Other Techniques, Proceedings of the Symposium Modern Technologies, Education and Professional Practice in the Globalizing World", November 06-07, Sofia.
- Turel, N., Aktas, E. ve Arıkan, F., 2007, TEC Statistics and Correlogram Applications, *Signal Processing and Communications Applications, 2007. SIU 2007. IEEE 15th*, 1-4.
- Ulukavak, M. ve Yalçınkaya, M., 2014, Deprem Kaynaklı Toplam Elektron İçeriği Değişimlerinin Araştırılması: Ege Denizi Depremi (24.05. 2014 Mw: 6.5), *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 6, **3**, 10-21.
- Wan, W., Ding, F., Ren, Z., Zhang, M., Liu, L., & Ning, B. 2012. Modeling the global ionospheric total electron content with empirical orthogonal function analysis. *Science China Technological Sciences*, 55, **5**, 1161-1168.
- Wild, U., 1994, Ionosphere and geodetic satellite systems: permanent GPS tracking data for modelling and monitoring, *Geod.-Geophys. Arb. Schweiz*, **48**, 48.
- Ya'acob, N., Ismail, M. ve Abdullah, M., 2010, GPS total electron content (TEC) prediction at ionosphere layer over the Equatorial region, INTECH Open Access Publisher.
- Zou, Y., 2010, Ionospheric Anomalies Detected By GPS TEC Measurements During Two Strong Earthquakes In Indonesia, *Environmental Science and Information Application Technology (ESIAT), 2010 International Conference on*, Guilin University of Electronic Technology, China, 199-202.

İnternet Kaynakları

URL1,

<http://www.ionolab.org/index.php?page=ionosphere&language=tr>, (13.03.2016)

URL2, <ftp://cdis.gsfc.nasa.gov/gps/products/ionex>, (04.01.2016)

URL3, https://ccmc.gsfc.nasa.gov/modelweb/models/iri2016_vitmo.php, (10.12.2015)

CSF (Cloth simulation filtering) Algoritmasının Zemin Noktalarını Filtrelemedeki Performans Analizi

Lütfiye KARASAKA¹, Sultan Hilal KELEŞ²

¹ Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Konya

² Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Harita Mühendisliği ABD., Konya

Sorumlu yazar e-posta: lkarasaka@ktun.edu.tr

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-2804-3219>

sultanhilalkeless@gmail.com ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-5262-5238>

Geliş Tarihi: 17.12.2019

Kabul Tarihi: 01.04.2020

Öz

Yeryüzüne ait sayısal modellerin üretilmesinde LiDAR teknolojisi geleneksel yöntemler ile kıyaslandığında emek, zaman ve doğruluk açısından büyük avantajları ile ön plana çıkmaktadır. Düzensiz bir nokta bulutu topluluğundan oluşan LiDAR verilerini işlemek oluşturacağımız sayısal modeller için önemli bir süreçtir. Bu süreç içinde, ham LiDAR verilerinin filtrelenmesi önemli aşamalardandır. LiDAR verilerini filtreleyerek zemin noktalarını belirleyen açık kaynak kodlu ve ticari yazılımlarda birçok farklı filtreleme algoritmaları vardır. Yapılan çalışmalar incelediğinde her algoritmanın farklı arazi yüzeyleri için güçlü ve zayıf yönleri öne çıkmaktadır. Her algoritma içeriğinde farklı parametreleri barındırır. Bu çalışmada büyük çoğunluğunun sık ormanlık alanlardan ve dik yamaçlardan oluşan zorlu bir arazi yüzeyi için açık kaynak kodlu bir yazılımda bulunan CSF (Cloth simulation filter) algoritmasının zemin noktalarını filtrelemedeki performansı test edilmiştir. Farklı parametre değerleri ile yapılan filtrelemeler sonucunda CSF algoritmasındaki grid çözünürlüğü parametresinin zemin noktası belirlemede önemli olduğu, dik ve eğimli bir çalışma alanı için düşük değerlerle daha fazla zemin noktası belirlediği ortaya çıkmıştır. Ayrıca filtreleme sonucu üretilen arazi modelleri incelendiğinde kaldırılmayan objeler için manuel filtreleme gerekliliği sonucuna varılmıştır.

Anahtar kelimeler

Cloth simulation filter;
Filtreleme;
Hava LiDARı;
Sayısal Arazi Modeli

Performance Analysis of CSF (Cloth simulation filtering) Algorithm for Filtering Ground Points

Abstract

In the production of digital models belonging to the earth, LiDAR technology stands out with its great advantages in terms of labor, time and accuracy compared to traditional methods. Processing LiDAR data consisting of an irregular point cloud is an important process for the numerical models we will create. In this process, filtering of raw LiDAR data is an important step. In open source and commercial softwares, there are many different filtering algorithms that determine ground points by filtering LiDAR data. When the studies are examined, the strengths and weaknesses of each algorithm stand out for different land surfaces. Each algorithm has different parameters in its content. In this study, the performance of the CSF (Cloth simulation filter) algorithm, which is available in an open source software that can be easily downloaded by the users for a challenging terrain surface consisting of dense forests and steep slopes, was tested. As a result of filtering with different parameter values, it has been revealed that the grid resolution parameter in the CSF algorithm is important in determining the ground point and determines more ground points with low values for a steep and inclined working area. In addition, when the field models produced as a result of filtering are examined, it is concluded that manual filtering is required for the objects that cannot be removed.

Keywords

Cloth simulation filter;
Airborne LiDAR;
Filtering Algorithms;
Digital Terrain Model

1. Giriş

Üç boyutlu Sayısal Arazi Modelleri yeryüzüne ait detayların belirlenmesinde ve projelendirilmesinde önemli bir kaynaktır. Bu modellerin üretiminde ise jeodezik ve fotogrametrik teknikler oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Günümüzde yeryüzüne ait sayısal modellerin üretiminde kullanılmaya başlayan yöntemlerden biri de LiDAR teknolojisidir. LiDAR teknolojisi geleneksel yöntemler ile kıyaslandığında emek, hız ve sağladığı nokta sıklığı ile doğruluk açısından büyük avantajları ile ön plana çıkmaktadır. LiDAR teknolojisi uygulamaları hava LiDAR ve yersel LiDAR olarak sınıflandırılır. Son dönemlerde 3B modelleme, haritalama ve farklı amaçlar için geniş bir çalışma yelpazesi sunan yersel mobil lazer tarama ise yersel LiDAR uygulamaları içinde yer almaktadır. Hava platformlu LiDAR teknolojisi 1960'ların sonlarına doğru gelişmeye başlamış olup geniş alanlarda ve zorlu arazi koşullarında üç boyutlu sayısal modellerin üretiminde büyük kolaylıklar sağlamaktadır.

LiDAR teknolojisi, yoğun nokta bulutu verisi sayesinde objeler üzerindeki hassas değişimleri de belirleyebilmektedir. Bu özelliği ile enerji nakil hatları, binalar, bitki örtüsü vb. bölgeler modellenmektedir. (Varlık vd. 2017).

İşlenmemiş bir LiDAR nokta bütünü yeryüzünde zemin ve obje olarak (bina, ağaç, araç vb.) tüm yansımaları içerir (Doğruluk vd. 2018). LiDAR nokta bütününden üç boyutlu bir SAM (Sayısal Arazi Modeli) oluşturabilmek için zemine ait noktaların belirlenip obje noktalarından ayrılması gerekir. Bu işleme **filtreleme** denilmektedir (Soycan 2011; Süleymanoğlu 2016).

İşlenmemiş LiDAR nokta bulutu verisindeki zemine ait noktalar diğer obje noktalarından daha düşük yüksekliğe sahiptir. Meng vd. (2010), bu ayrımı yapabilmek adına göre zemin noktalarında olması gereken fiziksel özellikleri dört grupta açıklamışlardır:

En düşük yükseklik: Zemin noktaları çalışma alanında en düşük yükseklik değerine sahiptir.

Zemin yüzeyinin dikliği: Yüzey eğimi, komşu zemin noktaları arasında daha düşükken, zemin ve zemine ait olmayan nesnelere arasında daha fazladır.

Zemin noktaları arasındaki yükseklik farkı: Bir zemin noktasından diğerine olan yükseklik farkı düşüktür. Noktalar arasında yükseklik farkının artması ise binalar, ağaçlar gibi nesnelere ait noktaların varlığını gösterir.

Zemin yüzeyinin homojenliği: Çıplak zemin yüzey nispeten pürüzsüz ve süreklidir.

Zemin noktalarını filtreleme algoritmaları bu özellikler temel alınarak geliştirilmiştir. Ancak her algoritma farklı arazi yüzeyinde farklı sonuçlar verebilmektedir. Bu anlamda zemin noktalarını filtrelemede en iyi sonucu verecek algoritma araştırma konusudur. (Süleymanoğlu ve Soycan 2017).

LiDAR nokta bulutlarının filtreleme işlemi, Açık Kaynak Kodlu (OS) yazılımlar veya ticari yazılımlar tarafından sağlanan uygun filtreler kullanılarak yapılabilir. LiDAR verilerinden en iyi verimi almak için, aynı zamanda yüksek yoğunluklu 3B nokta verisini işleyecek güçlü bir yazılıma ihtiyaç vardır. Bu nedenle, nokta bulutu için otomatik ve hızlı filtreleme algoritmasının geliştirilmesi çok önemli bir konudur (Shahida vd. 2010).

Bu çalışmada dik yamaçlardan ve yoğun bitki örtüsünden oluşan zorlu bir arazi tipi için, ham haldeki düzensiz hava LiDAR verilerinin açık kaynak kodlu bir yazılım olan CloudCompare yazılımında bulunan CSF algoritmasındaki parametrelerle zemin noktalarını filtrelemedeki performansı değerlendirilmiştir.

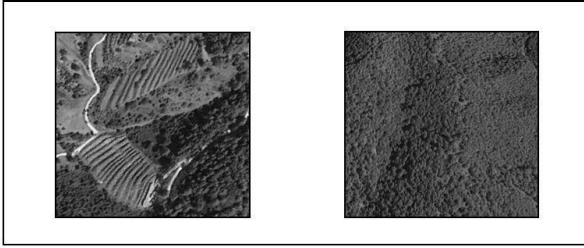
2. Çalışma Alanı

Hava LiDAR uçuşu EMI Grup Bilgi Teknolojileri A.Ş. tarafından gerçekleştirilmiş olup, çalışma alanı Akdeniz Bölgesinde yer alan Antalya İli, Alanya İlçesi, Kocaoğlanlı köyüdür. Topografya dik yamaçlı ve yoğun bitki örtüsünden oluşmaktadır (Şekil 1). Çalışma alanı deniz seviyesinden 181 ile 300 metre aralığında değişen yükseklikte ve yüzölçümü 28 hektardır. Çalışma alanına ait veriler, TM Projeksiyon siteminde ve WGS 84 datumuna göre referanslandırılmıştır.



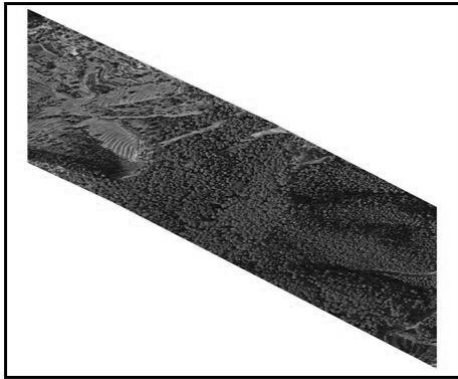
Şekil 1.Çalışma alanı

Bölgedeki dik yamaçlar, erozyondan korunmak önlemiyle merdiven basamağı şeklinde sekileme (teraslama) olarak adlandırılan bir yöntemle korunmaktadır (Şekil 2). Yüksek yerlerde ise makilerden oluşan sık orman bulunmaktadır.



Şekil 2. Çalışma alanı arazi yapısı

Havadan lazer tarama, tarım veya ormancılık alanları, yoğun bitki örtüsünün olduğu dik eğimli yamaçlarda zemin yüzeyine ulaşabilmesi yönünden son derece hızlı, doğru ve verimli bir yöntemdir. Bu çalışmada ormanlık alanlar ve dik yamaçlar bulunması nedeniyle SAM üretiminin hava LiDAR verileri kullanılarak yapılması tercih edilmiştir. Ayrıca uçuşta eş zamanlı olarak elde edilen sayısal görüntülerden üretilen ortofotolar referans veri olarak kullanılmıştır (Şekil 3).



Şekil 3.Çalışma alanı ortofotosu

Çalışmada kullanılan ham LiDAR verileri, 26 Eylül 2018 tarihinde gerçekleşen uçuş ile Avusturya

kökenli Riegl firmasına ait lazer tarayıcı ile 450-500 metre uçuş yüksekliğinde 12.113.500 adet lazer nokta verisi ile gerçekleştirilmiştir. Çalışma bölgesine ait LiDAR verisinin nokta yoğunluğu yaklaşık olarak 45-50 nokta/ m² dir.

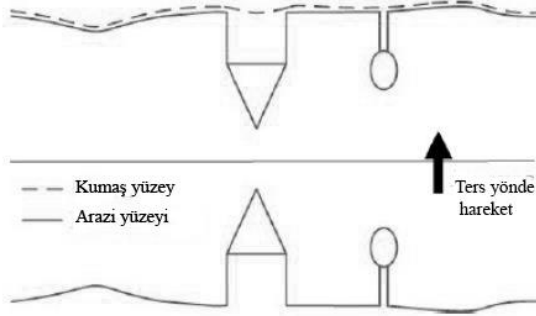
3. Metot

Antalya İli, Alanya İlçesi, Kocaoğlanlı köyünün dik yamaçlı ve yoğun bitki örtüsünü kapsayan çalışma alanı zor bir arazi karakteri göstermesi nedeniyle klasik ölçme yöntemleri ile ölçülmesi zor ve zaman alıcı bir bölgedir. Bu alan için elde edilen ham LiDAR verileri, 12.113.500 adet lazer noktasından oluşan kısmı kesilerek hazırlanmıştır. Projedeki filtreleme işlemi açık kaynak kodlu bir yazılım olan Cloud Compare programında bulunan CSF algoritması ile gerçekleştirilmiştir. Algoritmadaki parametreler zemin noktalarını filtrelemede önemli bir etkidir. Bu parametreleri belirlemek adına, bölgeye ait LiDAR tarama ile eş zamanlı olarak elde edilen sayısal görüntülerden üretilen ortofotolar ile nokta bulutundan alacağımız kesitler referans alınmıştır. Arazi yüzeyi için en doğru filtrelemeyi yapabilmek adına algoritmadaki zemin filtreleme parametreleri değiştirilerek Sayısal Arazi Modelleri oluşturulmuş ve sonuçları karşılaştırılmıştır.

3.1 CSF (Cloth Simulation Filter) filtreleme algoritması

CSF algoritması basit bir fiziksel işlemin mantığına dayanır. Algoritmadaki bu süreç kumaş yüzey ile tasvir edilmiştir. Öncelikle arazinin üstüne bir kumaş parçası düştüğünü hayal edelim. Kumaş parçası yerçekiminin etkisiyle çalışma alanını kapsayacaktır. Kumaşın, tüm yüzeyi saracak şekilde yumuşak bir yapısı olduğu varsayılır. Kumaş yüzeyin aldığı son şekil SYM (Sayısal Yüzey Modeli) olacaktır. Algoritma SAM üretiminde ise farklı bir metot uygular. Öncelikle çalışma alanımızı kapsayan ham haldeki nokta bulutu ters çevrilir ve ters yüzeye yukarıdan kumaş parçası bırakılır. Nokta bulutunu saracak kumaşın sertlik değeri, yapısı parametreler ile belirlenir. Kumaşın aldığı nihai şekil SAM'dır (Zhang vd. 2016). Algoritmaya genel bakış Şekil 4'te ifade edilmiştir. Bu algorithmanda kumaş olarak betimlenen yüzeyin düğüm noktalarına karşılık gelen LiDAR noktaları

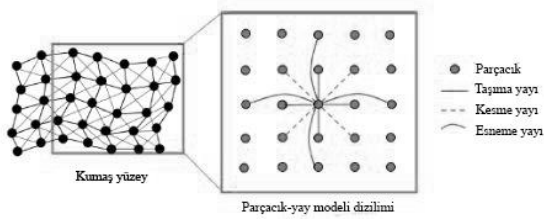
arasındaki etkileşim analiz edilerek işlenmemiş nokta verileri zemin ve zemin olmayan olarak filtrelenir.



Şekil 4. CSF algoritmasına genel bakış (Zhang vd. 2016)

3.2 CSF (Cloth simulation filter) filtreleme algoritmasının matematiksel temeli

Kumaş yüzey olarak adlandırılan bu yüzey ara bağlantılara sahip ve sabit bir kütle taşıyan parçacıklardan oluşan (kütle-yay modeli gibi) bir grid yüzey olarak modellenir (Provot 1995). Bu parçacıkların üç boyutlu uzaydaki konumları kumaş yüzeyin şeklini belirler. Kumaş yüzeydeki parçacıkların aralarındaki ilişki ise Hooke yasalarından "sanal yay" tanımına uymaktadır. Bu yüzey üzerindeki parçacıklar üç tür yay tipi ile etkileşirler ve hareket ederler (Zhang vd. 2016). Bunlar; kesme yayı (shear spring), taşıma yayı (traction spring) ve esneme yayı (flexion spring) olarak adlandırılmıştır (Şekil 5).

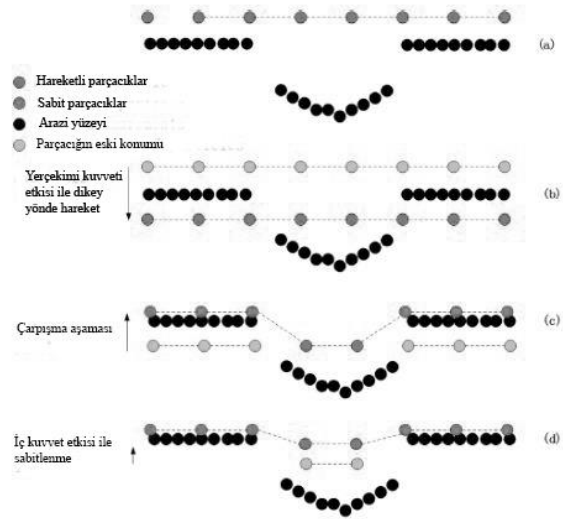


Şekil 5. Kütle yay modelinin şematik gösterimi (Zhang vd. 2016)

Kumaşın şeklini belirli bir zamanda simüle etmek için, 3B uzaydaki tüm parçacıkların konumları hesaplanır. Bir parçacığın konumu ve hızı, üzerine etkiyen kuvvetler tarafından belirlenir. Parçacıkların konum ve hızları, Newton'un ikinci yasasına dayanarak hesaplanır (Zhang vd. 2016).

3.3 CSF (Cloth simulation filter) algoritmasının filtrelemeye uyarlanması

CSF algoritmasının LiDAR nokta bulutunda, nokta filtrelemeye uyarlanabilmesi için birtakım değişiklikler yapılmıştır. Kumaş yüzeydeki bir parçacığın hareketi, arazi yüzeyi ile temas için dikey yönde gerçekleşecektir. Yüzeydeki bir parçacığın konumu, arazi yüzeyinin altında veya eşit olduğunda parçacık ile arazi yüzeyi kesişecektir. Parçacık doğru konuma yani zemine ulaştığında hareketi duracaktır. Bir parçacığın konumu dış ve iç kuvvetlerin net kuvveti ile belirlenir. Bu fiziksel süreçte öncelikle her bir parçanın yer çekimi kuvvetinden yer değiştirmesi hesaplanır. Parçacığın nihai konumu ise iç kuvvetlere, birbirleri ile olan hareketleri sonucu değişecektir (Şekil 6) (Zhang vd.2016).



Şekil 6. CSF filtreleme algoritmasının fiziksel adımları (Zhang vd.2016)

Şekil 6. da CSF filtreleme algoritmasının fiziksel süreçteki ana adımlarını göstermektedir. (a) başlangıç adımı algoritmanın kumaş yüzey olarak adlandırdığı belirli aralıklardaki parçacıklardan (düğüm noktaları) oluşan yüzeyi görmektedir. Bu yüzeydeki hareketli parçacıklar, işlenmemiş ve ters çevrilmiş orijinal nokta bulutu üzerine gelecek şekilde konumlanmıştır. (b) adımı yüzey üzerindeki parçacıklar üzerine etkiyecek kuvvetlerin (dış kuvvet) etkisiyle dikey yönde harekete başlayacaktır. Öncelikle yerçekimi kuvveti etkisiyle orijinal nokta bulutuna doğru

hareket edeceklerdir. (c) çarpışma aşaması olarak da adlandıracağımız bu adımda, zemin noktaları ile kesişen parçacıklar kontrollü olarak zemin üzerine taşınır ve konumları sabit kalır.(d) aşamasında parçacıklar, birbirleri ile etkileşimleri sonucu ortaya çıkan kuvvetlerin (iç kuvvet) etkisiyle, son konumlarına sabitlenirler. Kumaş yüzey üzerindeki parçacıklar zemin sınıfına ayrılır.

3.4 CSF (Cloth simulation filter) filtreleme algoritması parametreleri

CloudCompare programı CSF algoritması zemin noktaları filtreleme parametrelerini sağlamaktadır. Bu aşamada kullanıcı tarafından ayarlanması gereken parametreler genel ve gelişmiş olmak üzere iki başlığa ayrılmıştır. Genel parametreler çalıştığımız bölgenin arazi karakteristiğine göre belirlenir. Bu algorithmada genel parametrelerdeki arazi tipleri; dik yamaç, hafif eğimli ve düz olmak üzere üç grupta sunulmuştur. Gelişmiş parametreler ise; grid çözünürlüğü (cloth resolution), yineleme süresi (max iterations), (classification threshold) sınıflandırma eşiği olmak üzere sayısal değerlerden oluşan parametrelerdir.

Bu parametreler sırasıyla;

Grid çözünürlüğü (Cloth resolution): Arazi yüzeyini saracak örtü ile tasvir edilen yüzeyin grid boyutlarıdır. Örtü yüzeyde bulunan komşu iki parçacık arasındaki yatay mesafeyi temsil eder.

Yineleme süresi (Max iterations): Simülasyonun maksimum tekrarlanma süresidir.

Sınıflandırma eşiği (Classification threshold): Noktaların, simülasyon ile oluşturulmuş arazi örtüsü ile arasındaki mesafeye bağlı olarak zemin ve obje olarak sınıflandırıldığı bir eşik değeridir.

3.5 Üretilen modellerin doğruluk analizleri

CSF algoritması ile farklı filtreleme parametreleri ile oluşturduğumuz SAM'ların doğrulukları referans olarak kullandığımız yatayda 5-10 cm düşeyde 10 cm doğruluğa sahip arazi modeli ile karşılaştırılmıştır. Bu işlem için 277547 adet nokta ile modeller arasında yükseklik farklarından Karesel

Ortalama Hataları (KOH) Formül 1'den yararlanarak hesaplanmıştır.

$$KOH_z = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Z - \bar{Z}_i)^2}{n}} \quad (1)$$

Formül 1 de Z referans verideki noktaların yüksek değerleri, \bar{Z}_i modeldeki noktaların yükseklik değerleri, n toplam nokta sayısı olarak ifade edilmiştir.

4. Uygulama

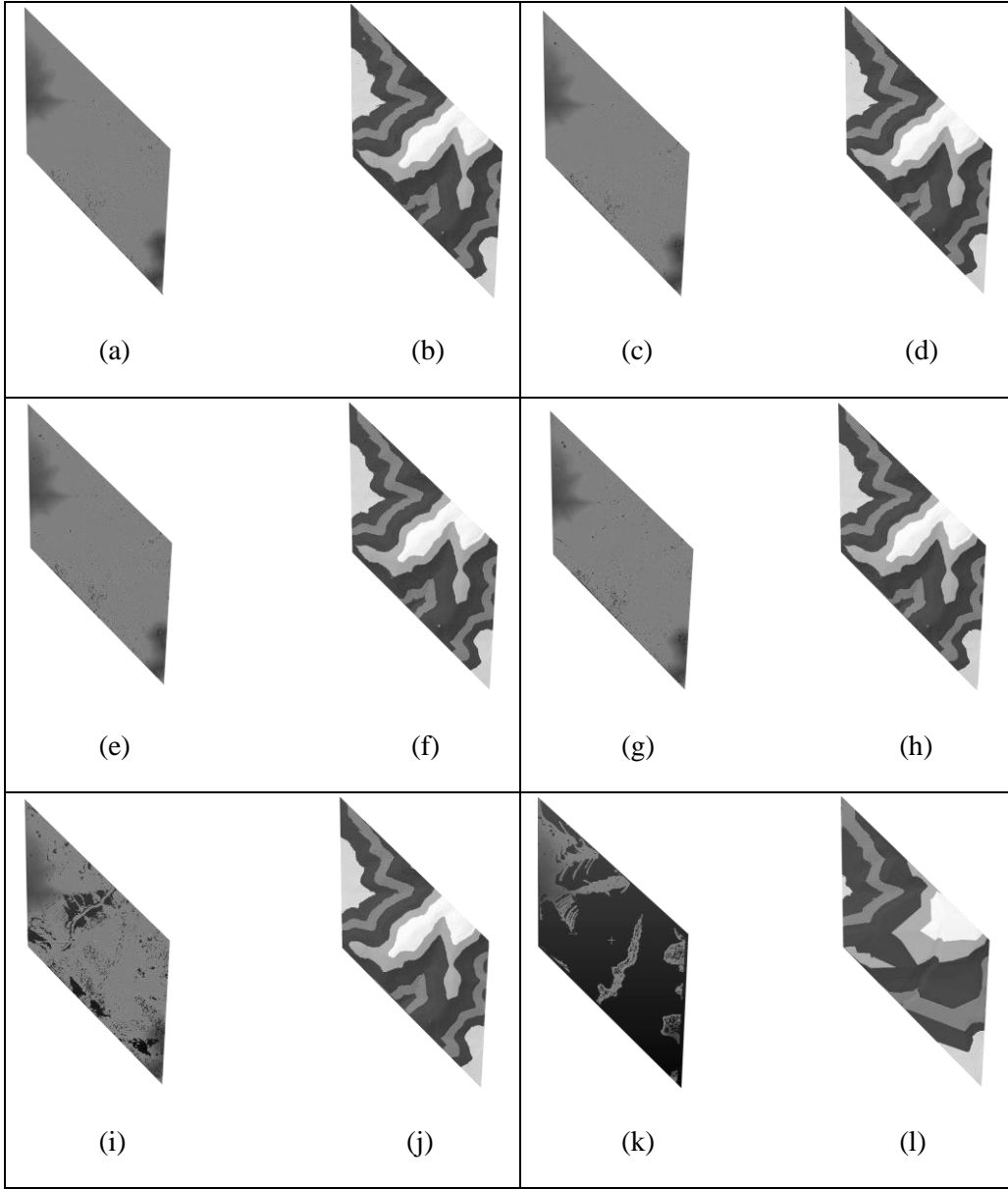
Çalışma alanımızı kapsayan ham 12.113.500 adet LİDAR nokta verileri Cloud Compare yazılımında, CSF algoritması ile filtreleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanı dik yamaçlar ve eğimli bölgelerden oluştuğu için algoritma parametrelerinde arazi tipi, dik yamaçlı arazi olarak belirlenmiştir. Gelişmiş parametrelerde ise; sınıflandırma eşiği 0.5, yineleme süresi 1000 alınarak farklı grid çözünürlüğü (0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 1, 2) değerleri ile filtreleme işlemi gerçekleştirilmiştir.

4.1 Filtreleme Sonuçları ve Analizi

CSF algoritması ile farklı grid çözünürlük değeri ile farklı sayıda zemin noktaları filtrelenmiştir (Çizelge 1). Şekil 7'de farklı parametre değerleri ile yapılan filtreleme sonuçlarında belirlenen zemin noktaları ve bu noktalardan üretilen SAM'lar bulunmaktadır. Bu sonuçlar incelendiğinde grid çözünürlüğü değeri arttıkça daha az zemin noktası belirlenmiş ve oluşturulan SAM'da bozulmalar meydana gelmiştir.

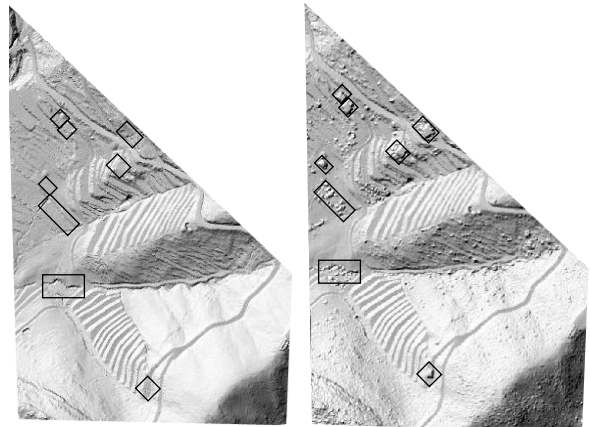
Çizelge 1. CSF algoritması zemin filtreleme sonuçları.

Grid çözünürlüğü	Filtrelenen Zemin Nokta Sayısı
0.2	5 529 470
0.3	5 419 973
0.4	5 328 275
0.5	5 218 743
1	4 152 422
2	1 368 301



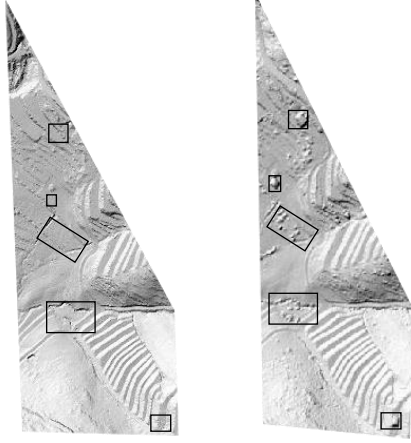
Şekil 7. (a) ve (b) 0.2 grid çözünürlüğü; (c) ve (d) 0.3 grid çözünürlüğü; (e) ve (f) 0.4 grid çözünürlüğü; (g) ve (h) 0.5 grid çözünürlüğü; (i) ve (j) 1 grid çözünürlüğü; (k) ve (l) 2 grid çözünürlüğü parametre değeri ile filtrelenen nokta bulutu ve oluşturulan SAM' lerinin ardışık gösterimi

0.2 grid çözünürlüğü değeri ile filtrelenerek üretilen SAM'ı incelediğimizde dik yamaçların bulunduğu yoğun bitki örtüsüne sahip alanlarda genel olarak iyi bir filtreleme göstermiş ve arazi yüzeyini başarılı biçimde ortaya çıkarmıştır. Ancak çalışma alanında bulunan binaları ve yamaç başlangıcındaki ağaç topluluğunu tespit edememiş ve filtreleyememiştir. Üretilen SAM'ın karesel ortalama hatası ise ± 0.46 m'dir.(Şekil 8).



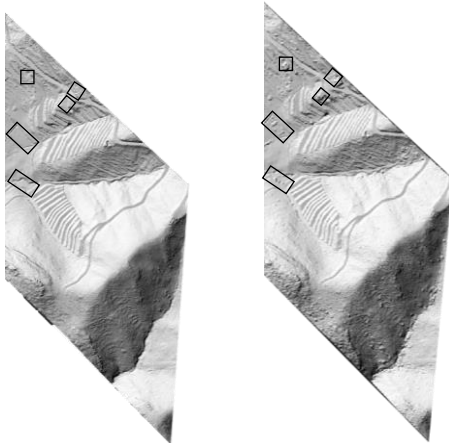
Şekil 8. 0.2 grid çözünürlüğü parametre değeri ile üretilen SAM

0.3 grid çözünürlüğü değeri ile filtrelenerek üretilen modele genel olarak baktığımızda 0.2 grid değeri ile benzer sonuçlar vermiştir. Yamaç başlangıcındaki binayı ve çalışma alanının batısında bulunan ağaçları kaldıramamıştır (Şekil 9). Üretilen SAM'ın karesel ortalama hatası ise ± 0.52 m'dir.



Şekil 9. 0.3 grid çözünürlüğü parametre değeri ile üretilen SAM

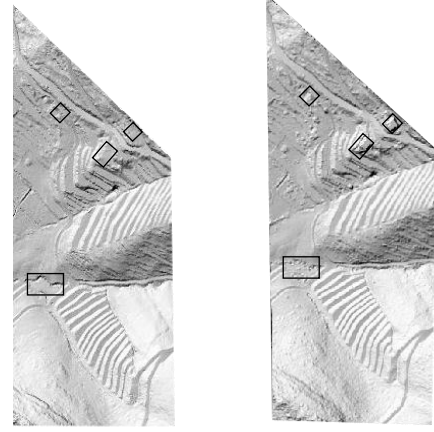
0.4 grid çözünürlüğü filtreleme değeri ile üretilen SAM'ı incelediğimizde, kuzeybatı yönündeki binaları filtreleyemediği ancak 0.3 grid değerine göre yamaç başında kaldıramayan binayı filtrelediği ve ağaçların bir kısmını daha iyi filtrelediği görülmektedir. Bu bağlamda 0.4 grid çözünürlüğü değeri daha iyi bir filtreleme yapmıştır (Şekil 10). Üretilen SAM'ın karesel ortalama hatası ise ± 0.44 m'dir.



Şekil 10. 0.4 grid çözünürlüğü parametre değeri ile üretilen SAM

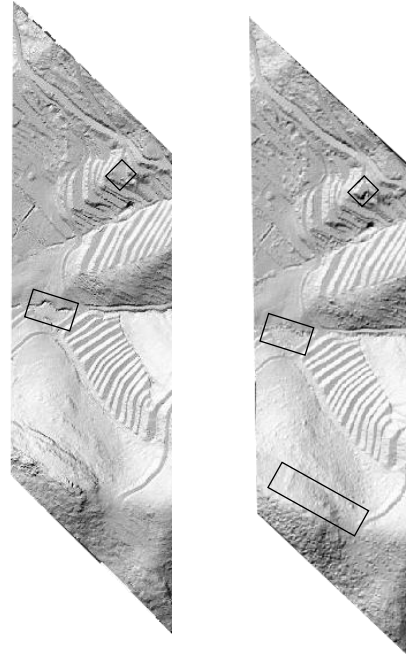
0.5 grid çözünürlüğü değeri filtrelemede benzer sonuçlar vermiştir. Bölgenin kuzeyinde eğimin

arttığı alandaki binaları kaldıramamıştır. Çalışma alanının altında bulunan ağaç topluluğu altındaki zemin karakteristiğini belirleyememiştir (Şekil 11). Bu grid değeri ile üretilen SAM'ın karesel ortalama hatası ± 0.34 m'dir.



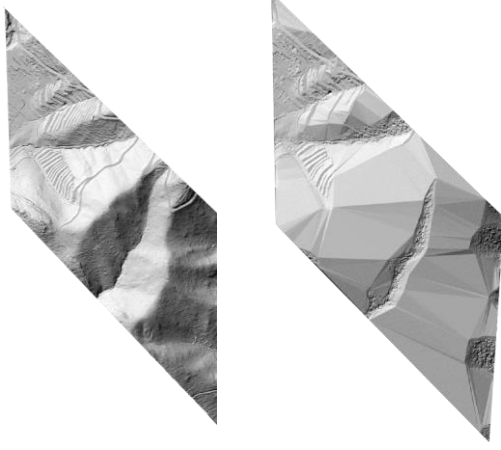
Şekil 11. 0.5 grid çözünürlüğü parametre değeri ile üretilen SAM

1 grid çözünürlüğü değeri ile yapılan filtreleme sonucu üretilen SAM'ı incelediğimizde çalışma alanının kuzey bölgesindeki bina haricinde diğer binaları filtrelemede genel olarak en başarılı sonucu vermiştir. Ancak bölgenin güney kısmında araziye tam olarak tespit edememiş ve yüzeyi törpülemiştir. (Şekil 12). Üretilen SAM'ın karesel ortalama hatası ise ± 0.68 m'dir.



Şekil 12. 1 grid çözünürlüğü parametre değeri ile üretilen SAM

2 grid çözünürlüğü değeri filtreleme sonucunda çalışma alanı genelinde en kötü performansı göstermiştir. Özellikle dik yamaçlar fazlasıyla yumuşatılmış ve arazi gerçek karakteristiğini kaybetmiştir (Şekil 13).



Şekil 13. 2 grid çözünürlüğü parametre değeri ile üretilen SAM

5. Tartışma ve Sonuç

LiDAR teknolojisinden yararlanılarak SAM'ın elde edilmesi birçok avantajı ile ön plandadır. Özellikle ülkemizdeki gibi yoğun bitki örtüsüne sahip eğimin yüksek olduğu alanlarda ya da bölgeye ulaşma riskinin bulunduğu bölgelerde klasik yöntemlerle yapılan çalışmalar, hız, zaman ve güvenlik yönünden olumsuz etkilenmektedir. Ayrıca yoğun bitki örtüsünün olduğu alanlarda doğru bir zemin yapısına ulaşabilmek her zaman mümkün olmayabilir. LiDAR teknolojisi yüksek nokta sıklığı sağladığından bu tür arazilerde yapılan çalışmalarda nadir görülebilen yüzey şekilleri yüksek doğrulukla belirlenebilmektedir.

LiDAR nokta verilerinin işlenmesi süreci üretilen bir SAM için önemlidir. Bu süreç içerisinde işlenmemiş LiDAR verilerinden zemin noktalarını ayırmada birçok filtreleme algoritması geliştirilmiştir. Yoğun bitki örtüsünden ve dik yamaçlardan oluşan bir çalışma alanında filtrelemedeki performansını araştırdığımız CSF algoritması ile farklı grid çözünürlüğü değerleri ile filtreleme yapılmıştır. Genel olarak 2 grid çözünürlüğü haricindeki tüm değerler çalışma alanının orta bölümünde yer alan yoğun bitki örtüsünü kaldırmada iyi bir sonuç göstermiştir.

Ancak çalışma alanının kuzey bölümünde yer alan binaları filtrelemede tüm değerler için yüzde yüz bir verimden bahsetmek yanlış olacaktır. Bu değerler arasında binaları filtrelemede 1 grid çözünürlüğü değeri en iyi sonucu göstermiştir.

CSF algoritması ile farklı grid çözünürlüğü parametresi değerleri ile yaptığımız filtrelemeler sonucunda farklı sayılarda zemin noktası belirlenmiştir. Bu parametre değeri ardışık olarak arttığında daha az zemin noktası belirlenmekte ve daha hatalı bir arazi modeli oluşmaktadır. Özellikle 2 grid çözünürlüğü değeri ile yapılan filtreleme sonucunda az sayıda zemin noktası belirlenmiş ve üretilen SAM genelinde bozulmalar meydana gelmiştir. Filtreleme sonucu üretilen Sayısal Arazi Modelleri incelendiğinde en iyi sonuçta bile kaldırılamayan objelerin var olduğu gözlemlenmektedir. Bu objelerin tespiti manuel filtrelemenin de gerekliliğini desteklemektedir.

Teşekkür

Çalışma kapsamında kullandığımız LiDAR verisini temin ettiğimiz EMI Grup Bilgi Teknolojileri A.Ş.'ye desteklerinden dolayı teşekkürlerimizi sunarız.

6. Kaynaklar

- Doğruluk M., Aydın C., Yanalak M., 2018. Kırsal Alanlarda SYM Üretiminde Filtreleme Yöntemlerinin Performans Analizi: Hava LiDAR Uygulaması; İstanbul Örneği. *Geomatik Dergisi*, **3(3)**; 242-253
- Meng, X., Nate C., and Kaiguang Z., 2010. Ground filtering algorithms for airborne LiDAR data: A review of critical issues. *Remote Sensing* **2(3)**, 833-860.
- Soycan, M., Tunalıoğlu, N., Öcalan, T., Soycan, A., & Gümüş, K. (2011). Three Dimensional Modeling of a Forested Area Using an Airborne Light Detection and Ranging Method. *Arabian Journal for Science and Engineering*, **36(4)**, 581-595.
- Süleymanoğlu B, Soycan M., 2017. Hava LiDAR Verilerinde Kullanılan Filtreleme Algoritmalarının İncelenmesi" TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 16. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 3-6 Mayıs, Ankara.

Sulaiman, N. S., Majid, Z., & Setan, H., 2010. DTM generation from LiDAR data by using different filters in open-source software. *Geoinformation Science Journal*, **10(2)**, 89-109.

Süleymanoğlu, B., 2016. LiDAR Tekniği ile Elde Edilen Nokta Bulutların Sınıflandırılması ve Filtreleme Algoritmalarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 120.

Varlık, A., & Uray, F. Üçgenleme ve Enterpolasyon Temelli Lidar Filtreleme Algoritmalarının Performans Analizi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **17(4)**, 156-165.

Zhang, W., Qi, J., Wan, P., Wang, H., Xie, D., Wang, X., & Yan, G., 2016. An easy-to-use airborne LiDAR data filtering method based on cloth simulation. *Remote Sensing*, **8(6)**, 501.

AKÜ FEMÜBİD 20 (2020) 025503 (276-286)

AKU J. Sci. Eng. 20 (2020) 025503 (276-286)

DOI: 10.35414/akufemubid.667397

Araştırma Makalesi / Research Article

Sosyal Medyanın Gönüllü Coğrafi Veri Olarak Kullanımı ve Sosyal Medya Verilerinden Coğrafya Sözlüğü Üretimi

Ayşe Giz GULNERMAN^{1*}, Himmət KARAMAN¹¹ İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, İstanbul.Sorumlu yazar e-posta: *gulnerman@itu.edu.tr ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-9163-6068>e-posta: karamanhi@itu.edu.tr ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-4923-3561>

Geliş Tarihi: 30.12.2019

Kabul Tarihi: 24.03.2020

Öz

Anahtar kelimeler

Sosyal Medya (SM);
Mekansal Veri
Madenciligi; Gönüllü
Coğrafi Bilgi (GCB);
Coğrafi Ayırıştırma;
Coğrafya Sözlüğü

Gelişen web ve akıllı mobil teknolojileri ile sosyal medya platformları yaygınlaşmıştır. Son 10 yılda bu platformlardaki aktif kullanıcı sayısının artması veri üretimine de yansımıştır. Sosyal medya platformları aracılığı ile üretilen mekansal veri doğrudan ya da dolaylı kullanımlarla afet yönetimi, pazarlama, politika gibi geniş çerçevede katkılar sunmaktadır. Bu veri geleneksel gönüllü coğrafi bilgi projelerinde üretilen verinin aksine yapılandırılmamış ve çoğunlukla belirli bir amaç için projelendirilmeden üretilen karma bir veridir. Bu nedenle veri üzerinde çalışılacak konuya göre metin analizleri ile filtreleme yapmanın yanında verinin mekansal tarafını ele almak için coğrafi etiketleme ve referanslama konusunda ön işleme yapmayı gerektirmektedir. Bu makalenin amacı, gönüllü coğrafi bilginin bir alt başlığı olan sosyal medya verilerinin mekansal veri olarak kullanımını değerlendirerek, metinlerden coğrafi bilgi çıkarımı yaklaşımlarını tanıtmaktadır. Coğrafi ayırıştırma ihtiyacı duyulan coğrafya sözlüğü üretimi için bir metodoloji sunmaktadır. Sunulan metodoloji İstanbul ve Londra için üretilen tweetlerde test edilmiş ve ilgi noktalarının tespitinde özellikle bina bazında temsil edilen alanlar için başarı sağlamıştır. Bu çalışma, doğal dilden bağımsız ve coğrafi tekrarlılığa dayalı coğrafi veri elde etme metodolojisi ile literatüre katkı sağlamaktadır.

Use of Social Media as a Volunteered Geographic Data and the Gazetteer Production from Social Media Data

Abstract

Keywords

Social Media; Spatial
Data Mining;
Volunteered
Geographic
Information; Geo-
parsing; Gazetteer

Social media platforms became widespread thanks to the developments in web and smart mobile technologies. Produced data volume has tremendously increased with the growing number of active users in these platforms in the last decade. Spatial data generated through social media platforms, that is in-/directly produced, contribute to diverse topics such as disaster management, marketing, and policy. This data, unlike the general voluntary geographic information, is unstructured and undirected for a project or for a specific purpose. Therefore, it requires pre-processing and filtering for text analysis according to the subject to be studied, and evaluation for direct or indirect spatial data for geospatial analysis. The aim of this article is to introduce and discuss the use of social media data as a subtitle of voluntary geographic information over geo-parsing approaches. This article also presents a methodology for the production of a gazetteer, which is required for geo-parsing techniques. The proposed methodology in this study is tested with the tweets generated within Istanbul and London areas and it is succeeded especially in the detection of point of interest that is representing the buildings. This study contributes to the literature of geographic data retrieval with the methodology, which is independent of natural language and based on the geographic data repetitiveness.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

Gönüllü Coğrafi Bilgi (GCB), belli bir konuda uzmanlık gerekmez, gönüllüler tarafından belirli

yazılımlardaki araçlar kullanılarak üretilen coğrafi veridir (Goodchild 2007). Turner (2006) bu üretim şeklini yeni-coğrafya (neogeography), bu veriyi

üreten gönüllüleri ise yeni-coğrafyacılar olarak adlandırmıştır. GCB literatürden özetle 3 başlıkta ele alınır; 1- Halk Katılımlı Coğrafya (Schroeder 1996), 2- Salt Harita Üretimi, 3- Sosyal Medya (Gulnerman et al. 2016, Hecht et al. 2011). Halk katılımlı coğrafya çoğunlukla kent planlamada proje paydaşlarının (mahalle sakini, ziyaretçi, iş yeri sahibi vb.) öneri ve taleplerini gözetmek amacı ile tasarlanmış web tabanlı ya da masaüstü coğrafi yazılımlar ile coğrafi veri üretimine dayanmaktadır (Sieber 2006). Salt harita üretimi örneklerinde ise, gönüllüler çeşitli çevrimiçi platformlarla sadece haritalama yapmaktadır. Salt harita üretimi türünde GCB temsillerinden en ünlüsü Open Street Map (OSM) platformu 2004 yılında çevrimiçi olarak kurulmuş, gönüllüler tarafından üretilen coğrafi verileri açık veri olarak sunmaktadır. GCB başlıklarından Sosyal Medya (SM) ise sosyal medya platformları aracılığı ile doğrudan ya da dolaylı olarak coğrafi nitelik içeren verileri kapsamaktadır.

GCB bu üç alt başlıktaki yöntemlerle, geleneksel veri toplama ve harita üretme yöntemlerine alternatif olmakla kalmamış, veri kapsamı, büyüklüğü, sürekliliği ve maliyeti gibi konularda öne geçmiştir. Özellikle sosyal medya, biyoteknoloji sensör olarak adlandırılan aktif kullanıcıları sayesinde, internetin kısıtlı olmadığı tüm dünya ülkeleri için, gerçek zamanlı bir mekansal izleme imkanı sunarak, GCB 'ye en büyük katkı sağlama potansiyeline sahiptir.

2019 Eylül ayı verilerine göre, sosyal medya platformları 2.3 milyardan fazla aktif kullanıcıya sahiptir. Bu platformlar, konum kütüphaneleri aracılığı ile coğrafi etiketleme (paylaşılan verinin metin içeriğine coğrafi isimlerin eklenmesi) özelliği sağlamakta, ayrıca mobil aygıtlarda yer alan GNSS (Global Navigation Satellite System) antenleri ile de konum bilgisini (enlem, boylam) gönderilere ekleme imkanı sunmaktadırlar. Yapılan araştırmalarla, sosyal medya verilerinin büyük bir kısmında konum bilgisinin doğrudan paylaşılmadığı öne sürülmüştür (Hecht and Stephens 2014). SM paylaşımlarında, yukarıda bahsedilen şekillerde doğrudan coğrafi veri paylaşımının yanı sıra metin içerisinde dolaylı konumsal veri olması muhtemeldir. GCB'ye sağlanan verinin artırılması için dolaylı coğrafi veri içeren bu metin içeriklerinden konum bilgisinin çıkarılması üzerine çalışmalar önemlidir. Dolaylı

verideki coğrafi sözcükleri ayrıştırmak doğal dil işleme (NLP) yaklaşımları ile mümkün olabilmekte ve ayrıştırılan bu sözcükler coğrafya sözlükleri sayesinde konumlanabilmektedir.

Bu çalışma, sosyal medya verilerinin, GCB olarak kullanımı ve kullanım kapasitesini arttırmak için var olan coğrafi ayrıştırma tekniklerini ele almaktadır. Makalenin materyal metot bölümünde, sosyal medya verilerini elde etmek için kullanılan araç ve yöntemler ve dolaylı konum verisi üzerinde coğrafi ayrıştırma için kullanılan tekniklere yer verilmiştir. Buna ek olarak, coğrafi ayrıştırma için ihtiyaç duyulan coğrafya sözlüğünün sosyal medya verilerinden elde edilebilmesi için izlenecek metodoloji üçüncü başlıkta tanımlanmıştır. Bulgular bölümünde uygulanan metodolojinin çıktıları, karşılaşılan özel durumlarla birlikte sunulmaktadır. Sonuç ve tartışma bölümünde ise verinin kalitesi ve güvenilirliği ele alınarak, veri kullanımının potansiyeli ve gelecek çalışmalarda geliştirilmesi gereken konulardan bahsedilmektedir.

2. Materyal ve Metot

Akıllı teknolojilerin ve konum servislerinin yaygınlaşması ile sosyal medya platformları kullanıcılar açısından haber alma/verme, sosyal iletişim kurma, reklam ve pazarlama gibi çeşitli nedenlerle tercih edilirken, bu platformlar da aktif kullanıcı sayısındaki artış ile büyük, anlık ve sürekli bir veri kaynağı haline gelmiştir. Kullanıcıların sosyal medyadan beklentilerindeki farklılığa göre, kullanılan platformlarda farklılık gösterebilmektedir. Örneğin günlük aktiviteleri ve yakın çevresi ile ilgili paylaşım yapacak kullanıcılar tarafından Facebook, fotoğraf düzenleme ve görsel paylaşımında bulunan kullanıcılar tarafından Instagram, haber verme/alma, politik görüş paylaşma/destekleme ya da iş takibi gibi daha resmi konular için ise Twitter daha çok tercih edilmektedir. Twitter, iletişim uzmanları tarafından yeni medya olarak da isimlendirilmekte ve bu konuda iletişim alanında özellikle politik konuları da içine alan geniş bir yelpazede kullanılmaktadır (Tufekci and Wilson 2012, Unver 2017).

Twitter ulusal ve uluslararası alanda en çok tercih edilen 10 sosyal medya platformu arasında yer almaktadır. Twitter aktif kullanıcılarının ürettiği

verilerle, geleneksel medya kaynaklarına alternatif olabilmekte, bu özelliği ile acil durumlarda, olay niteliği ve konumunun tespiti (McCreadie et al. 2013, Sakaki et al. 2010); sağlık araştırmalarında, salgın haritaları (Signorini et al. 2011); kent araştırmalarında, trafik kazaları ve yoğunluğu (D'Andrea et al. 2015, Gong et al. 2015, Hasby and Khodra 2013, Ishino et al. 2012, Kosala and Adi 2012); psikoloji alanında, terör saldırısı sonrası duygu durumunun haritalanması (Lin and Margolin 2014) gibi birçok çalışmaya mekansal veri sağlamaktadır. Bu gibi önemli kullanım alanları nedeni ile bu çalışmada sosyal medya platformları arasından Twitter ele alınmıştır.

Türkiye, 9 milyona yakın aktif kullanıcısı ile Twitter'da en çok kullanıcısı bulunan beşinci ülkedir (Int Kyn. 1). 2006 yılında kurulan Twitter, yer-referanslama (geo-referencing) özelliğini 2009 yılında tanıtmıştır. Bu özellik sayesinde yapılan paylaşımlar coğrafi olarak konumlanabilmektedir. 2010'da coğrafi etiketleme özelliğini kullanıma açan platform, yer imleri kütüphanesi ile ilgi noktalarının (Point of Interest) paylaşımlara eklenebilmesini sağlamıştır (Moffitt 2017).

2.1. Twitter Verisi Elde Etme Yöntemleri

Twitter, kullanıcılar tarafından üretilen ve paylaşılan verilerin %1'ini Standart API (Int Kyn. 2) aracılığı ile ücretsiz olarak sunmaktadır. Twitter'dan veri indirmek için birçok uygulama bulunmaktadır ve bu yöntemlerden önde gelenleri incelenmiş ve aşağıda anlatılmıştır.

- 1- "twitterR" (Gentry 2016), üretilmiş verilerin 10 güne kadar geriye sorgulanmasına olanak veren R programlama dilinde yazılmış bir pakettir. Sorgulamalar "kullanıcı adı", "anahtar kelime", "dil" gibi seçenekler üzerinden yapılabilmektedir. Sorguya yanıt olarak, kullanıcı adı, tweet, zaman bilgisi ve etiketlenmişse coğrafi konum detayı döndürmektedir.
- 2- "Tweetcatcher Desktop" (TCD) (Cribbin et al. 2015), bir masaüstü yazılımı olup, Twitter verilerinin elde edilmesi ve görselleştirmesi için daha çok sosyal araştırmalarında kullanılan bir yazılımdır. Bu kullanımın nedeni, programın daha çok metin tabanlı

analizlere yönelik çalışmalara izin vermesidir.

- 3- KNIME (Int Kyn. 3), twitter verisinin elde edilmesi için "Ktime Twitter Nodes" paketini içeren bir platformdur. Ktime ayrıca "Sosyal Medya Duygu Analizi" ve metin madenciliği için "Doğal Dil İşleme (NLP)" araçları ve kütüphanelerini içermektedir.
- 4- Carto (Int Kyn. 4), internet tabanlı bir platformdur. Sürükle – bırak analizleri ve mekansal veri görselleştirme imkanları sunmaktadır. Ancak ücretsiz kullanımı hem bireysel hem de kurumsal kullanıcılar için sınırlıdır.
- 5- NodeXL (Int Kyn. 5), Twitter verisini indirmek ve işlemek üzerine temel ve profesyonel sürümlerini sunmakta olan bir araçtır. Bu araç metin analizlerinde ve kullanıcılar arası ilişki ağlarının tespiti ve analizi üzerine ağ veri tipini işleme kabiliyetine sahiptir.
- 6- Geo Tweets Downloader (GTD) (Int Kyn. 6, Gulnerman et al. 2016), bir masaüstü programdır. Bu program konumsal filtrelemeye izin vermekte ve sadece coğrafi konumlanmış tweetleri toplamaktadır.

Bu uygulamaların yanı sıra twitter ve diğer sosyal medya platformları verilerini elde etme, işleme için birçok yazılım ve yöntem Ryerson Üniversitesi'nin oluşturduğu "Sosyal Medya Veri Yönetimi İçin 50'den Fazla Araç Kiti" (Social Media Data Stewardship 2017) (Int Kyn. 7) başlıklı çalışmadan incelenebilir. Yukarıda bahsi geçen uygulamaların dışında, Twitter verileri belirli kriterler belirtilerek ücretli olarak da edinilebilmektedir. (Int Kyn. 8). Bunun yanında Twitter'da üretilen anlık veri "FireHoseAPI" aracılığı ile Twitter tarafından yine ücretli olarak sunulmaktadır (Int Kyn. 9). Sosyal medya verileri ile yapılacak çalışmaların farklılıklarına göre veri toplama yöntemi ve detayı da değişmektedir. Planlanan çalışmanın amacına göre en uygun veri elde etme yönteminin seçilmesi gerekmektedir. Örneğin acil durumlara müdahale amaçlı olay tespiti yapılabilmesi için veri anlık olarak elde edilmeli iken, alınan politik bir karar sonrası

sosyal medyadaki tepkiler üzerine duygu analizi için geriye dönük günlük ya da haftalık veri elde etmek gerekmektedir.

2.2. Coğrafi Veri Ayırıştırma Teknikleri ve Çalışmaları

Metin içerisinde konum bildiren kelimelerin tespit edilmesi ve coğrafi etiketlerle ilişkilendirilmesi coğrafi ayırıştırma olarak adlandırılmaktadır. Coğrafi ayırıştırma özellikle sosyal medya uygulamalarında mekansal veri miktarını arttırmak ya da coğrafi konuma sahip verinin metin verisi ile coğrafi tutarlılığının araştırılması için önemlidir.

Coğrafi ayırıştırma metodolojilerinde sözlük tabanlı veya bağlamsal tabanlı olmak üzere iki temel yaklaşım vardır. Sözlük tabanlı uygulamalarda yöntem coğrafya sözlüğü kullanılarak veri üzerinden sorgu yapılmasına dayanmaktadır. Bu yaklaşımda coğrafya sözlüğünün zenginliği ve kalitesi coğrafi ayırıştırma başarısına doğrudan etki etmektedir. Bağlamsal temelli yöntemler ise doğal dil işleme yöntemleri ile sağlanabilmektedir. Bağlamsal yöntemlerde performans, doğal dile göre, dile özgü üretilmiş doğal dil temizleme, işleme vb. paketlerin performansına göre farklılık göstermektedir. Coğrafi veri ayırıştırma üzerine algoritma çalışmaları, masaüstü uygulamaları ve çevrimiçi servislerinden öne çıkanlar aşağıdaki şekilde sıralanabilir.

- 1- Keller et al. (2009) 4000 anahtar sözcükle metin içerisinde coğrafi ayırıştırma yaparak salgın haritalarının çevrimiçi sayfalarından üretilmesini sağlamışlardır.
- 2- Gelernter ve Balaji (2013) yazım hatası, kısaltma çevrimi, lehçe tespiti, mecaz anlam tespiti gibi ön işleme adımlarının ardından, konum belirten edatların, yön bildiren kelimelerin, uzaklık belirten birimlerin tespitlerini gözeterek algoritmalarını geliştirmişlerdir.
- 3- Geoparsepy, anlam bulanıklığı üzerine detaylı çalışmaları da içeren bir masaüstü uygulamasıdır. Bu masaüstü uygulaması, açık veri kaynağı olan OSM verisini coğrafi referanslama amaçlı kullanmak üzere tasarlanmıştır (Middleton et al. 2018).
- 4- Geoparser.io (Int Kyn. 10) bir uygulama programlama arayüzü mantığıyla çalışmakta

ve R programlama dili ile API sorgulamalarına izin vermektedir. Bu servis aracılığı ile coğrafi ayırıştırma her bir kullanıcı için aylık 1000 sorgu ücretsiz olarak sunulmaktadır.

- 5- Yavuz ve Abul (2016), yer belirten dil elemanları (ek (-de, -da), isim (okul, hastane), fiil (gidiyorum, dönüyorum)) ile durum tanımlamaları yaparak konum içeren sosyal medya mesajlarının tespitini yapmayı hedefleyen bir çalışma yürütmüştür.

Yukarıda da bahsedildiği üzere, coğrafi veri ayırıştırma ve coğrafi konumlama yapabilmek için coğrafya sözlüğüne, doğal dil işleme paketlerine ve bunun yanı sıra referanslama yapabilecek servislere ihtiyaç duyulmuştur. Her coğrafi bölge için coğrafya sözlüğü bulunmamakta ve doğal dil işleme algoritmaları dile özgü olduğu için her dil için istenen başarıyı sağlayamamaktadır.

Bu nedenle, yukarı sunulan çalışmaların bir çoğu dil bağımlı ön işleme adımları sunduğu için her dilde başarıya ulaşamamaktadır. Bunun yanı sıra, Keller et al. (2009) ve Geoparsepy örneklerinde olduğu gibi coğrafya kütüphanelerine dayanan tespit algoritmalarında, coğrafi kütüphanenin zenginliği önemli rol oynar. Yapılan bir çalışmada Geoparsepy yazılımı için önerilen coğrafya sözlüğünün güncellenmemesi nedeniyle, Birleşik Krallık ve ABD ülkeleri sınırları dışındaki kalan veriler için çok düşük oranda coğrafi eşleşme yakaladığı görülmüştür (Gulnerman et al. 2018). Bu çalışmada, coğrafi ayırıştırmadaki coğrafya sözlüğü ve coğrafi konumlama servis ihtiyacının sosyal medya verilerinden karşılanması amaçlanmıştır.

3. Coğrafya Sözlüğü Üretimi Metodolojisi

Bu çalışmada yöntem sırasıyla; coğrafi ayırıştırma, coğrafi etiketin konumunun belirlenmesi olarak iki temel aşamadan oluşmaktadır. Coğrafi ayırıştırma için, coğrafi olarak etiketlenmiş tweetler üzerinden 5 farklı cümle yapısı belirlenmiştir (Çizelge 1). Bu cümle yapıları göz önünde bulundurularak veriden coğrafi etiketler çıkarılmıştır.

Çizelge 1. Tweet içeriklerinde tespit edilen coğrafi etiketleme metin yapıları.

No	Örnek Tweet	Yapı	Coğrafi Etiket (CE)
----	-------------	------	---------------------

1	I'm at Ortaköy in Beşiktaş, İstanbul https://t.co/...	I'm at [CE] in	Ortaköy
2	I'm at KoçSistem https://t.co/...	I'm at [CE] https://	KoçSistem
3	Endokrin ve Metabolizma (@Bakırköy Sadi Konukçu Hastanesi in Bakırköy, İstanbul) https://t.co/...	@[CE] in	Bakırköy Sadi Konukçu Hastanesi
4	Yakmaya gidiyoruz @ İstanbul FSM Koprusu	@[CE] https://	İstanbul FSM Koprusu
5	At Hyde Park – https://t.co/..	At [CE] –	Hyde Park

R programlama diliyle her bir metin yapısı için coğrafi etiketleri ayıklayacak bir algoritma yazılmıştır. Bu sayede yapısal olarak tanımlanabilen tweet içeriklerinden coğrafi etiketlerin tespiti sağlanmıştır.

Sosyal medyada paylaşılan coğrafi etiketin konumla tutarlılığını tespit edebilmek ve etiketin tespit edilen konum doğruluğunun artırılabilmesi için coğrafi etiketlerin mekansal tekrarı araştırılmıştır. Ayrıca veri üretiminde veri tekrarı coğrafi yer etiketinin kabulü için kural olarak tanımlanmasıyla, kişisel yer isimlendirmelerinin (evim, dükkanım, okulum vb.) göz ardı edilmesi sağlanmaya çalışılmıştır.

Sosyal medya verilerinin konum doğruluğu akıllı cihazlarda bulunan GNSS'in konum doğruluğu ile eş olarak kabul edilebilir. Bunun yanısıra paylaşım yaparken doğrudan bir mekanın içinde yer almadan belli bir mesafeden paylaşım yapıldığı gözlemlenirse konum doğruluğunda sapmaların olması olasıdır. Bu çalışmada, ilgi noktalarının doğruluğu için ilgi noktasının temsil ettiği alanın içerisine düşmesi yeterli olarak kabul edilmiştir.

Bu araştırmanın ilk adımı kent için mekansal bölgelerin oluşturulması, ikincisi ise coğrafi etiketlerin bu mekansal alt bölge çerçevelerinde rastlanma sayısının belirlenmesidir. Mekansal bölgeleme için kent yapısından bağımsız kareler ağı tabanlı bir alt bölgeleme sistemi yerine kentin yol ağı dikkate alınarak Voronoi alanları üretilmiştir. Voronoi alanları kareler ağının sabit büyüklüklerinin aksine kentte bulunan yapılaşma büyüklüklerini göz önünde bulunduran bir alt bölgeleme imkanı sağlamaktadır. Bu sayede, kent içerisindeki farklı büyüklükteki coğrafi elemanların (Kent parkları, Cafe, Spor Salonu) mekansal etiketinin izdüşümlerinin kentsel etki alanları içerisinde tespit edilebilmesi amaçlanmıştır. Mekansal bölgeleme ve

coğrafi tekrarlılık metodolojisinin işlem adımları Şekil 1'de detaylı olarak sunulmaktadır.



Şekil 1. Coğrafi etiketlerin coğrafi konumlandırma metodolojisi adımları.

4. Bulgular

Sunulan metodolojinin adımları İstanbul ve Londra şehirleri için toplanan Twitter verilerine uygulanmıştır. Toplanan veriler her iki il için de 2 haftalık bir zaman dilimini kapsamaktadır.

Çizelge 2'de verildiği üzere işlenen verilerden İstanbul için 13.966, Londra için 3.048 noktayı içeren coğrafya sözlüğü üretilmiştir. Tespit edilen coğrafi etiketlerin paylaşımlarda yer alma oranları kentlerin ilgi noktalarının popülerliği ve/veya ziyaretçi kapasitelerini ortaya çıkarmaktadır.

Çizelge 2. Veri ile ilgili genel bilgiler.

	İstanbul	Londra
Toplam Tweet Sayısı	251.654	96.256
Coğrafi etiket içeren tweet sayısı	158.920	32.998
Kullanıcı sayısı	34.746	15.103
Üretilen coğrafi etiket sayısı	13.966	3.048

Çizelge 3'te en yüksek sayıda paylaşımda yer alan 10 coğrafi etiket İstanbul ve Londra için listelenmiştir. Çizelgede yer alan en popüler etiketlerde kent isimleri ön plana çıkarken, bu konular daha çok, fazla sayıda insanın ziyaret ettiği havalimanı, alışveriş merkezi, üniversite, stat, park ve turistik çekim alanları gibi yerleri kapsamaktadır. Dikkat çeken bir başka konu, aynı yeri ifade eden etiketlerin kent isimleri, ülke isimleri gibi ek kelimeler (İstanbul, İstanbul Turkey, İstanbul Türkiye, Hyde Park, Hyde Park London vb.) nedeniyle sözlük içerisinde mükerrer kayda neden olmalarıdır. Bunun yanı sıra

yanlış yazımlar, kısaltmalar, dil encodinglerindeki karakter farklılıkları ve farklı dillerin bir paylaşımında kullanılabilmesi nedenleri ile etiketlerde hatalar ve tekrarlar da görülebilmektedir.

Çizelge 3. Veri ile ilgili genel bilgiler.

Sıra No	İstanbul		Londra	
	Etiket	Paylaşım Sayısı	Etiket	Paylaşım Sayısı
1	İstanbul, Turkey	1664	Wembley Stadium	422
	İstanbul Sabiha Gökçen Uluslararası Havalimanı	1333	The O2	369
3	İstanbul Atatürk Havalimanı	771	London United Kingdom	256
4	Akasya Acibadem	535	MCM London Comic Con	256
5	Bağdat Caddesi	437	Tower Bridge	243
6	Beykent Üniversitesi	437	Victoria Park	218
7	İstiklal Caddesi	412	Shoreditch	213
8	İstanbul Atatürk Havalimanı tavairports	308	London Bridge	201
	Büyükkada	263	We Are Festival	192
10	Cevahir	253	Buckingham Palace	188

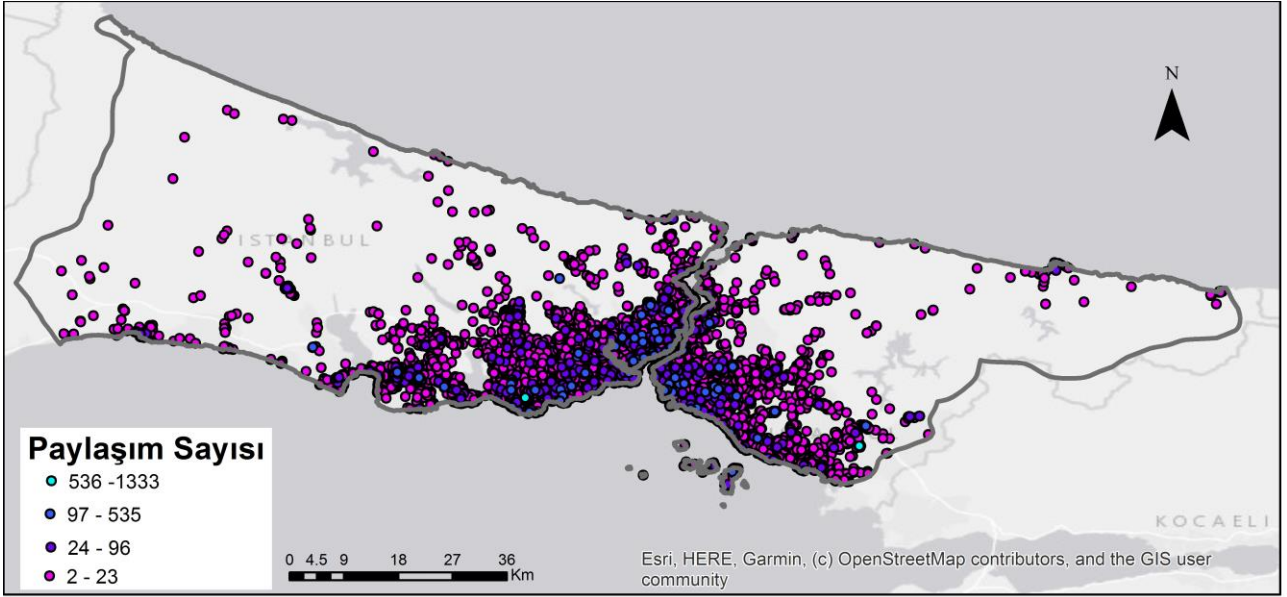
Sosyal medya verilerinden üretilen coğrafi ilgi noktaları paylaşım sayılarına göre 4 sınıfla haritalandırılmıştır (Şekil 2, 3). Buna göre her iki il için de kent merkezindeki ilgi noktaları daha çok tweet içeriğinde yer almıştır. Bunun yanı sıra bir yerin ifadesinde özellikle Taksim, Trafalgar gibi meydan adları birden fazla noktada paylaşım içeriklerinde etiketlenmiştir (Şekil 2 (b), Şekil 3 (b)). Benzer konumda aynı yeri ifade eden ancak yazım farklılıkları nedeniyle etiketlerin tekrarlandığı da yine haritalardan görülebilmektedir.

Dikkat edilmesi gereken diğer bir önemli detay ise isim tekrarı gibi görülen ancak zincir dükkan ve restoranlar gibi aynı isme sahip farklı mekanların yakın mesafede yer alabilmeleridir. Bu nedenle benzer isimlerin mekansal bölgeleme sınırları olmaksızın gruplanmasının anlamlı olmadığı gözlemlenmiştir. Bina ölçeğinde alanı temsil eden coğrafi ilgi etiketleri ise genellikle doğru olarak konumlanabilmiş ve tekrara rastlanmamıştır. Özellikle Londra için müze, galeri, elçilik gibi resmi

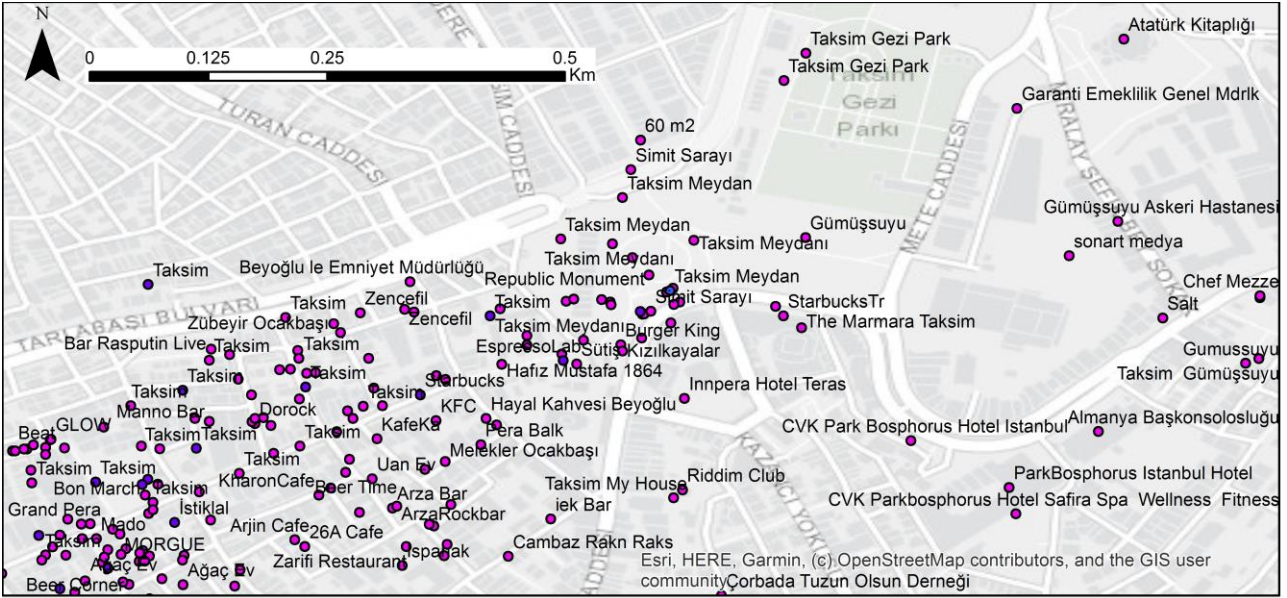
binaları kapsayan etiketlemelerde metodolojinin başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir. Bu çıktılar göz önünde bulundurulduğunda kent isimlerinin birçok noktada tekil ya da bir coğrafi etikete ek olarak işaretlendiği mekansal olarak da tekrar görülmektedir. Bu durum veride gerekli olmayan bir detaya sebep olmakta, bu nedenle kent isimlerinin büyük ve küçük harf duyarlılığı da göz önünde bulundurulurken tüm etiketler içerisinde silinmesi bir yol olarak görülebilmektedir. Kent ve ülke isimlerinin tüm etiketlerden silinmesi veriyi temizlemek adına pratik bir yöntem olarak görülebilmektedir, bu isimleri mekan adı içerisinde kullanan dükkan, restoran ya da resmi binalar için veride bozulmaya neden olabileceği de dikkate alınmalıdır. Bu nedenle bu tip bir temizleme için daha detaylı bir kural tanımına ihtiyaç vardır.

Aynı mekansal bölge içerisinde yer alan ve isimleri tekrarlı olarak görülebilen Taksim, Taksim Meydanı, Taksim Meydan, Taksim Square gibi kayıtlar için metin benzerliği algoritmaları kullanılarak benzerlik düzeylerine göre veri eşleştirme, belirli kurallar çerçevesinde sağlanabilir. Yine bu öneri sonucunda yer isimleri benzer ancak farklı yerleri ifade eden verilerin kaybolması durumu ortaya çıkabilir. Bu duruma Londra'da aynı mekansal bölgede bir arada yer alan Bricklane (yerleşim yerinin adı), Bricklane Marketi, Bricklane Durağı örnek olarak verilebilir. Bricklane örneğinde metin benzerliğinin yüksek olarak çıkacak olmasına rağmen, verilerin eşlenmemesi gerekmektedir.

Büyük alanlar için etiket tekrarından ve alanların birçok mekansal bölgeyi kapsamamasından önceden bahsedilmişti. Bu tekrarlar için nokta ifadesi yerine aynı etiketi taşıyan noktaların çevrelediği alan tabanlı veri üretimi üzerinde durulması coğrafi sözlüğün ifadesi için daha doğru öneriler doğurabilir. Bu çalışmada, metin verisi ile ilgili olan veri ön işlem adımları, verinin yapısallığının bozulmaması için kullanılmamıştır. Ancak bu yapısallık da göz önünde bulundurulurken bazı dil karakter işlemleri, büyük küçük harf duyarlılığı ve mimik içeren şekillerin temizliği üretilen veri kalitesini arttırmaktadır.

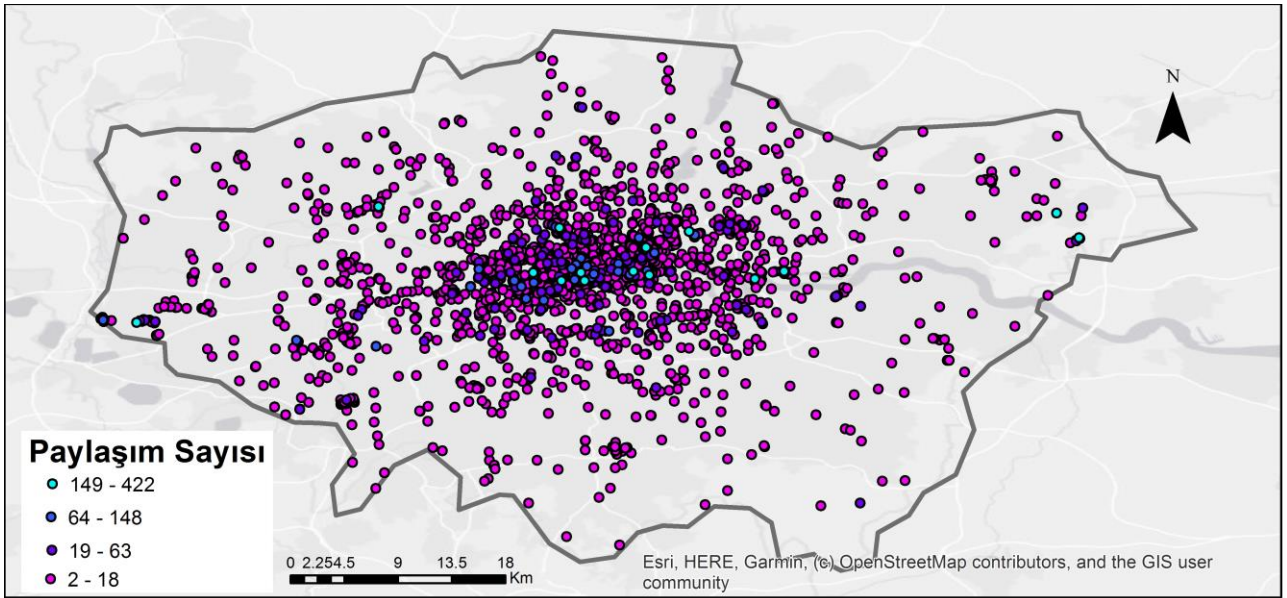


(a)



(b)

Şekil 2. İstanbul verisinden üretilen coğrafi ilgi noktaları (a) paylaşım sayısına göre sınıflandırılmış veri (b) Taksim meydanı ve çevresi etiket detayı.



(a)



(b)

Şekil 3. Londra verisinden üretilen coğrafi ilgi noktaları (a) paylaşım sayısına göre sınıflandırılmış veri (b) Trafalgar meydanı ve çevresi etiket detayı.

5. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada, sosyal medya verilerinin konum tabanlı servisler ile birlikte mekansal veriye katkısı ve bu katkının kapasitesinin nasıl artırılacağı üzerinde durulmuştur. Sosyal medya platformları doğrudan ya da dolaylı olarak paylaşılan konum verileriyle geniş alanları kapsayan, sürekli ve düşük maliyetli bir veri kaynağıdır. Bu platformlar, özellikle doğal afetlerin yarattığı gibi acil durumların yönetilebilmesinde anlık veriyi büyük alanlar için hızla sunabilme kabiliyetiyle, acil müdahale için hayat kurtarıcı olabilme kapasitesine sahiptir. Düzensiz olan bu veri ile ilgili bu olumlu özelliklerin

kullanılabilmesi için veri, ön işleme adımlarında filtrelenmeli, temizlenmeli, konumlandırılmalı ve ardından konusuna göre sınıflandırılmalıdır. Sosyal medya verisi geleneksel haritalama yöntemlerinin aksine haritalama alanında uzman olmayan kişiler tarafından üretilebilmekte ve bu üretimde salt haritalama gibi bir amaç bulunmamaktadır. Bu nedenle bu verinin kullanılması yönünde bir başka tartışma da verinin güvenilirliği ve doğruluğu üzerinedir. Verinin sağlanması bu çalışmada olduğu gibi verinin birden fazla kullanıcı tarafından doğruluğunun teyit edilmesi ile öngörülebileceği gibi, hali hazırda

kullanıcı tabanlı güvenilirlik çalışmaları da literatürde yer almaktadır.

Sosyal medya kullanıcılarının konum bilgisi bahsinde ise kullanıcının “profil konumu”, “dolaylı konumu” (tweet içeriğinde bahsettiği konum) ve “doğrudan konumu” (enlem, boylam)” ve “gerçek konumu” (paylaşım yaparken bulunduğu konum) gibi birden fazla konum söz konusudur. Profil bilgisi kullanıcın ikamet ettiği yer olarak değerlendirilirken, diğer üç konum bilgisi de her bir paylaşımın konumlandırılması için büyük önem arz edebilir. Bu üç konumun aynı olması verinin en tutarlı olduğu durumdur. Ancak “dolaylı konumun” tahmini için bu çalışmada da bahsedildiği gibi coğrafi ayrıştırma tekniklerinde başarıma, “gerçek konum” için ise kullanıcının paylaşım geçmişine yönelik analizlere ihtiyaç vardır (Gulnerman et al. 2018). Çoğu zaman bu kullanıcının gerçek konumundan emin olunamasa da dolaylı ve doğrudan konumun tutarlı olması, verinin içeriğinin gerçekten bahsi geçen konuyla ilgili olmasının doğrulanması ile veri anlamlı kılınmaktadır.

Bu çalışmada, sosyal medya verilerinin coğrafi kullanım kapasitesinin artırılması ve doğruluğunun tartışılabilmesi için coğrafi ayrıştırma teknikleri ele alınmış ve coğrafi ayrıştırmada ihtiyaç olan coğrafya sözlüğünün üretimi için sosyal medya verisinin kullanımı üzerine bir yöntem önerilmiştir.

Gelecek çalışmalarda, bu çalışmadaki bulgular gözetilerek metodolojinin özellikle çeşitli metin işleme teknikleri ile geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Geliştirilecek yeni yöntemin daha büyük bir veri kümesi ile değerlendirilerek daha kapsamlı bir coğrafya sözlüğü üretilmesi de planlanmaktadır. Üretilen bu veri, sosyal medya verilerinin mekânsal tutarlılığının araştırılmasına altlık veri olarak kullanılabilir.

Bu çalışma, özellikle coğrafya sözlüğü yetersiz bölge ve şehirler için veri üretimine hizmet edecek bir yaklaşım sunmaktadır. Bu yaklaşım, doğal dilden bağımsız bir metin işleme yaklaşımı uygulamaktadır. Dilden bağımsız bu yaklaşım, olumlu yönlerinin yanı sıra doğal dil işleme ile ilgili bazı yardımcı özelliklerin kullanılmaması nedeniyle kısıtlı kalmıştır. Özellikle yazım hatalarının düzeltilmesi, eklerin giderilmesi için uygulanabilecek kök bulma (stemming) algoritmaları verideki doğruluğu arttırabilecektir.

Bu çalışmada da görüldüğü üzere, sosyal medya, mekansal veri üretimine, hızlı, masrafsız ve kapsamlı bir kaynak oluşturma potansiyeline sahiptir. Bu önemli potansiyelin kullanımı coğrafi veri çıkarım yönteminin geliştirilmesi ile iyileştirilebilir. Ayrıca çıkarılan bu coğrafi verinin farklı analizlerle projelendirilmesi ile mekansal verideki olası değişimlerin takibi mümkün olabilir. Bu nedenle ileride yapılacak çalışmalar aşağıdaki adımlarla planlanmaktadır. İlk adım, ön işleme analizine metin bazlı benzerlik indekslerinin kullanımının dahil edilmesidir. Bu sayede olası yazım hatalarından kaynaklı coğrafi tekrarlılığı tespit edilemeyen ilgi noktalarının tespit edilmesidir. İkinci adım ise, bu çalışmada uygulanan metodolojinin daha uzun bir zaman aralığını kapsayan bir veri setinde uygulanmasıdır. Böylece daha çok ilgi noktasının tespiti mümkün olabilecektir. Üçüncü adımda ise, farklı zaman dilimleri için (aylık, sezonluk, yıllık vb.) elde edilen coğrafi etiketlerinin takibi ile veri güncelliği araştırmasıdır. Bu sayede adı değişen mekansal kullanımlar, yeni oluşan ilgi noktaları veya tamamen ortadan kalkan kullanımların tespiti yapılarak veri güncelliği sağlanabilir.

Teşekkür

Bu çalışma İstanbul Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) programı kapsamında desteklenmiştir. (Proje Kodu: MDK-2017-40569 40569)

6. Kaynaklar

- Cribbin T., Barnett J., Brooker P., Basnayake H., 2015. The Chorus Project Tweet Catcher. TCD 1.3.1. <http://chorusanalytics.co.uk/>.
- D'Andrea E., Ducange P., Lazzarini B., Marcelloni F., 2015. Real-time detection of traffic from twitter stream analysis. *Intelligent Transportation Systems*, **16**:2269-2283.
- Gelernter J., Balaji S., 2013. An Algorithm for Local Geoparsing of Microtext. *GeoInformatica*, **17**(4):635-67.
- Gentry J., 2016. R-Based Twitter Client. 1.1.9. <https://cran.r-project.org/web/packages/twitteR/twitteR.pdf>.

- Gong, Y., Deng, F., & Sinnott, R. O., 2015. Identification of (near) Real-time Traffic Congestion in the Cities of Australia through Twitter. *In Proceedings of the ACM First International Workshop on Understanding the City with Urban Informatics*, 7-12.
- Goodchild M.F., 2007. Citizens as voluntary sensors: spatial data infrastructure in the world of Web 2.0. *International journal of spatial data infrastructures research*, **2(2)**, 24-32
- Gulnerman AG, Gengec NE, Karaman H. 2016. Review of Public Tweets Over Turkey Within a Pre-Determined Time. *ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. **3(1)**, 153-159.
- Gulnerman, A. G., Karaman, H., Basiri, A., & Marsh, S., 2018. Credibility Index of the Social media Users to Detect Spatial Outliers. *RGS-IBG Annual International Conference*, Cardiff, UK.
- Hasby M, Khodra ML., 2013. Optimal path finding based on traffic information extraction from Twitter. *In International Conference on ICT for Smart Society*, IEEE, 1-5.
- Hecht B., Hong L., Suh B., Chi E.H., 2011. Tweets from Justin Bieber's heart: the dynamics of the location field in user profiles. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*.
- Hecht B., Stephens M., 2014. A tale of cities: Urban biases in volunteered geographic information. *Proceedings of the Eighth International AAAI Conference on Weblogs and Social Media*.
- Ishino A., Odawara S., Nanba H., Takezawa T., 2012. Extracting transportation information and traffic problems from tweets during a disaster. *Proc IMMM*, 91-96.
- Keller M., Freifeld C.C., Brownstein J.S., 2009. Automated vocabulary discovery for geo-parsing online epidemic intelligence, *BMC Bioinformatics*, **10 (1)**, 385.
- Kosala R., Adi E., 2012. Harvesting real time traffic information from Twitter. *Procedia Engineering*, **50**, 1-11.
- Lin Y-R., Margolin D. 2014. The ripple of fear, sympathy and solidarity during the Boston bombings. *EPJ Data Science*, **3**, 1-28.
- McCreadie R., Macdonald C., Ounis I., Osborne M., Petrovic S., 2013. Scalable distributed event detection for twitter. *In 2013 IEEE international conference on big data*, 543-549.
- Middleton, S. E., Kordopatis-Zilos, G., Papadopoulos, S., & Kompatsiaris, Y., 2018. Location extraction from social media: Geoparsing, location disambiguation, and geotagging. *ACM Transactions on Information Systems*, **36(4)**, 1-27.
- Moffitt J., 2017. Tweet Metadata Timeline. <http://support.gnip.com/articles/tweet-timeline.html>.
- Sakaki, T., Okazaki, M., & Matsuo, Y., 2010. Earthquake shakes Twitter users: real-time event detection by social sensors. *In Proceedings of the 19th international conference on world wide web*, 851-860.
- Schroeder P., 1996. Criteria for the Design of a GIS/2. *Specialists' meeting for NCGIA Initiative 19. GIS and Society, Summer*.
- Sieber R., 2006. Public participation geographic information systems: A literature review and framework. *Annals of the Association of American Geographers*, **96**, 491-507.
- Signorini A., Segre A.M., Polgreen P.M., 2011. The use of Twitter to track levels of disease activity and public concern in the US during the influenza A H1N1 pandemic. *PloS one*, **6(5)**.
- Tufekci Z., Wilson C., 2012. Social Media and the Decision to Participate in Political Protest: Observations From Tahrir Square. *Journal of Communication*, **62**, 363-379.
- Turner A., 2006. Introduction to neogeography. *O'Reilly*.
- Unver A., 2017. What Twitter Can Tell Us about the Jerusalem Protests. *The Washington Post*, **28**.
- Yavuz D.D., Abul O., 2016. Implicit Location Sharing Detection in Social Media Turkish Text Messaging. *In International Workshop on Machine Learning, Optimization, and Big Data*, Springer, 341-352.

İnternet kaynakları

- 1-<https://www.statista.com/statistics/617136/digital-population-worldwide/>, (30.08.2019)
- 2-<https://developer.twitter.com/en/products/products-overview>, (15.09.2019)
- 3-<https://www.knime.com/blog/knime-twitter-nodes>, (06.10.2018)
- 4-<https://carto.com/connectors/twitter-maps/>, (03.06.2017)
- 5-<https://www.smrfoundation.org/nodexl/>,(05.09.2019)
- 6-<https://github.com/nagellette/geo-tweet-downloader>, (10.05.2017)
- 7-<https://socialmediadata.org/social-media-research-toolkit/>, (10.10.2017)
- 8-<https://www.podargos.com/>,(10.10.2017)
- 9-<https://support.gnip.com/sources/twitter/>, (10.11.2019)
- 10-<https://geoparser.io/>, (10.12.2018)

AKÜ FEMÜBİD 20 (2020) 025601 (287-295)

AKU J. Sci. Eng. 20 (2020) 025601 (287-295)

DOI: 10.35414/akufemubid.652511

Araştırma Makalesi / Research Article

Öğütülmüş Kolemanit Minerali İkameli Beton Yollardaki Aşınma Kaybının Araştırılması

Tuba KÜTÜK-SERT¹, Cuma KARA², Sezai KÜTÜK¹ Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Rize.² Artvin Çoruh Üniversitesi, Borçka Acarlar Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü, Artvin.³ Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Turgut Kiran Denizcilik Fakültesi, Gemi Makineleri İşletme Mühendisliği Bölümü, Rize.Sorumlu yazar e posta: ² cumakara@artvin.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2905-4515>¹ tuba.kutuk@erdogan.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1747-9946>³ sezai.kutuk@erdogan.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0159-5953>

Geliş Tarihi: 10.12.2019

Kabul Tarihi: 23.04.2020

Öz

Nüfus artışı ile mevcut yollarda yoğunluk artmakta ve bu yüzden yeni yollara ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak yol yapımı ve bakım maliyetleri ise oldukça yüksektir. Ayrıca yol yapısının uzun hizmet ömrüne sahip olması hem güvenlik hem de ekonomik anlamda oldukça önem arz etmektedir. Beton yollar ise özellikle son yıllarda ekonomik ve uzun hizmet ömürlü olması sebebi ile ön plana çıkmaktadır. Beton yol hasarlarından aşınma ise yol yapısının uzun hizmet ömrü için tehlikeli bir durumdur. Bu çalışmada; ham öğütülmüş kolemanit minerali çimentoya ağırlıkça %1, %2, %3, %4 ve %5 oranlarda ikame malzemesi olarak kullanılmıştır. Üretimi yapılan beton numunelerin ise aşınmaya karşı dayanıklılığı Böhme deneyi belirlenmiş ve Böhme deney sonuçlarının tahribatsız bir test yöntemi olan Schmidt çekici ile ilişkisi incelenmiştir. Sonuç olarak (7. ve 28. gün) kolemanit ikamesinin aşınma miktarını arttırdığı, ancak sertleşme yaşının artmasıyla (90. gün) %3'e kadar kolemanit minerali ikamesi beton numunelerin aşınma miktarlarını azalttığı görülmüştür. Schmidt çekici ile elde edilen yaklaşık basınç dayanımı incelendiğinde ise 7. ve 28. günlerde ölçülen dayanımlar üzerinde etkisinin düzensiz olduğu, 90. gün de ise %5 kolemanit ikamesi ile dayanım değerinin referansa göre düşük olduğu belirlenmiştir. Gerçekleştirilen deneysel sonuçlara göre kolemanit minerali ikamesinin %3'e kadar kullanılmasının aşınma dayanımı ve Schmidt çekici (yaklaşık basınç dayanımını) değerlerini arttırmada etkili olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar kelimeler

Beton yollar;
Kolemanit;
Aşınma kaybı;
Basınç dayanımı;
Schmidt çekici

Investigation of Abrasion Loss on Concrete Roads with Milled Colemanite Mineral Substitution

Abstract

With the increase in population, the density of the existing roads increases and therefore new roads are needed. However, road construction and maintenance costs are quite high. In addition, the long service life of the road structure is very important for both safety and economic. Concrete roads come to the forefront especially because of their economic and long service life in recent years. Wear from concrete road damages is dangerous for the long service life of the road structure. In this study; The raw milled colemanite mineral was used as a substitute in 1%, 2%, 3%, 4% and 5% by weight of cement. The abrasion resistance of the concrete samples produced was determined by Bohme test and also a relationship between Bohme test results and Schmidt hammer, the non-destructive test method, results was investigated. As a result, it was observed that colemanite substitution increased the wear amount (day 7 and 28), but with increasing hardening age (90th day), the colemanite substitution decreased the amount of wear of concrete samples up to 3%. When the approximate compressive strength obtained from Schmidt hammer was examined, it was found that the effect on the strengths measured on the 7th and 28th days was irregular, and besides on the 90th day the strength value was lower with 5% colemanite substitution compared to the reference. According to the experimental results, the use of colemanite mineral substitution up to 3% was concluded to be effective in increasing abrasion strength and Schmidt hammer (approximate compressive strength) values.

Keywords

Concrete roads;
Colemanite;
Abrasion loss;
Compressive strength;
Schmidt hammer

1. Giriş

Hızla artan dünya nüfusu, ulaşım ağının genişlemesi zorunluluğunu da beraberinde getirmektedir. Türkiye’de en çok kullanılan ulaştırma sistemi karayollarıdır. Yol yapım maliyetinin büyük kısmının ise malzeme ve nakliye ile ilgili olduğu belirtilmektedir. Ayrıca yol yapımı kadar bu yolların hizmet ömrü boyunca bakım maliyetlerinin için de önemli maddi kaynaklar gerekmektedir (Azarijafari et al. 2016). Dolayısıyla yol yapım ve bakım işlerinin ekonomik olması önemli bir unsur olmaktadır.

Son yıllarda beton yollar uzun hizmet ömrü, yerli malzeme kullanımı, yüksek taşıma gücü, çevreci ve ekonomik olması sebebiyle öne çıkmaktadır (İyınam ve Ağar 2004, Yeğınobalı 2010, Int Kyn. 1). Ancak beton malzeme maruz kaldığı dış etkiler ile zamanla bozulmakta ve beklenen uzun hizmet ömrü kısalmaktadır (Bekem Kara and Arslan 2018). Yol ve havaalanı gibi yapılarda kullanılan beton malzeme için aşınma etkisi önemli bir dış faktördür (Szymanska et al. 2008, Şımşek 2016, Popek et al. 2016, Tugrul Tunc and Alyamac 2019). Aşınma bozulmaları acil bir güvenlik sorunu olmamasına rağmen, zamanla yol yapısı için potansiyel bir tehlike yaratan yapısal hasarların nedenleri arasında olacaktır. Ayrıca beton kaplamanın zararlı dış etmenler sonucu aşınması yol yapısının bozulma sürecini hızlandıracaktır. Bu bağlamda aşınmaya karşı dayanıklılık yol betonu için dikkat edilmesi gereken konulardan bir tanesi olmaktadır. Aşınma olayı temel de agregata taneleri ile çimento hamuru arasındaki aderans kuvvetine bağlıdır ve aşınmanın ölçütü genel olarak ağırlık kaybı veya numunelerin boyutları ile belirlenmektedir (Tugrul Tunc and Alyamac 2019).

Betonun aşınma dayanımı ile ilgili çok sayıda çalışma mevcuttur. Genel olarak, herhangi bir betonun aşınma dayanımı, agregata tipi, karışımdaki malzemelerin oranları, betonun dayanıklılığı, herhangi bir ek çimentolu malzemenin kullanımı, lif içeriği, kür ve yüzey işlemleri gibi çeşitli parametrelerden etkilenir (Yen et al. 2007, Krishna et al. 2016). Mineral veya kimyasal katkıların

kullanılması betonun aşınma dayanımını arttırılabilmektedir (Krishna et al. 2016). Ayrıca yapılan çalışmalar betonun basınç dayanımı arttıkça aşınmaya karşı direncin artarak aşınma kaybının azaldığını ve basınç dayanımı ile aşınma direnci arasında oldukça kuvvetli bir ilişkinin olduğu belirtilmektedir (Li et al. 2006, Siddique 2013, He et al. 2019).

Endüstride önemli bir yere sahip olan bor elementi birçok sektörde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bor elementi doğal/ham halde bor minerallerinin içerisinde bor trioksit (B_2O_3) olarak bulunmaktadır. Dünya çapında B_2O_3 rezerv dağılımı %73’lük dilim ile (955 milyon ton kapasite) Türkiye’dedir. (Kutuk and Kutuk-Sert 2017). Kolemanit ise bor mineralleri arasında en yaygın bulunan cevherlerden biridir. Cevher, konsantratör tesisinde zenginleştirilme işlemine tabi tutularak konsantre ürün elde edilmektedir. Konsantre ürün sırasıyla kırma ve öğütme işlemlerinden geçirilerek öğütülmüş ürün elde edilmekte ve paketlenme ünitesinde paketlenerek satışa hazır hale getirilmektedir (Int Kyn. 2). Kolemanit minerali ise son zamanlarda beton teknolojisi sektöründe yoğun olarak araştırılmaktadır. Kolemanit mineralinin betonda kullanılması ile betonun sertleşme süresini uzattığı ancak zamanla basınç dayanımını arttırdığı belirtilmektedir (Erdoğan et al. 1998, Kula et al. 2001, Olgun et al. 2007). Kolemanitin basınç dayanımına olumlu etkisi de kolemanitin mineral yapısı ile açıklanmaktadır (Aksoğan et al. 2016).

Ayrıca beton teknolojisinde kolemanit mineralinin kullanımı ile yapılan çalışmalar arasında radyasyon geçirgenliği üzerine çalışmalar mevcuttur (Korkut et al. 2010, Demir et al. 2011). Oysaki kolemanit mineralinin yol betonu olarak kullanımı ve maruz kalacağı aşınma direnci sonucunda oluşabilecek aşınma kaybı ile alakalı çalışmalar oldukça yetersizdir. Kolemanit minerali ile yapılan çalışmalarda yüksek oranda kullanılmasının dayanıma olumsuz etki ettiği ve bu durumun mineralin yapısındaki bor oksit (B_2O_3) ile ilişkili olduğu belirtilmektedir (Erdoğan et al. 1998).

Yapılan bu çalışmada %0, %1, %2, %3, %4 ve %5 oranlarında ham öğütülmüş kolemanit minerali çimento ile üretilen betonlarda, aşınma kaybının belirlenmesi hedeflenmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1 Materyal

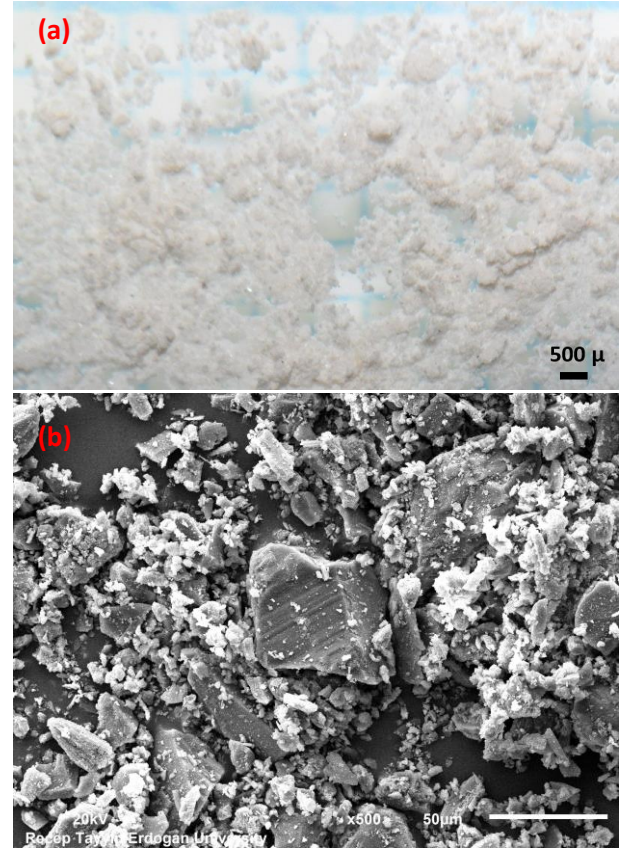
Beton numunelerin üretiminde CEM I 42.5 R portland çimentosu, Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü maden ocağından temin edilen ham öğütülmüş kolemanit minerali, Artvin-Borçka'da bulunan taş ocağına ait agrega, süper akışkanlaştırıcı katkı maddesi ve şehir şebeke suyu kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan çimento ve öğütülmüş kolemanit mineraline ait fiziksel ve kimyasal özellikler Çizelge 1'de görülmektedir.

Çizelge 1. Çimento ve öğütülmüş kolemanit mineraline ait fiziksel ve kimyasal özellikler

Kimyasal Bileşenler (%)	Çimento	Kolemanit
B ₂ O ₃	-	40.00 ± 0.50
CaO	62.64	27.00 ± 1.00
Al ₂ O ₃	4.56	maks. 0.40
Fe ₂ O ₃	3.36	maks. 0.08
SiO ₂	19.05	4.00 ~ 6.50
SO ₃	2.88	-
SO ₄	-	maks. 0.60
MgO	2.98	maks. 3.00
SrO	-	maks. 1.50
Na ₂ O	0.15	maks. 0.50
Nem	-	maks. 1.00
Kızdırma kaybı	3.02	maks. 25.00
Çözünmeyen kalıntı	0.30	-
Fiziksel Özellikler	Çimento	Kolemanit
Yoğunluk (g/cm ³)	3.12	2.39
Özgül yüzey (cm ² /g)	3269	3432
Hacim genleşmesi (mm)	2.0	-
Priz başlama süresi (dakika)	150	-
Priz bitiş süresi (dakika)	210	-

Mineralin küçük boyuta indirgenmesi ile pek çok teknik özellikte olumlu sonuçlar verdiği bilinmektedir (Kutuk 2016). 75 mikron elek altı öğütülmüş halde temin edilen kolemanit mineralinin yoğunluğu 2.39 g/cm³ ve minimum %82'si 75 µm elek altıdır (Int Kyn. 2). Öğütülmüş kolemanit mineralinin optik mikroskop ve elektron mikroskop görüntüleri sırasıyla Şekil 1 (a) ve (b)'de sunulmuştur. Bu mineralin partikül boyut dağılımları, mikroskop görüntüleri, elementel ve

kristal yapı analizleri ile ilgili ayrıntılı bilgiler başka çalışmalarda mevcuttur (Kutuk-Sert 2016, Kutuk 2017).



Şekil 1. Öğütülmüş kolemanit mineralinin (a) x15 büyütme optik mikroskop ve (b) x500 büyütme elektron mikroskop görüntüleri

Çalışmada kullanılan agregalar 0-5 mm (Kırma kum), 5-12 mm (Kırmatas-1) ve 12-25 mm (Kırmatas-2) boyutlarında olup, yoğunluk, su emme ve Los Angeles aşınma kaybı değerleri belirlenerek Çizelge 2'de verilmiştir (ASTM C127-15, ASTM C128-15, ASTM C131/C131M-14).

Çizelge 2. Agregalara ait yoğunluk, su emme ve Los Angeles aşınma kaybı değerleri

Deneyle	Agrega (mm)	Değer	Limit
Yoğunluk (g/cm ³)	Kırma kum	2.63	
	Kırmatas-1	2.70	≥ 2.0
	Kırmatas-2	2.72	
Su emme (%)	Kırma kum	2.30	ince agrega ≤ 3
	Kırmatas-1	1.65	iri agrega ≤ 2
Aşınma (%)	Kırmatas-1	1.20	
	Kırmatas-2	100 devir: 5.9 500 devir: 25.5	≤ 10 ≤ 50

Beton yapının aşınma kaybını etkileyen etmenlerden birisi de kullanılan agreganın aşınmaya karşı dayanıklılığıdır. Agreganın Los Angeles aşınma

kaybı %30'dan az aşınma değerine sahip ise bu agregaların darbe gerilmelerine maruz kalan yol kaplamalarında kullanılabileceği belirtilmektedir (TS 706 EN 12620+A1, Şimşek 2016). Çalışmada kullanılan agregaların aşınma kaybı değerleri, yol betonu üretimi için uygun aşınma kaybına sahip agrega olduğunu göstermiştir.

2.2 Metot

Öğütülmüş kolemanit minerali çimentoya %0, %1, %2, %3, %4 ve %5 oranlarında ikame olarak kullanılmış olup, beton numunelerin karışımları standartlara uygun olarak belirlenmiştir (TS 802, TS EN 206:2013+A1). Kolemanit minerali ikamesiz (%0, referans) ve farklı oranlarda kolemanit minerali ikameli (%1, %2, %3, %4 ve %5) 6 farklı beton tasarımı, çökme miktarları belirlenerek kalıplara yerleştirilmiştir. %0, %1, %2, %3, %4 ve %5 öğütülmüş kolemanit minerali ikameli beton numuneler sırasıyla K0, K1, K2, K3, K4 ve K5 olarak etiketlenmiştir. Beton karışımına giren malzeme miktarları Çizelge 3'de verilmiştir.

Çizelge 3. Beton karışımına giren malzeme miktarları

Etiket İkame oranları	K0	K1	K2	K3	K4	K5
Çimento	350.0	346.5	343.0	339.5	336.0	332.5
Kolemanit	0	3.5	7.0	10.5	14.0	17.5
Su	157.5	157.5	157.5	157.5	157.5	157.5
Katkı maddesi	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8
Kırma kum	925.5	925.1	924.6	924.2	923.8	923.3
Kırmataş-1	408.7	408.5	408.3	408.1	407.9	407.7
Kırmataş-2	589.0	588.7	588.4	588.2	587.9	587.6

Üretimi gerçekleştirilen taze beton numunelerin Böhme deneyi ile aşınma kaybının belirlenmesi için 71x71x71 mm ve ayrıca, tahribatsız yöntemlerden betonun yüzey sertliği ölçümlerinde yaygın olarak kullanılan Schmidt çekici ile yüzey sertliğinin belirlenmesi için ise 150x150x150 mm kalıplara yerleştirilmiştir (TS EN 13892-2, TS EN 12504-2). Üretilen sertleşmiş beton numuneler üzerinde 7., 28. ve 90. günlerde deneysel ölçümler gerçekleştirilmiştir.

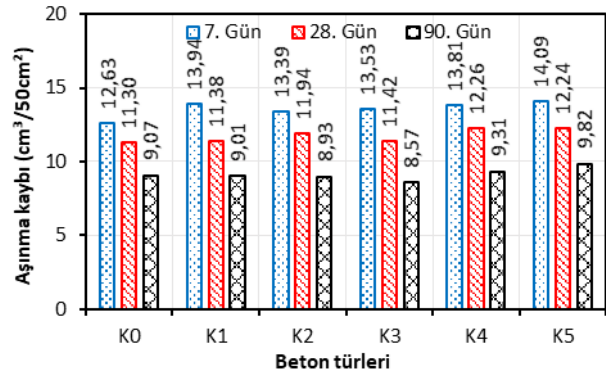
Elde edilen deneysel sonuçlardan aşınma kaybı ve Schmidt çekici ile belirlenen yaklaşık basınç dayanımı arasındaki ilişki regresyon analizi ile

belirlenmiştir. Regresyon analizi sonucunda Schmidt çekici ile tahmini aşınma kayıpları belirlenerek, deneysel aşınma kayıpları ile farkları hesaplanmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

Çimentoya kolemanit mineralinin ikame edilmesi ile üretimi yapılan taze betonların çökme miktarları 100 mm ile 150 mm aralığında ölçülmüştür. Kolemanit mineralinin %5'e kadar çimentoya ikame olarak kullanılmasının taze betonun işlenebilirliğine büyük bir etkisinin olmadığı görülmüştür.

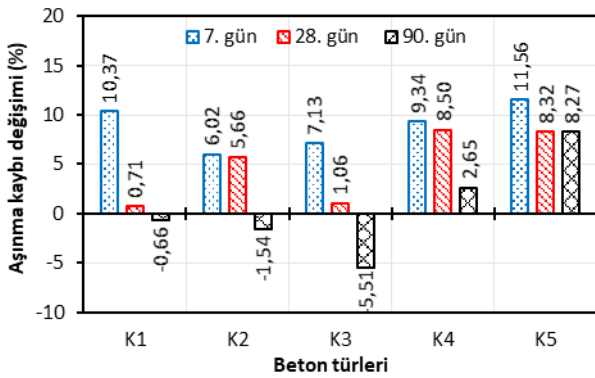
Beton numunelerin 7 ve 28 günlük aşınma kayıpları incelendiğinde tüm kolemanit minerali ikame oranlarında aşınma kaybının referans numuneden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Kolemanit minerali ikameli beton numunelerde ölçülen 90. gün aşınma kayıplarına bakıldığında ise, %1, %2 ve %3 oranlarında kolemanit ikamesinin referans numuneye göre aşınma kaybını azalttığı görülmüştür. Ancak kolemanit mineralinin %4 ve %5 ikame oranlarında tüm yaşlarda en yüksek aşınma kayıplarını verdiği belirlenmiştir. Böhme deneyi ile elde edilen aşınma kayıpları Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Beton numunelerin aşınma kaybı değerleri

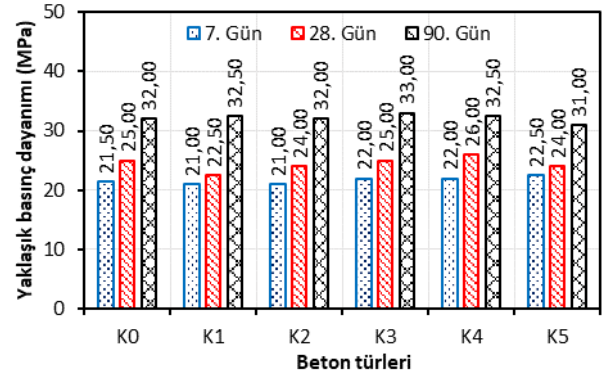
Yapılan çalışmalarda genel olarak dayanım artışı, betonun aşınma direncinde bir artışa yol açmaktadır (Singh and Siddique 2012). Mukavemeti yüksek betonların aşınma direnci yüksek, kaybı ise düşük olmaktadır. Kolemanit mineralinin beton üretiminde kullanılması, taze betonun sertleşme süresini arttırmaktadır (Erdoğan et al. 1998, Kula et al. 2001). Kolemanit minerali ikameli beton numunelerde uzayan sertleşme süresi erken yaşlarda dayanım kazanımını azaltmakta ve basınç

dayanımının düşmesine sebep olmaktadır. 7. ve 28. günlerde kolemanit minerali ikameli beton numunelerde elde edilen yüksek aşınma kaybı kolemanitin mineral yapısı ile açıklanabilmektedir (Aksoğan et al. 2016). Kolemanitin %3 ikame oranına kadar düşük aşınma kaybı sağlaması, kolemanitin puzolanik özelliği ile beton yaşı arttıkça dayanım kazanımının artmasını sağlamıştır (Kula et al. 2001, Targan vd. 2002, Olgun et al. 2007, Aksoğan et al. 2016). Kolemanit ikameli beton numunelerin referans numuneye göre zamanla aşınma kayıplarında meydana gelen değişimler Şekil 3'de görülmektedir.



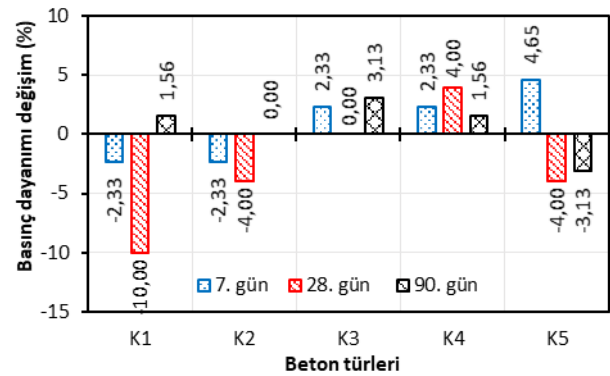
Şekil 3. Öğütülmüş kolemanit minerali ikameli beton numunelerin aşınma kayıplarının referans numuneye göre değişimleri

Yapılan deneylerin sonuçları incelendiğinde ikame oranı ile doğrusal artış veya azalışın olmadığı belirlenmiştir. Çalışmada aşınma kaybı ve yaklaşık basınç dayanımı ile kolemanit minerali ikame oranı arasında doğrusal olmayan bir ilişkinin olduğu söylenebilir. Dayanım ve ikame oranı arasında literatürde benzer ilişkinin olduğu görülmektedir (Kutuk-Sert 2016, Bekem Kara 2019). Schmidt çekici yöntemi ile elde edilen yaklaşık basınç dayanımı değerleri Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 4. Schmidt çekici ile elde edilen yaklaşık basınç dayanımı değerleri

Şekil 4 incelendiğinde kolemanit minerali ikameli üretilen betonların erken yaş dayanımları üzerinde etkisinin düzensiz olduğu belirlenmiştir. Schmidt çekici bir yüzey sertliği test cihazı olmakla birlikte yaklaşık basınç dayanımı tahmini için sık kullanılan bir yöntemdir (Bungey et al. 2006, Malek and Kaouther 2014). Ancak kolemanit ikameli betonların basınç dayanımını belirlemede Schmidt çekici testinin özellikle erken yaşlarda sağlıklı ve gerçeği yansıtmayan veri üretimine sebep olacağını göstermektedir. Kolemanit minarelinin çimentoda ikame malzeme olarak kullanılmasıyla, beton numunelerin ileriki yaşlarında yüzeylerini sertleştirdiği söylenebilir. Kolemanit ikameli beton numunelerin Schmidt çekici ile belirlenen basınç dayanımı değerlerinin referans örneğe göre değişimleri Şekil 5'de sunulmuştur.

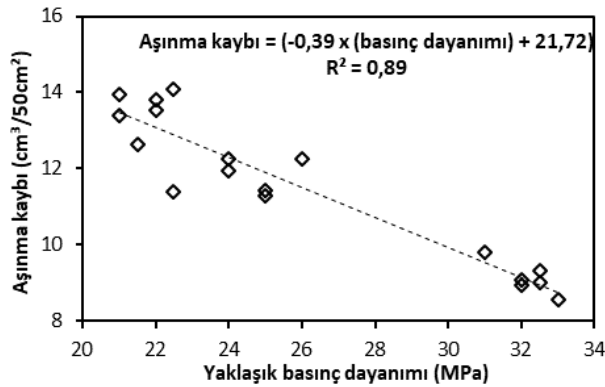


Şekil 5. Öğütülmüş kolemanit minerali ikameli beton numunelerin basınç dayanımlarının referans numuneye göre değişimleri

Schmidt çekici temel olarak bir yüzey sertliği test cihazıdır (Tchamdjoua et al. 2018) ve Schmidt çekici değeri betonun yüzey sertliğine bağlı olmakla birlikte 30~50 mm kalınlığındaki dış beton katmanını

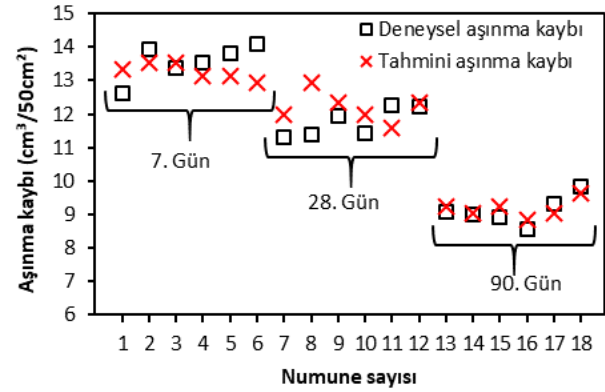
temsil etmektedir (Qasrawi 2000). Aşınma olayının ise malzemenin yüzeyinde meydana gelmesi durumu Schmidt çekici yönteminin aynı zamanda malzemenin aşınma özelliği ile ilgili fikir sahip olunabilmesi için kullanılabileceğini göstermektedir. Çeşitli numunelerden elde edilen Schmidt çekici ölçümleri ile tek eksenli basınç dayanımı arasındaki farklılık yaklaşık olarak %20'dir (Şimşek 2016). Ayrıca aşınma dayanımı ile basınç dayanımının yüksek ilişkisi birçok araştırmacı tarafından vurgulanmaktadır (Li et al. 2006, Siddique 2013, He et al. 2019).

Çalışmada üretilen tüm numunelerin aşınma kayıpları ile Schmidt çekicinden belirlenen basınç dayanımları arasındaki ilişkinin belirlenmesi için regresyon analizi gerçekleştirilmiştir. Yapılan analiz neticesinde elde edilen determinasyon katsayısı (R^2) 0.89 olarak belirlenmiştir. Aşınma kaybı ile Schmidt çekicinden bulunan basınç dayanımı arasında oldukça kuvvetli bir doğrusal ilişki bahsedilebilir. Bu ilişki Şekil 6'de verilmiştir.



Şekil 6. Aşınma kaybı ile yaklaşık basınç dayanımı ilişkisi

Yapılan analiz sonucu elde edilen aşınma kaybı formülü ile tahmini aşınma kaybı deneysel aşınma kayıpları ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen deneysel aşınma kaybı ile tahmini aşınma kayıpları Şekil 7'de görülmektedir. Şekil 7 irdelendiğinde erken yaşlarda tahmini aşınma kaybı ile deneysel aşınma kaybı arasında farkların, betonun yaşı ile birlikte zamanla azaldığı anlaşılmıştır. Bu durum hidrasyon olayının devam etmesi dolayısıyla dayanım gelişiminin bir sonucudur. Beton dayanımının zamanla artış gösterdiği bilinmektedir. Özellikle kolemanit minerali beton numunelerinin dayanım gelişiminin ilerleyen zamanlarda düzene girmesi mineralin betonun sertleşmesine etkisi ile açıklanabilir.



Şekil 7. Deneysel aşınma kaybı ile tahmini aşınma kayıpları

Farklı oranlarda kolemanit ikamesinin beton üretiminde kullanımı ile elde edilen beton numunelerinin 90. gün deney sonuçları ve bu betonların maliyetlerinin referans numunesine göre değişimi Çizelge 4'de verilmiştir. Çizelge 4 incelendiğinde yaklaşık basınç dayanımı ve aşınma deney sonuçları birlikte değerlendirildiğinde K3 numunesi ile en yüksek fayda sağlandığı görülmektedir. Ancak K3 beton türü maliyetinin referans numunesinden %13.26 fazla olduğu belirlenmiştir. Betonun dayanım özelliklerinin iyileştirilmesi ve geliştirilmesi yol yapısının hizmet süresinin artmasında etkili olmaktadır. Kolemanit kullanımı ile artan aşınma dayanımı beton yolun kalitesine olumlu etkide bulunacaktır. Bu bağlamda maliyet artışının ve beton yolun hizmet süresindeki artışın birlikte değerlendirilmesinin uygun olacağı düşünülmektedir.

Çizelge 4. Beton numunelerinin 90. gün elde edilen deney sonuçları ve maliyetlerinin referans numuneye göre değişimleri

Deneyler – Maliyet (%)	K1	K2	K3	K4	K5
Yaklaşık basınç dayanımı	1.56	0.00	3.13	1.56	-3.13
Aşınma kaybı	-0.66	-1.54	-5.51	2.65	8.27
Maliyet	4.63	9.26	13.26	18.52	23.15

4. Sonuç

Farklı oranlarda kolemanit ikamesinin beton yollarda kullanımının aşınma dayanımına etkisinin incelendiği bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

Öğütülmüş kolemanit mineralinin tüm ikame oranları ile elde edilmiş beton numunelerinin 7. ve 28. günlerde aşınma kayıpları referans numuneden

yüksek sonuçlanmıştır. 90. günde ise sırasıyla K1, K2 ve K3 numunelerde aşınma kaybı K0 numunesinden düşük, K4 ve K5 numunelerde ise diğer yaşlarda olduğu gibi yüksek aşınma kaybı ile neticelenmiştir. Kolemanit ikameli beton karışımlarında yaşın artmasıyla birlikte aşınma kaybının azaldığı, ancak aşınma kaybına olumlu etkisinin kolemanit ikame oranının %4'ten sonra olmadığı görülmüştür.

Schmidt çekici yöntemiyle ölçülen değerler incelendiğinde 90. Günde %3 kolemanit ikamesi yaklaşık basınç dayanımını referans numuneye göre %3.13 arttırmıştır. %5 kolemanit ikameli beton türünde ise azalma meydana gelmiştir.

Aşınma kaybı ile Schmidt çekici yönteminden elde edilen yaklaşık basınç dayanımın arasında kuvvetli bir ilişki olmasına rağmen, bu ilişkinin erken yaşlarda yanıltıcı sonuçlar vereceği ve Schmidt çekici yönteminin özellikle betonun ileriki yaşlarında kullanılmasının daha doğru sonuçlar elde edilmesi için uygun olacağı kanısına varılmıştır.

Kolemanit minerali ile yapılacak sonraki çalışmalarda beton numunelerin basınç dayanımlarının belirlenmesinde yaklaşık bir sonuç veren Schmidt çekici yerine tek eksenli basınç dayanımı testinin tercih edilmesi ile daha gerçekçi veriler elde edilecektir. Ayrıca mineralin sertleşmiş beton üzerindeki etkilerinin daha iyi anlaşılabilmesi için dayanım özellikleri ile birlikte dayanıklılık özelliklerinin de test edilmesi önem arz etmektedir.

Teşekkür

Kolemanit mineralini tedarik eden Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğüne teşekkür ederiz.

5. Kaynaklar

Aksoğan, O., Binici, H. and Ortlek, E., 2016. Durability of concrete made by partial replacement of fine aggregate by colemanite and barite and cement by ashes of corn stalk, wheat straw and sunflower stalk ashes. *Construction and Building Materials*, **106**, 253-263.

ASTM C127-15., 2015. Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate.

ASTM C128-15., 2015. Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate.

ASTM C131 / C131M-14., 2014. Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine.

AzariJafari, H., Yahia, A. and Amor, M.B., 2016. Life cycle assessment of pavements: Reviewing research challenges and opportunities. *Journal of Cleaner Production*, **112**, 2187-2197.

Bekem Kara, İ., 2019. The effect of nano silica on the properties of cement mortars containing micro silica at elevated temperatures. *Revista Română de Materiale/Romanian Journal of Materials*, **49**, 518-526.

Bekem Kara, İ. and Arslan, M., 2018. Investigation of high temperature effects on concrete additive antifreeze. *Aksaray University Journal of Science and Engineering*, **2**, 1-12.

Bungey, J.H., Millard, S.G. and Grantham, M.G., 2006. Testing of Concrete in Structures. Taylor & Francis.

Demir, F., Budak, G., Sahin, R., Karabulut, A., Oltulu M. and Un, A., 2011. Determination of radiation attenuation coefficients of heavyweight- and normal-weight concretes containing colemanite and barite for 0.663 MeV γ -rays. *Annals of Nuclear Energy*, **38**, 1274-1278.

Erdoğan, Y., Zeybek, M.S. and Demirbaş, A., 1998. Cement mixes containing colemanite from concentrator wastes. *Cement and Concrete Research*, **28**, 605-609.

He, Z., Chena, X. and Cai, X., 2019. Influence and mechanism of micro/nano-mineral admixtures on the abrasion resistance of concrete. *Construction and Building Materials*, **197**, 91-98.

İyınam, Ş. ve Ağar, E., 2004. Kara yollarında hazır beton. Beton 2004 Kongresi, 66-72.

Korkut, T., Ün, A., Demir, F., Karabulut, A., Budak, G., Şahin, R. and Oltulu, M., 2010. Neutron dose transmission measurements for several new concrete

- samples including colemanite. *Annals of Nuclear Energy*, **37**, 996-998.
- Krishna Rao, S., Sravana, P. and Chandrasekhar Rao, T., 2016. Abrasion resistance and mechanical properties of Roller Compacted Concrete with GGBS. *Construction and Building Materials*, **114**, 925-933.
- Kula, I. Olgun, A., Erdogan, Y. and Sevinc, V., 2001. Effects of colemanite waste, coal bottom ash, and fly ash on the properties of cement, *Cement and Concrete Research*, **31**, 491-494.
- Kutuk, S. and Kutuk-Sert, T., 2017. Effect of PCA on nanosized ulexite material prepared by mechanical milling. *Arabian Journal for Science and Engineering*, **42**, 4801-4809.
- Kutuk, S., 2016. Influence of milling parameters on particle size of ulexite material. *Powder Technology*, **301**, 421-428.
- Kutuk, S., 2017. Öğütülmüş nano boyutlu kolemanit mineralinin elementel ve kristal yapı özellikleri. *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. **10**, 303-313.
- Kutuk-Sert, T., 2016. Stability analyses of submicron-boron mineral prepared by mechanical milling process in concrete roads. *Construction and Building Materials*, **121**, 255-264.
- Li, H., Zhang, M. and Ou, J., 2006. Abrasion resistance of concrete containing nano-particles for pavement. *Wear*, **260**, 1262-1266.
- Malek, J. and Kaouther, M., 2014. Destructive and non-destructive testing of concrete structures. *Jordan Journal of Civil Engineering*, **8**, 432-441.
- Olgun, A., Kavas, T., Erdogan, Y. and Once, G., 2007. Physico-chemical characteristics of chemically activated cement containing boron. *Building and Environment*, **42**, 2384-2395.
- Popek, M., Sadowski, Ł. And Szymanowski, L., 2016. Abrasion resistance of concrete containing selected mineral powders. *Procedia Engineering*, **153**, 617-622.
- Qasrawi, H.Y., 2000. Concrete strength by combined nondestructive methods simply and reliably predicted. *Cement and Concrete Research*, **30**, 739-746.
- Scott, B.D. and Safiuddin, M., 2015. Abrasion resistance of concrete – Design, construction and case study. *Concrete Research Letters*, **6,3**, 136-148.
- Siddique, R., 2013. Compressive strength, water absorption, sorptivity, abrasion resistance and permeability of self-compacting concrete containing coal bottom ash. *Construction and Building Materials*, **47**, 1444-1450.
- Singh, G. and Siddique, R., 2012. Abrasion resistance and strength properties of concrete containing waste foundry sand (WFS). *Construction and Building Materials*, **28**, 421-426.
- Szymańska, P., Pikosa, M. and Nowotarska, P., 2017. Concrete road surface with the use of cement concrete-selected results. *Procedia Engineering*, **2008**, 166-173.
- Şimşek, O., 2016. Beton ve Beton Teknolojisi. Beşinci Baskı, Seçkin Yayıncılık, 138-332.
- Targan, Ş., Erdoğan, Y., Olgun, A., Zeybek, B. ve Sevinç, V., 2002. Kula Cürufu, Bentonit ve Kolemanit Atıklarının Çimento Üretiminde Değerlendirilmesi. I. Uluslararası Bor Sempozyumu, 259-265.
- Tchamdjoua, W.H.J., Cherradia, T., Abidia, M.L. and Oliveira, L.A.P., 2018. Mechanical properties of lightweight aggregates concrete made with cameroonian volcanic scoria: Destructive and non-destructive characterization. *Journal of Building Engineering*, **16**, 134-145.
- TS 706 EN 12620+A1., 2009. Beton agregaları.
- TS 802., 2016. Beton karışım tasarımı hesap esasları.
- TS EN 12504-2., 2013 Yapılarda beton deneyleri - Bölüm 2: Tahribatsız muayene- Geri sıçrama sayısının belirlenmesi.
- TS EN 13892-2., 2015. Şap malzemeleri - Deney yöntemleri - Bölüm 3: Aşınma direncinin tayini - Böhme.
- TS EN 14157., 2015. Doğal taş - Aşınma direncinin tayini.
- TS EN 206:2013+A1., 2017. Beton- Özellik, performans, imalat ve uygunluk.
- Tugrul Tunc, E. and Alyamac, K.E., 219. A preliminary estimation method of Los Angeles abrasion value of

concrete aggregates. *Construction and Building Materials*, **222**, 437-446.

Yeğınobalı, A., 2010. Niçin Beton Yol. Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği/Arge Enstitüsü, Ankara, 1-28.

Yen, T., Hsu, T., Liu, Y. and Chen, S., 2007. Influence of class F fly ash on the abrasion–erosion resistance of high-strength concrete. *Construction and Building Materials*, **21**, 458-463.

İnternet kaynakları

1-https://bmsit.ac.in/system/study_materials/documents/000/000/198/original/CEMENT_CONCRETE_PAVEMENTS.pdf, (10.02.2019)

2-<http://www.etimaden.gov.tr/storage/pages/March2019/5-1-ogutulmus-kolemanit.pdf>, (02.10.2019)

AKÜ FEMÜBİD 20 (2020) 025602 (296-303)

AKU J. Sci. Eng. 20 (2020) 025602 (296-303)

DOI: 10.35414/akufemubid.667560

Araştırma Makalesi / Research Article

Rijitleştirme Levhalı Sıvı Depolama Tankının Yapısal Davranışının Dalga Yüğü Altında İncelenmesi

Mehmet Erkan EFE^{1*}, İlyas Devran ÇELİK², Tevfik Burak KOCAMAN³, Kılıç Yasin ARSLAN⁴^{1,2,3,4}Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta.Sorumlu Yazar e-posta: ¹mefe3234@gmail.comORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-8198-9997>²devrancelik@sdu.edu.trORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-9011-4041>³t.burakkocaman@gmail.comORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-6658-3558>⁴kyarslan92@gmail.comORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-6658-3558>

Geliş Tarihi: 30.12.2019

Kabul Tarihi: 08.04.2020

Öz

Endüstriyel alanda sıkça yer bulan depolama yapıları, kullanıldıkları amaca göre değişken geometri, taşıyıcı sistem ve yapı malzemesine sahip olup silo olarak isimlendirilmektedir. Sıvı depolama için tasarlanan silo tipi yapılarda silindirik tasarım ve çelik konstruksiyon tercih edilmektedir. Sıvı depolama amacıyla inşa edilen bir yapı, depolanan maddeye, sıvı yüzeyinde oluşabilecek dalga kuvvetine ve sıvının silo cidarına yapmakta olduğu hidrostatik basınç dikkate alınarak dizayn edilmektedir. Bu kapsamda silo taşıyıcı sisteminin yatay yönde etkiyen ve yüksekliğe bağlı artan gerilme değerleri altında yeter rijitlikçe çalışması gerekmektedir. Ayrıca, yapı duvarlarından birçok değişkene bağlı olan dalga yükünde karşılaşılması istenmektedir. Literatürde, dinamik etki altında göçme durumuna gelmiş silo tipi yapılar incelendiğinde; genellikle silo yapısının depolamakla görevli olduğu maddenin dinamik etki altındaki davranışına bağlı olarak yapı rijitliğinin ve periyodunun etkilendiği vurgulanmıştır. Yapı özelliklerinde meydana gelen bu değişimin yapının göçme moduna gelmesine sebep olduğu görülmüştür. Bu çalışmada, 12.5m çapında ve 12m yüksekliğinde tasarlanan sıvı depolama tankının dalga yükü altındaki davranışı incelenecektir. Dalga yükü etkisinde silo duvarında oluşabilecek gerilme ve deformasyon etkilerini sönmölemek amacı ile dikey ve yatay rijitleştirme levhaları kullanılmıştır. Tasarlanan yapı Ansys WB sonlu elemanlar programı kullanılarak analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarına dayanılarak, rijitleştirme levhalarının yapı davranışına etkisi incelenmiştir. Levhaların birlikte kullanılmasının daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Anahtar kelimeler

Dinamik Analiz; Silo;
Sonlu Elemanlar;
Hidrostatik Basınç;
Dalga kuvveti

Investigation of Structural Behavior of Liquid Storage Tank with Stiffening Plates under Wave Load

Abstract

Storage structures, which are frequently found in the industrial areas, have variable; geometry, carrier system and building material according to their purpose of use. In liquid storage structures, cylinder designed steel silo constructions are quite common. A structure built for liquid storage is designed according to the stored mass, hydrostatic pressure and the wave load within the silo wall. In this case, the silo carrier system needs to operate sufficiently rigid under the horizontal and vertical stresses. Also, under the wave forces, it is desirable from walls, to be able to carry the wave load that varies depending on the mechanical properties of the liquid stored inside. In the literature; When the silo type structures that are collapsed under dynamic excitation effects are examined; it was emphasized that the behavior of stored material under the dynamic excitation; has affected, rigidity and period of the structure. This situation in the structure period and behavior has been shown to cause the structure to fail. In this study, behavior of a liquid storage tank designed with 12.5m diameter and 12m height is investigated under wave loads. Vertical and horizontal stiffening plates are used to dampen the stress and deformation effects that may occur on the structure wall due to wave load. The designed structure is analyzed using Ansys WB program. Based on the results of the analysis, the contribution of the stiffening plates to the behavior is examined. It has been seen that use of plates together has given better results.

Keywords

Dynamic Analysis; Silo;
Finite Element Model;
Hydrostatic Pressure;
Wave force

1. Giriş

Endüstriyel alanda sıkça yer bulmakta olan silo tipi yapılar sıvı ve katı materyal depolanmasında kullanılmaktadır. Bu yapıların geometrileri ve taşıyıcı sistem tasarımları depolanması planlanan materyale göre değişiklik gösterebilmektedir (Özel 2007). Depolanan materyal yapıda yatay, dikey ve hidrostatik basınç etkileri oluşturmaktadır. Tank içerisinde meydana gelebilecek etkilerin en önemlilerinden biri sıvı çalkantısıdır. Sıvı çalkantısı, hava veya deniz taşıtlarındaki yakıt veya sıvı tankları, dinamik etki altındaki sıvı depolama tankları gibi çeşitli dinamik sistemlerde mühendislik problemleri oluşturabilmektedir. Bu sistemlerin dinamik davranışı genellikle sıvı serbest yüzeyinin dinamiğine bağlı olmaktadır. Bu sebeple, bu tür sistemlerin güvenliği insan hayatı, çevre ve taşımacılık açısından önem taşımaktadır. Tam dolu olmayan tanklarda, tankın hareket periyodu tankın doğal titreşim periyoduna yaklaştığında, çalkalanma etkisi başlamaktadır. Bu sebeple, çalkalanma hareketinin başlayacağı periyot değerlerinin belirlenmesi önemlidir. Depolama tanklarında çalkantı hareketinin periyotlarında büyük yapısal yükler meydana gelebilmektedir. Çalkantı hareketi serbest sıvı yüzeyinin bulunduğu her tankta meydana gelebilir. Tankın şekli ve dağılıma bağlı olarak serbest sıvı yüzeyi; simetrik, asimetrik, rasgele çarpışmalar, yarı periyodik ve kaotik gibi birçok şekli alabilir. Çalkantı hareketinin genliği tank hareketinin frekansına (periyodu) ve genliğine, sıvı derinliğine, sıvının mekanik özelliklerine ve tank geometrisine göre değişkenlik gösterebilmektedir. (Akyildiz et al. 2012).

Tank içerisindeki sıvı hareketinin sonsuz sayıda doğal frekansı bulunmaktadır ama birkaç tank hareketinin mod frekansları sıvının bu doğal frekansına ulaşması için yeterlidir. Ancak, non-lineer etkiler doğal frekanstan farklı değerlerde oluşmakta ve hareketin genliğine bağlıdır. Meydana gelen zorlamanın frekans ve şekli, sıvı serbest yüzeyinin dinamik davranışını etkilemektedir. Bu kapsamda; tank hareketinin periyodunun, sıvı doğal çalkantı periyoduna yaklaştığı durumlarda büyük çalkantı genlikleri beklenebilmektedir. Bu durumda bu iki

periyot birbirlerine yeterince yaklaşırlarsa çalkantı hareketi başlayacaktır. Serbest sallanma hareketi altında, serbest sıvı yüzeyinin hareketi viskozite kuvvetlerince bozulmaktadır. Sönüm oranı esasen; sıvı yüksekliğine, sıvının kinematik viskozitesine ve tank boyutlarına bağlı olabilmektedir (Akyildiz and Unal 2014, Biswal et al.2006, Raouf 2005).

Bu tür yapılar için gerçekleştirilen deneyler; tank içindeki çalkantı hareketinin tank hareketinin, sıvı derinliği ve yoğunluğunun, tank şeklinin bir fonksiyonuna bağlı olduğunu göstermiştir. Ayrıca tank içindeki çalkantı hareketi son yıllarda birçok çalışmada merak konusu olmuştur (Brar and Singh 2014, Akyildiz and Unal 2005, Sanapala et al. 2018, Akyildiz and Unal 2006, Armenio and La Rocca 1996).

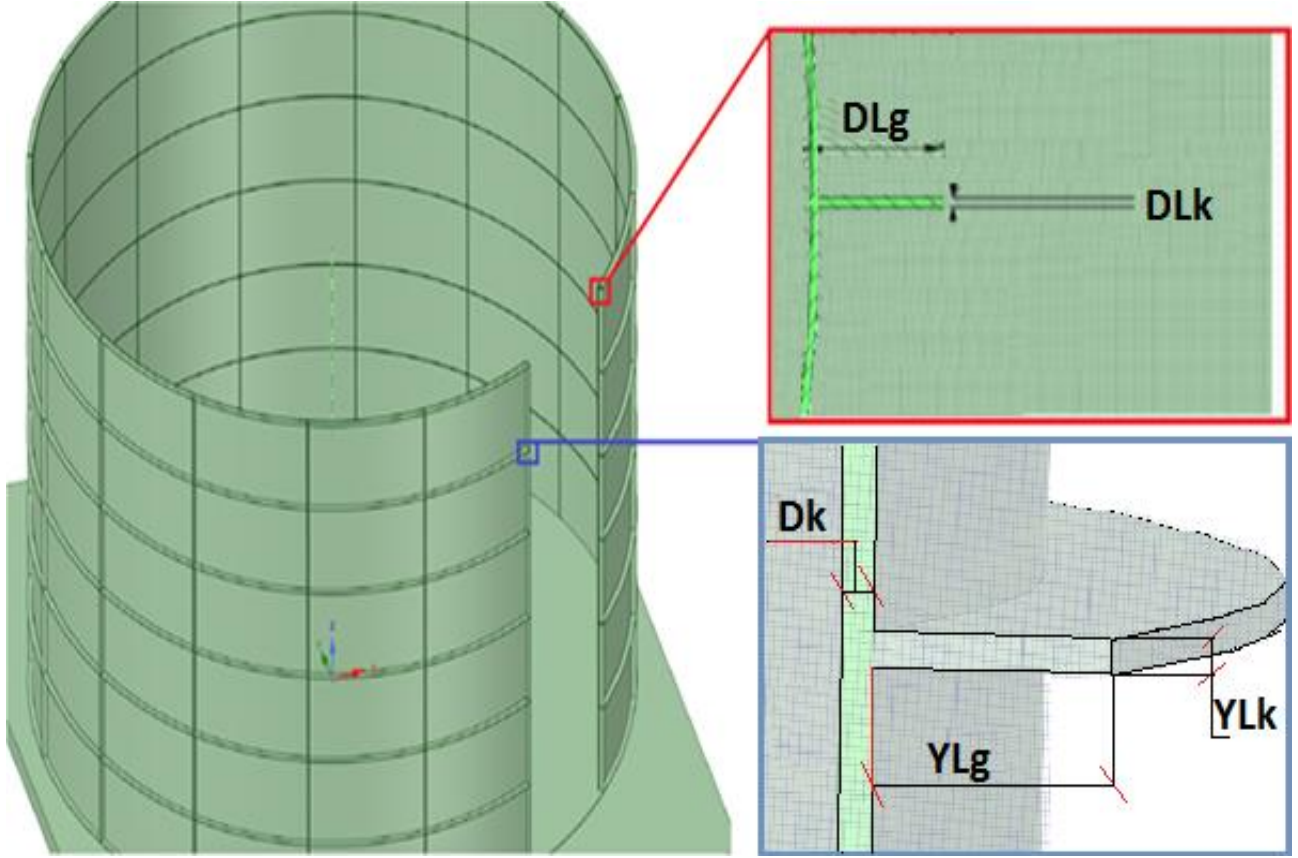
Problemin non-lineer olan doğası analitik ve sayısal bir çözüm üretilmesi konusunda zorluklar çıkartmaktadır. Bu sebeple bazı varsayımlarda bulunmak gerekmektedir. Bu durum ise elde edilen verileri gerçek durum ve sonuçlardan biraz uzaklaştırmaktadır. Bu sebepten dolayı deneysel çözümler çalkantı hareketinin incelenmesinde büyük bir rol oynamaktadır. Bu şartlar altında bazı araştırmacılar yukarıda bahsedildiği gibi deneysel çalışmalar ve özellikler sunmuşlardır (Panigrahy et al. 2009).

Sıvı çalkantısının rezonans durumunda olması yapısal stabilitenin kaybına ve saklama yapısının duvarlarında hasara yol açabilecek bir durumdur. Gözenekli levhalar ile çalkantı durumuna karşı enerji sönümlenmesinin yapılabileceği ve çalkantı hareketinin duvarlara uygulayabileceği kuvvetin azaltılabileceğini belirtmişlerdir (Zang et al. 2019).

2. Materyal ve Metot

Tank çapı ve yüksekliği, sıvı yüksekliği sabit tutularak, tank geometrisi değiştirilmesi ile sistemde meydana gelen reaksiyonlar çalışılmıştır.

Meydana gelen bu reaksiyonlardan deformasyon ve gerilme verileri elde edilmiştir. Ayrıca hidrostatik etki ve dinamik etki yapıya birlikte etkilenmiştir. Modellenen silonun genel görünümü ve çalışmada kullanılan boyutsal parametreler Şekil 1'de sunulmuştur.



Şekil 1. Silo modelinin genel görünümü ve boyutsal parametreleri

Silonun farklı periyotları için gerilme durumlarını ortaya çıkarmak için hidrostatik ve dinamik yük altındaki taşıyıcı sistem rijitleştirme levhaları ile güçlendirildi. Böylece levha durumları değiştirilerek, çapı ve yüksekliği sabit kalan yapının yatay rijitliği ve doğal periyotları değiştirildi. Sistemin boyutsal parametreleri Şekil 1'de verilmiştir. Modelin 12000mm yüksekliği, 12500mm çapı

bulunmaktadır. Yapı duvar kalınlığı (Dk) 20mm seçilmiştir. Sistem yatay ve düşey rijitleştiriciler ile güçlendirilmiştir. Güçlendirici levhaların derinliği (DLg, YLg) 150mm olup 20mm et kalınlığına (YLk, DLk) sahiptirler. Levha sayısı ve yerleşimi değiştirilerek altı farklı varyasyon modellenmiştir. Modellerin tipleri ve boyutsal parametreleri Çizelge 1'de sunulmuştur.

Çizelge 1. Sayısal modellerin boyutsal parametreleri

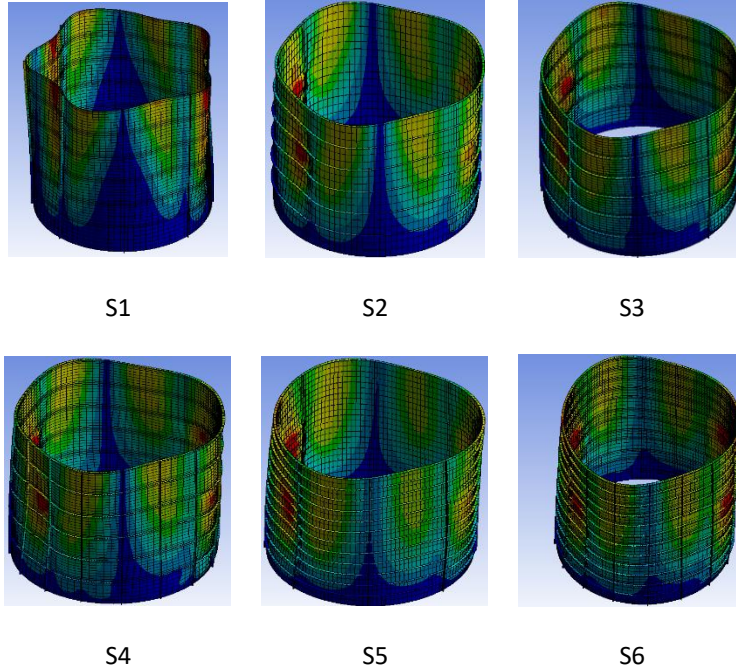
Model Numarası	Düşey Levha Sayısı (adet)	Yatay Levha Sayısı (adet)	DLg (mm)	YLg (mm)	Su Seviyesi (mm)	YLk (mm)	DLk (mm)	Dk (mm)
S1	8	-	150	-	7000	20	20	20
S2	-	6	-	150	7000	20	20	20
S3	8	6	150	150	7000	20	20	20
S4	16	6	150	150	7000	20	20	20
S5	8	12	150	150	7000	20	20	20
S6	16	12	150	150	7000	20	20	20

Sayısal modellerin dış yüzeyi yatay ve düşey rijitleştirici levhalar kullanılarak rijitleştirildi. Şekil 1 ve çizelge 1’de belirtildiği üzere levha yerleşimleri düşey ve yatay olarak ayrılmaktadır. Bu kapsamda 6 model oluşturulmuştur. Modellerde öncelikle düşey rijitleştiriciler kullanılmıştır. Düşey rijitleştiriciler, silo dış yüzeyine silo yüksekliği boyunca yerleştirilmiştir. Modeller S1, S3, S5 de 8 adet, S4 ve S6 da 16 adet kullanılmıştır olduğu kombinasyondur. S5 modelinde 8 düşey 12 yatay levha kullanılmıştır. S6 ve S4 modelleri kullanılan yatay levha sayısı bakımından birbirlerinden ayrılmaktadırlar. S6 ve S4 mod. S3, S4, S5 ve S6 modellerinde yatay ve düşey rijitleştiriciler birlikte kullanılmıştır. S4 modeli 16 düşey 6 yatayın ellere ikisinde de 16 düşey levha bulunurken S6 modelinde 12 adet ve S4 modelinde 6 adet yatay levha bulunmaktadır. Çizelge 1’de her model için rijitleştirici levhaların boyutsal parametreleri sunulmuştur. Bu çalışmada sıvı çalkantısı dinamik analiz durumları farklı sayıdaki

rijitleştiricilere sahip sayısal modeller için değerlendirildi. Analizler için Ansys Workbench sonlu elemanlar programı kullanılmıştır.

3. Araştırma Bulguları

Çembersel geometride tasarlanan bu yapılar farklı sayılarda yatay ve düşey yönlerde rijitleştirme levhaları kullanılarak rijitleştirildi. Yapının dış yüzeyindeki rijitleştirici yerleşimine bağlı olarak yapının doğal titreşim periyotları değişikliğe uğramıştır. Sabit su yüksekliği, sabit dalga yükü altında rijitleştirme levhalı sıvı depolama tankının yapısal davranışının incelendiği bu çalışmada yönce ve sayıca değişen levhaların boyutsal belirleyici olduğu altı adet sayısal model elde edilmiştir. Dalga yükü altında yapısal davranışın tanımlanması için deformasyona uğramış durumlara ait genel görünüm Şekil 2’de verilmiş, deforme olmuş durum plan görünümü Şekil 3’te gösterilmiştir.



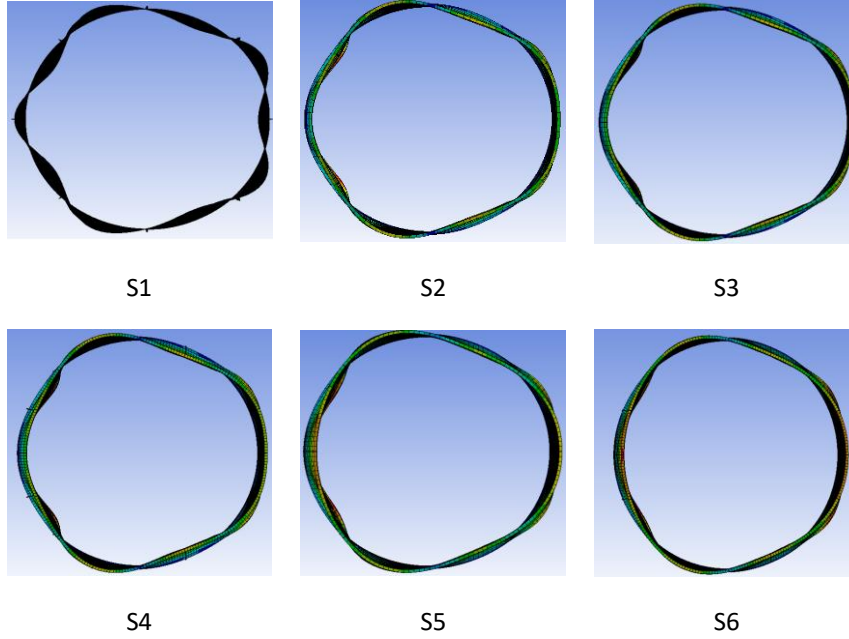
Şekil 2. Sayısal modellerin deformasyon durumlarının genel görünümü

Çalışmada kullanılan sayısal modellerin birlikteliklerinin davranışa yansımaları 6 ve 12 adet yatay ve düşey levhanın farklı sayısal kombinasyonlarda kullanımı ile genel görümler üzerinden ifade edilmiştir. Bu kapsamda S1 modeli 6 adet düşey durumu olup sergilediği deformasyon şekil itibarı ile en değişken geometrik form elde edilmiştir. Sadece düşey levhaların kullanıldığı

durum olan S2 modeli ise dairesel bir formun elips şeklindeki yer değiştirme yatkınlığını bozmamıştır. Bununla birlikte düşey levhaların sayıca arttığı diğer modellerde yapısal davranış daha tutarlı olup, deformasyona uğramış durumdaki değişken geometrik form, daire ekseninde kalmıştır. Bu kapsamda durum değerlendirildiğinde; dairesel bir forma sahip bir sıvı depolama tankında, yatay ve

düşey levhaların birlikte kullanımı, yapısal davranışı pozitif yönde etkilemektedir. En etkili durumlar düşey levhaların dairesel geometriye 8'li yerleşim ve

üstünde elde edilmiştir. Bu durum, deformasyona uğramış siloların plan görünümünün verildiği Şekil 3'te de görülmektedir.



Şekil 3. Sayısal modellerin deformasyon durumlarının plan görünümü

Plan görünümeler incelendiğinde, en az düşey levhanın olduğu S1 modeli silo cidarı "M" tipi dalgalanma gösterirken, düşey levhanın sayısının arttığı diğer modellerde bu davranış, silo cidarının bütünsel davranışı şeklinde deformasyona uğramasını sağlamıştır. Bu kazanım silo cidarındaki

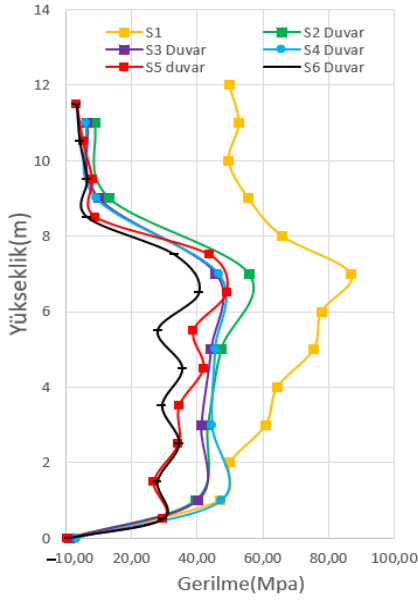
istenmeyen gerilme yığılmalarının önüne geçecektir. Çalışmada sisteme eklenen levhaların yapısal davranışa etkisini değerlendirmek için her duruma ait ilk üç doğal titreşim periyotları elde edilmiştir. Elde edilen değerler Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Modellerin ilk 3 mod periyot değerleri (saniye)

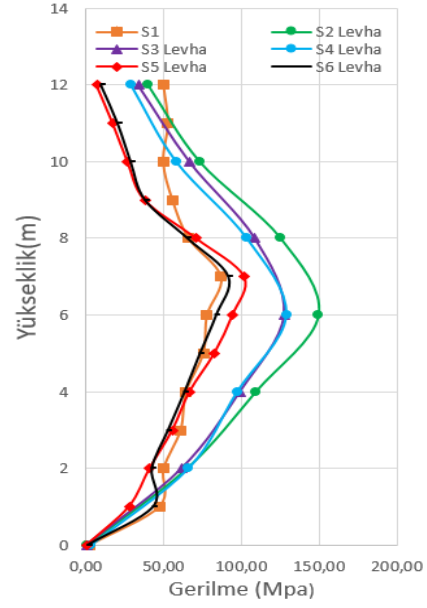
S1	S2	S3	S4	S5	S6
0,217547	0,105982	0,102467	0,097656	0,088472	0,084459
0,207495	0,105696	0,100576	0,096367	0,086222	0,084331
0,176134	0,089638	0,088464	0,086889	0,085778	0,082912

Çizelgede belirtilen periyot değerleri incelendiğinde, yetersiz sayıda, yani dairesel geometride sadece 8 adet düşey levha bulunduran ve yatay levha bulundurmayan geometrik formun, yapısal davranışa bir kazanım getirmekten çok, zarar verdiği görülmektedir. Bu durum elde edilen deformasyon grafiklerinde de görülmüştür. Ancak sisteme eklenen dairesel form için yatay levha dizilimde yapısal davranış kendini toparlamakta ve yeter rijitlik olan 0,1 saniyenin altında sonuçlar vermektedir. Sistemde kullanılan rijitleştirme

levhalarının sistem davranışı üzerine katkısını incelemek için, silo cidarı ve levha üzerinden gerilme değerleri elde edilmiştir. Elde edilen değerler, yükseklik boyunca aynı noktalardan alınmış olup, karşılaştırma düzlemi elde edilmiştir. Bu kapsamda Şekil 4'te verilen gerilme dağılımları incelendiğinde; levha üzerindeki gerilme değerlerinin, silo cidarındaki gerilmelere oranla daha doğrusal bir eğimde sonuçlar verdiği görülmektedir.



Tüm modeller için duvar gerilmeleri

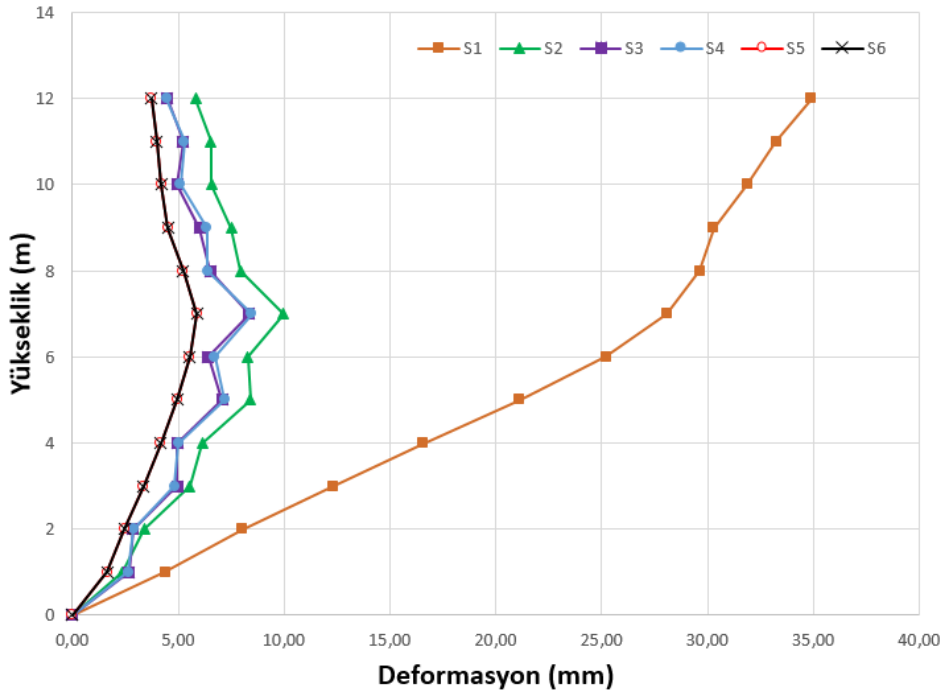


Tüm modeller için levha gerilmeleri

Şekil 4. Yüksekliğe bağlı gerilme grafikleri

Buna karşın silo cidarındaki değerler zikzaklı bir dağılımdadır. Bu zikzaklı dağılımda, yatay kuşakların deplasman (yerdeğiştirme) sınırlamasından kaynaklandığı sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca Grafiklerde, düşey levhalı durum için elde edilen maksimum gerilme değerlerinin yükseklikçe silo ortasına geldiği ve pik değere ulaştığı görülmektedir. Buna karşın, silo cidarında ise maksimum gerilmenin silo yüksekliğince doğrusal gittiği tespit edilmiştir. Burada ki sonuçlarda da düşey levhanın tek başına

etkin olmadığı, yatay levha ile birlikte çalıştığına performansı olumlu yönde etkilediği görülmektedir. Grafiklerde en iyi sonuçlar yine sayıca yatay levhanın yüksek olduğu ve düşey levhalı ile birlikte olduğu modellerde elde edilmiştir. Sisteme eklenen düşey ve yatay rijitleştirme plakalarının sistem davranışına katkısını incelemek için analiz sonuçlarından silo yatay deplasman değerleri elde edilmiştir. Elde edilen değerler Şekil 5'te grafiklendirilmiştir.



Şekil 5. Tüm modeller için yüksekliğe bağlı deformasyon grafikleri

Grafikte kullanılan sonuçlar aynı dalga yüksekliği için aynı noktadan alınan değerleri temsil etmektedir. Sonuçlar incelendiğinde; yatay levhasız sadece düşey rijitleştirme plakasının kullanıldığı S1 modelinde deplasman değerlerinin belirgin düzeyde arttığı hesaplanmıştır. Sisteme eklenen yatay levhalı tüm durumlarda deplasman kabiliyeti sınırlandırılmıştır. En etkin sonuç yatay levhanın sayıca en yüksek olduğu kombinasyon olan S6 numaralı modelde elde edilmiştir. S6 modelinde 16 adet düşey levha ile birlikte 12 adet yatay levha bulunan durumdur. S4 ve S6 da düşey levha 16 sıralı dizilimde olmasına rağmen, belirleyici etkenin yatay levha sayısı olduğu tespit edilmiştir.

4.Sonuç

Silo çapı ve yüksekliği sabit tutulan modellerin, aynı su seviyesi ve sabit dalga boyu için sayısal analizlerin yapıldığı bu çalışmada, sistem düşey ve yatay yönde rijitleştirme plakaları ile güçlendirilmiştir. Sistem rijitliğini artırmak için kullanılan plakaların davranışa katkısının incelenmesi için düşey ve yatay elemanların(levhaların) yerleşim şekli ve sayısı değişken kabul edilerek 6 farklı sayısal model üzerinden analizler yapılmıştır.

Yapılan analizler neticesinde sadece düşey elemanların kullanıldığı durumlarda yapının doğal titreşim periyodunun arttığı ve yapısal davranışın M tipi bir deformasyona yöneldiği görülmektedir. Sadece düşey levha kullanılan versiyonda yapı doğal titreşim periyodunun arttığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte yapısal davranış M tipi dalgalanma geometrisinde bir davranış sergilemiştir. Yatay levhaların eklendiği durumlarda periyot belirli bir şekilde azalmış ve yapısal davranış bütüncül olarak deformasyona uğramıştır.

Yapısal periyotça en rijit olan durum düşey ve yatay levhaların birlikte kullanıldığı modellerde elde edilmiştir. Gerilme dağılımları bakımından değerlendirildiğinde yüksek sayıda levhalı modeller genel olarak daha az gerilmeye maruz kalmıştır.

Bu kapsamda düşey rijitleştirme levhalarının tek başlarına kullanılmasının yapısal formu bozduğu ve davranışça avantaj sağlamadığı görülmüştür. Bu durum, düşey levhalar ile birlikte kullanıldığında

kısmi olarak sönmülmüş ve gerilmeler daha geniş bir alana yayılmıştır. Yatay ve düşey levhaların beraber kullanılması durumlarında deformasyon ve gerilme değerlerinin, sadece yatay ve sadece düşey kullanılan durumlardan çok daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu sebeple yatay levhalı sistemlerin düşey levhalar ile birlikte kullanıldığı takdirde daha ekonomik çözümler üretilebileceği düşünülmektedir.

5.Kaynaklar

- Akyildiz, H. and Unal, E., 2005. Experimental Investigation of Pressure Distribution on a Rectangular Tank due to Liquid Sloshing. *Ocean Engineering*, **32**, 1503-1516.
- Akyildiz, H. and Unal, N. E., 2006. Sloshing in a Three-Dimensional Rectangular Tank: Numerical simulation and experimental validation. *Ocean Engineering*, **33**, 2135-2149.
- Akyildiz, H., Ünal, N. E. and Taylan, B., 2012. Experimental Investigation of the Liquid Sloshing in a Rigid Cylindrical Tank. *IMO Technical Journal*, 6089-6112.
- Akyildiz, H. and Unal, E., 2014. Experimental Investigation of the Liquid Sloshing in a Cylindrical Tank Under the Rolling Motion. *Journal of ETA Maritime Science*, **2**, 131-142.
- Armenio, V. and La Rocca, M., 1996. On the Analysis of Sloshing of Water in Rectangular Containers: Numerical Study and Experimental Validation. *Ocean Engineering*, **23**, 705-739.
- Biswal, K. C., Bhattacharyya, S. K. and Sinha, P. K., 2006. Non-Linear Sloshing in Partially liquid filled containers with baffles. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, **68**, 317-337.
- Brar, G. S. and Singh, S., 2014. An Experimental and CFD Analysis of Sloshing in a Tanker. *Procedia Technology - ICIAME*.
- Özel, K., 2007. Çelik Hububat Silolarının Tasarım Esasları. Yüksek Lisans Tezi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi, 170.
- Panigrahy, P., Saha, U. and Maity, D., 2009. Experimental Studies on Sloshing Behavior due

to Horizontal Movement of Liquids in Baffled Tanks. *Ocean Engineering*, 213-222.

Raouf, A. I., 2005. Liquid Slosing Dynamics Theory and Applications. New York: Cambridge University.

Sanapala, V., M., R., Velusamy, K. and Patnaik, B., 2018. Numerical Simulation of Parametric Liquid Slosing in a Horizontally Baffled Rectangular

Container. *Journal of Fluids and Structures*, 229-250.

Zang, Q., Fang, H., Liu, J., Lin, G., 2019. Boundary element model for investigation of the effects of various porous baffles on liquid sloshing in the two dimensional rectangular tank. *Engineering Analysis with Boundary Elements*, 484-500.

AKÜ FEMÜBİD 20 (2020) 025603 (304-309)

AKU J. Sci. Eng. 20 (2020) 025603 (304-309)

DOI: 10.35414/akufemubid.669249

Araştırma Makalesi / Research Article

Fresh and Hardened Behaviour of Self-Compacted Concrete with Different Mineral Additives

Cenk KARAKURT¹¹ Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bilecik.e-posta: cenk.karakurt@bilecik.edu.tr ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-4204-5341>

Geliş Tarihi: 02.01.2020

Kabul Tarihi: 29.03.2020

Abstract

Self-compacting concrete (SCC) is developed with the idea of improved flowability of the fresh concrete mixture. The new technology in plasticizing agents and special mix design of concrete has given this opportunity without any segregation and bleeding. In addition to ease of placement, reduction in the construction time, labor costs and construction noise are the other benefits of SCC. The aim of this study is to investigate the fine mineral additive effect on the fresh and hardened properties of the SCC. For this reason, ground granulated blast furnace slag, fly ash, Bilecik marble powder and calcareous aggregate crushing powder is used as fine powder source in SCC mix designs. Fresh properties of the SCC mixtures are evaluated by performing fresh unit weight, slump flow, V-funnel, and L-box tests. The hardened properties of the prepared SCC are evaluated with the unit weight, ultrasound pulse velocity and compressive strength tests on the 150x150x150 mm cubic specimens at the end of the 3, 7 and 28 days of curing periods. The experimental work showed that ground granulated blast furnace slag and fly ash are more effective on the consistency of the fresh SCC properties. Especially the passing ability of the SCC is improved by using fly ash as a powder in the mix design. The compressive strength of the SCC is developed by using ground granulated blast furnace slag in the mixture. The marble dust is also effective and beneficial for the cohesion and cost of the SCC.

Keywords

Self-compacted concrete;
Mineral additive;
Workability;
Mechanical properties

Farklı Mineral Katkılı Kendiliğinden Yerleşen Betonların Taze ve Sertleşmiş Özellikleri

Öz

Kendiliğinden yerleşen beton (KYB), taze beton karışımının akışkanlığının iyileştirilmiş olması fikri ile geliştirilmiştir. Akışkanlaştırıcı katkılardaki yeni teknoloji ve betonun özel karışım tasarımı, ayrışma ve terlemeyi gerektirmeden yapmıştır. Yerleştirme kolaylığına ek olarak, inşaat süresindeki azalma, işçilik maliyetleri ve şantiye gürültüsü KYB'nin diğer yararlarıdır. Bu çalışmanın amacı, KYB'nin taze ve sertleştirilmiş özellikleri üzerindeki ince mineral katkı etkisini araştırmaktır. Bu sebeple öğütülmüş yüksek fırın cürufu, uçucu kül, Bilecik mermer tozu ve kalkerli agrega kırma tozu, KYB karışım tasarımlarında ince toz kaynağı olarak kullanılır. KYB karışımlarının taze özellikleri, taze birim ağırlık, çökme akışı, V-hunisi ve L-kutusu deneyleri yapılarak belirlenmiştir. Hazırlanan KYB numunelerinin sertleştirilmiş özellikleri, 3, 7 ve 28 günlük kür sürelerinin sonunda, 150x150x150 mm küp beton numunelerinde birim ağırlık, ultrases geçiş hızı ve basınç dayanımı deneyleri ile değerlendirilmiştir. Test sonuçları uçucu kül ve öğütülmüş yüksek fırın cürufunun taze KYB özelliklerinin tutarlılığı üzerinde daha etkili olduğunu göstermiştir. Özellikle KYB'nin geçirme kabiliyeti, karışım tasarımında toz olarak uçucu kül kullanılmasıyla iyileştirilmiştir. KYB'nin basınç dayanımı, karışımda öğütülmüş yüksek fırın cürufu kullanılarak geliştirilebilmektedir. Mermer tozu ise KYB'nin uygunluğu ve maliyeti konusunda etkili ve faydalı olmuştur.

Anahtar kelimeler

Kendiliğinden yerleşen beton;
Mineral katkı;
İşlenebilirlik;
Mekanik özellikler

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Introduction

Concrete is one of the most widely used construction material depending on the ease of production and cost of the materials used in the

mixture. New technology developments and the trend of designing complex structural members also influence the concrete products with the new achievements in construction. Self-compacting

concrete (SCC) is developed with the idea of improved flowability of the fresh concrete mixture. The new technology in plasticizing agents and special mix design of concrete has given this opportunity without any segregation and bleeding. In addition to ease of placement, reduction in the construction time, labor costs and construction noise are the other benefits of SCC. Also, the mechanical property of the concrete is improved by using higher cement dosage and reduced pore content of the hardened concrete. The utilization of fine materials in the mix design of SCC allows gaining increased cohesion and resistance against segregation during transportation and casting of the fresh concrete. Using SCC allows increasing the on-site job efficiency and raising the quality of concrete and reinforced concrete structures and pre-cast members (Larsen *et al.* 2019). Nevertheless, higher cement dosage and using polymer-based high range water reducing admixture (hyper plasticizer) are the disadvantages of SCC due to the increased cost of the material. However, these negativities can be reduced by using some fine or finely grounded mineral additives in the mix design of SCC. In general, natural and artificial pozzolans are used as powder content in the SCC applications.

In order to increase the durability of the structural concrete, the SCC was first developed in 1988 (Okamura and Ouchi 2003). SCC reduces the construction time with the ease of placement in the molds around narrow reinforcement bars. SCC increases the durability of concrete by means of proper fluidity without any segregation and bleeding, high-performance in homogeneity and reduced porosity. Another benefit of SCC is the lowered water-cement ratio by using high-performance superplasticizer which allows producing high early strength concrete with earlier de-molding and faster use of structural members (EFNARC 2005). Nowadays, the usage of SCC has been spread, for instance in the precast applications and concrete wall structures. In these types of structures, high initial strength is very important, so it is a solution to use higher C₃S content cement in the concrete mixtures. Various researchers were studied with high volume mineral additives in SCC

mixtures due to the benefits of these additives on the durability and cohesion of the concrete (Anjos *et al.* 2020). For this purpose, ground granulated blast furnace slag (GGBFS), fly ash (FA), and lime-stone filler can be evaluated as powder material source in the SCC mixtures (Karakurt *et al.* 2018). On the other hand, the usage of mineral admixture in SCC cause an increase in workability without any cost increase of the SCC mixture by reducing the plasticizing agent amount in the fresh mixture (Siddique 2011). According to some studies, higher amount of fly ash ($\geq 30\%$) remarkably affects the properties of the SCC (Singh *et al.* 2019). At the same time, the spherical shape of the FA particles leads to a further reduction in the water requirement with the increased workability of the fresh concrete. When compared with GBFS, the FA-blended SCC showed better slump flow, slump flow stability, drying shrinkage resistance and longer setting times (Zhao *et al.* 2016).

The aim of this study is to determine the effect of different mineral additives on the fresh and hardened properties of the SCC. For this purpose GBFS, FA, marble dust, and stone dust was evaluated as mineral powder additive for SCC mixtures at constant mix values. Thus the effect of these widely used additives has been evaluated in the light of the test results.

2. Material and Method

The fine material content of the SCC mixtures is very significant for the viscosity and the resistance against the segregation of aggregates. In addition, the production cost of the SCC can be reduced by using these mineral additives. Therefore, four different types of powder materials are used in the SCC mixtures. The fresh and hardened concrete properties are determined as defined below.

2.1 Material

The powder amount of the SCC mixtures is performed with fly ash (FA), ground granulated blast furnace slag (GBFS), marble dust (MD), and calcareous stone dust (SD). The FA is supplied from Seyitömer Power Plant, GBFS was obtained from Bolu Cement Factory, MD and SD were also supplied

from the marble plants in Bilecik and Dağ-İş Mining respectively. The main oxide composition of the powder materials is presented in Table 1.

Table 1. Chemical properties of the powder materials

Oxide	Fly Ash (%)	GBFS (%)	Marble Dust (%)	Stone Dust (%)
SiO ₂	54.49	34.76	0.63	0.15
Al ₂ O ₃	20.92	14.26	0.20	0.23
Fe ₂ O ₃	9.27	0.84	0.13	0.32
CaO	4.26	35.56	53.66	55.35
MgO	4.48	5.50	0.79	0.25

Limestone aggregate is used in two different sizes as 0-4 mm and 4-12 mm for the SCC production. Consistency of the fresh SCC is obtained with a polymer-based superplasticizer named as BASF Glenium RMC 303. The CEM I 42.5 R type Portland cement used in the experimental studies is obtained from the SANCIM Cement factory. The properties of the cement are presented in Table 2.

Table 2. General properties of CEM I 42.5 R cement.

Chemical Property		Physical and Mechanical	
SiO ₂	10,1	Fineness	7,15
Al ₂ O ₃	4,48	(above 45 µm sieve %)	
Fe ₂ O ₃	3,09	Density (g/cm ³)	3,12
CaO	63,6	Fineness (cm ² /g)	3690
MgO	2,50	Initial setting (min.)	150
SO ₃	2,84	Final setting (min.)	190
Loss on ignition	3,90	Soundness (mm)	1
Na ₂ O	0,21	Comp. Strength (MPa)	
Equivalent alkali %	0,62	2 days	27,9
Cl	0,01	28 days	58,0
Free CaO, %	0,44		
Insoluble residue %	0,55	Water requirement, %	29,5

2.2 Method

The mixing procedure of the SCC was carried out as prescribed in EFNARC document. The powder content of the mixtures is constant as 500 kg/m³ with a w/c ratio of 0.4. The fresh mixture design of the SCC specimens is presented in Table 3.

Table 3. Mix design of the SCC specimens

Specimen Type	Cement (kg)	Water (kg)	0-4 mm (kg)	4-12 mm (kg)	Plasticizer (kg)	GBFS (kg)	FA (kg)	MD (kg)	SD (kg)
GBSC	350	200	650	980	5.5	150	-	-	-
FASC	350	200	650	980	5.5	-	150	-	-
MDSC	350	200	650	980	5.5	-	-	150	-
SDSC	350	200	650	980	5.5	-	-	-	150

The workability of SCC is a very important point for this special type of concrete. In order to determine the flowability, filling ability and viscosity of the SCC mixtures, slump flow TS EN 12350-8 (2011) and V-funnel tests TS EN 12350-9 (2011) are performed on the produced fresh SCC specimens. These tests are carried out in Bilecik Seyh Edebalı University Materials of Construction Laboratory and presented in Figure 1.

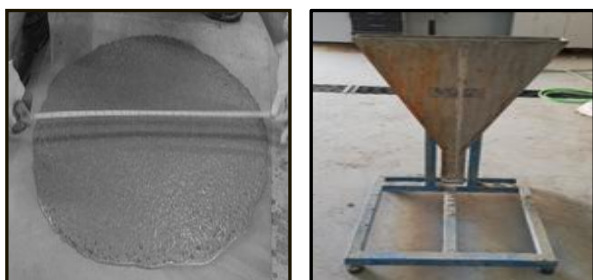


Figure 1. Slump flow and V-funnel tests

The hardened properties of the SCC specimens are determined on the 150x150x150 mm cubic specimens which were cured at lime saturated water at 20±1 °C for 3, 7 and 28 days cured specimens. The unit weight, ultrasound pulse velocity (UPV) and compressive strength tests TS EN 12390-3 (2003) are performed on these SCC mixtures. The application of hardened concrete tests is presented in Figure 2.



Figure 2. Hardened concrete tests

3. Results

3.1. Fresh concrete properties

The flowability and filling ability of the SCC specimens are determined by slump flow and V-funnel tests respectively. As seen from test results, the effect of mineral powder type affects the workability properties of SCC. The test results are shown in Table 4.

Table 4. Workability test results of the fresh SCC mixtures.

Specimen Type	Slump Flow (mm)	V-Funnel (sec)
GBSC	750	5
FASC	780	4
MDSC	675	11
SDSC	680	11

According to test results, the slump flow values are varied between 675 to 780 mm. The FA and GBFS showed better flow values than the MD and SD used mixtures. FA has spherical particles that allow a reduction in w/c ratios. High volume fly ash usage in concrete will cause an increase in the solid material volume of the paste depending on the k-factor and the lower density of the fly ash (Pade *et al.* 2008). Marble and stone dust showed similar flow and V-funnel results due to the particle size of these waste materials. These mineral additives are a waste of cutting and crushing wastes of industrial processes. The average particle sizes are not finer than the FA and GBFS and this property influenced the workability of the fresh SCC specimens when compared with FA and GBFS used ones. On the other hand, MD and SD used SCC mixtures showed acceptable flow and viscosity behavior in accordance with general SCC expectations in the literature.

3.2. Unit weight

The unit weights of the SCC specimens are determined on 28 days hardened SCC specimens and the test results are presented in Figure 3. As seen from test results, the unit weight values are

varied between 2.31 and 2.34 t/m³. These results showed that these four different types of mineral additives have no significant effect on the hardened unit weight of the SCC specimens in the current mixing ratios.

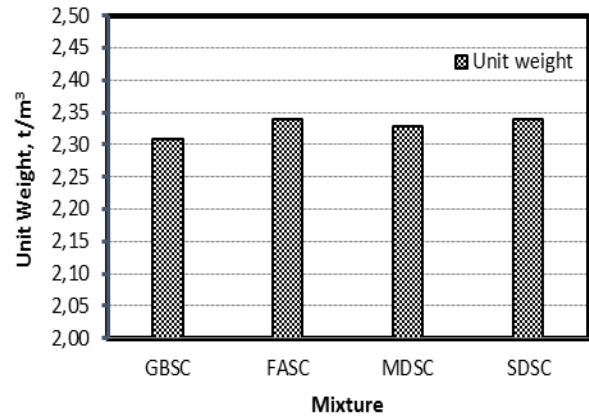


Figure 3. Unit weight of the hardened SCC specimens

3.3. Ultrasound pulse velocity

The UPV test gives a general idea about the internal structure and the compressive strength of the material. This value will increase with the proper stiffness and compaction of the cementitious composites. There is also a good correlation with the compressive strength of the material. The test results of the UPV are given in Figure 4.

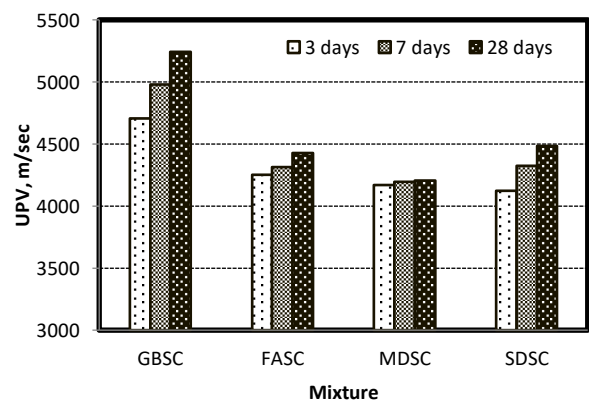


Figure 4. Ultrasound pulse velocity test results of the hardened SCC specimens

According to test results, GBFS used specimens showed the highest UPV values. This means GBSC specimens are stiffer and well placed than the others. The other entire mineral additive used specimens also varied between 4200 to 4490 m/sn

These results are generally higher than the traditional concrete UPV results.

3.4. Compressive strength

The compressive strength of the produced SCC is determined on the 3, 7, and 28 days cured specimens and the results are presented in Figure 5. The results are showed that GBSC used specimen gave the best strength performance than the other mineral additive used mixtures.

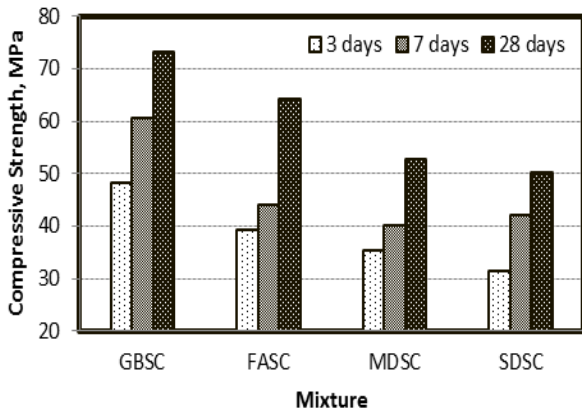


Figure 5. Compressive strength test results of the hardened SCC specimens

The early age strength behavior of GBFS and FA is better than the MD and SD used specimens. At the end of the 28-day curing, the compressive strength of all mixtures is higher than 50 MPa. In light of the test strength, SCC can be produced with MD and SD usage. This will also reduce the production cost of the mixture. Another benefit of this usage is the environmental pollution reduction by using these waste materials in concrete. It can be concluded that the pozzolanic activity of GBFS and FA increased the strength development of the SCC.

The relation between compressive strength and ultrasound pulse velocity is presented in Figure 6. As seen from test results, the correlation between strength and UPV were varied between 0.8433-0.9953. The relation showed better relation for the 3 and 7 days cured specimens. The correlation is reduced for the 28 day cured specimens. This behavior can be attributed to the pozzolanic activity of the GBFS and FA additive for the GBSC and the FASC mixtures.

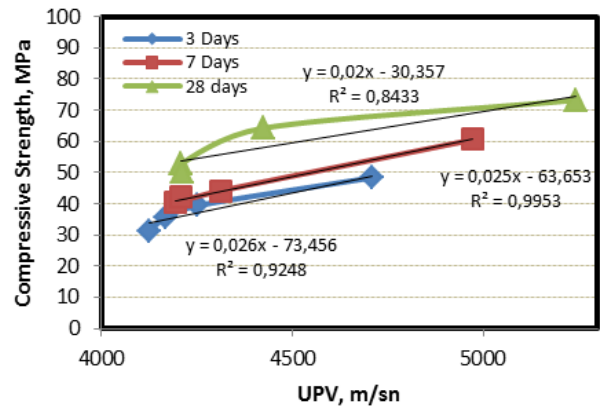


Figure 6. Relationship between compressive strength and UPV

4. Conclusion

The following conclusions can be drawn out from this study.

- Self-compacting concrete is a special type of concrete that allows gaining benefits about the workability, labor and strength behavior of concrete (Prošek *et al.* 2019).
- Fly ash and GBFS is very effective on the slump flow and V-funnel test results. These artificial mineral additives are more effective than the marble dust and stone dust at constant superplasticizer ratios.
- The hardened unit weight of the SCC specimens is similar and varied between 2.31-2.34 t/m³. The UPV results showed that the values are varied between 4125-5241m/sec. These results were indicated that GBFS used SCC mixtures contain lower pore distribution than the other additives.
- According to compressive strength test results, GBFS and FA used specimens gained more strength than the others. This behavior can be related to the fineness and pozzolanic activity of these artificial pozzolans.
- Marble dust and stone dust can also be used as powder material in SCC mix designs. This will also reduce the environmental pollution of these wastes and gain benefits on the production cost of the SCC mixture (Topçu *et al.* 2009).

5. References

- Anjos, M.A.S., Camoes, A., Capos, P., Azevedo, G.A., Ferreira, R.L.S., 2020. Effect of high volume fly ash and metakaolin with and without hydrated lime on the properties of self-compacting concrete. *Journal of Building Engineering*, **27**, 100985.
- EFNARC guidelines, 2005. The European Guidelines for Self-compacting Concrete; Specification, Production and Use, European Federation of National Associations Representing for Concrete.
- Karakurt, C., Çelik, A.O., Yılmaz, C., Kiriççi, V., Özyaşar, E., 2018. CFD simulations of self-compacting concrete with discrete phase modeling. *Construction and Building Materials*, **186**, 20–30.
- Larsen, O., Naruts, V., Aleksandrova, O., Mendes, B., Self-compacting concrete with recycled aggregates. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.07.065>.
- Okamura, H., Ouchi, M., 2003. Self-compacting concrete. *Journal of Advanced Concrete Technology*, **1**, 5–15.
- Pade, C., Thrane, L.N., Nielsen, C.V., 2008. Guidelines for mix design of SCC, Danish Technological Institute.
- Prošek, Z., Nežerka, V., Hlužek, R., Trejbal, J., Tesárek, P., Karra'a, G., 2019. Role of lime, fly ash, and slag in cement pastes containing recycled concrete fines. *Construction and Building Materials*, **201**, 702-714.
- Siddique, R., 2011. Properties of self-compacting concrete containing class F fly ash. *Materials and Design*, **32**, 1501–1507.
- Singh, N., Kumar, P., Goyal, P., 2019. Reviewing the behaviour of high volume fly ash based self compacting concrete. *Journal of Engineering Building*, **26**, 100882.
- TS EN 12350-8, 2011. Testing fresh concrete: self compacting concrete - slump-flow test, Turkish Standards Institute.
- TS EN 12350-9, 2011. Testing fresh concrete: self compacting concrete – v-funnel test, Turkish Standards Institute.
- TS EN 12390-3, 2003. Testing hardened concrete: compressive strength of test specimens, Turkish Standards Institute.
- Topçu, İ.B., Bilir, T., Uygunoğlu, T., 2009. Effect of waste marble dust content as filler on properties of self-compacting concrete. *Construction and Building Materials*, **23**, 1947-1953.
- Zhao, H., Sun, W., Wu, X., Gao, B., 2016. The properties of the self-compacting concrete with fly ash and ground granulated blast furnace slag mineral admixtures. *Journal of Cleaner Production*, **95**, 66-74.

Yeşilirmak Nehri Akış Verisi Tahmininin Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Karınca Aslanı Algoritması ile Zaman Gecikmesi Boyutunun Optimizasyonu

Fatih Ahmet ŞENEL¹, Tülay Suğra KÜÇÜKERDEM ÖZTÜRK^{2,*}, Kemal SAPLIOĞLU³

¹ Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Isparta.

^{2,3} Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta.

e-posta: fatihsenel@sdu.edu.tr.

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-1918-7277>

Sorumlu yazar e-posta: tulaykucukerdem@sdu.edu.tr.

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-1102-1718>

e-posta: kemalsaplioglu@sdu.edu.tr.

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-0016-8690>

Geliş Tarihi: 02.01.2020

Kabul Tarihi: 24.03.2020

Öz

Günümüzde suya olan talebin artması, mevcut su kaynaklarının korunması ve projelendirilmesi konusunu çok önemli hale getirmiştir. Projelendirme aşamasının en uygun şekilde yapılabilmesi için veri toplama, analiz etme ve gelecek verilerin tahmini gereklidir. Gelecek verilerin tahmin edilebilmesi için pek çok yöntem geliştirilmiştir. Bu çalışmada Yeşilirmak Nehri üzerinde bulunan 3 adet istasyonun gelecek dönemdeki akış miktarlarının yapay sinir ağları ile tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Yapay sinir ağları (YSA) ile zaman serisi analizi yapılırken geriye dönük olarak kaç dönemlik verinin kullanılması gerektiği problemin başarısını doğrudan etkilemektedir. Geriye dönük olarak bakılan veri sayısı (zaman gecikmesi) bir optimizasyon problemi olarak ele alınabilmektedir. Bu aşamada Karınca Aslanı Algoritması (KAA) kullanılarak, zaman gecikmesi boyutunun optimize edilmesi gerçekleştirilmiştir. Zaman gecikmesine ek olarak yapay sinir ağlarında kullanılan gizli katman sayısı da modele eklenerek optimize edilmiştir. Elde edilen sonuçlara bakıldığında; YSA ile birlikte sezgisel optimizasyon tekniklerinin kullanılmasının modelin başarısını artırdığı sonucuna varılmıştır.

Anahtar kelimeler

Karınca Aslanı;
Optimizasyon; Yapay
Sinir Ağları; Yeşilirmak;
Zaman Gecikmesi
Boyutu

Optimization of Time Delay Dimension by Ant Lion Algorithm Using Artificial Neural Networks for Estimation of Yeşilirmak River Flow Data

Abstract

Today, the increase in demand for water has made it very important to preserve and design the existing water resources. Data collection, analysis and forecasting of future data are required for optimum project planning. Many methods have been developed to predict future data. In this study, it is aimed to estimate the flow rates of 3 stations on Yeşilirmak River by artificial neural networks. The success of the problem directly affects how many periods of data should be used retrospectively when performing time series analysis with artificial neural networks. The number of data retrospectively (time delay) can be considered as an optimization problem. At this stage, time lag size optimization was performed by using Ant lion algorithm. In addition to time delay, the number of hidden layers used in artificial neural networks has been optimized by adding to the model. When the results obtained are examined; It was concluded that the use of heuristic optimization techniques together with ANN increased the success of the model.

Keywords

Ant Lion; Optimization;
Artificial Neural
Networks; Yesilirmak;
Time Delay Dimension

1. Giriş

Su kaynaklarının geliştirilmesi, planlanması ve projelendirilmesinde hidrolojik verilerin gelecekteki tahmini çok önemli bir yer tutmaktadır. Planlama ve projelendirme aşamalarında optimum boyutlandırma için uzun periyoda sahip verilerin yanı sıra, bunların gelecekte alacağı değerlerin de tahmin edilmesi gerekmektedir (Raman ve Sunilkumar 1995, Küçükdem vd. 2018, Arslan 2018, Guclu ve Sen 2016). Klasik veri toplama ve değerlendirme yöntemleri ile yapılan projelendirmeler hem ihtiyaçların karşılanması noktasında hem de maliyetler konusunda optimum sonuçlardan çok uzak bir noktada kalabilmektedir (Küçük ve Ağralıoğlu 2006). Bununla birlikte; hidrolojik olaylar hem yerküresindeki ve atmosferdeki değişikliklerden hem de kendinden önceki olaylardan etkilenirler (Salas vd. 1980, Çıtakoğlu vd. 2017). Bu sebeple pek çok araştırmacı hidrolojik verilerin zaman serileri üzerine çalışma yapmışlardır (Çevik ve Yürekli 2003). Karabörk ve Kahya (1999), Sakarya havzasında ölçülen aylık veriler için çok değişkenli otoregresif (AR) ve çok değişkenli otoregresif hareketli ortalama (ARMA) ile modeller oluşturmuş, ARMA modelinin AR modeline göre daha başarılı olduğu ifade edilmiştir. Keskin ve Taylan (2007) tarafından, aylık akım verileri için stokastik modeller geliştirilmiş ve bu modellerin tahminlemede başarılı olduğu belirtilmiştir. Topçuoğlu vd. (2005) tarafından, yağış verilerinin gelecek değerlerini tahmin etmede sentetik ARIMA modeli kullanılmıştır. Terzi ve Köse (2012) tarafından, yapılan çalışmada Göksu Nehri'nin akım tahminini YSA kullanarak gerçekleştirilmiştir. 5 farklı zaman gecikmesi ile çalışmalar yapılmış ve sonuçları karşılaştırılmıştır. Makas ve Karaatlı (2016) tarafından, Isparta ili Aksu ilçesinde bulunan Yenice deresinden beslenen bir hidroelektrik santralinin elektrik üretimi tahmini işlemi YSA kullanarak gerçekleştirilmiştir. Modelde girdi olarak; aylık ortalama yağış, aylık ortalama nisbi nem ve aylık ortalama debi verileri kullanılmıştır. Nacar vd. (2018) tarafından, Doğu Karadeniz Havzası'nda yer alan Haldizen Deresinin akım verilerinin tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Tahmin işleminde çok değişkenli uyarlanabilir regresyon eğrileri yöntemi ve klasik regresyon analizi yöntemleri kullanılarak karşılaştırma yapılmıştır. Elde ettikleri sonuçlarla çok değişkenli uyarlanabilir regresyon eğrileri yöntemi ile akım verilerinin daha doğru bir şekilde tahmin edilebildiği gösterilmiştir. Taşar ve vd. (2018) tarafından, Massachusetts'te bulunan bir hazneye ait buharlaşma verilerinin tahmin edilmesi problemi

ele alınmıştır. Geleneksel yöntemlere ek olarak YSA modeli ile tahmin işlemi gerçekleştirilmiştir. Günlük ortalama buharlaşma miktarı tahmini için rüzgar hızı, ortalama günlük hava sıcaklığı, güneşlenme miktarı ve bağıl nem verileri girdi olarak kullanılmıştır. Çalışma sonucunda YSA modeli ile en iyi tahmin elde edilmiştir. Yukarıdaki çalışmalar incelendiğinde YSA ile zaman serileri analizi işlemi gerçekleştirilirken, zaman gecikmesinin yani geçmiş kaç döneme ait veri kullanarak şu anki durumun tahmin edileceğinin net bir uygulaması yoktur. Deneme yanılma yöntemleri kullanılarak en iyi zaman gecikme sayısı tespit edilmeye çalışılmaktadır (Kaynar vd. 2011).

Bu çalışmada; zaman gecikmesi için geçmiş dönemlerden kaç tanesinin girdi parametresi olarak kullanılması gerektiğinin belirlenmesi ve YSA modelinin gizli katman sayısı ile bu katmanlara ait nöron sayılarının tespit edilmesi için karınca aslanı algoritmasından yararlanılmıştır. YSA modelleri karınca aslanı algoritması tarafından oluşturulmuş, kıstas fonksiyonları dikkate alınarak irdelenmiştir. Bu modellerden en iyi sonuçları verenler bu algoritma tarafından belirlenmiştir. En iyi sonucu veren modele ait girdi sayısı, gizli katman sayısı ve nöron sayısına ait tahmin modelleri grafik ve tablolar halinde sunulmuştur.

2. Materyal ve Metot

Çalışmada Yeşilirmak nehri üzerinde bulunan 3 adet gözlem istasyonu (1401, 1402 ve 1413) çalışılmıştır. Ayrıca modelleme YSA ile yapılmış olup, YSA modelleri kurulurken ve veri sayıları girilirken optimum durumun bulunması amacı ile KAA kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan veriler ve modeller hakkındaki bilgiler bu bölümde verilmiştir.

2.1 Kullanılan veriler

Türkiye'nin kuzeyinde bulunan Yeşilirmak havzası 25 havzadan birisidir (Şekil 1). Çalışmada bu havzada yer alan 1401, 1402 ve 1413 nolu istasyonlar kullanılmıştır. 1401 nolu istasyona ait toplam 720 adet veriden 576 adedi eğitim için 144 adedi test için, 1402 nolu istasyona ait toplam 168 adet veriden 136 adedi eğitim için 32 adedi test için ve 1413 nolu istasyona ait toplam 528 adet veriden 422 adedi eğitim için 106 adedi test için kullanılmış olup bu verilere ait istatistiksel bilgiler Çizelge 1' de verilmiştir. Veriler incelendiğinde çoğu çalışmada (Dabanlı vd. 2016, Güçlü 2018) kullanılmış olan %95

güven düzeyine göre dağılıma uygun olduğu kabul edilmiş ve kullanılabilir olduğuna karar verilmiştir.



Şekil 1. Yeşilirmak nehri yerbulundu haritası (EİE).

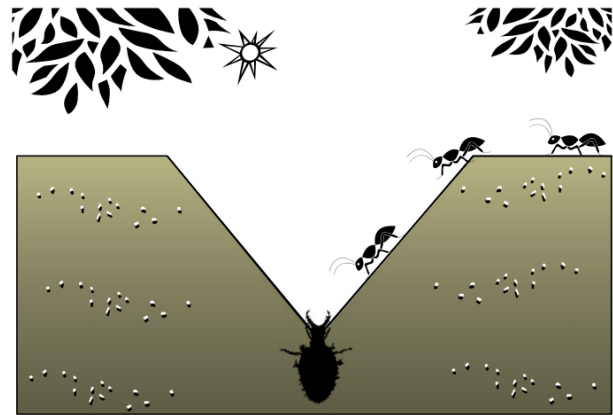
Çizelge 1. İstasyonlara ait verilerin istatistiksel analizi

	1401 nolu istasyon	1402 nolu istasyon	1413 nolu istasyon
Y- koordinatları	40°28'42"	40°46'18"	40°44'40"
X- koordinatları	36°59'56"	36°30'45"	36°06'43"
Yağış Alanı(km ²)	10048.8	33904.0	21667.2
Rakım (m)	375	190	301
Ortalama	70.66	151.33	63.90
Standart Hata	3.42	5.58	2.38
Ortanca	39.40	110.00	46.10
Standart Sapma	76.81	125.23	53.52
Örnek Varyans	5899.65	15682.93	2864.77
Basıklık	3.46	2.54	3.13
Çarpıklık	1.90	1.54	1.64
Aralık	443.77	751.50	347.53
En Küçük	5.23	13.50	2.47
En Büyük	449	765	350
Toplam	35611.66	76271.80	32204.54
Güvenirlilik Düzeyi(%95)	6.72	10.96	4.68

2.2 Karınca aslanı algoritması

Karınca Aslanı Algoritması, 2015 yılında karınca aslanlarının larvalık dönemlerindeki avlanma stratejilerinden esinlenilerek Seyedali Mirjalili tarafından geliştirilmiş bir sezgi ötesi optimizasyon algoritmasıdır (Mirjalili 2015). Karınca aslanları yaşamlarının büyük çoğunluğunu toprak altında larva olarak geçirirler. Yetişkin oldukları yaşam dönemleri kısadır ve bu dönemde çoğalmaktadırlar. Larva dönemindeki karınca aslanları avlanmak için topraktan koni biçiminde bir tuzak oluştururlar.

Toprağın altında koninin uç kısmında, oluşturdukları bu tuzağın içine karıncaların düşmesini beklerler (Şekil 2). Tuzağa düşen bir karınca algıladıklarında, koninin uç köşesinden dışarı doğru küçük kum parçaları fırlatarak, tuzağa düşen karıncaların ayaklarının kaymasını sağlarlar. Böylece karıncalar tuzaktan dışarı çıkamaz ve kayarak koninin dibine kadar düşerler. Koninin dibine düşen karıncaları, karınca aslanları büyük çeneleri ile yiyerek beslenirler. Avlanma işlemi bittikten sonra, karınca aslanları tekrar tuzağı yenileyerek avlarını beklemeye başlarlar.



Şekil 2. Karınca aslanı ve koni şeklindeki tuzak görüntüsü (Mirjalili 2015).

KAA'da arama uzayında karıncaların rastgele yürüyüş yaptıkları ve yiyecek aradıkları varsayılır. Karıncaların rastgele yürüyüşleri Denklem 1'de ifade edilmiştir.

$$X(t) = [0, c(2r(t_1) - 1), c(2r(t_2) - 1), \dots, c(2r(t_n) - 1)] \quad (1)$$

Burada, c fonksiyonu kümülatif toplamı, n maksimum iterasyon sayısını, t rastgele yürüyüşlerin adımlarını, $r(t)$ ise rastgele yürüyüşleri temsil etmektedir. Denklem 2'de $r(t)$ 'in hesaplanması verilmiştir.

$$r(t) = \begin{cases} 1 & \text{Eğer } rand(0,1) > 0.5 \\ 0 & \text{Eğer } rand(0,1) \leq 0.5 \end{cases} \quad (2)$$

Burada t rastgele yürüyüşlerin adımlarını, $rand(0,1)$ ise $[0,1]$ aralığında rastgele sayıyı ifade etmektedir. Rastgele yürüyüşler; artan eğilimli, azalan eğilimli ve rastgele artan-azalan eğilimli olmak üzere üç farklı şekilde olabilmektedir.

Rastgele yürüyen karıncaların konumları optimizasyon süresince kayıt altında tutulmakta ve Denklem 3'te verilen matris yapısıyla ifade edilmektedir.

$$M_K = \begin{bmatrix} A_{1,1} & A_{1,2} & \dots & \dots & A_{1,d} \\ A_{2,1} & A_{2,2} & \dots & \dots & A_{2,d} \\ \vdots & \vdots & \dots & \dots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \dots & \dots & \vdots \\ A_{n,1} & A_{n,2} & \dots & \dots & A_{n,d} \end{bmatrix} \quad (3)$$

Burada, d problemin boyutunu, n karınca sayısını, $A_{i,j}$ ise i . karıncanın j . değerini ifade etmektedir. Optimizasyon adımları ilerledikçe her bir karıncanın pozisyonu bir uygunluk fonksiyonundan geçirilerek karıncaların uygunluk değeri hesaplanır ve Denklem 4'te gösterildiği gibi bir matriste depolanır.

$$M_U = \begin{bmatrix} f([A_{1,1}, A_{1,2}, \dots, A_{1,d}]) \\ f([A_{2,1}, A_{2,2}, \dots, A_{2,d}]) \\ \vdots \\ \vdots \\ f([A_{n,1}, A_{n,2}, \dots, A_{n,d}]) \end{bmatrix} \quad (4)$$

Burada f , uygunluk fonksiyonunu temsil etmektedir. Karıncalara ek olarak karınca aslanının da arama uzayında bir noktada gizlendiği varsayılmaktadır. Denklem 5'te karınca aslanlarının pozisyonlarının tutulduğu matris yapısı gösterilmektedir.

$$M_{KA} = \begin{bmatrix} AL_{1,1} & AL_{1,2} & \dots & \dots & AL_{1,d} \\ AL_{2,1} & AL_{2,2} & \dots & \dots & AL_{2,d} \\ \vdots & \vdots & \dots & \dots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \dots & \dots & \vdots \\ AL_{n,1} & AL_{n,2} & \dots & \dots & AL_{n,d} \end{bmatrix} \quad (5)$$

Karınca aslanlarının uygunluk değerlerinin tutulduğu matris ise Denklem 6'da gösterilmiştir.

$$M_{KAU} = \begin{bmatrix} f([AL_{1,1}, AL_{1,2}, \dots, AL_{1,d}]) \\ f([AL_{2,1}, AL_{2,2}, \dots, AL_{2,d}]) \\ \vdots \\ \vdots \\ f([AL_{n,1}, AL_{n,2}, \dots, AL_{n,d}]) \end{bmatrix} \quad (6)$$

KAA'da iterasyonlar boyunca karıncaların arama uzayında rastgele yürüyüş yaptıkları

varsayılmaktadır. Rastgele yürüyüşler problemin tüm boyutlarını kapsayacak şekilde gerçekleştirilmektedir. Karınca aslanlarının tuzakları, karıncaların rastgele yürüyüşlerini etkilemektedir. Karınca aslanları, karıncaların uygunluk değerlerine göre yeni tuzaklar oluşturabilmektedir. Ayrıca tuzakların büyüklüğünü artırarak karınca yakalama olasılıklarını artırmaktadırlar. Her iterasyonda yakalanan karınca, o iterasyon adımı için en uygun değeri temsil etmektedir. Tuzağa yakalanan bir karıncanın rastgele yürüyüş büyüklüğü, karıncanın tuzak içinde karınca aslanına kaydırılması işlemi ile azaltılmaktadır. Kaydırılarak karınca aslanına doğru yaklaştırılan karıncanın uygunluk değerinin, karınca aslanından daha iyi olduğu bir durumda, karıncanın yakalandığı ve toprak altına çekildiği varsayılmaktadır. Son olarak her karınca yakalama işleminden sonra karınca aslanının tuzağını yenilediği ve yeni avlanma işlemi için beklemeye geçtiği kabul edilmektedir.

Denklem 1 kullanılarak karıncaların rastgele yürüyüş için pozisyonlarının belirlendiği ifade edilmişti. Arama uzayının dışına çıkmaları engellemek için Denklem 7 kullanılmaktadır (Tian vd. 2018).

$$X_i = \frac{(X_i - a_i) \times (d_i - c_i)}{(b_i - a_i)} + c_i \quad (7)$$

Burada, a_i ve b_i sırasıyla X_i konum vektörünün minimum ve maksimum değerlerini, c_i ve d_i değerleri ise sırasıyla, i . boyutun minimum ve maksimum değerlerini ifade etmektedir. Denklem 7 vasıtasıyla X_i vektörü $[0,1]$ aralığına ölçeklenirken, c_i ve d_i değerleri ile seçilen karınca aslanı etrafında rastgele yürüyüş yapması gerçekleştirilmektedir. Böylece karıncaların tuzak içinde karınca aslanı tarafından kum fırlatılarak ayaklarının kaydırılması ve karınca aslanına doğru rastgele yürüyüş yapması benzeştirilmektedir. c_i ve d_i değerlerinin karınca aslanı etrafında rastgele yürüyüş yaptırılabilmesi için Denklem 8 ve 9 kullanılmaktadır.

$$c_i = c' + Antlion_s \quad (8)$$

$$d_i = d' + Antlion_s \quad (9)$$

Burada; $Antlion_s$, rulet tekerleği yöntemi ile seçilen karınca aslanını ifade etmektedir.

$$c' = \frac{lb}{10^W \times (t/T)} \quad (10)$$

$$d' = \frac{ub}{10^W \times (t/T)} \quad (11)$$

Burada, lb ve ub sırasıyla problem boyutlarının minimum ve maksimum değerlerini ifade etmektedir. t içinde bulunulan iterasyon adımını, T ise maksimum iterasyon sayısını belirtmektedir. W değeri sabit bir sayı olup iterasyon adımı ve maksimum iterasyon sayılarına göre belirlenmektedir (Denklem 12).

$$W = \begin{cases} 2 & t > 0.1T \\ 3 & t > 0.5T \\ 4 & t > 0.75T \\ 5 & t > 0.9T \\ 6 & t > 0.95T \end{cases} \quad (12)$$

Son olarak t . iterasyondaki i . karıncanın konumu belirlenirken, t . iterasyondaki en iyi karınca aslanının konumu (R_A^t) ve tüm optimizasyon süresince seçilen en iyi karınca aslanının (elit) konumu (R_E^t) kullanılmaktadır. Denklem 13'te i . karıncanın konumunun hesabı verilmiştir.

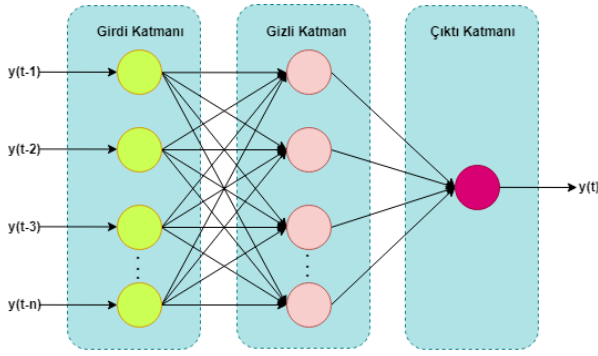
$$Karınca_i = \frac{R_A^t + R_E^t}{2} \quad (13)$$

2.3 Yapay sinir ağları

Yapay Sinir Ağları (YSA) insan beynindeki nöron yapılarının öğrenme mekanizmasından esinlenilerek geliştirilmiştir. YSA kendisine verilen bir veri setinden yola çıkarak öğrenme işlemi gerçekleştirerek, olaylar hakkında çıkarım yapabilme yeteneğine sahip bir yöntemdir. YSA'da girdi katmanı, gizli katman ve çıktı katmanı olmak üzere üç katman yapısı bulunmaktadır (Şekil 3). Her katmandaki nöronlar bir sonraki katmanın tüm nöronlarına bağlantılı bir yapıya sahiptir. Bu bağlantı işlemi ile her bir bağlantı için tanımlanan ve iterasyonlar boyunca sürekli olarak güncellenen ağırlık değerleri kullanılmaktadır. Bu ağırlık

değerlerinin en iyi şekilde ayarlanması ile öğrenme işlemi gerçekleştirilmektedir. Ayrıca her bir nöron kendisine bağlantı yapan nöronlardan gelen değerleri ağırlık değerleri ile çarpıp toplayarak bir aktivasyon fonksiyonundan geçirir. Böylece verileri belli bir aralığa ölçeklenerek öğrenme işleminin çok daha doğru ve hızlı yapılması gerçekleştirilir. Her katmandaki nöron sayısı probleme özgü olarak belirlenmektedir. YSA'nın önemli bir faktörü de gizli katman sayısıdır. Gizli katman sayısı ve gizli katmandaki nöronların sayıları öğrenme başarısı üzerinde büyük etkiye sahiptir. Gerekenden daha az sayıda gizli katman ve nöronun kullanılması öğrenme işleminin gerçekleşmemesine neden olmaktadır, gerekenden daha fazla sayıda gizli katman ve nöron ise gereksiz kaynak tüketimine neden olmaktadır. Bu nedenle YSA ile çalışılırken gizli katman sayısı ve gizli katmanlardaki bulunan nöron sayılarının optimum düzeyde seçilmesi büyük önem arz etmektedir. YSA ile zaman serisi analizi işlemleri gerçekleştirilirken, bir çıktının tahmininde geriye dönük olarak verilerin kullanılması gerekmektedir. Çünkü zaman serilerinde her bir veri, kendisinden önce gelen verilerle ilişki içerisindedir. Fakat kendisinden önceki kaç adet veri ile ilişkili olduğunun tespit edilmesi zor bir işlemdir. Zaman gecikmesi olarak adlandırılan bu önceki dönem verilerinin sayısının belirlenmesinde literatürde farklı yöntemler kullanılmaktadır. Ancak genel olarak incelendiğinde deneme yanılma yolu ile en iyi zaman gecikmesinin bulunması gerçekleştirilmektedir.

Bu çalışmada, YSA ile çalışılırken karşılaşılan gizli katman sayısının ve nöron sayısının belirlenmesi, ayrıca zaman gecikmesi olarak kullanılacak olan veri sayısının tespit edilmesinde bir optimizasyon yöntemi kullanılması amaçlanmıştır. KAA ile gizli katman sayısı, nöron sayısı ve zaman gecikmesi sayısının optimizasyonu gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3. YSA modeli yapısı

2.4 Değerlendirme Ölçütleri

Çalışma için geliştirilen modellerin değerlendirilebilmesi için 3 adet değerlendirme ölçütü kullanılmıştır. Regresyon analizi; aralarında ilişki bulunan değişkenler arasındaki korelasyonun matematiksel olarak ifadesini belirlemek için kullanılır (Bayazit 2006). Ortalama karesel hatanın karekökü; gözlenen değerler ile öngörülen değerler arasındaki farkların ortalamasının karekökünü temsil eder ve Denklem 14 ile ifade edilir.

$$OKHK = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Q_i^- - Q_i)^2} \quad (14)$$

Ortalama mutlak hata; gerçek değerler ile öngörülen değerlerin farklarının ortalamalarını temsil eder ve Denklem 15 ile ifade edilir (Burgan ve Aksoy 2020).

$$OMH = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |Q_i^- - Q_i| \quad (15)$$

2.5 KAA ile çalıştırılan YSA modeli

Oluşturulan model YSA modellerinin KAA ile optimize edilmesi ilkesine göre çalışmaktadır. Gizli tabaka sayısı, nöron sayısı ve modeldeki zaman gecikmesi parametreleri KAA tarafından atanır. KAA'nın her bir üyesi tarafından oluşturulan YSA modelleri kıstas fonksiyonları ile kontrol edilir ve hatası en az olan model ve her bir üyenin bulunduğu sonuçlar kaydedilir. Bir sonraki iterasyonda bu değerler kullanılarak yeni parametre değerleri atanarak en iyileme yapılır. Bu hibrit modelin çalışması bitirildiğinde en hatalı YSA modeline ait parametreler ortaya konmuş olmaktadır. Modelin çalışma prensibi Şekil 4' te özetlenmeye çalışılmıştır. Çalışmanın KAA ve YSA yazılımı MATLAB aracılığıyla

oluşturulmuştur. Nesneye yönelik programlama mantığı ile oluşturulan bu yazılımla elde edilen sonuçlara ait grafiklerin çizilmesi ve hata hesapları da otomatik olarak oluşturulmuştur.



Şekil 4. KAA ile çalıştırılan YSA modelinin akış şeması

3. Bulgular

Bu çalışmada KAA kullanılarak, 3 farklı istasyona ait aylık akım miktarlarının YSA ile tahmin işlemi gerçekleştirilirken, optimum gizli katman sayısı, optimum nöron sayısı ve optimum zaman gecikme sayısının tespiti gerçekleştirilmiştir. KAA algoritmasında popülasyon büyüklüğü 20, iterasyon sayısı ise 100 olarak seçilerek tüm işlemler gerçekleştirilmiştir. Zaman gecikmesi olarak [1, 150] aralığı, gizli katman ve nöron sayısı aralığı için [1, 15] aralığı seçilmiştir. YSA'nın öğrenme başarılarının karşılaştırılmasında ortalama karesel hatanın karekökü (OKHK), ortalama mutlak hata (OMH) ve determinasyon katsayısı (R^2) ölçütleri kullanılmıştır. Çalışmada aylık akım verileri kullanılmıştır. Her bir öğrenme işleminde toplam verinin ilk %80'lik kısmı eğitim işlemi için, geri kalan kısmı ise test işlemi için kullanılmıştır. YSA'nın başlangıç ağırlık değerleri her zaman 0'dan başlatılmıştır. Test işlemi sonrasında elde edilen ölçütler üç farklı istasyon içinde ayrı ayrı olarak Çizelge 2'de verilmiştir. Ayrıca pik debiler

incelendiğinde hatanın %10 civarında olduğu görülmüştür.

Çizelge 2. İstasyonlar için YSA modeli öğrenme karşılaştırması

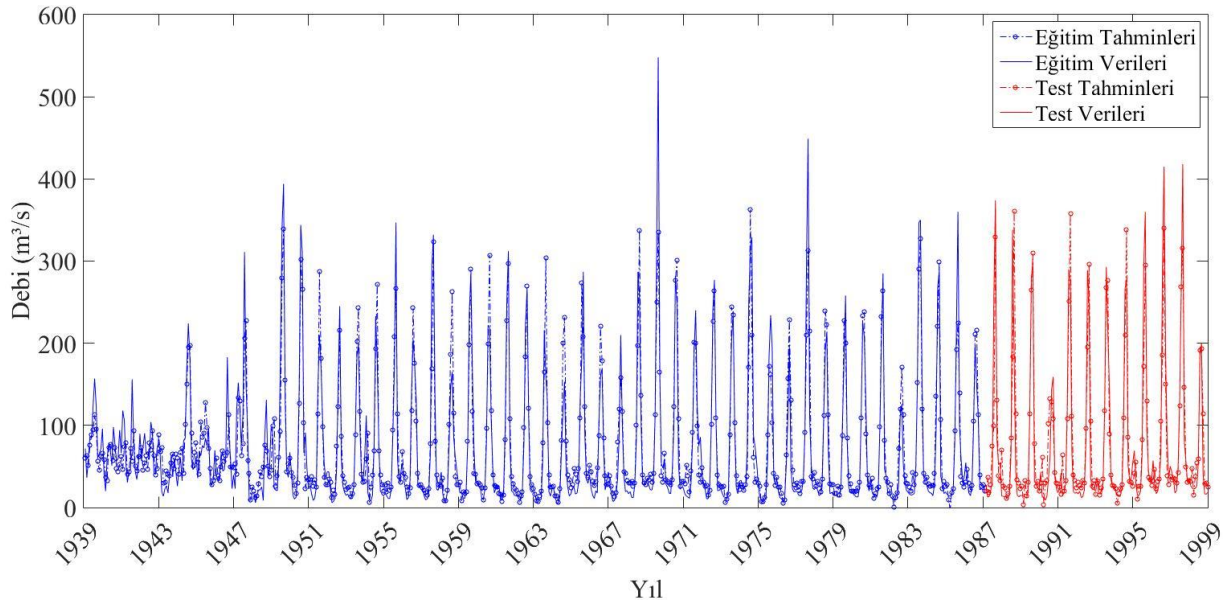
İstasyon No	OKHK	OMH	R ²
1401	34.49	21.92	0.89
1402	31.26	25.87	0.91
1413	18.76	13.62	0.80

Çizelge 2’de verilen kıstas değerleri, karınca aslanı algoritmasının YSA modellerini karşılaştırmada kullandığı fonksiyonlardır. Modeller oluşturulup kıyaslama yapılırken; optimizasyon algoritması bu fonksiyonlara göre değerlendirme yapmış ve elde edilen en iyi sonuçlar bu çizelgede gösterilmiştir.

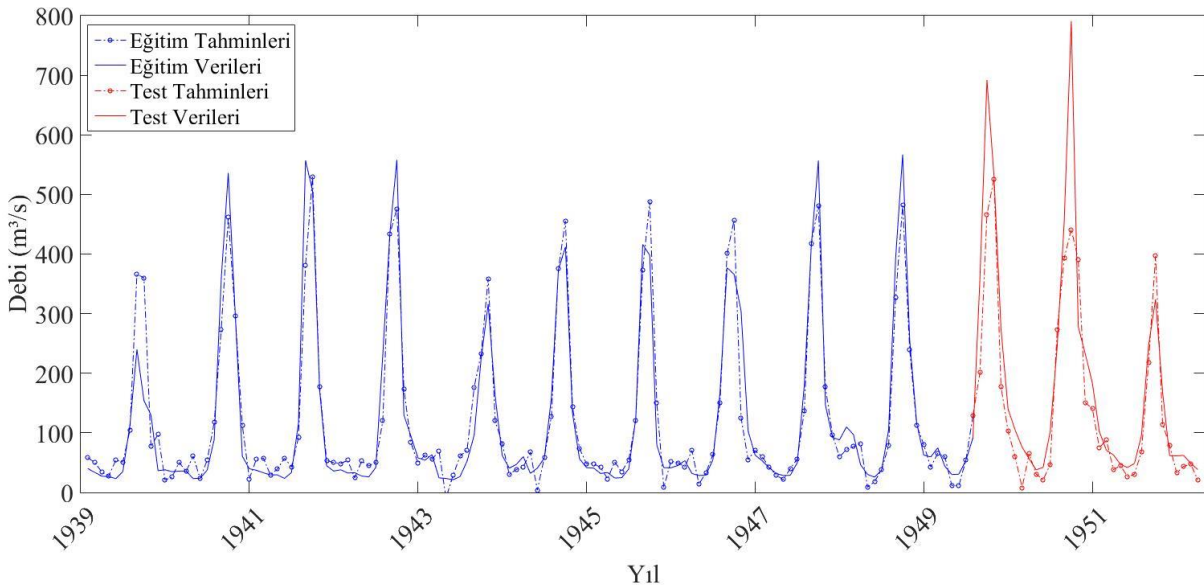
Elde edilen bu sonuçlara karşı gelen optimum parametre değerleri ise Çizelge 3’te gösterilmiştir. Optimum parametreler ile elde edilen tahmin sonuçlarına karşılık, gerçek değerlerin karşılaştırılması grafikleri, 1401, 1402, 1413 nolu istasyonlar için sırasıyla Şekil 5, Şekil 6 ve Şekil 7’de verilmiştir. Su yılı değerleri 1 Ekim’de başlamaktadır.

Çizelge 3. İstasyonlar için optimum değerler

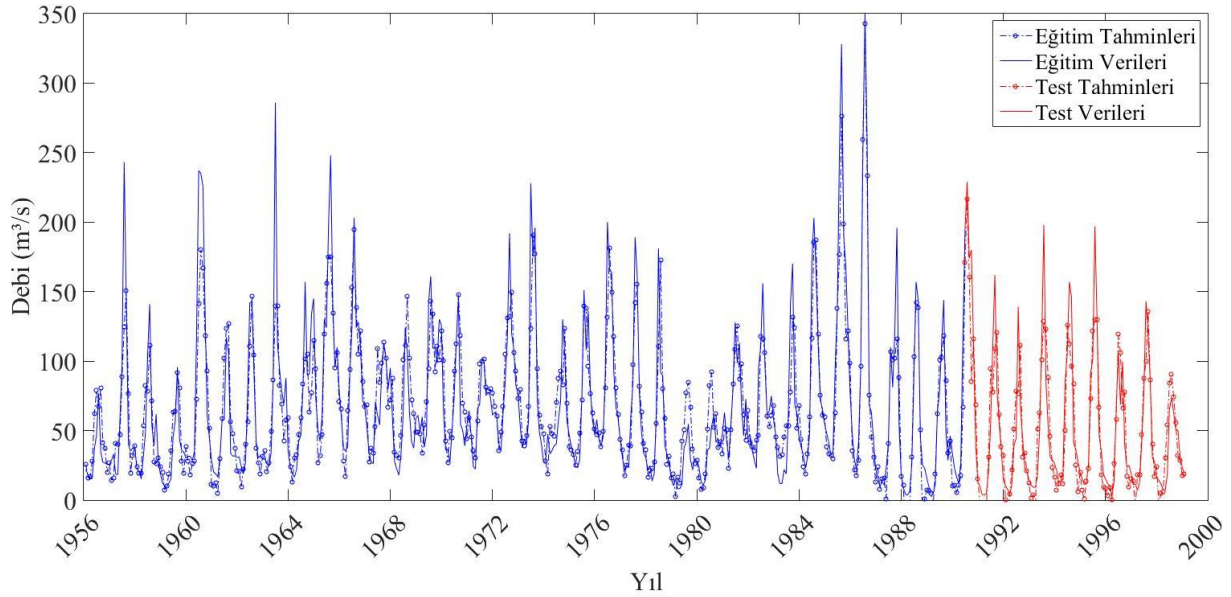
İstasyon No	Gizli Katman Sayısı	Nöron Sayısı	Zaman Gecikmesi
1401	8	8	22
1402	12	12	5
1413	9	9	35



Şekil 5. 1401 nolu istasyon tahmin-gerçek değerlerin karşılaştırılması



Şekil 6. 1402 nolu istasyon tahmin-gerçek değerlerin karşılaştırılması



Şekil 7. 1413 nolu istasyon tahmin-gerçek değerlerin karşılaştırılması

4. Tartışma ve Sonuç

Su kaynaklarının planlanması ve projelendirilmesi aşamalarında gelecek dönemlere ait verilerin tahmin edilmesi son derece önemlidir. Bu çalışmada Yeşilirmak nehri üzerinde bulunan 1401, 1402, 1413 numaralı istasyonların gelecek dönemdeki akış miktarları yapay sinir ağları ile tahmin edilmiştir. Yapay sinir ağları ile zaman serisi analizi yapılırken, girdi olarak kullanılacak veri sayısının adedi performansı etkilemektedir. Geriye dönük olarak bakılan veri sayısı (zaman gecikmesi) bir optimizasyon problemi olarak ele alınabilmektedir. Bu aşamada karınca aslanı algoritması kullanılarak, zaman gecikmesi boyutunun optimize edilmesi gerçekleştirilmiştir. Zaman gecikmesine ek olarak yapay sinir ağlarında mevcut olan gizli katman sayısı da modele eklenerek optimize edilmiştir. Klasik olarak kurulan YSA modellerinde rastgele nöron sayıları ve geçmişe yönelik veri sayısı girilerek yapılan modellemeler ile sonuca ulaşılabilmektedir. Ancak bu şekilde yapılan bir çalışmada optimum sonuca ulaşılması zaman almakta ya da imkansız yakın bir hal almaktadır. Çalışmada kullanılan karınca aslanı optimizasyon algoritması sayesinde bu problem büyük ölçüde çözülmüştür. Örneğin 50 üye ve 500 iterasyon kullanıldığında 2500 farklı hesap, minimum hataya sahip olacak şekilde çok kısa sürede sonuçlandırılabilir. Yapılan

hesaplamlarda tüm üyeler minimum hatanın elde edildiği bölgeye yaklaşmakta ve belli bir iterasyon sonucu değişimler çok azalmaktadır. Çok hassas olarak yapılması gereken bu işlemin elle yapılarak sonuca ulaşılması ise oldukça zor olmaktadır. Örneğin; 8 gizli katman 8 nöron ve 22 zaman gecikmesi ile yapılan çalışmanın determinasyon katsayısı 0.89 iken, zaman gecikmesinin 23 olduğu bir durumda determinasyon katsayısı 0.68'e kadar düşmektedir. Bu çalışmada elde edilen bu sonuç ile YSA ile ilgili çalışmaların sezgisel optimizasyon teknikleri ile birlikte kullanılmasının doğruluk payını arttırdığı görülmüştür. Çalışmada kullanılan tüm istasyonlardan elde edilen sonuçlara bakıldığında ise tüm istasyonların yüksek oranda tahmin edilebildiği bulunmuştur.

5. Kaynaklar

- Arslan, O., 2018. Prediction of evaporation values of Konya closed basin via developed empirical formula. *International Scientific and Vocational Journal*, **2**, 29-38.
- Bayazit, M., 2006. Çok değişkenli istatistik analiz ve hidrolojide uygulamaları. Su Vakfı Yayınları, İstanbul, 35-45.

- Burgan, H.İ., Aksoy, H., 2020. Monthly flow duration curve model for ungauged river basins. *Water*, **12**, 338.
- Çevik, O., Yürekli, K., 2003. Mevsimsel ARIMA modeli kullanılarak Yeşilirmak Nehri aylık akım serisinin modellenmesi. *Tarım Bilimleri Dergisi*, **9**, 261-268.
- Çıtakoğlu, H., Çetin, M., Çobaner, M., Haktanır, T., 2017. Mevsimsel yağışların jeostatistiksel yöntemle modellenmesi ve gözlemi olmayan noktalarda tahmin edilmesi. *Teknik Dergi*, **28(1)**, 7725-7745.
- Dabanlı, İ., Şen, Z., Yeleğen, M.Ö., Şişman, E., Selek, B., Güçlü, Y.S., 2016. Trend assessment by the Innovative-Şen Method. *Water Resources Management*, **30**, 5193-5203.
- EİE, Akım Gözlem Yıllıkları.
- Güçlü, Y.S., Şen, Z., 2016. Hydrograph estimation with fuzzy chain model. *Journal of Hydrology*, **538**, 587-597.
- Güçlü, Y.S., 2018. Multiple Şen-innovative trend analyses and partial Mann-Kendall test. *Journal of Hydrology*, **566**, 685-704.
- Karabörk, M.Ç., Kahya, E., 1999. Sakarya havzasındaki aylık akımların çok değişkenli stokastik modellenmesi. *Journal of Engineering and Environmental Science*, **23**, 133-147.
- Kaynar, O., Taştan, S., Demirkoparan, F., 2011. Yapay sinir ağları ile doğalgaz tüketim tahmini. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, **25**, 463-474.
- Keskin, M.E., Taylan, E.D., 2007. Orta Akdeniz havzasındaki aylık akımların çok değişkenli stokastik modellenmesi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, **42**, 89-97.
- Küçük, M., Ağırlioğlu, N., 2006. Dalgacık dönüşüm tekniği kullanılarak hidrolojik akım serilerinin modellenmesi. *İtü Dergisi*, **5**, 69-80.
- Küçükerdem, T.S., Kilit, M., Saplıoğlu, K., 2018. Kestel barajı hacminin adaptif ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi ile tahmini. International Symposium on Urban Water and Wastewater Management.
- Makas, Y., Karaatlı, M., 2016. Yapay sinir ağlarıyla hidroelektrik enerji üretiminin çok dönemli tahmini. *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, **4**, 1-7.
- Mirjalili, S., 2015. The ant lion optimizer. *Advances in Engineering Software*, **83**, 80-98.
- Nacar, S., Kankal, M., Hınıs, M.A., 2018. Çok değişkenli uyarlanabilir regresyon eğrileri (ÇDURE) ile günlük akarsu akımlarının tahmini- Haldizen Deresi örneği. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, **8**, 38-47.
- Raman, H., Sunilkumar, N., 1995. Multivariate modelling of water resources time series using artificial neural networks. *Hydrological Sciences Journal*, **40**, 145-163.
- Salas, J.D., Delleur, J.W., Yevjevich, V., Lane W.L. 1980. Applied modeling of hydrologic time series. Water Resources Publications.
- Taşar, B., Üneş, F., Demirci, M., Kaya, Y.Z., 2018. Yapay sinir ağları yöntemi kullanılarak buharlaşma miktarı tahmini. *DÜMF Mühendislik Dergisi*, **9**, 543-551.
- Terzi, Ö., Köse, M., 2012. Yapay sinir ağları yöntemi ile Göksu Nehri'nin akım tahmini. *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, **4**, 1-7.
- Tian, T., Liu, C., Guo, Q., Yuan, Y., Li, W., Yan, Q., 2018. An improved ant lion optimization algorithm and its application in hydraulic turbine governing system parameter identification. *Energies*, **11**, 95.
- Topçuoğlu, K., Pamuk, G., Özgürel, M., 2005. Gediz Havzası yağışlarının stokastik modellenmesi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, **42**, 89-97.

AKÜ FEMÜBİD 20 (2020) 025701 (319-330)

AKU J. Sci. Eng. 20 (2020) 025701 (319-330)

DOI: 10.35414/akufemubid.604735

Araştırma Makalesi / Research Article

Koloidal Tek Tabaka Transferine Dayalı Metalik Nano Şablonların Biyosensör Yüzeyler Olarak Hazırlanması

Numan GÖZÜBENLİ¹¹Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Fen-Edebiyat Fakültesi, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa, TürkiyeSorumlu Yazar: e-posta: gnuman@harran.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1897-9096>

Geliş Tarihi: 09.08.2019

Kabul Tarihi: 23.03.2020

Öz

Kat-kat (LbL) transfer tekniği, nanoyapılı malzemelerin hazırlanmasında yaygın olarak kullanılan basit, çok yönlü bir yaklaşım olarak dikkat çekmektedir. Bu süreç, polimerler, nanopartiküller, lipitler, proteinler veya organik boya molekülleri gibi bileşenlerin sırayla biriktirilmesi işlemine dayalı olup, bunların üç boyutlu kristal dizilimlerinden, serbest duran (iki boyutlu) şablonlar elde etmede kullanılan katmanların tek tek uzaklaştırılması sürecidir. Her ne kadar malzeme özelliklerinin (örn. boyut, bileşim, kalınlık, geçirgenlik, işlev, vb.) LbL transferinde hazırlanan malzemenin kendisi tarafından sağlanmasına rağmen, şablonların morfolojisi ve bileşimi de üretilen malzemelerin özelliklerinin ve dolayısıyla potansiyel uygulamaların belirlenmesinde önemli bir rol oynar. Bu çalışmada, çok çeşitli yüzeylerde tek katmanlı, fonksiyonel silika koloidal kristallerin ölçeklenebilir bir şekilde imal edilmesini sağlayan basit bir koloidal transfer teknolojisi rapor edilmiştir. Olağandışı bir yapıya sahip iki boyutlu koloidal kristal dizilimlerin ilk önce cam bir yüzey üzerine bir döner (spin)-kaplama tekniği ile kaplanması sağlanır. Koloidal kristal tabakalar üzerine dökülen bir poliüretan (PÜ) filmi, üzerleri açık partikül dizilerini çeşitli yüzeylere aktarabilmek için kullanılmaktadır. Transfer edilen tek tabakalı koloidal kristalin birim aralığı, PÜ-silika kompozit filminin çeşitli süreler boyunca metalik kaplama ile veya termal olarak işlenmesiyle kolayca ayarlanabilir. Bu çalışmada; yapısal şablon olarak transfer edilen tek tabakalı temassız koloidal kristallerin, altın kaplanmış nano kürecikler olarak periyodik dizili sensör yüzeyler olarak geliştirilebileceği kanıtlandı. Elde edilen plazmonik dizinin, optiksel biyo algılayıcılarda sıkça kullanılmakta olan benzeniyol molekülleri için yüksek seçicilikte Raman saçılma piklerine sahip olduğu gösterilmiştir.

Anahtar kelimeler

Döner (spin) kaplama;
Koloidal silika kristali;
Fotonik kristal;
Nanoküreler;
Nanokabuklar

Preparation of Metallic Nano-Templates Based on Transfer of Colloidal Monolayer as Biosensor Surfaces

Abstract

Layer-by-layer (LbL) transfer technique stands out as a simple, versatile approach commonly used in the preparation of nanostructured materials. This process is based on the sequential deposition of components such as polymers, nanoparticles, lipids, proteins, or organic dye molecules, and the process of removing individual layers from their three-dimensional crystal arrays to obtain free-standing templates. Although the material properties (eg size, composition, thickness, permeability, function, etc.) are provided by the material itself prepared in the LbL transfer, the morphology and composition of the templates also play an important role in determining the properties of the materials produced and hence in the potential applications. In this study, a simple colloidal transfer technology, which enables the scalable production of monolayer functional silika colloidal crystals on a wide variety of surfaces, is reported. The two-dimensional colloidal crystal arrays having an unusual structure are first coated onto a glass surface by a spin-coating technique. A polyurethane (PU) film cast over the colloidal crystal layer is used to transfer uncoated particle arrays into various surfaces. The unit spacing of the transferred monolayer colloidal crystal can be easily adjusted by thermal process or with metallic coating of the PU-silika composite film for various periods of time. In this study; it has been proved that

Keywords

Spin coating; Colloidal
silika crystal; Photonic
crystal; Nanospheres;
Nanoshells

monolayer non-close colloidal crystals transferred as structural templates can be developed as highly ordered array sensor surfaces containing gold-coated nanospheres. The resulting plasmonic array has been shown to have high selectivity Raman scattering peaks for benzenthioi molecules commonly used in optical biosensors.

1. Giriş

Kendinden montajlanabilir iki boyutlu (2-B), ve üç boyutlu (3-B) koloidal kristaller, hassas plazmonik biyosensörlerden, yüksek yoğunluklu manyetik kayıt ortamları gibi yüksek teknoloji uygulamalara kadar geniş bir alanda kullanılmaktadır. Bu koloidal litografi teknikleri, fonksiyonel periyodik nano yapı ürünlerinden elde edilen geniş spektrum eldesinde, koloidal litografi (veya nanoküre litografisi) ile başarılılabilmektedir (Askar *et al.*, 2013; Dahoumane *et al.*, 2014; Agarwal *et al.*, 2015; Amiri *et al.*, 2015). Fotolitografi ve elektron ışın litografisi gibi geleneksel yukarıdan aşağıya mikrofabrikasyon teknikleriyle karşılaştırıldığında, koloidal litografi çok daha basit, daha hızlı ve daha ucuzdur. Aşağıdan-yukarıya (Bottom-up) yaklaşımlar, standart yukarıdan-aşağı (Top-Down) mikrofabrikasyon tekniklerine kıyasla, daha karmaşık nano yapıları (örneğin, hiyerarşik nano kaseler, halkalar, vb.) mümkün kılabilir (Jiang *et al.*, 1999; Bardosova *et al.*, 2010). Koloidal litografide, koloidal kristal şablonlar, şablonlu periyodik nano yapıların geometrik parametrelerin nihai özelliklerini belirleme konusunda baskın bir rol oynar. Son zamanlarda, döner (Spin) kaplama (Askar *et al.*, 2013), elektriksel ve manyetik alanlı montaj (Grzybowski *et al.*, 2000), yerçekimi sedimentasyonu (Middleman, 1987), şablon destekli montaj (Jiang *et al.*, 2007), ve kılcal kuvvetlere dayalı çeşitli koloidal montaj teknikleri (Malet *et al.*, 2006; Liu *et al.*, 2013) geliştirilmiştir. 1-B, 2-B ve 3-B koloidal kristaller genellikle bu geleneksel koloidal kendi kendine montaj yaklaşımları kullanılarak elde edilmiştir.

Kontrol edilebilir örgü boşluklarına sahip, yakın (temas halinde) dizili koloidal kristaller, koloidal litografi ile hazırlanabilen periyodik nano yapısal kalıplarının çok yönlülüğünü ve ayarlanabilirliğine önemli ölçüde katkı sunabilir (Yang *et al.*, 2013).

Potansiyel enerji bariyeri engeli nedeniyle, temassız koloidal kristallerin üretimi için, bir dizi işlem sonrası ve doğrudan kendinden montaj teknikleri geliştirilmiştir (Tao *et al.*, 2003; Choi *et al.*, 2004). Bu teknikler arasında; plazma aşındırma, piroliz veya elektron ışınımı ile temas halindeki koloidal dizilerin uygulama sonrası işlemleri, temassız koloidal kristallerin oluşturulmasında, en yaygın kullanılan teknolojiler arasında olma ihtimali yüksektir (Fenollosa and Meseguer, 2003; Hur and Won, 2008). Partiküller arasındaki boşluklar, işlem sonrası koşullar ayarlanarak kontrol edilebilir. Bununla birlikte, orijinal koloidal kürelerin küresel şekilleri ve pürüzsüz yüzeyi genellikle kaplama sonrası yapılan işlemlerden sonra aşınmalardan korunamaz (Li *et al.*, 2010; Kim *et al.*, 2011). Bir kompozit yapıda olan koloidal kristal içerikli elastomerik substrat, örneğin polidimetilsiloksanın (PDMS) engellenemeyen çözücü şişmesi veya mekanik deformasyonu koloidal kristallerin ayarlanabilen kafes aralıklarında ve üretimlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Bowden *et al.*, 1999; Li *et al.*, 2009). Ne yazık ki, bu güçlü metodoloji; yukarıda belirtilen koloidal montaj teknolojileri ile temas halinde veya temassız tek katmanlı koloidal kristallerin küçük boyutlarıyla (genellikle birkaç cm^2 lik alanla) sınırlıdır. Son yıllarda geliştirilen tekniklerinden biri olan civa yüzeyine aktarma yönteminde ($> 80 \text{ cm}^2$) 2-D koloidal dizilerin üretiminde kullanılmış olan, basit ve hızlı bir yaklaşım olarak geliştirilmiştir (Holtz and Asher, 1997; Agarwal *et al.*, 2015). Güncel olarak kullanılan yaygın tekniklerden bir diğeri de hidrojel film tekniği olup, partikül dizilerini transfer etmek ve koloidal kristal kafes aralığını kontrol etmede kullanılabilmektedir (Holtz and Asher, 1997). Bununla birlikte, Holtz ve Asher in geliştirdiği yöntemin civaya dayalı olması, çevre toksisite seviyelerine etkisi, endüstri ölçeğinde üretim için çevresel etki değerlendirmesinde önemli bir kaygı oluşturabilir. Ayrıca yukarıda bahsedilen hidrojel film

teknîği, şablona dayalı temassız koloidal partikül dizilerin oluşturulmasında popülerdir (Zhang *et al.*, 2011). Ne yazık ki hem temas halindeki hem de temassız koloidal kristallerin üretilmesinde, mevcut tabandan-yukarı (bottom-up) teknolojilerin çoğunda olduğu gibi, büyük bir dezavantaja sahiptir, yani düşük verimlidir. Yalnızca küçük hacimli, laboratuvar ölçekli üretimler için elverişlidirler ve fonksiyonel cihazların seri üretimini ve çip üzerinde entegrasyonu ile sınırlıdır. Bu nedenle yüksek verimli ve geniş alanlı üretim elde etmek, geleneksel koloidal litografi için zorlu bir mücadele olmaya devam etmektedir. Sıradışı yapılardan olan temassız bir yapıya sahip hem 2-B hem de 3-B koloidal kristallerin yaklaşık 30 cm² lik alanlara monte edilmesini sağlayan basit ve hızlı bir döner kaplama teknoloji platformu daha önceden geliştirilmiştir (Yang and Jiang, 2010; Yang *et al.*, 2013). Bu metodoloji, standart bir döner-kaplayıcı kullanarak merkezkaç kuvvetine dayalı konsantre koloidal süspansiyonların kullanımına dayalı olup, yarı iletken teknolojilere ve devre elemanları mikro fabrikasyonlarına uyumludur. Ancak, çeşitli boyutlarda ölçeklendirilebilir bu teknolojinin iki ana sınırlaması bulunmaktadır. Birincisi, döner kaplanmış, temassız koloidal kristallerin kafes aralıkları, ~ 70 nm ila 1 mikronun üzerinde çeşitli büyüklüklerdeki partiküller için sabitlenir (yani ayarlanamaz). İkinci olarak, bu plazmonik özellikteki koloidal kristaller sadece silikon ve cam yüzeyler gibi çok sınırlı sayıdaki malzemeler üzerine döner kaplanabilirler. Koloidal süspansiyonlar ve kaplanacak yüzeyleri arasındaki etkileşimler, döner kaplı koloidal kristallerin fiziksel özelliklerinin belirlenmesinde önemli bir rol oynadığından, deneme-yanılma yöntemiyle belirli bir yüzey üzerinde yüksek kaliteli kristallerin en uygun koşullarını bulmak yorucu bir süreç olabilmektedir. Ayrıca, bu kristal dizilimler için, elastomerik yapıdaki filmleri; örneğin, polidimetil siloksan (PDMS) kullanılan kaplamalar, çok iyi uygulanabilen partikül transfer teknolojisini mümkün kılmakla beraber, koloidal dizilerin ince bir polimer ıslatma tabakası ile çeşitli yüzeyler üzerindeki kuvvetli yapışkan ve viskoz etkisinden dolayı döner kaplı koloidal kristallere uygulanamamaktadır (Choi *et al.*, 2004).

Bu çalışmada; tek tabakalı koloidal kristallerin çok çeşitli yüzeyler üzerine uygulanabilirliği ve ölçeklenebilir bir şekilde üretilebilmesini sağlayan yeni bir koloidal transfer yaklaşımı inceledik. Silika koloidal parçacıkları ve destek tabakası olan polimer matriks etoksile trimetilpropan triakrilat monomeri (ETPTA) arasında güçlü bir adhezyon etkileşimi bulunur. Ancak koloidal partikül üzerinde oksijen aşındırma sonrasında, poliüretan (PÜ) filmine karşı ıslatma katmanı zayıflayan ETPTA monomeri üzerinde, temassız koloidal partikülleri, PÜ çeşitli yüzeylere (Cam, Seramik, Plastik) aktarmada kullanılmıştır. Transfer edilen koloidal partiküllerin boyutları, transfer maddesi PÜ filmi içerisindeki partiküller ikinci kez reaktif iyon aşındırmaya maruz bırakıldı. Açığa çıkan partiküllerin üzerine farklı kalınlıklarda metal altın kaplama uygulanarak nanokabukların oluşumu kolayca sağlanmıştır. Yüksek kristal kaliteli çok geniş alanlara uygulanabilen koloidal diziler halihazırda mevcut koloidal kristallerin çoğundan yaklaşık 3 kat daha büyük (30 cm²'e kadar) mikrofabrikasyon ile uyumlu bir şekilde hazırlanmıştır. Ayrıca bu dizilimlerin şablonlarını kullanarak, hassasiyeti artırılmış Raman saçılımı (SERS) ve yüzey plazmon rezonans (SPR) yüzey olarak periyodik altın nano dizilimler hazırlandı. Transfer edilebilen bu temassız koloidal tek tabakalı film yüzeyler, biyosensör uygulamasının optimizasyonu için incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1 Malzemeler Tüm çözücüler ve kimyasallar reaktif kalitesinde olup, daha fazla saflaştırmadan kullanılmıştır. Öncesinde SEM görüntüleri ile çapı doğrulanmış 300 nm (\pm 25 nm) çaplı homojen silika küreleri, standart Stöber metodu ile sentezlenmişlerdir (Stöber *et al.*, 1968). Tetraetil ortosilikat (%98) ve amonyum hidroksit (%28) dahil olmak üzere silis partiküllerinin sentezi için kullanılan reaktifler, Sigma-Aldrich den satın alınmıştır. Mutlak etanol (200 dereceli) Decon Labs'ten sipariş edilmiştir. Deiyonize su (5 μ S cm⁻¹) doğrudan bir Milli-Q® Direct ters osmoz cihazı su arıtma sisteminden kullanılmıştır. Etoksile trimetilpropan triakrilat monomeri (ETPTA, SR 454) Sartomer firmasından sipariş edilmiştir. Foto başlatıcı, Darocur 1173 (2-hidroksi-2-metil-1-fenil-1-

propanon), BASF'den elde edilmiştir. Cam ve silikon levhaların kaplanarak tutturulması için primer (3-akriloksipropil) triklorosilan (APTCS) Gelest'den satın alınmıştır. Hidroklorik asit (%37), hidroflorik asit (%49) ve benzenetil (>%98) Sigma-Aldrich'ten elde edildi. Poliüretan optik yapıştırıcı (NOA 74) Norland'dan sipariş edilmiştir. Cam ve silikon levhalar (sırasıyla 16 cm lik; test sınıfı, n tipi, Wafernet markalı), bir "Pirana" çözeltisinde (%30 hidrojen peroksit içeren 3: 1 oranında konsantre sülfürik asit karışımı) yarım saat boyunca bekletilerek temizlenir, daha sonra iyonize su ve bir kuru azot akışında kurutulur. Temizlenmiş cam ve silikon levhalar, APTCS ile temiz oda Q-tip pamuk çubukları (Fisher) kullanarak levhaların yüzeyine sürerek astarlanır. Üç kez 200'lük etanol ile silinir ve 2 dakika boyunca 100 ° C'de sıcak bir plaka üzerinde ısıtılarak bekletilir.

2.2 Teçhizat

Taramalı elektron mikroskopunda (SEM) görüntüleri bir JEOL 6335F FEG-SEM üzerinde gerçekleştirildi. Taramalı elektron mikroskoplarında yüzeylerin görüntüsünün alınabilmesi için, görüntülenecek yüzeyler çeşitli yöntemlerle iletken hale getirilirler. Bunlardan biri olan metal kaplama özellikle (Au, Cr) iletkenliği yüksek metaller kullanılarak elektron akımı sağlanmaktadır (Yang and Jiang, 2010; Yang *et al.*, 2013). Görüntüleme öncesinde numunelere öncesinde polimer bağlayıcılığı sağlamak amaçlı; 2 nm Cr (15 dk kaplama süresi) ve sonrasında ince bir altın tabakası yaklaşık 3-5 nm olarak, 30 dk kaplamada bekletildi (metal kaplama iletken yüzeylerde gerekmemektedir). Bir WS-3000, NPP-Lite programlayıcı döner kaplama (Laurell) cihazı, tek tabakalı, temassız kolloidal kristalleri hazırlamak için kullanıldı. ETPTA monomerinin ve PÜ yapıştırıcının fotopolimerizasyonu, bir Xenon RC-742 Darbeli UV aydınlatma sistemi üzerinde gerçekleştirildi. Oksijen plazma aşındırma ve klor reaktif iyon aşındırma (RIA), bir Unaxis Shuttlelock RIE / ICP reaktif iyon aşındırıcı üzerinde gerçekleştirilmiştir. Silisyum ve cam levhalar üzerine ince krom ve altın tabakaları biriktirmek için Kurt J. Lesker CMS-18 çoklu hedef spreyi kullanıldı. Raman spektrumları, bir Renishaw inVia konfokal Raman mikroskobu ile elde edilmiştir.

2.3 Tek tabakalı, temassız kolloidal kristallerin döner-kaplama ile hazırlanması

Bir ETPTA monomerine gömülü, tek tabaka halinde temassız silika kolloidal kristal dizilerin üretimi, uygulanan döner-kaplama prosedürleri izlenerek gerçekleştirdi (Jiang and Mcfarland, 2004; Ren and Adeyeye, 2009; Cabrera *et al.*, 2013; Hou *et al.*, 2013; Liu *et al.*, 2013). Stöber yöntemiyle, sentezlenmiş silika küreleri, 200'lük etanol içerisinde çoklu (1) santrifüj / yeniden dağılıma çevrimleri ile (en az 4 kez) yıkanarak saflaştırıldı. Hesaplanan miktarda saflaştırılmış silika çözeltisinin santrifüj edilmesinin ve süpernatant etanolün uzaklaştırılmasından sonra, silika parçacıkları bir Thermodyne Solution Mixer kullanılarak ETPTA monomerlerinde yeniden homojenize edildi. Nihai silika parçacık hacminin %20 olacak şekilde hazırlanmış olan kolloidal süspansiyon, APTCS ile astarlanmış bir cam levha üzerine dağıtılmıştır. Cam yüzey, daha sonra kaplama cihazına (Laurell WS-3000, NPP-Lite programlayıcı döner kaplama) yerleştirilerek koruma kapağı kapatıldı. Cihazın program bilgisine 120 s'de 200 rpm'de, 120 s'de 300 rpm'de, 60 s'de 1000 rpm'de, 20 s'de 3000 rpm'de, 20 s'de 6000 rpm ve 360 s için 8000 rpm de çeşitli hızlar ve bu hızların süreleri, sırayla kaplama yapacak cihaza girildi. ETPTA matrisi daha sonra 4 saniye boyunca UV lambası (100 W, 200 nm) altında radyasyona maruz bırakılarak foto-polimerize edildi. Merkez kaç kuvveti ile tek tabakalı silika kolloidal kristal nihayet 5.33 Pa oksijen basıncında, 40 sccm akış hızı, 90 s, 100 W'lık güçte çalışan oksijen plazma dağılama işlemine (1. Plazma aşındırma) maruz bırakılarak ETPTA matris filmi üzerindeki kristal dizilimler açığa çıkarılır.

2.4 Tek tabakalı, temassız kolloidal kristallerin yeni yüzeylere aktarılması

NOA 74 marka PÜ monomer 90 s oksijen-plazma ile muamele edilmiş tek tabakalı kolloidal kristal film üzerine döküldü (Bakınız Şekil 1-Sol). PÜ monomer daha sonra oda sıcaklığında UV lambası altında 4 s bekletilerek PÜ polimer filmin katılaşmasını ve daha sonrada cam levha yüzeyinden kaldırılarak yüzeyden ayırma işlemi gerçekleştirildi (Bakınız Şekil 1-Sağ). Yukarıda tarif edilmiş aynı koşullarda uygulanan 2. oksijen plazma dağılama işlemi, gömülü silika

kürelerin üzerinde bulunan ve onları kaplayan PÜ matrisinin kısmen uzaklaştırılması için tekrardan cam yüzeye aktararak uygulanmıştır. Verilmekte olan dağlama işlem süreleri de polimer matrisin ne kadar uzaklaştırılacağına bir göstergesi olup, elde edilen cam-PÜ-silika küre içerikli kompozit film daha sonra bir iyon aşındırıcı Unaxis Shuttlelock'a yerleştirildi. 90 s süre boyunca aşındırmaya bırakıldı. PÜ-silika küreler kompozit film 90 s oksijen aşındırma sürecinden sonra cam-poliüretan taşıyıcı-transfer tabakası olarak yeni film yüzeyin alt destekleyici kısmını oluşturmuştur (Bakınız Şekil 1-Sağ). Bu transfer polimer film tabakası daha sonra üstündeki koloidal partikül kürelerinin metalizasyonu için yüzeydeki tozlardan ve nemin uzaklaştırılması amacıyla 1-2 dakika boyunca kurutulmuş hava akışına maruz bırakıldı.

2.5 Altın kaplı periyodik nano küre (kabuk) dizilerin hazırlanması

Tüm silika partikülleri üzerine 2 nm krom ve kaplama sonrasında, sırasıyla 2 nm, 4 nm, 8 nm, 16 nm ve 32 nm altından oluşan ince filmler sırayla, 2.0 A / s'lik tipik bir biriktirme hızında Lesker çoklu hedef spreji kullanılarak 16 cm'lik bir cam levha üzerinde kaplamalar gerçekleştirildi. Bölüm 2.1 de anlatılmış olunan SEM görüntüsü alınmadan önceki metalizasyon işlemi ile bu aşamada takip edilen prosedür aynı olup; Kurt J. Lesker CMS-18 çoklu hedef spreji polimer-cam kompoziti kaplamada, aynı süreç uygulandı. Kaplama kalınlığı bu cihazlar için süreye dayalı bir işlem olması nedeniyle hata payları ± 0.2 nm dir. Partikül yüzeylerindeki her 2 nm lik kalınlık için sırasıyla, her bir numuneye en az 15 dk (2 nm Au kalınlık için), en fazlada 240 dk lık (32 nm Au kalınlık için) kaplama süreleri uygulandı. Yukarıda tarif edildiği gibi aynı koloidal transfer prosedürleri, 300 ± 30 nm silika kürelerinden oluşan bir döner kaplı tek tabakalı koloidal kristal yüzeylere uygulandı. Yukarıda belirtilen koşullarla aynı olan bir oksijen plazma dağlama süreci, en az 1 dakika boyunca transfer sürecinde 100 nm kalınlığa sahip olan yüzeyde bulunan poliüretanın uzaklaştırılması için plazmaya maruz bırakıldı (yani, silika kristal tabakanın üstündeki polimer tabaka alanları). Argon / klor RİA işlemi (0.27 Pa basınç, 5 sccm argon akış hızı, 10 sccm klor akış hızı ve 90 s boyunca 100 W da)

daha sonra kalıp fazlalıklarını uzaklaştırmada metal tabakaları oymak için uygulandı. Kalan herhangi bir poliüretan fazlalığı olduğunda 2 dakikalık bir oksijen plazma işlemiyle uzaklaştırıldı.

2.6 Yüzey plazmonik rezonans (SPR) spektrumları ölçümleri

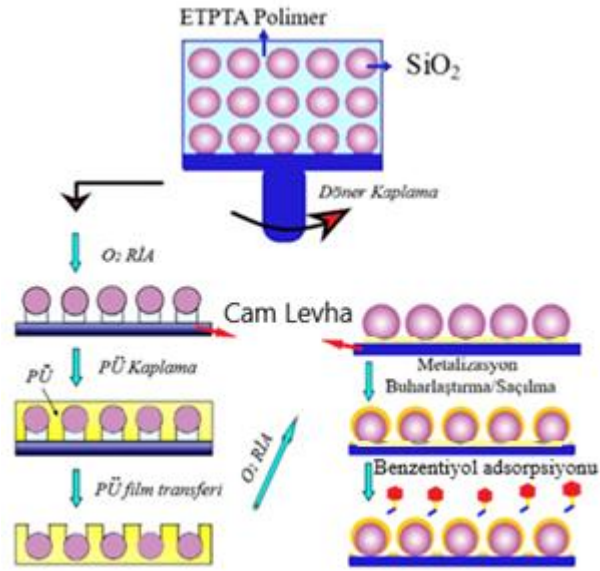
Silika küreleri üzerine kalıplanmış altın nano kabukların dizisi, 45 dakika boyunca 200'lük saf etanol içinde 5 mM'lık bir benzeniyol çözeltisine batırıldı. Bu işlemin gerçekleştirilmesinde Yang ve arkadaşlarının (Yang *et al.*, 2013) takip etmiş olduğu protokol uygulandı. Daha sonra 2 dakika boyunca 50 mL 200'lük etanol içinde durulandı. Nanokabuk film numuneler sonunda bir azot akımı altında kurutuldu. Raman spektrumları, 50 X objektif bir mercek ve 48 mW'da 785 nm diyot lazer kullanılarak elde edildi. Spektral entegrasyon süresi 3 saniyedir ve aydınlatıcı lazerin nokta büyüklüğü $40 \mu\text{m}^2$ dir.

2.7 İstatistik analizleri

Bütün deneysel ölçümler, en az üç kez tekrarlanarak ölçümleri alınmıştır. Partikül çaplarındaki sapmalar (\pm SE) değerlerinde ve dalga boylarında kırmızıya kaymalarda, standart sapmaların grafiksel olarak barlar üzerinde ifade edilmiştir.

3. Bulgular

Çeşitli yüzeyler üzerine kontrollü kafes boşlukları ile aktarılabilen tek tabakalı, temassız koloidal kristalleri üretebilmek için koloidal transfer prosedürlerinin şematik gösterimi, Şekil 1'de verilmiştir (Jain *et al.*, 2008; Bartlett *et al.*, 2012; Burrs *et al.*, 2015). Önceki çalışmalarımızda gösterildiği gibi (Liu *et al.*, 2013; Yang *et al.*, 2013), ince bir ETPTA polimer ıslatıcı üst tabaka (~ 100 nm kalınlığında) silika parçacıklarını kaplayarak hava ile temasını ortadan kaldırdı. ETPTA matrisi, kısa bir oksijen plazma dağlama işlemiyle kısmen uzaklaştırıldı. Silis parçacıkları bu işlemde aşındırma maskeleri olarak işlev görür ve hemen altındaki ETPTA ıslatma katmanını aşınmaya karşı korur, bu da altta polimer yapılı ETPTA sapsarı olan üst silika küre başlıklarından oluşan olağandışı mantar benzeri özelliklerin oluşmasına neden olmuştur. Bir poliüretan monomeri daha sonra aşındırılmış bu numune yüzeyine kaplanmıştır.

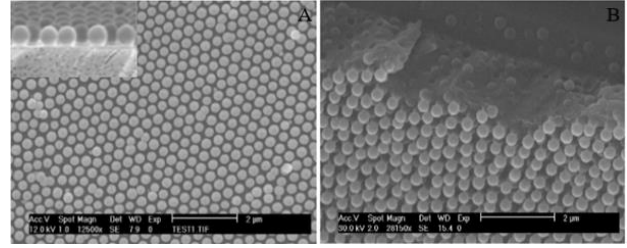


Şekil 1. Çeşitli yüzeyler üzerine aktarılabilen ve kontrollü kafes aralıklarına sahip, tek tabakalı temassız koloidal kristal filmlerin üretimi için nano partikül dizilimleri ve onların transfer prosedürlerinin şematik gösterimi.

Laboratuvar ortam koşulları altında esnek PÜ monomeri fotopolimerize edilerek levha yüzeyinden soyuldu. Oluşan PÜ film ile sadece kristal yapıdan silika diziliminin ilk tabakası çıkarılır ve küreler altındaki gövdeler (ETPTA polimer sap) hala cam yüzeyi üzerindeydi. PÜ filmi içerisinde gömülü silika parçacıklarının kısmen açığa çıkarılması için, kısa süreli kısmi oksijen plazma dağlama işlemi gerçekleştirildi. PÜ filmi üzerindeki tek tabakalı koloidal dizi daha sonra aralarında ince bir yapışkan katman (örneğin döner kaplı poliüretan ve epoksi yapıştırıcı) kullanılarak çok çeşitli yüzeylere (örneğin plastik, silikon, ZnO veya metaller) aktarılabilmektedir. PÜ destek filmi transfer edilen silika kolloidlerin tek tabakasını tamamen serbest bırakılması istenirse, oksijen plazmasına en az 2 dakika maruz bırakılmıştır.

Şekil 2A ve 2B, 90 s lik oksijen plazma aşındırma işleminden sonra bir döner kaplı tek tabakalı koloidal kristalin transferi öncesi üstten görünüşü ve yandan kesit SEM görüntüleri verilmiştir. Geniş bir alanı kaplayan (~ 16 cm) altıgen dizimli temas halinde olmayan silis kürelerinin kristal düzeninin yapısı bu görüntülerden açıkça anlaşılabilir. ETPTA polimeri, oksijen plazma dağlama koşullarının (örn., aşındırma gücü ve süresi) (Choi *et al.*, 2004; Jang *et al.*, 2008; Kim *et al.*, 2010; Wu *et al.*, 2012)

ayarlanmasıyla boyutları kolayca kontrol edilebilecek olan saplı veya sapsız kısımları, eğimli ve enine kesit görüntülerde kolayca seçilebilmektedir.

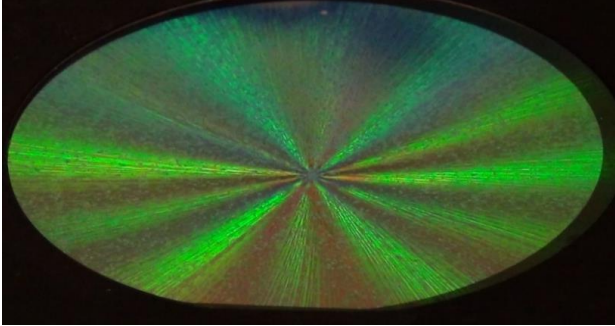


Şekil 2. Üstteki ETPTA polimerinin; 40 sccm, 90 s oksijen plazma aşındırması sonrası oluşan periyodik mantar görümlü 300 nm çaplı koloidal nano partikül dizilerinin (polimer film tabakanın ilk transferi öncesi) silika küre başlıkları ve ETPTA polimer gövdelerinden oluşan, döner kaplama ile hazırlanan (A) Üstten görünümü (ilave yan görünümü) ve (B) 300 eğimli SEM görüntüleri.

Bu silika kürelerinin altında kalan ETPTA polimer destek gövdeleri, ETPTA polimer matriksi ile levha yüzeyine kimyasal olarak tutturulmuş APTCS astar tabakası arasında oluşturulan kovalent bağlar nedeniyle silikon levha üzerine kuvvetlice tutturulur. Buna karşılık, silis küreleri ve ETPTA gövdeleri arasındaki bağlanma zayıftır, koloidal parçacıkların alttan saplardan etkili bir şekilde ayrılmasını kolaylaştırır. İnce bir PÜ katmanı daha sonra tek katmanlı, temassız koloidal kristal üzerine dökülür. Silika küreler ve PÜ makromolekülleri üzerindeki hidroksil grupları arasında asit-baz reaksiyonları yoluyla kovalent bağların oluşumu foto polimerizasyonu başlatacak bir UV lambasıyla desteklenir.

Şekil 3 (90 s lik oksijen plazma aşındırması sonrası); 300 nm silika kürelerden oluşan döner kaplamayla oluşturulan tek katmanlı bir koloidal kristalin 16 cm çapında bir ETPTA -silika kolloidal matriks filminin yüzey fotoğrafı gösterilmiştir. Beyaz ışık dalga boyu altında, bu döner kaplı silika koloidal kristal yüzeyi üzerinde karşılaşılan neredeyse karakteristik altı kollu Bragg kırınım deseniyle aynı olan renkli kırınım ortaya çıkmaktadır (Holtz and Asher, 1997; Imura *et al.*, 2009; Toma *et al.*, 2012; Gözübenli *et al.*, 2018). Bu Bragg kırınım deseni; kaplama sırasında 3000 rpm hızı geçildiğinde açığa çıkmakta olup, kaplama tamamladıktan sonra ETPTA içerisindeki koloidal matriksin düşük seviyeli enerji yönelimi nedeniyle, 15 saniye sonra kaybolmaktadır. Bu sürede foto

polimerizasyon işlemine tabi tutulması gerekmekte olup, aksi takdirde heksagonal kristal yapı kaybolmaktadır. Transfer işleminde kullanılan PÜ filmdeki silika kürelerinin altıgen dizilimide film transferi sonrasında korunmaktadır.



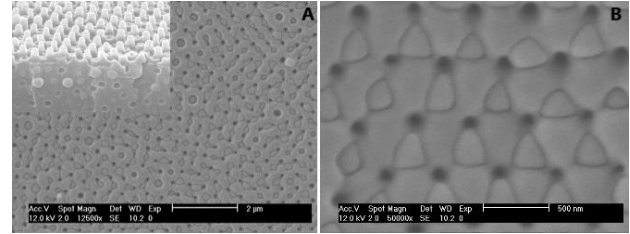
Şekil 3. Beyaz ışık altında aydınlatılmış 300 nm silika dizilimli 16 cm çapında bir ETPTA kompozit filmin 90 s lik 100 W gücündeki oksijen iyon aşındırma süreci sonrası fotoğrafı.

Şekil 1, 2 ve 4'ten görüleceği üzere gösterilen üst tabakadaki koloidal partikülleri transfer etmek için hazırlanmış olan kompozit film poliüretan – silika kürelerini içerir. Poliüretan film içerisine gömülü kürelerin etrafında bulunan üçlü delikler oksijen aşındırmasında oluşan küreciklerin altında kalan ETPTA polimerinin arta kalan kök saplarının kalıp boşluklarıdır.

Şekil 4A ve 4B'de plazmayla aşındırılmış silikon levha üzerindeki koloidallerin PÜ polimer filme transferi sonrası PÜ filmin üstten ve yakın ayrıntılı SEM görüntüleri verilmiştir. Bu görüntülerden, silika parçacıklarının PÜ filmine düzgün bir şekilde gömüldüğü ve orijinal tek tabakalı koloidal kristalin temassız yapısının iyi bir şekilde korunduğu açıktır. ETPTA polimerinin sap kısımlarının kalıp olarak periyodik nano delikler oluşturduğu PÜ yüzeyinde açıkça görülmektedir. Kapsamlı SEM görüntü karakterizasyonu, silikon ve cam levha üzerindeki hemen hemen tüm partiküllerin PÜ filme aktarılabilirliğini gösterirken, ETPTA polimer saplar, Şekil 4A (ilave görüntü) ve Şekil 5'deki üstten ve yandan eğimli SEM görüntülerinden de anlaşılacağı üzere cam levha üzerinde kaldığını gösterir.

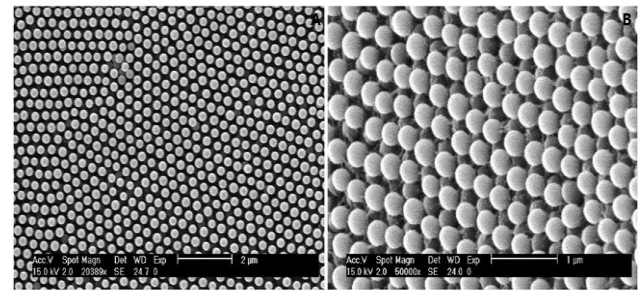
Silika kürelerini saran üst PÜ katmanını uzaklaştırmak için kısa bir oksijen plazma dağlama işlemi gerçekleştirilir. Elde edilen film numunesi bir

fırına koyularak çeşitli süreler boyunca 35C⁰'de kurumaya bırakılır. PÜ makromoleküler ağında sıkışmış suyun buharlaşmasından dolayı, film düzgün bir şekilde büzülür, bağlı olmayan temassız koloidal kristallerin kafes aralığının kontrol edilebilmesini sağlar.



Şekil 4. PÜ-silika kürelerinin (A) üstten ve (B) yakınlaştırılmış detaylı SEM görüntüleri. (A) da verilen ilave görüntü transfer sonrası cam levha üzerinde geride kalmış ETPTA (Silika partikülleri altta ve onların üstünde ETPTA sap kolonlar) koloidal matrisi filmi gösterilmiştir.

Transfer sırasında ve sonrasında transfer filmi üzerindeki orijinal altı kollu Bragg kırınım modeli korunur (bkz. Şekil 3) ve ısı işlem görmüş olsa dahi numune yapısında bir değişiklik söz konusu olmayıp, transfer sonrası aynı bakış açısında daha mavimsi / morumsu hale gelir. Esnek PÜ destek filmi üzerinde olduğu gibi, büzülmüş koloidal mono tabaka daha sonra aralarında ince bir UV ve ısı işlem yapılabilen yapışkan tabaka (örneğin PVA polivinil alkol) kullanılarak çok çeşitli alt tabakalara aktarılabilir. PÜ destek filmi nihayet transfer sonrası plazma veya kalsinasyon yapılarak tamamen uzaklaştırılabilir.

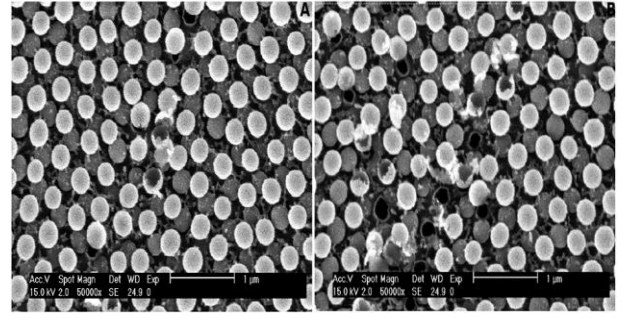


Şekil 5. PÜ polimer yapının, ikinci oksijen iyon aşındırma işlemiyle uzaklaştırılması sonucu cam levha üzerindeki koloidal dizilimlerin (A) üst- ve (B) 300 eğimli yandan SEM görüntüleri.

Şekil 6A ve 6B, aynı silika-PÜ kompozit filminin oda sıcaklığında hazırlanan 300 nm silika kürelerinden oluşan arka arkaya 4. kez transfer edilmiş tek katmanlı koloidal kristalin SEM görüntüleri verilmiştir. Tüm parçacık transfer işlemleri boyunca

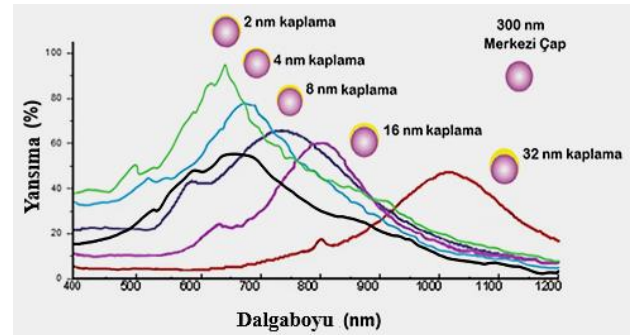
orijinal koloidal kristalin yüksek kristal kalitesinin korunması tüm numuneler için belirgindir. Temas halinde olmayan koloidal dizilerin kafes boşluklarının da altın metali ile kaplanması SEM görüntülerinde açıkça görülebilir. Bu görüntülerdeki partiküller üzerindeki kaplamaların (kabukların) yüzeyde kazıma yapıldığında partiküllerden kolayca ayrılabilirdiği ve tek tabakalı partiküllerin diziden koparılabilirdiği açıktır (bknz. Şekil 6A ve 6B).

Yukarıda, basit koloidal transfer teknolojisini, transfer edilebilen tek tabakalı, temassız koloidal kristallerin kafes aralıklarının korunabildiğini gösterdik. Bu teknolojinin bir diğer önemli avantajı, bu tek tabakalı temassız koloidal partiküllerin çok çeşitli önemli yüzeylere monte edilebilme kabiliyetidir. Önceki çalışmalarımızda gösterildiği gibi, yüksek kaliteli tek katmanlı koloidal kristaller, silika-ETPTA koloidal süspansiyonları arasındaki yüzeye özgü etkileşimler nedeniyle, geleneksel döner kaplama yaklaşımı ile ancak sınırlı sayıda alt destekleyici tabaka yüzeyler (örneğin silikon ve cam) üzerine monte edilebilir (Jiang *et al.*, 1999; Jiang, 2006). Buna karşılık, bu yeni koloidal transfer teknolojisi, üst tabakanın PÜ 'nın plazma ile uzaklaştırılmasını sağlayabilmesi koşuluyla, hemen hemen her türlü alt tabaka üzerinde yüksek kaliteli koloidal tekli ve çoklu tabakaları mümkün kılmaktadır. Fonksiyonel tanı ve algılama spektrumlarında bu çok yönlülük; periyodik nano yapılarında oldukça talep gören özelliklerdendir. Örnek olarak; burada periyodik altın nano kaplamaların yüzey plazmonik rezonans (SPR) ve hassasiyeti artırılmış Raman saçılımlı (SERS) sensör yüzeyleri olarak uygulamaları, aktarılabilen koloidal dizilerin yapısal şablonlar olarak kalıplanabildiği gösterilmiştir. Altının hidrofobik özelliği nedeniyle, standart film kaplama teknolojisi ile altın filmlerde sadece düzensiz tek tabakalı koloidal diziler yapılabilir (Kim *et al.*, 2011).



Şekil 6. (A) Üstten altın kaplanmış nano küreler ve (B) altın kaplanmış nano küre dizisinin bir keskin neşter ucuyla kazınarak kürelerin yandan ve üstten detaylı SEM görüntüleri.

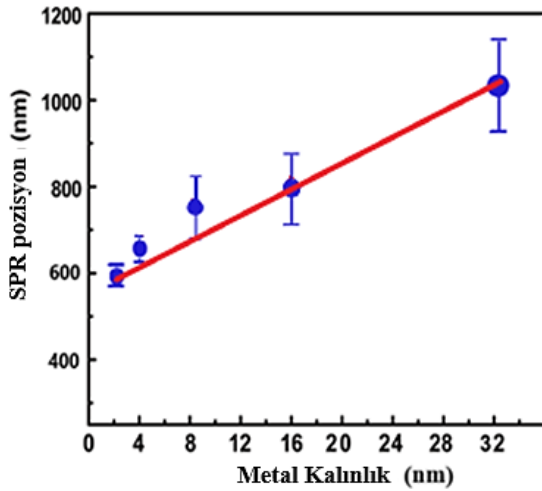
Temassız koloidal tek tabakaları altınla kaplamak için, ilk önce transfer edilen PÜ koloidal film matriksi üzerine kısa süreliğine (en fazla 60 s kadar) bir oksijen plazması uygulanır. PÜ içine gömülü silika küreler (bakınız Şekil 5) bu sayede açığa çıkarılır ve daha sonra poliüretan kaplanarak istenilen yapışkan özellikteki tabakaya aktarılır. Aktarılan silika parçacıkları daha sonra altındaki poliüretan film ile, periyodik nano dizileri biçimlendirmede metalizasyon veya bir oksijen plazma yardımıyla aşındırma maskeleri elde edilebilmektedir. Şekiller 4, 5 ve 6'nın A ve B görüntülerinden de anlaşılacağı üzere; üst tabakadaki silika küreler ve alt poliüretan filmle oluşturulabilen teknoloji potansiyeli yüksek; şablon nano yapıların üstten ve yandan SEM görüntüleriyle, bu ortaya konmuştur.



Şekil 7. Çekirdek / kabuk oranının bir fonksiyonu olarak silika çekirdekli-altın nano kabukların optik rezonansları (yansıma yüzdeleri olarak) verilmiştir. Altın kontrol numunesi (siyah orta çizgi) ve birde şablonlanmış altın kaplanmış nano küre dizisi üzerine adsorbe edilmiş benzotiyol moleküllerinin SPR spektrumları. Spektrumlar, 3 saniyelik bir entegrasyon süresi ile 48 mW'da bir 785 nm diyot lazer kullanılarak alınır. İlgili spektrum tepeleri, yukarıda gösterilen nano parçacıklara karşılık gelir.

Nihayet periyodik altın nano kabuklar, silika ve poliüretan içinde altıgen düzenlenmiş yapının altın katmanla kaplanabilmesi için bir oksijen RİA işlemi gerçekleştirildikten sonra silika ve polimer şablonlarının azot gazında kurulanması ve partikül transferi sonrasında ikinci oksijen plazma aşındırmaya maruz bırakılmalıdır. İkinci plazma (oksijen) aşındırmada; 5.33 Pa oksijen basıncında, 40 sccm akış hızı, 90 s, 100 W'lık koşullarda uygulanmaktadır.

Şekil 6 B deki SEM görüntüsünden, yandan, şablonlanmış altın nanokabukların, kenarları boyunca yeniden biriktirilmesinin neden olduğu çıkıntılı kenarlara sahip olduğu açıktır bu nedenle de yukarıda detayları verilen klor RİA aşındırma koşulları uygulanarak fazladan altın kaplamaların tercihli olarak uzaklaştırılabilmesi sağlanmaktadır.



Şekil 8. Önceki şekilde verilen yansıma değerlerinin fonksiyonu olarak altın yüzey kalınlıklarının SPR maksimum pozisyonları.

Poliüretan filmin üst koloidal dizilim gösteren yapıların adhezyon etkileşimi oksijen plazma koşulları ile tamamen giderilmektedir. SEM görüntüsündeki kalıplanmış altın nanokabuklar ve cam yüzey arasındaki poliüretan film kontrastın, altın metal kaplamalı koloidal partiküller ve camın farklı elektron yoğunluklarından kaynaklandığı söylenebilir.

Benzentiylol molekülünün kullanım nedeni, altın metal yüzeylere olan mükemmel donör ligand özelliği taşıması ve geniş Raman saçılım kesiti sunması nedeniyle bir plazmonik kesit üzerinde modüle edilebilmektedir. Geliştirdiğimiz altın nanokabukların SPR ve SERS 'e dayalı biyosinyallerin geliştirilmesinde model (bağlayıcı ajan) molekül olarak değerlendirilebilmekteyiz (Yang *et al.*, 2013). Bir diğer önemli özellik ise benzentiylol moleküllerin biyolojik mekanizmalarda önemli makro moleküllere ve anahtar-kilit rolü üstlenen aptamere karşı spesifik bağlayıcı özellikleri taşımasıdır. Şekil 7, düz altın kontrol film yüzeyini (siyah eğri) içeren periyodik altın nanokabuk dizilerinin SPR spektrumları (yeşilden kırmızıya olan eğriler) karşılaştırılmaktadır. Kontrol amaçlı kullanılan altın yüzey, net bir SPR tepe sinyali göstermemiştir. Fakat periyodik altın nanokabuk dizileri, yapılandırılmış (Şablonlar) Au yüzeylerinde adsorbe edilmiş benzentiylol molekülleri için literatürdeki değerlerle ve göreceli genlikle eşleşen belirgin SERS pikleri göstermiştir (Yang *et al.*, 2013); (Lee *et al.*, 2010)

SERS arttırma faktörü G, literatürde tarif edilen metot kullanılarak hesaplanabilir (Yang *et al.*, 2013; Srivastava and Gupta, 2011). Saf bir benzentiylol çözeltisinden (I kütle- absorbans birim) ve altın nanokabuk dizisinden (I yüzey-absorbans birim) elde edilen çeşitli titreşimsel tepeler için Raman saçılma yoğunluğunun (taban çizgisi düzeltilmesinden sonra) karşılaştırılmasıyla hesaplanabilir (Yang *et al.*, 2013). Ancak, çok keskin uçlara sahip nanoyapılar, kesin sinyaller sağlayabildiği için SERS sinyallerindeki artışlar biyomoleküllerin kantitatif tayininde gerçek bir sonuç vermeyebilir. Bunu, daha da basitleştirmek için Şekil 8'deki SPR maksimum pozisyonları tercih edilebilir. Kabuk kalınlığının arttırılması, dizilerdeki bitişik nano üniteler arasındaki boşluğun azalmasına karşılık gelir. Bitişik Au kabuklarının elektromanyetik plazmonik kuplajını indükleyen boşluk azalır. Böyle bir yakınlaşma etkisi nano boşluk bölgelerinde elektromanyetik alanları artırabilir (Chung *et al.*, 2006; Breault-Turcot and Masson, 2012). Genellikle, SPR tepe noktaları, aşağıdaki denkleme göre bitişik nano üniteler üzerindeki metal kaplama azaldığında

kırmızıya kayacaktır (Homola, 2006; Srivastava and Gupta, 2011).

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = a e^{-d/bD} \quad (1)$$

Eşitlik (1) de $\Delta\lambda$; kırmızıya kayma değeri, λ_0 ; elektromanyetik SPR dalga boyu, a, b sıfır dan büyük sabitler, D; parçacık boyutu olup, d; kaplama kalınlığı olarak uygulanır. Bu denklemden kırmızıya kayma değeri $\Delta\lambda$, d; kaplama kalınlığının azalışıyla ters orantılı olarak artacaktır. Buda Şekil 8 de verilen

4. Tartışma ve Sonuç

Sonuç olarak, potansiyeli yüksek, teknolojik açıdan önemli yüzeylerde kullanılabilecek tek tabakalı, temassız koloidal kristallerin genişletilebilir levha ölçekli üretimlerini sağlayan yeni bir koloidal transfer teknolojisi geliştirdik. Elde edilen koloidal dizilerin tabaka ve kafes aralıkları, kullanılmakta olan transfer ajanı PÜ filmlerinin büzülme oranları veya kaplama kalınlıkları kontrol edilerek kolayca ayarlanabilir. Aktarılmış tek tabakalı, temassız koloidal kristal, hassas SERS ve SPR yüzeyleri olarak altın nano kabukların periyodik dizilerinin üretilmesinde yapısal altın kalıp (şablonlar) olarak kullanılmıştır. Geleneksel koloidal kendinden montajlı yaklaşımlarla karşılaştırıldığında, bu yeni aşağıdan yukarıya (Bottom-up) teknolojisi, endüstriyel ölçekte üretim ve koloidal litografiye dayalı pratik taşınabilir sensör cihazların entegrasyonu için umut verici, ölçeklenebilir boyutlu standart mikrofabrikasyon ile uyumludur.

Teşekkür

Bu proje, Harran Üniversitesi, HÜBAP tarafından, 18206 nolu proje ile desteklenmiştir. Ayrıca makalede destek veren Harran Üniversitesi Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Biyoteknoloji A.B.D. mensuplarına teşekkür ederim.

5. Kaynaklar

Agarwal, S.; Ray, B.; Mehrotra, R., 2015. SERS as an advanced tool for investigating chloroethyl nitrosourea derivatives complexation with DNA. *International Journal of Biological Macromolecules*, **81**, 891-897.

kayma değerleri ile olan ilişkiyi doğrulamaktadır. Altınla kaplı plazmonik yüzeylerin bilinen dalga boylarındaki bu artışı ve ona karşılık gelen optik yoğunluk veya yansıma değerlerinden, moleküler düzeyde, yüzeye tutunmuş biyomoleküllerin kantitatif değerleri hakkında ip uçları sağlamaktadır. Böylelikle, kırmızıya kayma değerlerindeki SPR tepe noktalarından metal kaplama üzerindeki adsorplanmış moleküllerin konsantrasyonu hesaplanabilir ve elde edilen sinyallerden bu moleküllerin nitel tayinleri gerçekleştirilebilir.

Amiri, A.; Shanbedi, M.; Ahmadi, G.; Eshghi, H.; Chew, B. T.; Kazi, S. N., 2015. Microwave-assisted direct coupling of graphene nanoplatelets with poly ethylene glycol and 4-phenylazophenol molecules for preparing stable-colloidal system. *Colloids and Surfaces a-Physicochemical and Engineering Aspects*, **487**, 131-141.

Askar, K.; Phillips, B. M.; Fang, Y.; Choi, B.; Gozubenli, N.; Jiang, P.; Jiang, B., 2013. Self-assembled self-cleaning broadband anti-reflection coatings. *Colloids and Surfaces a-Physicochemical and Engineering Aspects*, **439**, 84-100.

Bardosova, M.; Pemble, M. E.; Povey, I. M.; Tredgold, R. H., 2010. The Langmuir-Blodgett Approach to Making Colloidal Photonic Crystals from Silica Spheres. *Advanced Materials*, **22**, 3104-3124.

Bartlett, A. P.; Pichumani, M.; Giuliani, M.; Gonzalez-Vinas, W.; Yethiraj, A., 2012. Modified Spin-coating Technique to Achieve Directional Colloidal Crystallization. *Langmuir*, **28**, 3067-3070.

Bowden, N.; Choi, I. S.; Grzybowski, B. A.; Whitesides, G. M., 1999. Mesoscale self-assembly of hexagonal plates using lateral capillary forces: Synthesis using the "capillary bond". *Journal of the American Chemical Society*, **121**, 5373-5391.

Breault-Turcot, J.; Masson, J.-F. , 2012. Nanostructured substrates for portable and miniature SPR biosensors. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, **403**, 1477-1484.

Burrs, S. L.; Vanegas, D. C.; Bhargava, M.; Mechulan, N.; Hendershot, P.; Yamaguchi, H.; Gomes, C.; McLamore, E. S., 2015. A comparative study of graphene-hydrogel hybrid bionanocomposites for biosensing. *Analyst*, **140**, 1466-1476.

Cabrera, E. J.; Jaller, L. M.; Amade, R.; Portal, S. M.; Pascual, E.; Bertran, E., 2013. Photonic Characteristics of Langmuir-Blodgett Self-Assembled Monolayers of

- Colloidal Silica Particles. *Nanoscience and Nanotechnology Letters*, **5**, 41-45.
- Choi, D. G.; Yu, H. K.; Jang, S. G.; Yang, S. M., 2004. Colloidal lithographic nanopatterning via reactive ion etching. *Journal of the American Chemical Society*, **126**, 7019-7025.
- Chung, J. W.; Bernhardt, R.; Pyun, J. C., 2006. Sequential analysis of multiple analytes using a surface plasmon resonance (SPR) biosensor. *Journal of Immunological Methods*, **311**, 178-188.
- Dahoumane, S. A.; Wijesekera, K.; Filipe, C. D. M.; Brennan, J. D., 2014. Stoichiometrically controlled production of bimetallic Gold-Silver alloy colloids using micro-alga cultures. *Journal of Colloid and Interface Science*, **416**, 67-72.
- Fenolosa, R.; Meseguer, F., 2003. Non-close-packed artificial opals. *Advanced Materials*, **15**, 1282.
- Gozubenli, N.; Yasun, E.; Boskic, L., 2018. Fabrication of nanoporous film by transfer of colloidal particles and application to biomacromolecules. *Applied Nanoscience*, **8**, 739-750.
- Grzybowski, B. A.; Stone, H. A.; Whitesides, G. M., 2000. Dynamic self-assembly of magnetized, millimetre-sized objects rotating at a liquid-air interface. *Nature*, **405**, 1033-1036.
- Holtz, J. H.; Asher, S. A., 1997. Polymerized colloidal crystal hydrogel films as intelligent chemical sensing materials. *Nature*, **389**, 829-832.
- Homola, J., 2006. Surface plasmon resonance (SPR) biosensors and their applications in food safety and security. *Frontiers in Planar Lightwave Circuit Technology Design, Simulation, and Fabrication*, **216**, 101-118.
- Hou, Y. H.; Han, X. Y.; Chen, J.; Li, Z. L.; Chen, X. C.; Gai, L. G., 2013. Isolation of PCR-ready genomic DNA from *Aspergillus niger* cells with Fe₃O₄/SiO₂ microspheres. *Separation and Purification Technology*, **116**, 101-106.
- Hur, J.; Won, Y.-Y., 2008. Fabrication of high-quality non-close-packed 2D colloid crystals by template-guided Langmuir-Blodgett particle deposition. *Soft Matter*, **4**, 1261-1269.
- Imura, Y.; Nakazawa, H.; Matsushita, E.; Morita, C.; Kondo, T.; Kawai, T., 2009. Characterization of colloidal crystal film of polystyrene particles at the air-suspension interface. *Journal of Colloid and Interface Science*, **336**, 607-611.
- Jain, S.; Cwang, C.; Adeyeye, A. O., 2008. Magnetoresistance behavior of ferromagnetic nanorings in a ring-wire hybrid configuration. *Nanotechnology*, **19**.
- Jang, S. G.; Choi, D.-G.; Heo, C.-J.; Lee, S. Y.; Yang, S.-M., 2008. Nanoscopic Ordered Voids and Metal Caps by Controlled Trapping of Colloidal Particles at Polymeric Film Surfaces. *Advanced Materials*, **20**, 4862.
- Jiang, H.; Yu, K.; Wang, Y., 2007. Antireflective structures via spin casting of polymer latex. *Optics Letters*, **32**, 575-577.
- Jiang, P., 2006. Large-Scale Fabrication of Periodic Nanostructured Materials by Using Hexagonal Non-Close-Packed Colloidal Crystals as Templates. *Langmuir*, **22**, 3955-3958.
- Jiang, P.; Bertone, J. F.; Hwang, K. S.; Colvin, V. L., 1999. Single-crystal colloidal multilayers of controlled thickness. *Chemistry of Materials*, **11**, 2132-2140.
- Jiang, P.; Mcfarland, M. J., 2004. Large-Scale Fabrication of Wafer-Size Colloidal Crystals, Macroporous Polymers and Nanocomposites by Spin-Coating. *Journal of the American Chemical Society*, **126**, 13778-13786.
- Kim, J. J.; Li, Y.; Lee, E. J.; Cho, S. O., 2011. Fabrication of Size-Controllable Hexagonal Non-Close-Packed Colloidal Crystals and Binary Colloidal Crystals by Pyrolysis Combined with Plasma-Electron Coirradiation of Polystyrene Colloidal Monolayer. *Langmuir*, **27**, 2334-2339.
- Kim, S.-H.; Lim, J.-M.; Lee, S.-K.; Heo, C.-J.; Yang, S.-M., 2010. Biofunctional colloids and their assemblies. *Soft Matter*, **6**, 1092-1110.
- Lee, C. K.; Tseng, H. Y.; Lee, C. Y.; Wu, S. Y.; Chi, T. T.; Yang, K. M.; Chou, H. Y. E.; Tsai, M. T.; Wang, J. Y.; Kiang, Y. W.; Chiang, C. P.; Yang, C. C., 2010. Characterizing the localized surface plasmon resonance behaviors of Au nanorings and tracking their diffusion in bio-tissue with optical coherence tomography. *Biomedical Optics Express*, **1**, 1060-1074.
- Li, N.; Schwartz, M.; Ionescu-Zanetti, C., 2009. PDMS Compound Adsorption in Context. *Journal of Biomolecular Screening*, **14**, 194-202.
- Li, X.; Wang, T.; Zhang, J.; Yan, X.; Zhang, X.; Zhu, D.; Li, W.; Zhang, X.; Yang, B., 2010. Modulating Two-Dimensional Non-Close-Packed Colloidal Crystal Arrays by Deformable Soft Lithography. *Langmuir*, **26**, 2930-2936.

- Liu, X.; Choi, B.; Gozubenli, N.; Jiang, P., 2013. Periodic arrays of metal nanorings and nanocrescents fabricated by a scalable colloidal templating approach. *Journal of Colloid and Interface Science*, **409**, 52-58.
- Malet, F.; Pi, M.; Barranco, M.; Lipparini, E.; Serra, L., 2006. Optical response of two-dimensional few-electron concentric double quantum rings: A local-spin-density-functional theory study. *Physical Review B*, **74**.
- Middleman, S., 1987. The effect of induced air -flow on the spin coating of viscous liquids: *Journal of Applied Physics*. **62**.
- Ren, Y.; Adeyeye, A. O., 2009. Magnetic spin states and vortex stability control in elongated Ni(80)Fe(20) nanorings. *Journal of Applied Physics*, **105**.
- Srivastava, S. K.; Gupta, B. D., 2011. A Multitapered Fiber-Optic SPR Sensor With Enhanced Sensitivity. *Ieee Photonics Technology Letters*, **23**, 923-925.
- Stöber, W.; Fink, A.; Bohn, E., 1968. Controlled growth of monodisperse silica spheres in the micron size range. *Journal of Colloid and Interface Science*, **26**, 62-69.
- Tao, A.; Kim, F.; Hess, C.; Goldberger, J.; He, R. R.; Sun, Y. G.; Xia, Y. N.; Yang, P. D., 2003. Langmuir-Blodgett silver nanowire monolayers for molecular sensing using surface-enhanced Raman spectroscopy. *Nano Letters*, **3**, 1229-1233.
- Toma, M.; Knoll, W.; Dostalek, J., 2012. Bragg-Scattered Surface Plasmon Microscopy: Theoretical Study. *Plasmonics*, **7**, 293-299.
- Wu, H.-C.; Chien, H.-H.; Ma, K.-J.; Bao, M.-D.; Ho, Y.-H., 2012. Fabrication of Cr nanoring arrays by nanosphere lithography for light extraction. *Optoelectronics and Advanced Materials-Rapid Communications*, **6**, 1019-1025.
- Yang, H.; Gozubenli, N.; Fang, Y.; Jiang, P., 2013. Generalized Fabrication of Monolayer Nonclose-Packed Colloidal Crystals with Tunable Lattice Spacing. *Langmuir*, **29**, 7674-7681.
- Yang, H.; Jiang, P., 2013. Large-Scale Colloidal Self-Assembly by Doctor Blade Coating. *Langmuir*, **26**, 13173-13182.
- Zhang, J.-T.; Wang, L.; Luo, J.; Tikhonov, A.; Kornienko, N.; Asher, S. A., 2011. 2-D Array Photonic Crystal Sensing Motif. *Journal of the American Chemical Society*, **133**, 9152-9155.

Effects of Various Cleaning Chemicals on the Surface Properties of Marbles

Harun Reşit CEYLAN¹, Hakan ÇİFTÇİ^{1*}, Mustafa GÜRSOY¹, Zeyni ARSOY¹, Atilla EVCİN², Bahri ERSOY¹

¹Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar.

²Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar.

e-posta: haruncey@hotmail.com ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4212-1591>

Sorumlu yazar e-posta: hakanciftci86@gmail.com ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4212-1591>

mgursoy@aku.edu.tr ORCID: <http://orcid.org/000-0002-2894-8616>

zeniarsoy@aku.edu.tr ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5694-6338>

evcin@aku.edu.tr ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0163-5097>

bersoy@aku.edu.tr ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0075-9039>

Geliş Tarihi: 05.11.2019

Kabul Tarihi: 24.03.2020

Abstract

Keywords

Marble; Cleaning Chemicals; Surface Roughness; Surface Glossiness; Surface Color

In this study, the effects of certain cleaning chemicals on the surface properties of a specific marble sample (Bilecik beige) were investigated as a function of chemical type, chemical concentration, and contact time. Descaler, diluted HCl (spirits of salt), soft soap, surface cleaner, bleach, diluted nitric acid, liquid scouring cream, dish soap, grease cleaner and synthetic thinner were used in the tests as cleaning chemicals. It was observed that the contact of highly acidic chemicals (nitric acid, salt of sips, and descaler) on the marble surfaces for 840 h increased the surface roughness to unmeasurable point. In addition, surface glossiness of the marble was completely disappeared, loss in mass of marble was more than 1%, and surface color was changed. Neutral and alkaline chemicals, however, changed marble surface properties slightly compared to acidic chemicals.

Çeşitli Temizlik Kimyasallarının Mermerlerin Yüzey Özelliklerine Etkisi

Öz

Anahtar kelimeler

Mermer; Temizlik Kimyasalları; Yüzey Pürüzlülüğü; Yüzey Parlaklığı; Yüzey Rengi

Bu çalışmada, bazı temizlik kimyasallarının belirli bir mermer numunesinin (Bilecik Bej) yüzey özellikleri üzerindeki etkileri, kimyasal çeşidi, kimyasal derişimi ve temas süresinin bir fonksiyonu olarak incelendi. Kireç çözücü, seyreltilmiş HCl (tuz ruhu), arap sabunu, yüzey temizleyici, çamaşır suyu, seyreltilmiş nitrik asit, sıvı temizleme kremi, bulaşık deterjanı, yağ temizleyici ve sentetik tiner testlerde temizlik kimyasalları olarak kullanıldı. Yüksek derecede asidik kimyasalların (nitrik asit, tuz ruhu ve kireç çözücü) 840 saat boyunca teması mermer yüzeyi üzerinde ölçülemez derecede yüzey pürüzlülüğüne sebep oldu. Bununla birlikte, mermerin yüzey parlaklığı tamamen ortadan kalktı, mermer kütleindeki kayıp %1'in üzerine çıktı ve yüzey renginin değiştiği tespit edildi. Nötr ve bazik kimyasalların ise mermer yüzey özelliklerini asidik kimyasallara göre çok az seviyede değiştirdiği tespit edildi.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Introduction

Consuming of robust, malleable and easily cleanable natural stones such as granite and marble is increasing day by day. It is desirable that natural stones used for decorative purposes should be long-lived and not lose their aesthetic appearance. However, it is also known that the

physical and chemical characteristics of natural stones change in time under various environmental conditions such as water, humidity, hot and cold weather. Surface aging, discoloration, tarnishing, spalling, mass loss, mechanical strength reduction, and formation of fractures can be observed on the natural stone structures as a result of these environmental effects. Additionally, large amounts

of various chemicals are used for the surface cleaning and therefore the surface properties of the natural stones change over time. When the studies on natural stone surfaces in literature were examined, it was determined that most of the studies were on the decomposition of natural stones caused by atmospheric conditions (Gökaltun 2005; Tecer and Cerit 2001; Spiker et al. 1995; Schuster et al. 1994). Gökaltun 2005, exposed natural stone samples to atmospheric effects (rain, snow) for a certain period of time and measured the glossiness changes of the samples. It was reported that the glossiness losses of the marble and travertine samples was higher than granite samples. Spiker et al. 1995, carried out some experiments by changing the environmental effects such as wind speed, humidity and temperature in the laboratory in order to determine the amount of SO₂ deposited on limestone and marble surfaces as a result of acid rain. Vella et al. 1996, investigated the reasons for the deterioration of limestones covered on the outer walls of churches in Malta. As a result of the research, they determined that the cause of the deterioration in limestones was caused by sulfur dioxides from thermal power plants. Moropoulou et al. 2006, performed SEM - EDX image analyzes to investigate the decomposition of natural stones by atmospheric effects. As a result it is reported that SO₂ accumulation causes cracks in natural stones. Few studies were performed to investigate the effects of various cleaning chemicals on the natural stone surfaces. Some of studies were summarized as follows. In a study carried out by Gündüz vd. 1996, several marble samples obtained from different regions were subjected to sodium sulfate decahydrate solution as a function of contact time. As a result, mass loss of the marble sample was reported as 1-5%. Gökaltun 2004, kept some chemicals on the surface of natural stones for 5 min and observed the loss of surface glossiness. The loss of glossiness of the marble sample reached high rates while it remained limited in granites after the contact of the spirits of salt and the descaler on the surface of samples. The surface cleaner chemical was observed to have more effect on the granite surface glossiness than the spirits of

salt and descaler. The effect of the bleach on the glossiness of the natural stones was considerably less than that of acidic chemicals.

There are many chemicals used to clean natural stones and should be examined in detail for their effect on the surface of natural stones, especially as a function of contact time. In this study, it is aimed to investigate the effects of various cleaning chemicals on the polished marble surface in detail. The experiments were carried out with 10 different cleaning chemicals (acidic, alkaline, and neutral) prepared in 3 concentrations. The changes in the surface properties (surface glossiness, roughness, color, and mass) of the marble were observed as a function of contact time and chemical concentration.

2. Materials and Methods

2.1. Materials

Polished Bilecik beige marble samples (10x10x2 cm) were supplied from Merdivenci Marble Company located in Afyonkarahisar-Turkey. Chemical cleaners (descaler, spirits of salt, soft soap, surface cleaner, bleach, diluted nitric acid, liquid scouring cream, dish soap, grease cleaner, and thinner) used in this study were obtained from Eskişehir Detsan Kimya Co. Some characteristics of chemicals used are given in Table 1.

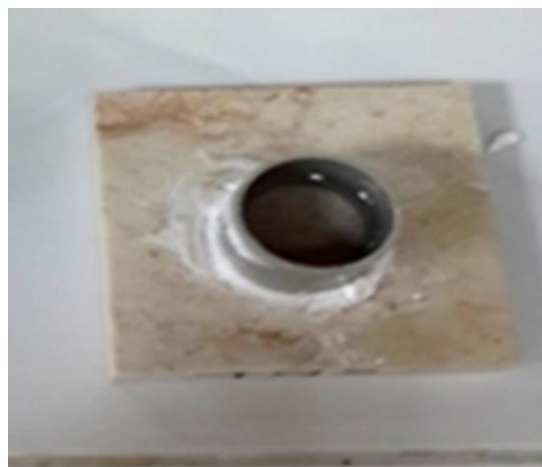


Figure 1. Plastic pipe on the marble surface.

2.2. Characterization Studies

Mineralogical analysis of the marble sample was carried out on a Shimadzu XRD-6000 instrument with Cu-K α radiation (λ : 1,54184 Å) at 40 kV. The sample was scanned in the angular range of 2-70° with a scan rate of 0,02°/step. Chemical analysis was performed on RIGAKU/ZSX Primus II X-ray fluorescence (XRF) instrument to determine elemental composition of the sample quantitatively. Micromeritics AutoPore IV 9500 mercury-porosimetry device was used to determine the porosity structure of samples. Surface roughness of the marbles was measured by TIME TR 200 device after the polished marble

samples were cleaned with a damp cloth. Surface roughness is expressed by relatively small intermittent surface irregularities resulting from the production methods used (TS 6956/2004). The colors of the marble samples were obtained from a Hunterlab color analyzer after cleaning and drying of the samples for 24 h at 100°C. Glossiness measurements were performed at the midpoint of the polished surface of the samples at a 60o angle using a Novo Gloss Trio digital glossiness meter. 10 samples were used for each surface analysis, 4 measurements were taken from each sample, and the average of the results obtained was recorded.

Table 1. Ingredients and pH values of cleaning chemicals used.

Cleaning Chemicals	Ingredient	pH
Descaler	HNO ₃ 20%, 2-6% H ₃ PO ₃	0,5
Spirits of salt	HCl, 20%	0,5
Nitric acid	HNO ₃ , 56%	0,5
Synthetic Thinner	HC with aliphatic and aromatic	6,00
Surface cleaner	Anionic substance <5%, Nonionic substance <5%, methylisothiazolinone	7,00
Dish soap	Alkyl benzene sulfonic acid, sodium salt 5-10% ethoxylated, sulfates 1-5%	7,00
Liquid scouring cream	Anionic surface active agent<5%, nonionic surface active agent <5%benzinsothiazolinone	11,00
Bleach	Sodium hypochlorite <4,5%, Sodium hydrochloride <5%	11,00
Grease cleaner	nonionic surface active agent <5%, Sodium hydrochloride 1-3%	13,00
Soft Soap	20-25% Oil acid <5% Alkaline substance	9,00

2.3. Application of Cleaning Chemicals

First, a plastic pipe with 3 cm diameter and 3 cm height was placed in the middle parts of the marble samples (10x10x2 cm) as shown in the Figure 1. The part of the plastic pipe contacting the marble surface was sealed with silicone on the outside to ensure impermeability. Approximately 14 cm³ cleaning chemical was then added into the plastic pipe mounted on the marble sample. The pipe and chemical removed from the marble surface at the end of determined contact time. Finally, the surface of marble was cleaned with distilled water, dried at 80°C for 4 h, and then analyzed to determine the change of the sample characteristics. The effects of the cleaning chemicals on the marble surfaces were investigated separately depending on chemical

concentration (original base 100%, diluted with water 50%, and 25%), contact time, and chemical type (Table 2). Contact time and chemical concentrations were kept constant as 840 h (total 5 years of exposure for 30 min per day) and 100% (original base), respectively, in the experiments depending on the chemical type.

Table 2. Investigated parameters and value ranges.

Chemical type	Chemical concentration (%)	Contact time (h)
Descaler, Spirits of salt, Nitric acid, Thinner, Surface cleaner,	25	0,5
Dish soap,	50	3,5
Liquid scouring cream, Bleach,	100	14
Grease cleaner,		42
Soft Soap		84
		168
		840

3. Results

3.1. Characterization of Marble Sample

Micrographs of Bilecik beige marble (Figure 2) revealed that the sample composed of calcite crystals having size range of 0,9-42,6 μm .

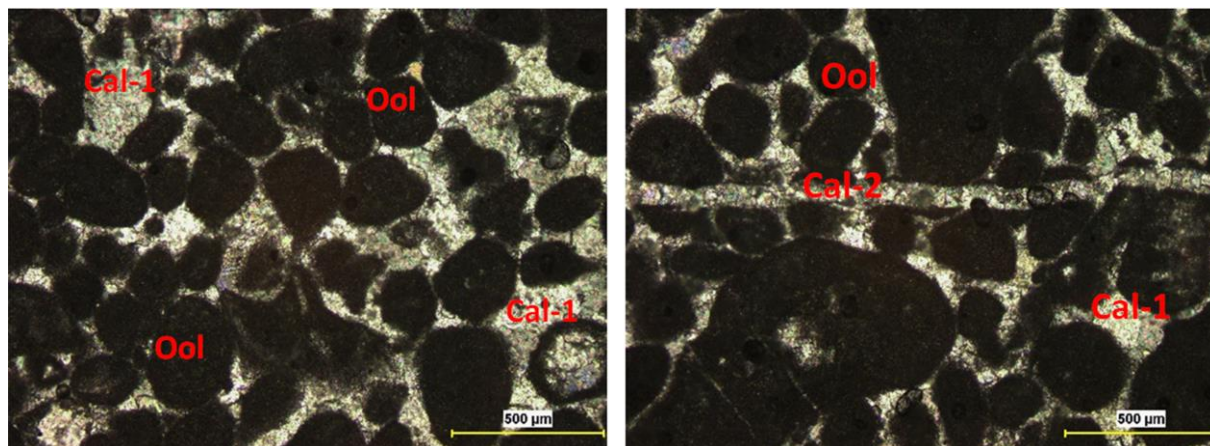


Figure 2. Primary (cal-1) and secondary (cal-2) calcite minerals which monitored inside of the rock and Double-nicol polarizing microscope images of Oolitic (Ool) particles seen as round shape.

Mineralogical/petrographic test results of Bilecik beige marble samples (Table 2) revealed that the sample is a sedimentary rock of calcite origin and the presence of secondary calcite structures in cracks was ascertained. The average grain size of the calcite minerals was determined as 6,32 μm while secondary calcites average grain size was determined to be 25,8 μm .

Table 2. Mineralogy/petrography results of Bilecik beige marble.

Mineral	Grain size (μm)		
	Minimum	Maximum	Average
Calcite	0,9	42,6	6,32
Secondary calcite	6,7	72,3	25,8
Oolite	57,0	508,9	229,9
Crack width	13,0	122,9	48,3

According to the analysis performed by mercury-porosimetry device, the total pore volume of the marble sample was 0,002 mL/g, the total pore surface area was 0,122 m^2/g , the average pore diameter was 64,8 nm, and the visible density was measured as 2,2453 g/cm^3 .

Significant numbers of micro cracks inside of texture and the crack openings were between 13,0-122,9 μm . The openings were filled by subhedral calcite crystals. It was confirmed that the oolitic existence was present in the rock and the oolitic forms had grain size range of 57,0-508,9 μm .

Average surface roughness of the samples was measured as 0,174 μm . Average surface whiteness value were measured as 72,31 (surface redness: 4,82, surface whiteness: 12,17), and average surface glossiness was measured as 69,4 gloss. XRF analysis results (Table 3) revealed that the sample composed of a high proportion of CaO with a percentage of 55,42%. Therefore it was concluded that the sample contains high degree CaCO_3 (calcite) mineral and named as crystallized limestone.

Table 3. Chemical analysis result of Bilecik beige marble.

Comp.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	LOI
Quantity (wt.%)	0,4	0,16	0,08	55,4	0,3	43,5

LOI: Loss on ignition.

XRD pattern of the marble sample given in Figure 3 showed that the samples were mainly constituted by calcite and traces of quartz minerals. Similar results were obtained by other studies (Park et al. 2014).

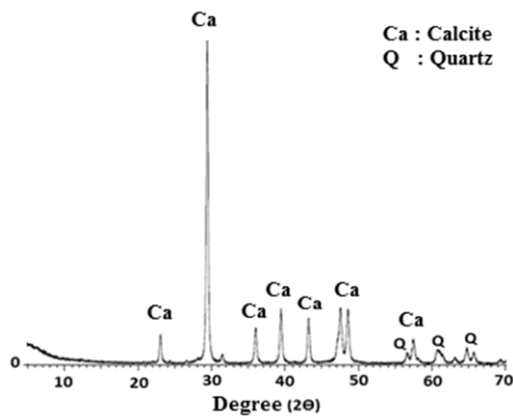


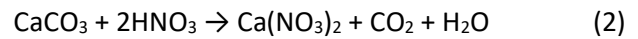
Figure 3. XRD pattern of the Bilecik beige marble.

3.2. Effects of Cleaning Chemicals on the Marble Surface

3.2.1. The change of roughness

The changes observed in surface roughness of the samples are given in Figure 4. Alkaline, low acidic and neutral chemicals did not have much effect on roughness while grease cleaner, thinner, liquid scouring cream and bleach caused averagely 0,004 μm increase in roughness. Emergence of CO₂ gas and water during the reaction between calcite

minerals and HCl/HNO₃ acids (Equation 1-2) resulted in cavities on the sample surfaces at a depth of 0,2 mm-10 mm. Since high degree of roughness (>0,5 mm) occurred in the opened cavities (Figure 4), roughness measurements could not be performed on the marble surfaces where acidic chemicals were applied.



Surface roughness increased linearly as concentration of cleaning chemicals and contact time increased. While acidic chemicals caused roughness on the marble surface that is not measurable, alkaline cleaners caused a slight roughness in the range of 0,001-0,004 μm. The roughness is the result of dissolution of calcite minerals in high range when contact with acidic chemicals (Equation 1-2). In contrast to this situation, dish soap and surface cleaner which having neutral pH levels did not cause significant abrasion on the marble surfaces.

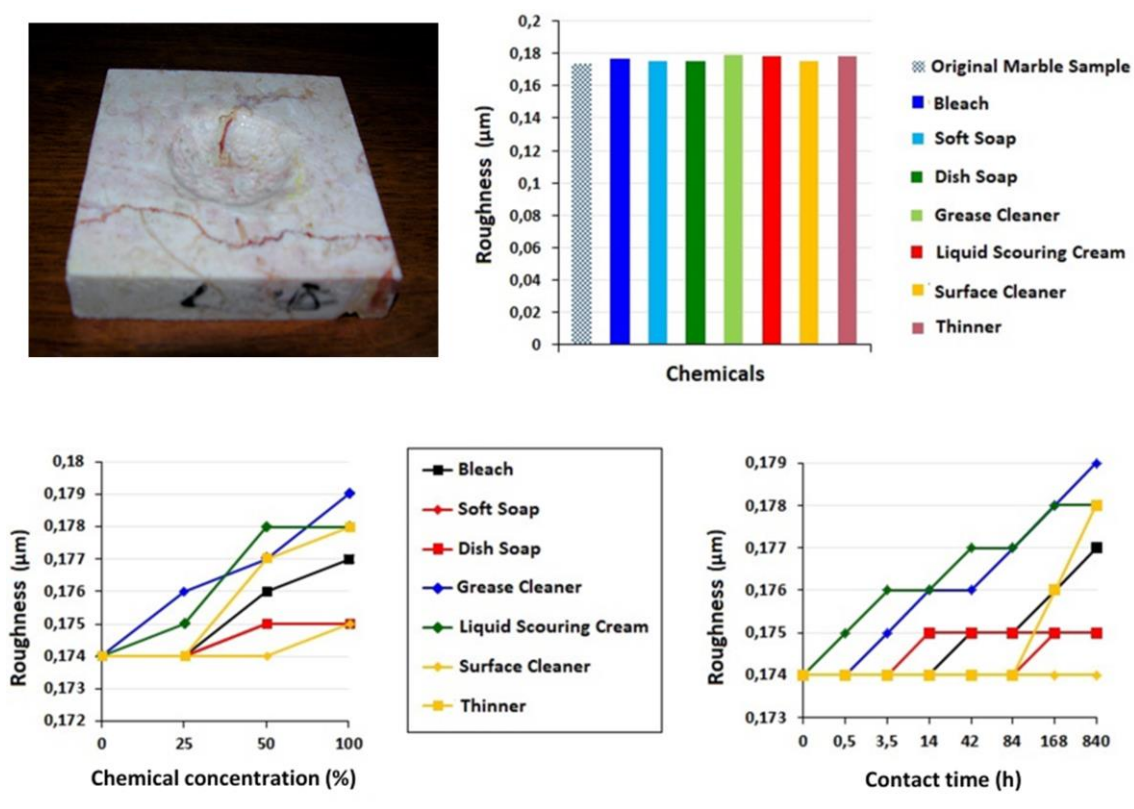


Figure 4. Effects of surface cleaning chemicals on the roughness of the marble surface.

3.2.2. The change of mass

The changes in the mass of the marble samples after the contact of cleaning chemicals are given in Figure 5. Acidic chemicals such as nitric acid, descaler, and spirits of salt chemicals were the leading chemicals causing highest mass losses. This can be explained by the highest abrasion as a result of reaction of calcite minerals with acids (Equation 1-2). Mass loss rates increased when the chemical

concentration and contact time increased. At the end of 840 h contact time, the mass losses in marble samples according to 25-50-100% concentrations were determined to be 1-2,2-4,0% for nitric acid, 0,7-1,2-2,0% for spirits of salt, and 0,3-0,7-1,2% for descaler, respectively. In the application of the remaining surface cleaning chemicals (alkaline and neutral), micro-level roughness was observed in the samples but no significant loss of mass was observed.

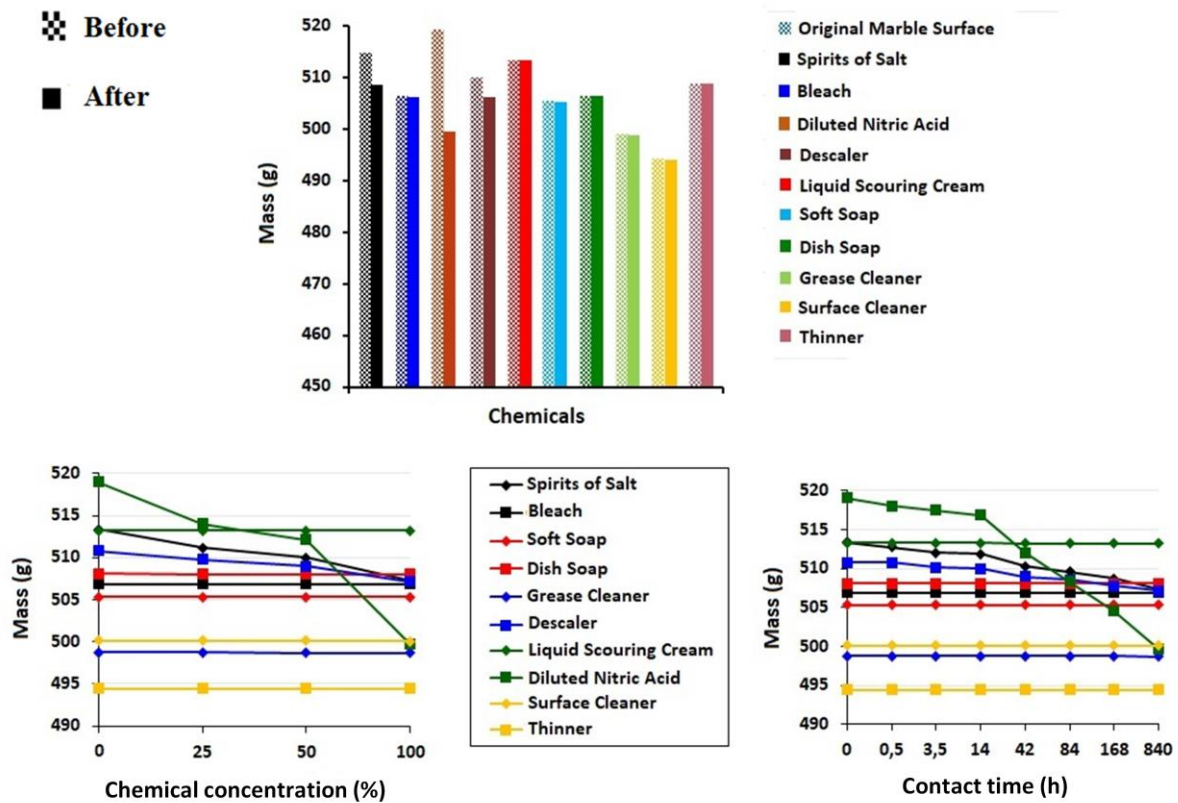


Figure 5. Effects of surface cleaner chemicals on the marble mass.

3.2.3. The change of glossiness

The surfaces of the marbles are polished with acidic solid materials. Polishing is based on the principle of reducing the micro-roughness on the surface of the marble by reaction of acid and calcite minerals. In particular, acidic chemicals cause corrosion at high concentrations and/or prolonged contact, while the roughness at the micron levels leads to loss of glossiness. Effects of

cleaning chemicals on the glossiness of marble surfaces according to contact time, chemical type, and chemical concentration are given in Figure 6. Surface glossiness loss was mostly caused by nitric acid, spirits of salt, and descaler, respectively. Since these chemicals are strongly acidic, they chemically react with the calcite minerals in the sample and abrade the surface. As the concentration containing strong acids increased, the dissolution-etching effect of marble surfaces also increased.

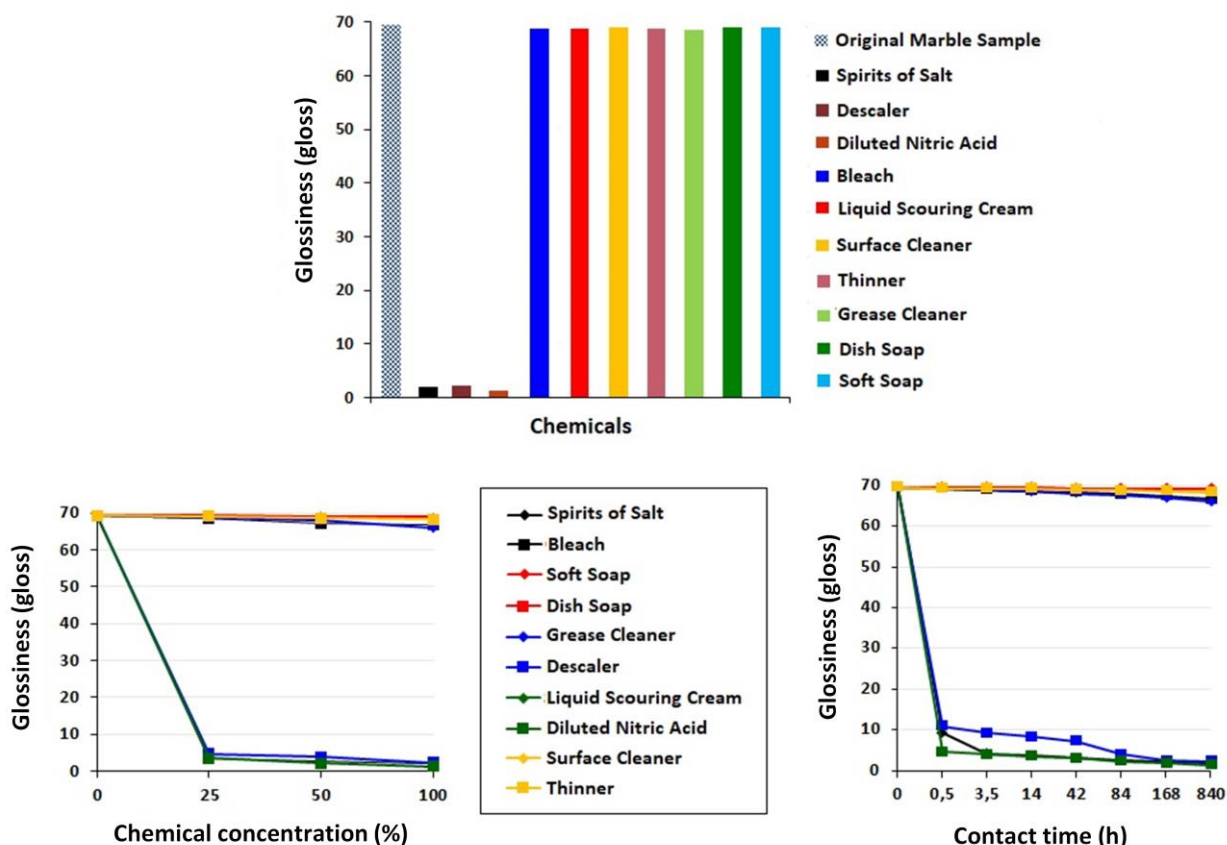


Figure 6. Effects of surface cleaning chemicals on the glossiness of the marble surface.

3.2.4. The change of color

Figures 7-8 show the color changes of the marble surfaces after contact of surface cleaning chemicals depending on the concentration, chemical type and contact time. Acidic chemicals were found to increase surface whiteness slightly. While the average surface whiteness (L^*) of the marble sample was 72,31% before application, it was measured as 74,46%, 73,75%, and 73,28% after the application of nitric acid, spirits of salt, and descaler, respectively. This can be explained by the formation of white colored CaCl and $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ salts as a result of the reaction of calcite minerals with hydrochloric acid and nitric acid. Other cleaning chemicals which are neutral and alkaline (especially those of alkaline) reduced the whiteness slightly.

As can be seen in Figure 8, nitric acid, spirits of salt, and descaler were the chemicals that reduce/change the surface redness value of marble samples the most. While the surface redness value of the marble sample before application was 4,82 before the application, it decreased to 3,53, 3,11 and 2,08 values after the application of acidic chemicals (nitric acid, spirits of salt and descaler), respectively. When the redness value approaches to zero, it shows that the surface is whitened. Although alkaline chemicals did not show a decrease in the redness of marble surface as well as acidic chemicals, there was a slight decrease. On the other hand, chemicals with a neutral character caused a slight increase in the sample surface redness value.

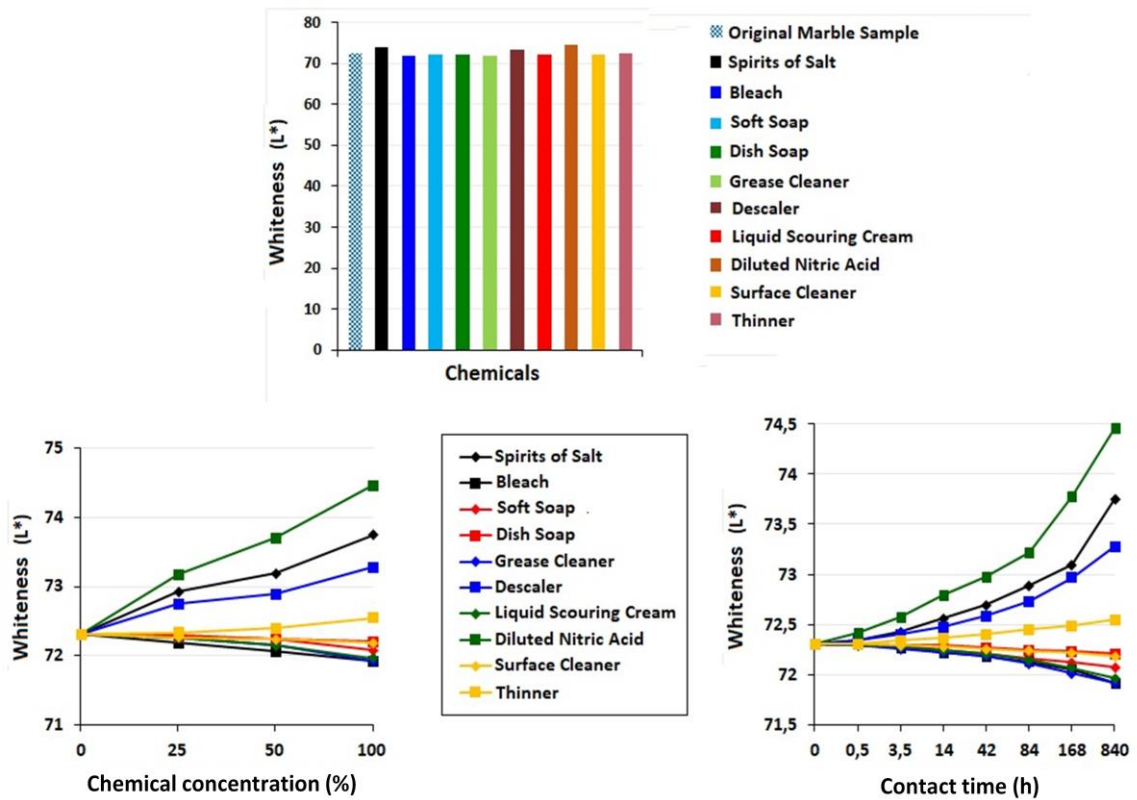


Figure 7. Effects of surface cleaning chemicals on the color of the marble surface (whiteness).

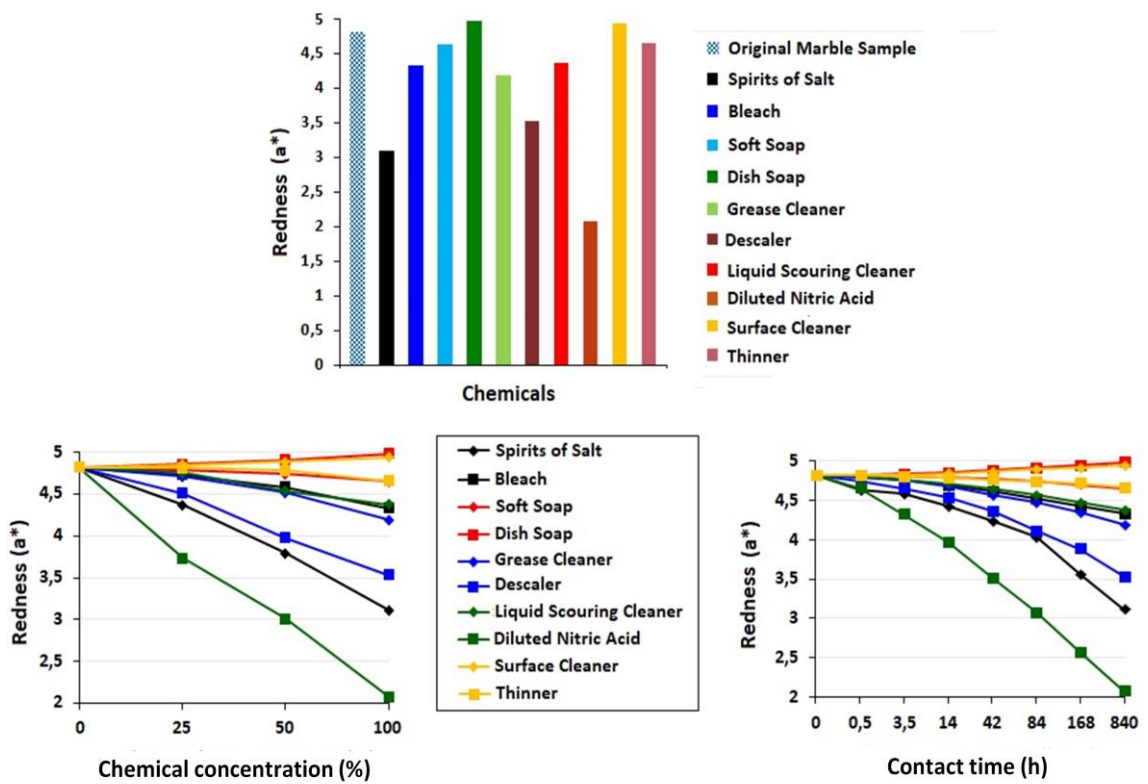


Figure 8. Effects of surface cleaning chemicals on the color of the marble surface (redness).

4. Conclusion

In this study, effects of various cleaning chemicals on polished marble surface characteristics and mass loss of marble were investigated depending on contact time, chemical type, and chemical concentration. The effects of cleaning chemicals were increased at high concentrations and long contact times, and marble surface deformations increased accordingly. It has been observed that the reaction between the calcite minerals and acidic chemical significantly affected the surface of the marble surfaces, while higher resistance was seen against neutral and alkaline chemicals. As a result, in order to maintain the aesthetic appearance of natural stones as long as possible, neutral/alkaline chemicals (soft soap, bleach and cream detergents) and chemicals diluted with water should be used in the cleaning of natural stones instead of acidic chemicals (nitric acid, spirits of salt and lime remover).

Acknowledgments

This study was financially supported by Afyon Kocatepe University, Scientific Research Project (BAP), Project No: 14.FEN.BİL.32.

References

- Ceylan, H.R., 2016. Çeşitli temizlik kimyasallarının mermer ve granitin yüzey özelliklerine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar, 201.
- Gökaltun, E., 2004. Atmosferik kirleticiler ile temizlik amaçlı kimyasalların doğal taş yapı malzemeleri üzerindeki etkileri. Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Fonu Projesi, Proje No: 20232.
- Gökaltun, E., 2005. Atmosferik etkilerle mermer ve granit kaplama malzemelerinde meydana gelen parlaklık kayıplarının ölçümü üzerine bir yöntem. *İnşaat Dünyası Dergisi*, **5**, 78-80.
- Gündüz, L., Şentürk, A. ve Tosun, Y.İ., 1996. Asitlerin mermer karakteristiğine etkisi. *Türkiyede Mermer Dergisi*, **45**, 9-16.
- Moropoulou, A., Delegou, E., Karaviti, E. and Vlahakis V, 2006, Assessment of atmospheric pollution impact on the microstructure of marble surfaces-Measuring, Monitoring and Modeling Concrete Properties, Konsta-Gdoutos M.S. (eds), Springer, 695–701.
- Spiker, E.C., Hosker, R.P., Weintraub, V.C. and Sherwood, S.I., 1995. Laboratory study of SO₂ dry deposition on limestone and marble: Effects of humidity and surface variables. *Kluwer Academic Publishers*, **85**(4), 2679-2685.
- Schuster, P.F., Reddy, M.M., Sherwood, S.I., 1994. Effects of acid rain and sulfur dioxide on marble dissolution. *Materials Performance*, **33**(1), 76-80.
- Tecer, L., Cerit, O., 2002. The effects of air pollution on carbonate stone monuments in urban areas (Sivas, Turkey). *Fresenius Environmental Bulletin*, **11**(8), 505-509.
- TS 6956, 2004. Geometrik mamul özellikleri (GMÖ), yüzey yapısı, profil metodu, terimler ve yüzey yapısı parametreleri. Türk Standartları Enstitüsü (TSE), Ankara, 24.
- Vella, A.J., Camilleri, A. and Tabone Adami, J.P., 1996. Limestone surfaces in built-up environment as indicators of atmospheric pollution. *Environmental Geochemistry and Health Journal*, **18**(4), 165-70.

Doğal Taşların Dairesel Testereli Kesiminde Birim Enerjinin Kesim ve Ortam Parametrelerinden Kestirimi

Fatih BAYRAM^{1,*}

¹Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar.

*Sorumlu yazar

e-posta: bayramfatih@aku.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8510-7936>

Geliş Tarihi: 07.01.2020

Kabul Tarihi: 23.03.2020

Öz

Doğal taş işletmeciliği ve işlemeciliği, ülkemiz maden ihracatı için önemli sektörlerden biridir. Bu sektörde uluslararası rekabetin sürdürülebilir olması kaynakların verimli kullanımına bağlıdır. Doğal taş ocaklarından elde edilen blokların da bu kapsamda değerlendirilmesi gerekmektedir. Doğal taş işleme tesislerinde blokların işlenmesi sırasında uygulanan kesim yöntemlerinin performanslarının belirlenmesi önemlidir. Kesim sırasında harcanan birim enerji dairesel testereli kesimde performans ölçütlerinden biridir. Bu çalışmada, birim enerjinin bazı kesim ve ortam parametrelerinden belirlenmesi amaçlanmıştır. Birim enerjinin belirlenmesi için kesim parametreleri olarak testere çevresel hızı ve ilerleme hızı seçilmiştir. Benzer şekilde, ortam parametreleri olarak da testere titreşimi ve gürültü değerleri, kesim sonrası yüzeylerdeki pürüzlülük, kesim sırasında oluşan talaş yığından belirlenen pasa irilik katsayısı seçilmiştir. Bu parametrelerin birim enerji ile ilişkileri istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Yapılan istatistiksel çalışmalarla dairesel testereli kesimde kullanılan birim enerjinin çevresel hız, ilerleme hızı, yüzey pürüzlülüğü ve pasa irilik katsayısı parametrelerinden kestirime yönelik bir model kurulmuştur. Bu istatistiksel modelin yüksek güvenilirlikte ($R^2=0.948$) birim enerji değerlerini kestirebileceği tespit edilmiştir. Bu modelde kullanılan parametreler, kesimde harcanan birim enerjinin tatmin edici biçimde tahmin edilmesinde ve dairesel testereli kesimin performansının belirlenmesinde kullanılabilir.

Anahtar kelimeler

Dairesel testereli kesim;
Birim enerji;
Çevresel hız;
İlerleme hızı;
Yüzey pürüzlülüğü;
Pasa irilik katsayısı

Estimation of Unit Energy from Cutting and Environment Parameters in Circular Cutting of Natural Stones

Abstract

Natural stone mining and processing is one of the important sectors for Turkey's mining exports. Sustainable international competition in this sector depends on the efficient use of resources. The natural stone blocks obtained from quarries should be evaluated within this scope. It is important to determine the performance of the cutting methods used in the processing of blocks in natural stone processing plants. The unit energy consumed during cutting is one of the performance criteria for circular cutting. In this study, it is aimed to determine the unit energy from some cutting and environment parameters. In order to determine the unit energy, the peripheral speed and advance rate were selected as cutting parameters. Similarly, sawblade vibration and sound levels, roughness of the surfaces after cutting, and the coarseness index determined from the pile of chips formed during cutting were selected as environment parameters. The relationships of these parameters with unit energy were evaluated statistically. A model was derived with the statistical studies for estimating the unit energy consumed in circular cutting from the parameters of peripheral speed, advance rate, surface roughness and coarseness index. It has been determined that this statistical model can estimate unit energy with high reliability ($R^2=0.948$). The parameters used in this model can be satisfactorily used to estimate consumed unit energy during cutting and to determine the performance of the circular cutting.

Keywords

Circular Cutting;
Unit energy;
Peripheral speed;
Advance rate;
Surface roughness;
Coarseness index

1. Giriş

Doğal taş bloklarından levha/plaka üretimi, doğal taş işleciliğinde önemli bir yer tutmaktadır. Bu işlemin başarısı, sonrasında gelen ebatlama, cilalama-parlatma, yüzey işlemleri vb. aşamalarının başarısını ve performansını doğrudan etkilemektedir. Dolayısıyla, doğal taş bloklarının kesim işlemlerinin üretim akım şeması göz önüne alınarak en uygun şekilde gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu amaç doğrultusunda, doğal taş bloklarından levha/plaka üretimi için çeşitli kesim yöntemleri ve bu yöntemleri içeren makinalar kullanılmaktadır. Dairesel testereli kesim makinaları da levha/plaka üretimi için oldukça yaygın şekilde kullanılan makinalardır. Blokların fiziksel (düzgün şekilli ve düzensiz) ve yapısal özelliklerine göre kesilmesinde rahatlıkla kullanılabilmesi, yatırım maliyeti açısından benzer işlevdeki makinalara göre düşük olması, kullanılan elmas soketlere göre her çeşit doğal taş bloklarının kesiminin yapılabilmesi dairesel testereli kesim makinalarının tercih edilmesinin ve kullanımının önde gelen sebeplerindendir.

Dairesel testereli kesim makinalarının verimli kullanımları için kesilecek kayaca uygun kesim koşullarının belirlenmesi gerekmektedir. En uygun kesim koşullarının belirlenmesi için kesim performansına etki eden parametrelerin incelenmesi doğal taş sektörüne önemli katkılar sunabilmektedir. Kullanılan dairesel testere kesim sırasında kullanılan birim enerji değerleri makine performansının tayininde kullanılabilecek önemli parametrelerdendir. Dairesel testereli kesim işlemlerinde kesimde kullanılan birim enerjinin belirlenmesi, kullanılan makina çalışma sistemine yerleştirilecek özel donanımlarla yapılabilir. Bunun yanında, bu performans ölçütünün belirlenmesi için, kesim parametrelerinin (testere çevresel hızı ve ilerleme hızı) ve ortam parametrelerinin (kesimlerde testere çevresinde oluşan titreşim ve gürültü değerleri, kesim sonrası doğal taş yüzeylerindeki pürüzlülük, kesim sırasında oluşan talaş yığınının belirlenen pasa irilik katsayısı) kullanımı etkili bir çözüm olabilir.

Birçok araştırmacı tarafından dairesel testereli kesim performans parametreleri üzerine çalışmalar yürütülmüştür. Bu çalışmaların bir kısmında özellikle kesme performansı ile kesme kuvvetleri, kesim parametreleri ve kayaç özellikleri ilişkilendirilmiştir (Wright and Cassapi 1985, Pai 1987, Wright and Tagg 1998, Xu *et al.* 2003, Büyüksağış 2007, Polini and Turchetta 2007, Güney 2011, Bayram *et al.* 2012, Bayram and Yaşitli 2013, Tumaç 2015, Mikaeil *et al.* 2016). Bunların yanında özgül enerji ve enerji tüketiminin kesme performansı ile ilişkilerinin incelendiği bazı çalışmalar da mevcuttur (Büyüksağış and Göktan 2005, Yurdakul and Akdaş 2012, Aydın *et al.* 2013, Yurdakul 2015, Huang *et al.* 2018).

Bu çalışmada ise kesme performansının bir göstergesi olan birim enerji değerlerinin istatistiksel olarak kesim ve ortam parametrelerinden tespiti amaçlanmıştır. Çalışmada, kesim parametreleri olarak alınan testere çevresel hızı ve ilerleme hızı, ortam parametreleri olarak alınan testere titreşimi ve gürültü değerleri, kesim sonrası doğal taş yüzeylerindeki pürüzlülük, kesim sırasında oluşan talaş yığınının belirlenen pasa irilik katsayılarının birim enerji ile ilişkileri incelenmiştir. Yapılan istatistiksel incelemeler sonucunda, kesim ve ortam parametrelerinden çevresel hız, ilerleme hızı, yüzey pürüzlülüğü ve pasa irilik katsayısı değişkenleriyle kurulan istatistiksel modellerle birim enerjinin kestirimi sağlanmıştır.

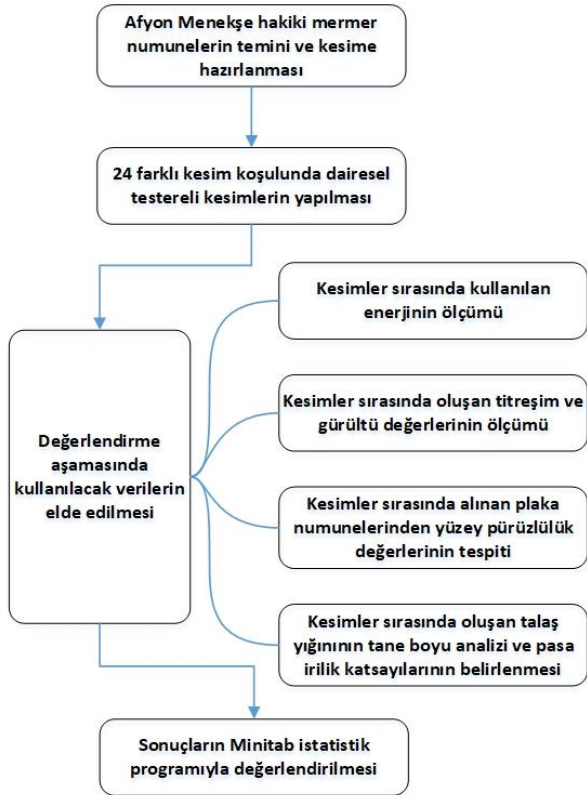
2. Malzeme ve Yöntem

Bu çalışma, temel olarak üç aşamadan oluşmuştur. Birinci aşamada, ticari ismi Afyon Menekşe olan hakiki mermer numunesi üzerinde tam otomatik bilgisayar kontrollü dairesel testereli kesim makinası (Şekil 1) ile laboratuvar ortamında kesimler gerçekleştirilmiştir. Bu kesimler, sabit derinlikte (60 mm) 4 farklı çevresel hızda (40, 50, 60, 70 m/sn) ve 6 farklı ilerleme hızında (400, 500, 600, 700, 800, 900 mm/dak) olmak üzere toplam 24 farklı kesim koşulunda yapılmıştır. Her kesim koşulunda yaklaşık 20-22 lt/dak su kullanılmıştır. Kesimler sırasında kullanılan birim enerji değerleri, testere titreşimi ve gürültü değerleri ölçülmüştür. İkinci aşamada, kesimleri yapılan plakalardan alınan numuneler

üzerinde pürüzlülük ölçümleri yapılmıştır. Aynı zamanda kesim sırasında alınan talaş numunelerinin tane boyu analizleri belirlenmiş ve pasa irilik katsayıları hesaplanmıştır. Son aşamada ise, elde edilen veriler istatistiksel değerlendirilmeye tabi tutulmuştur. Birim enerji ile kesim ve ortam parametreleri arasındaki ilişkiler incelenerek elde edilen sonuçlar irdelenmiştir. Çalışmaya yönelik bir akım şeması Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 1. Dairesel testereli kesim makinası



Şekil 2. Çalışmada izlenen akım şeması

3. Çalışma Kapsamında Kullanılan Parametrelerin Ölçümü

3.1. Birim Enerji Ölçümleri

Bilgisayar kontrollü tam otomatik dairesel testereli kesim makinasında elektrik enerjisiyle ilgili tüm parametreler mikroişlemcili bir enerji analizörü ile takip edilebilmektedir. Bu analizörle kesim sırasında kullanılan enerji anlık bir şekilde ölçülebilmekte ve veriler kolaylıkla bilgisayar ortamına aktarılabilir. Aktarılan bu anlık enerji verilerinden kesimlerde kullanılan birim enerji değerleri hesaplanmıştır.

Çalışma kapsamındaki kesimler için tespit edilen birim enerji değerleri Çizelge 1’de verilmiştir.

3.2. Titreşim Ölçümü

Kesimler sırasında oluşan yanal titreşimin ölçümleri, testere ana miline yerleştirilen titreşim ölçerle yapılmıştır. Yapılan ölçümlerde elde edilen veriler bilgisayar ortamına aktarılarak değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında titreşim genliği esas alınmıştır.

Çalışma kapsamında belirlenen yanal titreşim değerleri Çizelge 1’de verilmiştir.

3.3. Gürültü Ölçümü

Gürültü ölçümleri, portatif dijital bir gürültü ölçer ile yapılmıştır. Gürültü seviyesi ölçümlerinde kesim yapılan her koşulda (her çevresel hız ve ilerleme hızı için) makina kesime başlamadan (boşta çalışırken) testere etrafında ilk gürültü ölçümleri yapılmıştır. Testere kesime başlayıp tam olarak kayaç içerisine girdikten sonra ikinci gürültü ölçümü yapılmıştır. Bu iki ölçüm arasındaki fark alınıp her kesim koşulu için kesimden kaynaklı net gürültü seviyeleri belirlenmiştir. Böylece testere çevresinde oluşan gürültü değerleri hem arka plan gürültülerinden hem de makinanın kesim dışı çalışırken oluşturduğu gürültülerden temizlenmiştir.

Çalışma kapsamında belirlenen gürültü değerleri Çizelge 1’de verilmiştir.

3.4. Yüzey Pürüzlülük Ölçümü

Kesim sonrasında elde edilen plakaların ortalama yüzey pürüzlülükleri, taşınabilir bir yüzey pürüzlülük cihazıyla ölçülmüştür. Pürüzlülük cihazı, düz bir yüzey üzerinde düz bir hat boyunca ilerleyen ve yüzey pürüzlülüğüne bağlı olarak yukarı ve aşağı

hareket eden kaydedilebilir bir uca sahiptir. Bu ucun yukarı ve aşağı hareketiyle oluşan titreşimler büyütülür ve kaydedilir. Böylece yüzeyin pürüzlülük profili mikron seviyesinde elde edilir. Birçok yüzey pürüzlülük ölçüm parametresi kullanılmaktadır; ancak aritmetik ortalamadan mutlak sapma (R_a) en çok kullanılan değerdir. Bu çalışmada da R_a değeri yüzey pürüzlülük parametresi olarak kullanılmış ve plakaların üç ayrı bölgesinden yapılan ölçümlerin ortalaması o kesim koşulu için yüzey pürüzlülük değeri olarak alınmıştır.

Çalışma kapsamında belirlenen yüzey pürüzlülük değerleri Çizelge 1’de verilmiştir.

3.5. Pasa İrilik Katsayısının Belirlenmesi

Pasa irilik katsayısı birimsiz bir terimdir ve kazı mekanizmasında kazılan malzemenin tane boyu

dağılımından hesaplanmaktadır. Bu hesap için kazılan malzemenin tane boyu analizi yapılır ve toplam elek üstü malzeme yüzdeleri belirlenir. Bu malzeme oranlarının toplamı pasa irilik katsayısını vermektedir (Altındağ 2003).

Dairesel testereli kesim mekanizması testere yardımıyla kayaç üzerinde yapılan bir çeşit kazı işlemidir. Kesim işlemi sırasında oluşan talaş yığınının pasa irilik katsayısı belirlenebilir. Bu çalışmada, pasa irilik katsayısının belirlenebilmesi için her kesim koşulu için kesim sırasında oluşan ve kesim olduğundan dışarı atılan talaştan numune alınmıştır. Lazer tane boyu analiz cihazıyla talaşın tane boyut dağılımı belirlenmiştir. Belirlenen tane boyu dağılımından pasa irilik katsayısı hesaplanmıştır. Hesaplanan pasa irilik katsayıları Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Çalışma kapsamında kullanılan birim enerji, kesim ve ortam parametreleri

Çevresel Hız (PS) (m/sn)	İlerleme Hızı (AR) (mm/dak)	Titreşim Genliği (VA) (Hz)	Gürültü Seviyesi (SL) (dB)	Yüzey Pürüzlülüğü (R_a) (μ m)	Pasa İrilik Katsayısı (CI)	Birim Enerji (UE) (kW/saat)
40	400	12.2	11	10.002	1270.33	6.594
40	500	11.2	11	8.845	1260.98	5.342
40	600	13.6	12	8.182	1257.39	4.985
40	700	13.6	13	8.710	1223.73	4.575
40	800	12.6	13	8.255	1296.91	4.525
40	900	16.2	12	7.242	1351.30	4.077
50	400	17.8	9	9.771	1244.36	7.210
50	500	17.6	10	7.562	1208.02	6.342
50	600	24.4	12	7.953	1196.77	5.685
50	700	23.2	11	8.119	1194.71	5.050
50	800	23.2	11	6.658	1285.16	4.790
50	900	27.0	13	5.732	1421.70	4.079
60	400	8.4	9	7.917	1237.48	7.859
60	500	9.2	9	7.517	1220.08	6.869
60	600	11.0	8	7.070	1201.23	5.919
60	700	10.2	8	6.654	1230.99	5.474
60	800	7.8	9	6.753	1221.13	4.845
60	900	10.4	9	6.160	1272.73	4.727
70	400	14.6	6	9.997	1173.14	8.719
70	500	11.6	6	7.346	1221.46	6.881
70	600	10.8	5	7.654	1163.25	6.487
70	700	12.0	7	6.921	1180.86	5.790
70	800	11.2	6	7.149	1186.64	5.148
70	900	11.4	6	6.615	1267.84	5.038

4. İstatistiksel Çalışmalar

İstatistiksel çalışmalar, Minitab isimli istatistiksel yazılımla gerçekleştirilmiştir. Minitab istatistiksel

yazılımı, geçmişte istatistik eğitimi verilmesi için tasarlanan bir programken günümüzde en güvenilir ve kullanımı kolay istatistiksel yazılımlardan biri olmuştur. Yapılan istatistiksel çalışmalara bağımlı (birim enerji) ve bağımsız değişkenlerin (çevresel hız, ilerleme hızı, titreşim genliği, gürültü seviyesi, yüzey pürüzlülüğü, pasa irilik katsayısı) temel istatistiklerinin incelenmesiyle başlamıştır. Modelde kullanılacak parametrelerin temel istatistikleri Çizelge 2’de verilmiştir. Çizelge 2’de verilen çarpıklık (Skewness) katsayılarına göre, veriler normal dağılım için kabul edilen değerler (± 3) arasındadır.

Birim enerjilerin kestirimine yönelik yapılan istatistiksel çalışmalarda, ilk olarak regresyon denkleminde kullanılacak parametrelerin belirlenmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Kurulacak çok değişkenli regresyon modeli için, en iyi değişkenlerin seçimi gerçekleştirilmiştir. Bu seçim, en iyi alt kümeler regresyonu (best subsets regression) ile yapılmıştır. En iyi alt kümeler regresyonu, bağımsız değişkenleri kullanarak en

uygun regresyon modelleri tanımlayan otomatik bir işlemdir. Bu işlemde temel yaklaşım, istatistiksel kıstasları tamamen sağlayacak en küçük bağımsız değişken alt kümesini seçmektir. Bütün değişkenlerden oluşan setin yerine, alt küme setini kullanmanın nedeni, daha az bağımsız değişken kullanarak bağımlı değişkenin daha küçük değişimlerle kestirilebileceğidir.

En iyi alt kümeler regresyonunda kurulacak modelleri karşılaştırmada en çok kullanılan ölçütler, düzeltilmiş belirtme katsayısı (düzeltilmiş R^2) ve Mallows' C_p istatistiğidir. Düzeltilmiş R^2 değeri, R^2 değerinden daha düşüktür ve ne kadar yüksekse model o kadar uygundur. Mallows' C_p istatistiği ne kadar düşükse model o kadar uygundur. Bu iki parametre ile karar verilemediği durumlarda tahmini R^2 , ortalama karesel hata ve kurulacak modellerdeki bağımsız değişkenlerin varyans şişme faktörlerinin incelenmesi gerekmektedir. Çalışma parametreleri kullanılarak yapılan en iyi alt kümeler regresyonu sonuçları Çizelge 3’te verilmiştir.

Çizelge 2. Çalışmada kullanılan parametrelerin temel istatistikleri.

Değişken	Ortalama	Standart Sapma	Minimum Değer	Maksimum Değer	Çarpıklık (Skewness)	Basıklık (Kurtosis)
UE	5.709	1.197	4.077	8.719	0.82	0.25
PS	55.00	11.42	40.00	70.00	0.00	-1.39
AR	650.0	174.5	400.0	900.0	0.00	-1.28
VA	14.22	5.34	7.80	27.00	1.18	0.41
SL	9.417	2.518	5.000	13.000	-0.18	-1.16
R_a	7.699	1.146	5.732	10.002	0.61	-0.06
CI	1241.2	58.5	1163.3	1421.7	1.44	2.91

Çizelge 3. En iyi alt kümeler regresyonu sonuçları.

Model No	R^2	Düzeltilmiş R^2	Tahmini R^2	Mallows' C_p	Ortalama Karesel Hata (MSE)	PS	AR	VA	SL	R_a	CI
1	74.4	73.2	68.7	74.7	0.61958		X				
2	92.0	91.3	88.6	11.4	0.35346	X	X				
3	93.2	92.1	88.9	9.3	0.33582	X	X				X
4	94.9	93.8	90.2	5.0	0.29873	X	X			X	X
5	95.4	94.1	87.6	5.0	0.29033	X	X		X	X	X
6	95.4	93.8	85.4	7.0	0.29865	X	X	X	X	X	X

En iyi alt kümeler regresyonu sonucunda, birim enerjinin kestirimine yönelik 4 ve 5 nolu modellerin uygun modeller olduğu tespit edilmiştir. Bu modellerden en uygun modelin seçimi için düzeltilmiş R^2 ve Mallows' C_p değerlerinden net bir şekilde sonuç almak mümkün olmamıştır. Çizelge 3 incelendiğinde, 4 ve 5 nolu regresyon modellerinin

düzeltilmiş R^2 ve Mallows' C_p değerlerinin, bunun yanında tahmini R^2 ve ortalama karesel hata değerlerinin net bir şekilde birbirinden ayrıldığı görülmüştür. Bu tip durumlarda kurulabilecek olan modellerin bağımsız değişkenlerinin varyans şişme faktörleri incelenmiştir. Değişkenlerin varyans şişme faktörleri Çizelge 4’te verilmiştir.

Çizelge 4. 4 ve 5 nolu modellerin bağımsız değişkenlerinin varyans şişme faktörleri

Değişken	4 Nolu Model	5 Nolu Model
PS	2.15	11.46
AR	2.65	2.65
SL	-	9.79
R _a	3.14	3.53
CI	2.09	2.09

Varyans şişme faktörü (variance inflation factor), regresyon modelindeki bağımsız değişkenlerin birbirleri arasındaki doğrusal ilişki hakkında bilgi vermektedir. Regresyon analizinde kullanılan bağımsız değişkenlerin birbirleri arasında doğrusal ilişkilerin (çoklu bağıntı) olmaması istenir. Bu nedenle varyans şişme faktörü değerlerinin 10'un üzerinde olmaması gerekmektedir. Bağımsız (açıklayıcı) değişken ile ilgili varyans şişme faktörü 10'dan büyük olduğunda, bağımsız değişkenler arasındaki doğrusal ilişkiler sorun oluşturabilir. Çizelge 4 incelendiğinde, 5 nolu modelde varyans şişme faktörünün 10'un üzerinde olduğu bağımsız

değişken görülmektedir. Bu sebeple 4 nolu modelin hem varyans şişme faktörleri hem de daha az sayıda bağımsız değişkenle iyi sonuç vermesinden dolayı tercih edilmesi gerekmektedir. Uygun regresyon modeli Eşitlik 1'de verilmiştir.

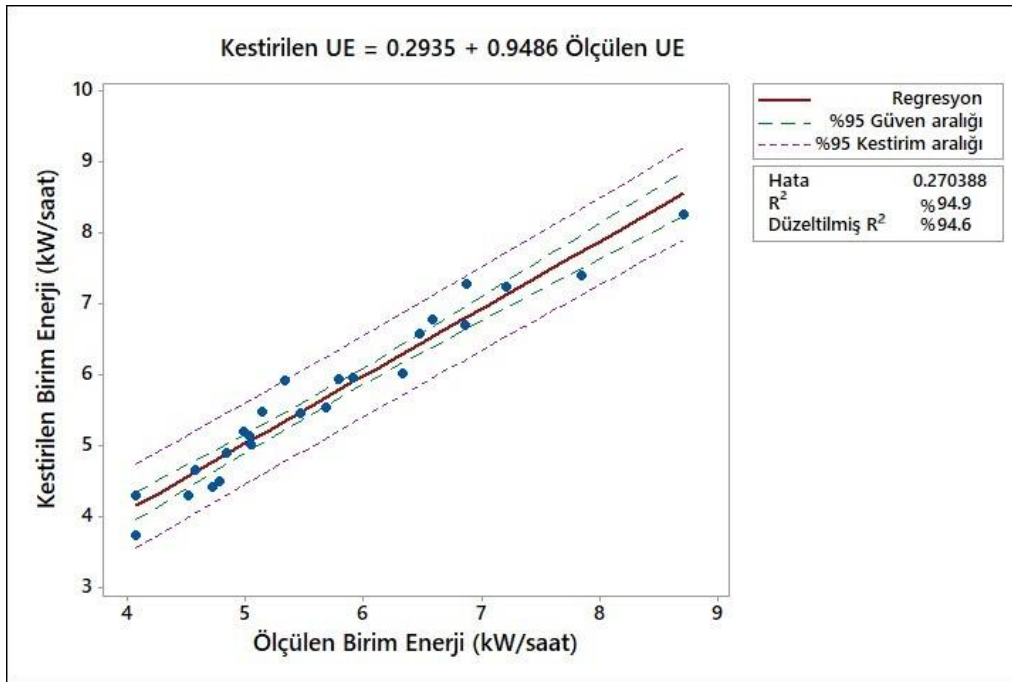
$$UE = -1.180 + 0.062PS - 0.005AR + 0.241R_a + 0.004CI \quad (1)$$

Eşitlik 1'de verilen regresyon denkleminin belirtme katsayısı (R²) 0.948 olarak bulunmuştur. Kurulan bu modelin istatistiksel açıdan geçerliliği, varyans analizi (ANOVA) ile test edilmiştir (Çizelge 5). Model, P olasılık değerine göre çok yüksek düzeyde anlamlılık ifade etmektedir.

Çalışma kapsamında ölçülen birim enerji değerleriyle regresyon modeliyle kestirilen birim enerji değerleri arasındaki ilişki de değerlendirilmiş ve Şekil 3'te verilmiştir.

Çizelge 5. Birim enerji tahmini için kurulan regresyon denkleminin varyans analizi

Kaynak	Serbestlik Derecesi	Düzeltilmiş Karelerin Toplamı	Düzeltilmiş Ortalamanın Karesi	F Değeri	P (Olasılık)
Model	4	31.2796	7.81990	87.63	0.000
PS	1	5.5151	5.51506	61.80	0.000
AR	1	7.7063	7.70627	86.35	0.000
R _a	1	0.5599	0.55992	6.27	0.022
CI	1	0.6315	0.63147	7.08	0.015
Hata	19	1.6956	0.08924		
Toplam	23	32.9752			

**Şekil 3.** Ölçülen ve kestirilen birim enerji arasındaki ilişki

5. Sonuçlar

Bu çalışmada dairesel testereli kesim makinasında yapılan kesim işlemlerinde kullanılan birim enerjinin testere çevresel hızı, ilerleme hızı ve bazı ortam parametrelerinden kestirimi hedeflenmiştir. Elde edilen sonuçlar şunlardır:

- Birim enerji (UE) değerleriyle istatistiksel olarak en çok ilişkili olan parametrelerin çevresel hız (PS), ilerleme hızı (AR), yüzey pürüzlülüğü (R_a) ve pasa irilik katsayısı (CI) olduğu tespit edilmiştir.
- PS, AR, R_a ve CI parametreleri kullanılarak UE'nin kestirimine yönelik en iyi alt kümeler regresyonu ve buna bağlı olarak çok değişkenli regresyon analizi gerçekleştirilmiştir ve aşağıdaki denklem elde edilmiştir:
$$UE = -1.180 + 0.062PS - 0.005AR + 0.241R_a + 0.004CI$$
- Regresyon denkleminin belirtme katsayısı (R^2) 0.948 olarak bulunmuştur.
- Elde edilen regresyon denkleminin istatistiksel olarak çok yüksek düzeyde anlamlı olduğu tespit edilmiştir.

Çevresel hız ve ilerleme hızı birim enerjiyi etkileyen önemli kesim parametreleri arasındadır. Elde edilen regresyon denkleminde de görüldüğü gibi, birim enerji çevresel hızla doğru, ilerleme hızıyla ters orantılıdır. Dairesel testereli kesimde enerji kullanımı açısından en uygun kesim koşulları için en düşük çevresel hızın ve en yüksek ilerleme hızının sağlanması gerekmektedir. Sabit ilerleme hızında çevresel hız artışı kayaç içerisinde testerenin daha kolay hareketini sağlarken kullanılan motor gücünü ve dolayısıyla enerji tüketimini artırmaktadır. Bunun sonucu olarak birim enerji artmaktadır. Sabit çevresel hızda ilerleme hızı artışı ise, daha kısa sürede istenen kesimin yapılması sağlandığı için tüketilen enerji miktarını ve dolayısıyla birim enerjiyi azaltmaktadır.

Bunun yanında kesim sırasında oluşan yüzey pürüzlülüğü ve pasa irilik katsayısı parametrelerinin de birim enerji ile doğru orantılı olduğu regresyon denkleminde görülmektedir. Kesilen plakaların

yüzey pürüzlülüğünün düşük olması birim enerjinin düşüklüğüyle açıklanabilmekte ve doğal taş işleme tesislerinde daha sonraki yüzey işleme aşamalarını kolaylaştırmaktadır. Kesim sırasında oluşan talaştan belirlenen pasa irilik katsayısı da birim enerjiyle benzer ilişkidir.

Dairesel testereli kesim makinalarında en büyük işletme maliyeti sayılabilecek olan kesim işlemlerinde kullanılan birim enerji değerlerinin kesim ve bazı ortam parametrelerinden kestirilebileceği görülmektedir. Dolayısıyla, bu parametrelerin kesim performansının tayininde kullanımı uygundur. Parametrelerin birbiriyle ve birim enerjiyle ilişkileri düşünüldüğünde en düşük birim enerjinin belirlenmesi oldukça karmaşık bir işlem haline gelmektedir. Bu değerlendirmenin işletme koşulları ve kesilen kayacın sonraki kullanım amacına uygun şekilde yapılması gerekmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma kapsamında yapılan kesim işlemleri için Doç. Dr. Nazmi Erhan YAŞITLI'ya ve tane boyu analizleri için Doç. Dr. Namık Atakan AYDOĞAN'a teşekkür ederim.

6. Kaynaklar

- Altındağ, R., 2003. Estimation of penetration rate in percussive drilling by means of coarseness index and mean particle size. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, **36 (4)**, 323–332.
- Aydın, G., Karakurt, İ and Aydın, K., 2013. Development of predictive models for the specific energy of circular diamond sawblades in the sawing of granitic rocks. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, **46(4)**, 767–783.
- Bayram, F. and Yaşitli, N.E., 2013. Effects of sawing parameters on natural stone processing performance. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering*, **227(4)**, 287–294.
- Bayram, F., Yaşitli, N.E., Kulaksız, S. and Özçelik, Y., 2012. Optimization of limestone sawing using circular saws with reference to unit wear and energy. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, **227(5)**, 1069–1079.

- Büyüksağış, İ.S. and Göktaş, R.M., 2005. Investigation of marble machining performance using an instrumented block-cutter. *Journal of Materials Processing Technology*, **169**, 258-262.
- Büyüksağış, İ.S., 2007. Effect of cutting mode on the sawability of granites using segmented circular diamond sawblade. *Journal of Materials Processing Technology*, **183**, 399-406.
- Güney, A., 2011. Performance prediction of large-diameter circular saws based on surface hardness tests for Mugla (Turkey) marbles *Rock Mechanics and Rock Engineering*, **44**, 357-366.
- Huang, G., Zhang, M., Huang, H., Guo, H. and Xu, X., 2018. Estimation of power consumption in the circular sawing of stone based on tangential force distribution, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, **51**, 1249–1261.
- Mikaeil, R., Haghshenas, S.S., Haghshenas, S.S. and Ataei, M., 2016. Performance prediction of circular saw machine using imperialist competitive algorithm and fuzzy clustering technique. *Neural Computing and Applications*, **29**, 283–292.
- Pai, D.M., 1987. A fundamentals study of the diamond sawing of rocks. PhD Thesis, Arizona State University, 90.
- Polini, W. and Turchetta, S., 2007. Monitoring of diamond disk wear in stone cutting by means of force or acceleration sensors. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, **35**, 454-467.
- Tumaç, D., 2015. Predicting the performance of large diameter circular saws based on Schmidt hammer and other properties for some Turkish carbonate rocks. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, **75**, 159–168.
- Wright, D.N. and Cassapi, V.B., 1985. Factors influencing stone sawability. *Industrial Diamond Review*, **2**, 84-87.
- Wright, D.N. and Tagg, W.R.J., 1998. The development of a rock classification system for use with diamond tools. *Industrial Diamond Review*, **58**, 113-120.
- Xu, X., Li, Y. and Yu, Y., 2003. Force ratio in the circular sawing of granites with a diamond segmented blade. *Journal of Materials Processing Technology*, **139**, 281-285.
- Yurdakul, M., 2015. Effect of cutting parameters on consumed power in industrial granite cutting processes performed with the multi-disc block cutter. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, **76**, 104–111.
- Yurdakul, M. and Akdaş, H., 2012. Prediction of specific cutting energy for large diameter circular saws during natural stone cutting. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, **53**, 38–44.

AKÜ FEMÜBİD 20 (2020) 025803 (348-355)

AKU J. Sci. Eng. 20 (2020) 025803 (348-355)

DOI: 10.35414/akufemubid.682371

Araştırma Makalesi / Research Article

Nefelin Siyenitten Fe₂O₃+TiO₂ Uzaklaştırılmasında Kuru Manyetik Ayırmanın Etkisi

Mustafa ÇINAR¹¹Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Çanakkale.e-posta: mcinar@comu.edu.tr, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-9553-423X>

Geliş Tarihi: 31.01.2020

Kabul Tarihi: 08.04.2020

Öz

Bu çalışmada, kuru manyetik ayırma yöntemiyle nefelin siyenit cevherinden manyetik minerallerin uzaklaştırılması içerik ve verim açısından değerlendirilmeye çalışılmıştır. Manyetik minerallerin uzaklaştırılması için REMS (Rare Earth Magnetic Separator) tipi bantlı yüksek alan şiddetli kuru yüksek alan şiddetli manyetik ayırıcı kullanılmıştır. Deneysel aşamalardan elde edilen numuneler kimyasal ve mineralojik olarak analiz edilmiştir. Bant dönüş hızı (100, 200, 300, 400 devir/dk) ve besleme tane boyutu (-2+1, -1+0,425, -0,425+0,250, -0,250+0,150 mm) gibi parametrelerin, nefelin siyenit cevherinden manyetik ayırma ile Fe₂O₃+TiO₂ içeriğindeki değişim ve uzaklaştırma verimleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Yapılan mineralojik analizlerde manyetik özelliğe sahip mineral olarak bir mika türü olan siderofillit belirlenmiştir. Bant hızı ve besleme tane boyutu azaldıkça Fe₂O₃+TiO₂ uzaklaştırma verimlerinin arttığı görülmüştür. 100 devir/dk bant hızı ve -0,250+0,150 mm besleme tane boyutunda optimum ayırma şartlarında, elde edilen manyetik olmayan numunede toplam Fe₂O₃+TiO₂ oranı %0,06'ya düşürülürken Fe₂O₃+TiO₂ uzaklaştırma verimi %97,3 olarak elde edilmiştir. Sonuç olarak cevheri oluşturan alkali kaynakları albit %44'ten %47'ye, Mikroklin %34'ten %41'e ve demir kaynağı mika mineralleri %12'den %7 düşmüştür. Cevherin beyazlık derecesi (L) 54,61'den 84,89'a yükselmiştir.

Anahtar kelimeler

Nefelin siyenit;
Seramik; Kuru
manyetik ayırma;
Zenginleştirme

The Effect of Dry Magnetic Separation on Fe₂O₃+TiO₂ Removal from Nepheline Syenite

Abstract

In this study, magnetic mineral removal from nepheline syenite was researched in terms of recovery and content. REMS (Rare Earth Magnetic Separator) type high intensity dry magnetic separator was used so as to clear magnetic minerals. Chemical and mineralogical analyses were applied to samples that were gained from experimental studies. The effect of belt speed (100, 200, 300, 400 rpm) and feed particle size (-2+1, -1+0.425, -0.425+0.250, -0.250+0.150 mm) on the magnetic separation was investigated based on the Fe₂O₃+TiO₂ removal from nepheline syenite in terms of recovery and content. The magnetic mineral was identified as syderophlliyte with the XRD analyses which was a kind of mica mineral. It was seen that the Fe₂O₃+TiO₂ removal recoveries were affected positively with belt speed and particle size decrement. The nonmagnetic material was gained as 0.06% Fe₂O₃+TiO₂ and, the removal recovery was achieved as 97.3% with the optimum conditions as 100 rpm of belt speed and -0.250+0.150 mm of particle size. As a result, alkaline feldspar minerals as albite and microcline ratios increased from 44% to 47% and from 34% to %41 respectively, while mica minerals as iron source decreased from 12% to 7%. Meanwhile whiteness value (L) of the ore increased from 54.61 to 84.89 after sintering with mineral beneficiation processes.

Keywords

Nepheline syenite;
Ceramic; Dry magnetic
separation;
Beneficiation

1. Giriş

Feldspatik hammaddeler genellikle sodyum, potasyum ve kalsiyum elementlerinden oluşan alüminyum silikatlar olarak tanımlanmaktadır. Feldspatik hammadde olarak nefelin siyenit ise temelde albit ($NaAlSi_3O_8$), mikroklin ($KAlSi_3O_8$) ve nefelin ($Na_3KAl_4Si_4O_{16}$) minerallerinden oluşan bir kayadır ve yapısında safsızlık olarak mika türü mineraller, korund, hornblend, manyetit, kalsit, jips, florit ve demir oksit mineralleri bulunabilmektedir (Bolger 1995, Deniz ve Kadioğlu 2018).

Nefelin siyenit özellikle seramik ve cam endüstrisinde önemli miktarlarda olmak üzere birçok sektörde geniş kullanım alanı bulmaktadır. Nefelin siyenitin yüksek alkali ve alüminyum içeriği cam ve seramik sektörlerinde ergime işlemini kolaylaştırması ve aynı zamanda bünyeye de mukavemet kazandırması onun avantajlı yönleri olarak gösterilmektedir (Mclemore 2006, Kunduracı vd. 2016). Diğer yandan plastik sektöründe ekonomik ve iyi bir dolgu malzemesi olarak kullanılabilir. İnce öğütülmüş nefelin siyenit ise boyalarda yüksek beyazlık ve boya içerisinde iyi dağılması gibi nedenlerle tercih edilmektedir (Guillet 1994). Ancak nefelin siyenitin yapısında bulunan safsızlıklar ürün kalitesinde olumsuz etkilere yol açabilmektedir. Seramik bünye kompozisyonlarında demir ve titanyum içeren safsızlıklar ürün renginde koyulaşmaya neden olduğundan istenmemektedir (Cuillo, 1996, Burat vd. 2005, Çelik ve Denizhan 2016, Çınar ve Durgut 2019, Yıldız vd. 2019, Deniz ve Kadioğlu, 2019). Nefelin siyenitin özellikle seramik ve cam sanayinde etkin bir şekilde kullanılabilmesi için yapısından gelen demir ve titanyum içeren safsızlıkların TS 11325 standardında belirtilen değerlerin altına (I.sınıf için $Fe_2O_3+TiO_2 < \%0,25$, II.sınıf için $Fe_2O_3+TiO_2 < \%0,5$, I.sınıf için $Fe_2O_3+TiO_2 < \%0,9$) düşürülebilmesi için uzaklaştırılması gerekmektedir. Feldspat cevherlerinde olduğu gibi nefelin siyenit cevherlerinde de renkli minerallerin uzaklaştırılmasında manyetik zenginleştirme ve flotasyon yöntemleri en çok tercih edilen

yöntemlerdir (Karagüzel, vd. 2006, Gülgönül vd. 2008, Çınar ve Durgut 2019).

Doğada hammaddeler genellikle saf olarak bulunmamaktadır. Hammaddelerin ocaktan çıkarıldıktan sonra kullanılacağı alanlara göre bir takım cevher hazırlama ve zenginleştirme işlemlerinden geçirilerek safsızlıklarından arındırılmaları teknolojik bir zorunluluktur. Demirli minerallerin endüstriyel minerallerden uzaklaştırılmasında kullanılan en yaygın yöntemlerden biri manyetik ayırma yöntemidir. Manyetik ayırma yöntemleri ise minerallerin serbestleşme boyutuna göre yaş veya kuru olarak uygulanabilmektedir. İri boyutta serbestleşen minerallerde kuru manyetik ayırma tercih edilirken, ince boyutta serbestleşen cevherlerde tanelerin topaklanmasını engellemek için sulu ortamlarda yaş manyetik ayırma yöntemi tercih edilmektedir. Yaş manyetik ayırmanın, ayırma verimi açısından kuru manyetik ayırmaya göre daha verimli olduğu bilinmesine rağmen, boyut küçültme ve zenginleştirme sonrası kurutma maliyetleri ekonomik anlamda olumsuzluk yaratmaktadır. Diğer yandan minerallerin manyetiklik özelliklerine göre de yüksek veya düşük alan şiddetli ayırıcılar da kullanılabilir. Yüksek alan şiddetli manyetik ayırmada temel olarak manyetik çekim kuvveti, merkezkaç ve yerçekimi kuvvetleri etkin rol oynamaktadır. REMS tipi yüksek alan şiddetli kuru manyetik ayırıcılarda bant hızı, besleme hızı, besleme tane boyutu gibi parametrelere manyetik çekim, merkezkaç ve yerçekimi kuvvetleri etki ederek ayırma verimini değiştirebilmektedir (Wills ve Finch, 2016, Zong vd. 2018). Nefelin siyenit hammaddesinden demirli ve titanlı safsızlıkların uzaklaştırılmasında özellikle yüksek alan şiddetli yaş ve kuru manyetik ayırma yöntemleri kullanılmaktadır (Bayhan ve Girgin, 1993, İbrahim vd. 2002).

Bu çalışmanın amacı, nefelin siyenit cevherinde bulunan demir ve titanyum içeren safsızlıkların yüksek alan şiddetli REMS tipi kuru manyetik ayırıcı kullanılarak uzaklaştırılması ve ayırma veriminde

önemli rol oynayan bant hızı ve besleme tane boyutunun etkisinin araştırılmasıdır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Deneylerde kullanılan Kırşehir bölgesinden elde edilen nefelin siyem nit numunesi ocaktan çıkarıldıktan sonra çeneli ve merdaneli kırıcı ile boyutu -2 mm altına kırıldıktan sonra kuru eleme işlemi ile -2+1, -1+0,425, -0,425+0,250 ve -0,250+0,150 mm boyut gruplarında sınıflandırılmıştır (Çizelge 1). Her bir boyutta yapılan kimyasal analizlerde X-Ray Spektrofotometre (PANALYTICAL Marka AXIOS MAX model) cihazı kullanılırken manyetik zenginleştirme sonrası elde edilen manyetik ve manyetik olmayan ürünlerin birleştirilmesiyle elde edilen malzemelerin mineralojik analizlerinde ise X'PERT PRO MPD Difraktometre (PANALYTICAL Marka) cihazı kullanılmıştır. Çizelge 1'de -2+1, -1+0,425, -0,425+0,250 ve -0,250+0,150 mm boyut gruplarına sınıflandırılan cevherin kimyasal analiz sonuçları görülmektedir.

Çizelge 1. Boyut küçültme ve sınıflandırma sonrası boyut gruplarının miktar ve kimyasal analizi.

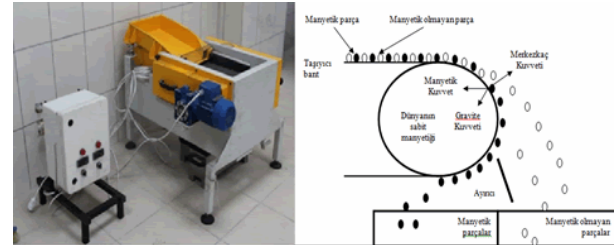
Boyut (mm)	M %	K.K.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	K ₂ O
-2+1	38,7	2,1	61,4	21,4	0,3	1,0	1,4	4,2	7,6
-1+0,425	33,1	3,0	60,4	20,9	0,3	1,3	2,1	3,8	7,4
-0,425+0,250	16,9	3,7	58,0	22,0	0,3	1,8	2,7	3,7	6,8
-0,250+0,150	11,3	4,9	56,2	22,9	0,4	2,1	3,0	3,5	6,1
Besleme	100	2,9	59,9	21,6	0,3	1,3	2,1	3,9	7,3

*K.K.: kızdırma kaybı, M: miktar

2.2. Metot

Kuru manyetik ayırma deneyleri 18000 Gauss manyetik alan şiddetine sahip REMS tipi bantlı yüksek alan şiddetli kuru manyetik ayırıcı ile yapılmıştır. Malzeme manyetik ayırıcının bandına tek tabaka halinde yayılması için titreşimli bir besleyiciyle beslenmiştir. Cevher manyetik tamburun üzerinden geçerken ayırmada etkin olan kuvvetlerin bileşkesi altında hareket etmektedir. Manyetik olan malzeme tambura yapışarak hareket ederken, manyetik olmayan ürün parabolik bir hareket yaparak manyetik alandan çıkmaktadır. Ayırmaya etki eden kuvvetlerin etkisi altında

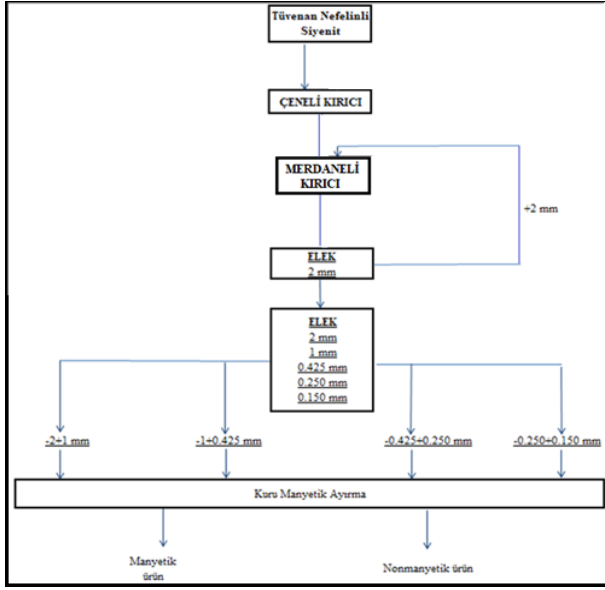
hareket eden tanecikler manyetik ayırıcının bıçağının açısının değiştirilmesi ile farklı bölgelerden alınmaktadır. Deneylerde kullanılan manyetik ayırıcının (Şekil 1) besleme hızı, bant hızı ve bıçak açısı gibi parametreleri değiştirilebilmektedir (Horasan 2010, Arol ve Hiçyılmaz 2014, Wills ve Finch 2016).



Şekil 1. Deneylerde kullanılan yüksek alan şiddetli REMS tipi kuru manyetik ayırıcı ve ayırma prensibinin gösterimi.

Kuru manyetik ayırma yönteminde beslenen malzemenin tane boyutu ayırma işleminin başarısını doğrudan etkilemektedir. Çok ince boyutlu taneler nispeten daha iri boyutlu tanelerin yüzeylerini kaplayarak ayırma işlemini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu sebepten dolayı kuru manyetik ayırma işleminden önce ince tane boyut grubunun uzaklaştırılması gerekmektedir (Gülsoy vd. 2004, Arol ve Hiçyılmaz 2014, Wills ve Finch 2016). Yüksek alan şiddetli REMS tipi manyetik ayırıcıyla yapılan zenginleştirme işlemlerinde manyetik, yerçekimi, sürtünme ve merkezkaç kuvvetleri önemli rol oynamaktadır. Bu kuvvetlerle birlikte manyetik alan şiddeti, tane boyutu ve bant hızı minerallerin ayırma verimine birlikte etki etmektedirler (Özdemir vd. 2016). Bir yandan yüksek manyetik özellik gösteren yakın tane boyutlu parçacıklar manyetik ve yerçekimi kuvvetlerinin etkisiyle tambura yapışarak veya tambura yakın mesafeden terk ederken düşük manyetik özellik gösteren mineraller ise sadece yerçekimi kuvvetinin etkisiyle parabolik hareketle tamburdan uzaklaşmaktadır. Kuru manyetik ayırma deneyleri seramik üretiminde iğne deliği ve renk problemlerine neden olan demir ve titan içeriğini azaltmak amacıyla yapılmıştır. Ocaktan alınan numune kırma işlemi sonrası kuru elemeyle -2+1, -1+0,425, -0,425+0,250 ve -0,250+0,150 mm boyut aralıklarına getirilmiş ve kuru manyetik ayırma

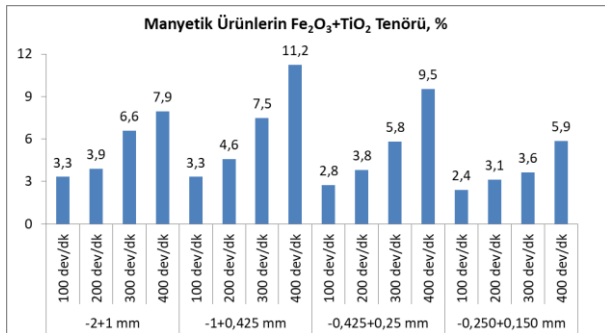
deneyleri yapılmıştır. Şekil 2’de kuru manyetik ayırma deneylerinin akım şeması gösterilmektedir.



Şekil 2. Kuru manyetik ayırma deneyleri akım şeması.

3. Bulgular ve Tartışma

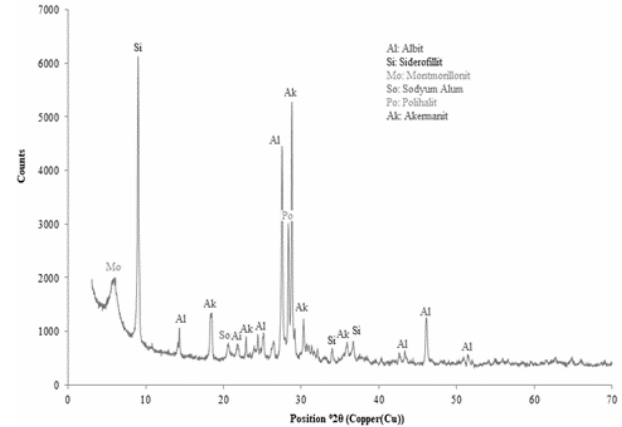
Kuru manyetik ayırma deneylerinde boyut grupları ayrı ayrı beslenerek elde edilen numunelerdeki $Fe_2O_3+TiO_2$ içerikleri kimyasal analizleri yapılarak belirlenmiştir. Şekil 3’te farklı bant hızı ve besleme tane boyut gruplarıyla yapılan kuru manyetik ayırma deneylerinden elde edilen manyetik ürünlerin % $Fe_2O_3+TiO_2$ içerikleri verilmiştir. Görüldüğü üzere bant devir hızı arttıkça manyetik ürüne gelen $Fe_2O_3+TiO_2$ içeriği artmaktadır. -1+0,425 mm besleme boyut grubuyla 400 devir/dk bant hızıyla yapılan deney sonucunda en yüksek $Fe_2O_3+TiO_2$ içeriğine %11,2 olarak ulaşılmıştır.



Şekil 3. Kuru manyetik ayırma deneylerinden elde edilen manyetik ürünlerin $Fe_2O_3+TiO_2$ içerikleri.

Kuru manyetik ayırma deneylerinden manyetik ürünün içerdiği mineralleri tespit etmeye yönelik olarak mineralojik analiz yapılmıştır. Şekil 4’te görüldüğü gibi manyetik ürünün bir biyotit türü olan

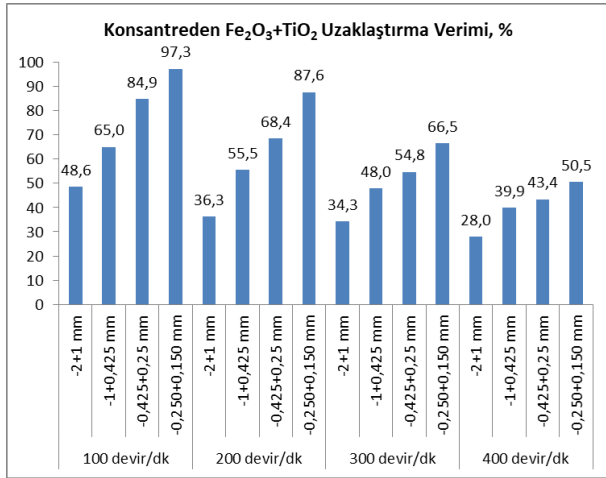
demir içeren siderofillit ($KFe_{22}+Al(Al_2Si_2O_{10})(OH)_2$) minerali olduğu tespit edilmiştir. Manyetik ürünün XRD grafiğinden (Çizelge 2) siderofillit dışında demir kaynağı mineral görülmemekle beraber, manyetik ayırma ile uzaklaştırılan muhtemel diğer demir kaynaklarını amfiboller, demir oksitler (hematit, limonit) oluşturmaktadır. Tüvanan cevherde manyetik zenginleştirme sonrası TiO_2 içeriğinin %0,4’ten %0,2’ye düşmesi cevherin içerdiği mika minerallerinin uzaklaştırılmasından kaynaklanmaktadır. Feldispatik cevherlerde birincil titan kaynağı rutil ve sfendir. Fakat albit cevherlerinin içerdiği muskovit ve biyotit türü mika mineralleri kristal kafeslerinde Ti^{+4} ihtiva etmektedir. Bazı cevherlerde titanyumun önemli miktarı mikalar içinde yer almakta ve bu değer muskovit için %0,8 biyotit için %4 TiO_2 gibi değerlere kadar yükselebilmektedir (Roger, 1994, Bayraktar vd. 1999). Manyetik olmayan üründe TiO_2 içeriğindeki düşüşün istenilen seviyelerde olmaması muhtemelen muskovit kaynaklı ya da miktarı az olduğu için XRD ile belirlenememekle beraber, rutil ve sfen kaynaklı olabilir. Cevherdeki TiO_2 içeriği ancak manyetik ayırma takiben yapılacak flotasyonla zenginleştirme işlemi sonrası miktarsal olarak daha da düşürülebilir.



Şekil 4. Manyetik ürün kalitatif mineralojik analizi.

Şekil 5’te farklı tane boyut ve bant hızları için $Fe_2O_3+TiO_2$ uzaklaştırma verimleri verilmiştir. 400 devir/dk bant hızında -2+1 mm tane boyutu için $Fe_2O_3+TiO_2$ uzaklaştırma verimi %28,0 iken 100 devir/dk bant hızı ve -0,250+0,150 mm besleme boyutu için uzaklaştırma verimi %97,3 olarak bulunmuştur. Açıkça görülmektedir ki tane boyutu ve bant hızı arttıkça $Fe_2O_3+TiO_2$ uzaklaştırma verimi azalmaktadır. Kuru manyetik ayırma deneyleri daha

temiz manyetik olmayan ürün elde etmek için besleme tane boyutunun ince ve bant hızının düşük olması gerektiğini göstermiştir. Bu durum tane boyutundaki azalma ile beraber serbestleşme derecesindeki artıştan kaynaklanmaktadır. REMS tipi bantlı manyetik ayırıcıda düşük manyetik duyarlılığa sahip olan renkli safsızlıkların ayrılmasında bant hızının önemli bir ayırma parametresi olduğu Şekil 5 ve 6'dan açık bir şekilde görülmektedir. Manyetik ayırıcının bant hızı arttığında artan merkezkaç kuvvetinin manyetik ve yerçekimi kuvvetine göre artması nedeniyle, manyetik alandan kurtularak merkezkaç kuvveti yönünde hareket eden düşük manyetik duyarlılığa sahip demirli minerallerin manyetik olmayan ürüne kaçarak Fe₂O₃+TiO₂ ayırma verimini düşürmektedir. Fakat daha temiz manyetik ürün alınmasına neden olmaktadır. Elde edilen manyetik olmayan üründe Fe₂O₃+TiO₂ içeriğinin düşük olması göstermiştir ki, içerik yönünden düşük bant hızlarında ve küçük tane boyutlarında çalışılması bir zorunluluk haline gelmektedir.



Şekil 5. Bant devir hızı ve besleme tane boyut grubunun Fe₂O₃+TiO₂ ayırma verimine olan etkisi.

Manyetik ayırma deneyleri sonrası manyetik olmayan ürünlerin birleştirilmesi sonrası elde edilen ürünün beslenen ürüne göre (tüvanan) Fe₂O₃+TiO₂ içeriğinin %1,2'den %0,6'yadüştüğü buna karşılık alkali (Na₂O+K₂O) içeriğinin ise %12,5'ten %13,0'e çıktığı görülmektedir (Çizelge 2). Tüvanan cevherdeki potasyum kaynaklarından biri olan siderofillit (KFe₂₂+Al(Al₂Si₂O₁₀)(OH)₂) manyetik zenginleştirmeyle önemli miktarda uzaklaştırılmasına rağmen manyetik olmayan üründe alkali içeriği, K₂O içeriğindeki artış (%7,7'den

%8,3'e) nedeniyle artmıştır. Manyetik olmayan ürünlerdeki alkali içeriğindeki artış, cevheri oluşturan albit (44'ten 47'e) ve mikroklin (34'ten 41'e) yüzde miktarlarındaki artışla da açıkça görülmektedir.

Çizelge 3'de tüvanan cevherden ve manyetik zenginleştirme işlemi sonrası her bir boyuttan elde edilen manyetik olmayan ürünlerin birleştirilmesiyle elde edilen konsantrenin (-2+0,150 mm) renk değişimini gözlemlemek için renk analizi yapılarak L, a ve b değerleri belirlenmiştir. L beyazlık değeri tüvanan cevher için 54,61'den zenginleştirme işlemi sonrası elde edilen konsantrede (manyetik olmayan ürün) 84,89 değerine artarken, a kırmızılık değeri ve b sarılık değerinin ise tüvanan cevher ve konsantre için sırasıyla 3,69'dan 5,03'e ve 5,86'dan 9,05 çıktığı görülmektedir. Bilindiği üzere ürünlerin içerdiği demir ve titan gibi metal oksit içeriklerinin artması beyazlık derecesinin azalmasına buna karşılık kırmızılık ve sarılık değerlerinin artmasına neden olmaktadır (Chandrasekhar ve Ramaswamy 2002, Chandrasekhar ve Ramaswamy 2006, Tatar 2012). Manyetik zenginleştirme sonrası elde edilen manyetik olmayan üründe renkli safsızlıkların uzaklaştırılması ile beyazlık derecesi önemli derecede artarken kırmızılık (a) ve (b) sarılık değerlerinin bir miktar artması cevherin kimyasal ve mineralojik yapısından ileri gelmektedir.

Çizelge 2. Tüvanan ve -2+0,150 mm manyetik olmayan ürünün kimyasal ve mineralojik analizi.

	Numune Bilgisi	Tüvanan	Manyetik
		nefelinli siyenit	olmayan ürün
		-2+0,150 mm	
KİMYASAL ANALİZ	K.K.	2,1	0,9
	SiO ₂	61,3	63,2
	Al ₂ O ₃	20,6	21,0
	TiO ₂	0,4	0,2
	Fe ₂ O ₃	0,8	0,4
	CaO	1,6	0,7
	MgO	0,3	0,2
	Na ₂ O	4,8	4,7
	K ₂ O	7,7	8,3
	MİNERALojİK ANALİZ	Albit	44
Mikroklin		34	41
Mika		12	-
Muskovit		-	7
Kuvars		9	4
Diğer		2	1

Nefelinli siyenit cevherinin her bir boyut için manyetik zenginleştirme sonrası elde edilen

manyetik olmayan ürünlerin miktar ve kimyasal içeriği Çizelge 4'te, mineralojik analizi ise Çizelge 2 ve Şekil 6'da görülmektedir. Tüvanan cevherden toplamda %64,4 oranında manyetik olmayan ürün elde edilmektedir (Çizelge 4). Bu ürün kimyasal olarak yaklaşık %0,6 Fe₂O₃+TiO₂ ve %13 oranında alkali içermekte (Na₂O+K₂O) ve bu haliyle TS 11325 standardına göre ikinci kalite bir ürün olarak değerlendirilebilir.

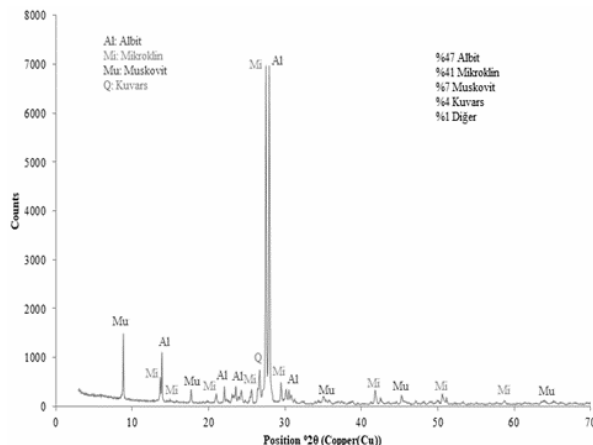
Çizelge 3. Tüvanan cevher ve -2+0,150 mm manyetik olmayan ürünlerin şekillendirilip yer karosu pişme şartlarında sinterlenerek pişirilmesi sonrası renk değerlerindeki değişim.

Numune Bilgisi / Sinterleme Şartları ve Sonuçlar	Renk Değerleri		
	L	a	b
Tüvanan nefelinli siyenit	54,61	3,69	5,86
Manyetik olmayan ürün -2+0,150 mm	84,89	5,03	9,05

Çizelge 4. Manyetik zenginleştirme sonrası her bir boyut için elde edilen manyetik olmayan ürünlerin miktar ve kimyasal içerikleri.

Tane Boyutu (mm)	BGM (%)	K.K.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	K ₂ O
-2+1	34,6	0,8	63,2	21,0	0,2	0,4	0,6	4,7	8,6
-1+0,425	18,6	0,9	63,7	21,0	0,3	0,3	0,7	4,6	8,0
-0,425+0,250	8,7	1,4	62,7	20,9	0,2	0,4	1,2	4,9	7,9
-0,250+0,150	2,5	1,8	62,0	20,4	0,2	0,5	1,6	5,4	7,5
Toplam (-2+0,150)	64,4	0,9	63,2	21,0	0,2	0,4	0,7	4,7	8,3

*K.K.: kızdırma kaybı, BGM: beslemeye göre miktar



Şekil 6. Manyetik zenginleştirme deneyleri sonrası elde edilen konsantrelerin birleştirilmesiyle elde edilen malzemenin XRD Grafiği.

4. Sonuç

Bu çalışmada Kırşehir nefelin siyenit numunesinden demirli ve titanlı safsızlıkların REMS tipi kuru manyetik ayırıcıyla uzaklaştırılmasında bant hızı ve besleme tane boyutunun tenör ve verim üzerine etkileri araştırılmıştır. Öncelikle nefelin siyenit içerisinde bulunan ve ürün kalitesine olumsuz etkileri olan manyetik mineraller yüksek alan şiddetli REMS tipi kuru manyetik ayırıcıyla uzaklaştırılmaya çalışılmış ve içerisindeki Fe₂O₃+TiO₂ içeriği -0,250+0,150 mm boyut grubunda 100 devir/dk bant hızıyla %2,50'den %0,06'ya %97,3 uzaklaştırma verimiyle düşürülmüştür. Bu durum merkezkaç kuvvetinin aynı manyetik alan şiddeti ve tane boyut dağılımı için bant hızı artışından diğer kuvvetlere göre daha fazla etkilendiğini göstermektedir. Düşük manyetik özellik gösteren taneler manyetik alandan kurtularak merkezkaç kuvveti etkisinde hareket edecektir. Böylece manyetik olmayan ürünlerdeki demir ve titan içeriği artacaktır. Dolayısıyla düşük manyetik özellik gösteren tanelerin manyetik ürüne gitmesi için bant hızına bağlı besleme miktarı düşük tutulmalıdır. Bu çalışmayla REMS tipi bantlı kuru manyetik zenginleştirmede bant hızı ve besleme tane boyut artışının Fe₂O₃+TiO₂ uzaklaştırma verimini olumsuz etkilediği görülmüştür. Manyetik zenginleştirme sonucu elde edilen manyetik olmayan ürünlerin birleştirilmesiyle elde edilen ürünün TS 11325 standardına göre ikinci sınıf bir ürün olduğu görülmektedir.

5. Kaynaklar

Arol, A.İ., ve Hiçyılmaz, C., 2014, Manyetik ayırma, Cevher Hazırlama El Kitabı. Editörler; Önal, G., Ateşok, G., Perek, K.T., Yurt Madencilik Geliştirme Vakfı, İstanbul.

Bayhan H., Girgin İ., 1993. Bayındır - Akpınar (Kaman) nefelin siyenitlerinin zenginleştirilmesi. *Madencilik*, **32(2)**, 19-26.

- Bayraktar, İ., Ersayın, S., Gülsoy, Ö.Y., Ekmekçi, Z. Can, N.M., 1999. Temel seramik ve cam hammaddelerimizdeki (feldspat, kuvars ve kaolin) kalite sorunları ve çözüm önerileri. 3. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu Bildiriler Kitabı, İzmir, 22- 33.
- Bolger, R., 1995. Feldspar and nepheline syenite, *Industrial Minerals*, **332**, 25-45.
- Burat, F., Kangal, O., Önal, G., 2005. An alternative mineral in the glass and ceramic industry: nepheline syenite. *Minerals Engineering*, **19**, 370-371.
- Chandrasekhar, S. and Ramaswamy, S., 2002. Influence of mineral impurities on the properties of kaolin and its thermally treated products. *Applied Clay Science*, **21**, 133-142.
- Chandrasekhar, S. and Ramaswamy, S., 2006. Iron minerals and their influence on the optical properties of two Indian kaolins. *Applied Clay Science*, **33**, 269-277.
- Ciullo, P.A. 1996. *Industrial Minerals and Their Uses: A Handbook and Formulary*, Noyes Publications, NJ, USA.
- Çelik, M.Y. ve Denizhan, T., 2016, Kınık-Dinar (Afyonkarahisar) traktitlerinin K-feldspat potansiyelinin incelenmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **16**, 747-758.
- Çınar, M. and Durgut, E., 2019. Mineral beneficiation of nepheline syenite with combination of dry magnetic separation and flotation methods. *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, **55(5)**, 1227-1238.
- Deniz, K., Kadioğlu, Y.K., 2018. Nefelin siyenitlerin seramik sanayinde kullanılma potansiyeli: Buzlukdağ örneği, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **24(6)**, 1209-1219.
- Deniz, K. ve Kadioğlu, Y.K., 2019. Investigation of feldspar raw material potential of alkali feldspar granites and alkali feldspar syenites within Central Anatolia. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, **158**, 265-289.
- Guillet, R.G., 1994. Nepheline syenite beneficiation for different industrial applications. *Industrial Minerals and Rocks*, 6th Edition, (Senior Editor Carr D.D.), Society of Mining, Metallurgy & Exploration. Inc.
- Gülgönül, I., Karagüzel, C., Çelik, M.S., 2008. Surface vs. bulk analyses of various feldspars and their significance to flotation. *International Journal Mineral Processing*, **86**, 68–74.
- Gülsoy, Ö.Y., Orhan, E.C., Can, N.M., 2004. Feldspar production from Bursa-Orhaneli syenites. *Madencilik*, **43(4)**, 17-28.
- Horasan, Ü., 2010. Düşük sıcaklık koklaştırması ve manyetik zenginleştirme ile linyitlerden kül ve kükürdün uzaklaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya, 110.
- Ibrahim, S.S., Mohamed, H.A., Boulos, T.R., 2002. Dry magnetic separation of nepheline syenite ores. *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, **36**, 173-183.
- Karaguzel, C., Gulgonul, I., Demir, C., Cinar, M., Celik, M. S., 2006. Concentration of K-feldspar from a pegmatitic feldspar ore by flotation. *International Journal Mineral Processing*, **81**, 122-132.
- Kunduraci, N., Aydin, T., Akbay, A., 2016. The effect of nepheline syenite addition on the sintering behaviour of sanitaryware bodies. *Journal of the Australian Ceramic Society*, **52(2)**, 82-86.
- McLemore, V.T., 2006. Nepheline Syenite, (editor: J.E. Kogel, N.C. Trivedi, J.M. Barker, S.T. Krukowski), *Industrial Minerals & Rocks* (7th Edition), Published by Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., Colorado, 653-670.
- Özdemir, O., Gupta, V., Çınar, M., Çelik, M., Miller, J., 2011. Production Of trona concentrates using high-intensity dry magnetic separation followed by flotation. *Minerals & Metallurgical Processing*, **28**, 55-61.
- Roger, A.K., ve Van Dyk D. 1994. Feldspar, *Industrial Minerals and Rocks* (sixth edition). Editor Donald D. Carr, 473-481.
- Tatar, İ., 2012. Alunitli kaolinlerden değişik zenginleştirme yöntemleriyle elde edilen ürünlerin

kullanım alanlarının belirlenmesi. Doktora Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya, 201.

TS11325, Türk Standartları, 1994, Feldspat Seramik Sanayinde Kullanılan, TSE, Ankara.

Wills, B.A., Finch, J.A., 2016. Mineral Processing Technology: An Introduction to the Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral Recovery (eighth edition), Elsevier Science & Technology Books, Oxford, pp. 381–397.

Yıldız, A., Ersoy, B., Başar, H., Başaran, C., Bağcı, M., 2019. Buldan (Denizli) İlçesi Feldispatlarının Seramik Sektöründe Kullanımına Yönelik Mineralojik-Petrografik ve Jeokimyasal Özelliklerinin Belirlenmesi. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, **8**, 47-53.

Zong, Q.X., Fu, L.Z., Bo, L., 2018. Variables and applications on dry magnetic separator, E3S Web of Conferences 53, 02019, 1-9.

Araştırma Makalesi / Research Article

Taşıtlarda Farklı Frenleme Basınçlarında Yakıt Tüketimi ve Fren Kuvvetlerinin KarşılaştırılmasıHüseyin BAYRAKÇEKEN*¹, Hicri YAVUZ², Faruk Emre AYSAL¹, Tuğçe TÜRK BAY¹¹Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar.²Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon Meslek Yüksekokulu, Raylı Sistemler Yol Teknolojisi Bölümü, Afyonkarahisar.

*Sorumlu yazar e-posta: bceken@aku.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1572-4859>
hicriyavuz@aku.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8427-5164>
faysal@aku.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9514-1425>
tturkbay@aku.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7263-9741>

Geliş Tarihi: 17.01.2020

Kabul Tarihi: 15.04.2020

Öz**Anahtar kelimeler**

Fren kuvveti; Fren Basıncı; Fren Süspansiyon Test Cihazı; Yakıt tüketimi

Taşıtlarda frenleme yokuş aşağı iniş gibi durumlarda sürekli fren şeklinde olabileceği gibi trafik seyrine bağlı olarak farklı süreli bas çek şeklinde de olabilmektedir. Bazı sürücüler trafik ışığı gibi bir engele yaklaşırken gaz pedalına basmayı sürdürmekte sonrasında ise sertçe frenleme yapmaktadır. Bütün bu durumlar yakıt tasarrufunu olumsuz etkilemektedir. Bu çalışmada, fren test cihazında 3000 d/d 4. vitesteki bir araçta 4, 5, 6 ve 7 bar fren sistemi basınçlarında 120 saniye sürecek şekilde her 20 saniyede bir fren pedalına kuvvet uygulanmıştır. Deney esnasında fren kuvvetleri ve yakıt tüketimleri kaydedilerek karşılaştırma yapılmıştır. Fren basıncı değerleri artışına bağlı olarak tekerleklerde elde edilen fren kuvveti değerleri de artış göstermiştir. Yakıt tüketimi değerleri ise benzer şekilde frenleme kuvvetlerinin artmasına bağlı olarak artış göstermiştir. Deney sırasında motorun devri 3000 d/d'da sabit tutulmuştur. Frenleme ile birlikte motorun sabit devirde kalma durumuna bağlı olarak da yakıt tüketiminde artışlar meydana gelmiştir.

Comparison of Fuel Consumption and Braking Force at Different Braking Pressures in Vehicles**Abstract**

Keywords
Brake Force; Brake Pressure; Brake Suspension Test Device; Fuel Consumption

Braking in vehicles can be in the form of continuous braking in cases such as downhill descent, or in the form of push-pulls of different duration depending on the traffic course. Some drivers continue to depress the accelerator pedal when approaching an obstacle, such as a traffic light, and then braking firmly. All these situations adversely affect fuel economy. In this study, the brake tester was applied to the brake pedal every 20 seconds, lasting 120 seconds at 4, 5, 6 and 7 bar braking system pressures in a vehicle with 3000 rpm 4th gear. During the experiment, braking forces and fuel consumption were recorded and compared. The braking force values of the wheels increased due to the increase in brake pressure values. Fuel consumption values also increased due to the increase in braking forces. During the experiment, the engine speed was kept constant at 3000 rpm. With braking, there has also been an increase in fuel consumption due to constant engine speed.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

Frenleme performansını etkileyen parametreler fren sisteminin işlevsel durumunu ortaya koymaktadır. Bu parametreler fren sistemi elemanları, tekerlek ve yol şartları olarak değerlendirilebilir. Belirtilen parametrelerin fren

kuvvetine etkileri deneysel ya da matematik yollarla belirlenebilir (Bayrakçeken ve Altıparmak 2007).

Değişik yol durumlarında frenlemeye duyulan ihtiyaç değişmekte olup, frenlemenin az olması konforlu sürüş durumlarının artmasına aynı zaman

da daha düşük bir yakıt tüketimine neden olabilmektedir (Coloma vd. 2018).

Genel olarak uygun bir sürüş tarzı agresif sürüşteki çok sık fren kullanımına kıyasla araç için yakıt tasarrufu sağlamak ve güvenliği artırmaktadır. Bu şekildeki sürüş genellikle sürücüler, trafik akışına, sinyallere ve yol durumuna bağlı olarak gaz ve fren pedallarının kullanımını en aza indirmeye teşvik etmektedir. Böyle olan araç kullanımı, vitesin daha verimli bir şekilde değiştirilmesine ve gereksiz hızlanma, gereksiz frenleme, aşırı hız ve rölantiden kaçınmaya yardımcı olabilmektedir. Hızlanma ve frenleme durumları yakıt tüketimi ve emisyonlar üzerindeki etkisini araştırmak için değişik çalışmalar yapılmıştır (Huang vd. 2018).

Araç kullanımında motor devri, araç hızı, lastik basınçları vb. değişkenlere dikkat etmek ve daha az fren kullanmak yakıt tüketimini azaltmada uygun bir davranış olmaktadır (Ho vd. 2015). Taşıt hızı yükseldikçe frenleme süresi de artmaktadır. Bu durum frenleme esnasında yutulmuş enerjinin fazlaşmasına dolayısı ile yakıt tüketiminin de artmasına neden olabilmektedir. Sürücünün kullanım durumlarına göre uygun zamanlarda frenleme yapması ve sürüş tekniklerini geliştirmesi durumunda yakıt tüketimi %5 ila %30 arasında azaltılabilmektedir (Han vd. 2019).

Lois vd. (2019) tarafından yapılan çalışmada yakıt tüketimi sürüş stiline ve farklı yollardaki yol ve trafik sıkışıklığına bağlı olduğu belirtilerek yakıt tüketimi etkilerini belirlemek üzere bu çalışmada dört farklı faktör analizi yapılmıştır. İlk faktör, yüksek hız ve daha düşük yakıt tüketimi ile tanımlanan "serbest akışlı sürüş" koşullarıyla ilgilidir. İkinci faktör "verimsiz sürüş davranışı" esas olarak daha fazla frenleme durumunu içeren değişken bir durum olan frenleme ve yüksek motor devri ile tanımlanmıştır. Diğer iki faktör dış değişkenleri sürücünün kontrolü dışında sınıflandırır. Üçüncü faktör yolun tıkanıklık koşullarına karşılık gelirken, dördüncü faktör engebeli yol bölümleri ve sonucunda meydana gelen yüksek yakıt tüketimi ile yakından ilişkilendirilmiştir. Yakıt tüketimi ile ilişkili faktörlerin modellenmesinin yakıt tasarrufunun da önemli yönlerinin anlaşılmasına

katkıda bulunduğunu gösterilmiştir. Sürüş modelleri açısından tanımlanan frenleme durumu gibi anahtar faktörler yakıt tüketimini azaltmada olumlu sonuçlar sağlamaktadır.

Toledo ve Shiftan (2016) tarafından yapılan çalışmada araç kullanımında sürücülere geri bildirim sağlanması ile birlikte frenleme ile ilgili oluşumların azaldığı gözlemlenmiştir. Buna bağlı olarak, gelişmiş sürüş davranışının yakıt tüketimini %3-10 oranında azalttığı ve daha büyük araçlar için ise daha fazla yakıt tasarrufunun sağlanabileceği belirtilmiştir.

Yakıt tüketimini azaltmayı sağlamak için orta derecede hızlanma (manuel şanzımanlı araçlar için 2000 ve 2500 devir arasında vites değiştirme), trafik akışını ve trafik sinyallerini tahmin ederek ani hızlanma ve frenleme durumlarından kaçınma, hız sınırında veya güvenli bir şekilde sürüş yaparken, uygun bir sürüş hızının korunması (uygun olan yerlerde otoyolda hız sabitleyici kullanarak) ve aşırı rölantiyi ortadan kaldırmak gerekmektedir (Barkenbus 2010).

Shanker (2018) tarafından yapılan çalışmada, yakıt tüketimini azaltmak için taşıt ağırlığının azaltılması üzerinde durulmuştur. Sonuç olarak, ortaya çıkan performans değerleri ve değişimleri belirlenmeye çalışılmıştır. Otomotiv sektöründeki çalışmalarda kullanılan farklı fren yöntemleri ve prosedürleri incelenmiştir. Özellikle disk frenlerin imalatında kullanılan fren sistemleri, malzeme özellikleri ve farklı malzeme türlerinin avantaj ve dezavantajları incelenmiştir. Önceki yapılan çalışmalarda kullanılan malzemelerden dökme demir, metal matrisli kompozitler gibi farklı ve geleneksel malzemelerin kullanımı araştırılmıştır. Metal matrisli kompozit endüstrisinin bu alanda kullanımının son yıllarda ciddi bir artış göstermektedir. Bu malzeme türünün avantajı olarak mukavemet ve sertlik değerleri ile ağırlığı azaltmada etkin olduğu belirtilmiştir. Yapılan analizlerden otomotiv sektörü tarafından hala metal matrisli kompozit malzemelerin tercih edildiği belirtilmiştir.

Bayrakçeken vd. (2016) tarafından laboratuvar ortamında yol şartlarının benzetiminin yapıldığı fren

sistemi ile süspansiyon sistemi testlerinin yapılabilmesini sağlayacak bir taşıt fren test cihazı geliştirilerek imal edilmiştir. Özellikle bu konuda fren sistemi veya süspansiyon sistemi test edilmek istenildiğinde yol testlerinin maliyetlerinin yüksek olabileceği ve deney sonuçlarında bir sapma olabileceği belirtilmiştir. Geliştirilen test cihazı ile istenilen yol şartlarında laboratuvar ortamında standart testlerin daha hassas bir şekilde yapılması amaçlanmıştır. Çalışmada bu deney setinden faydalanılmıştır (Şekil. 1).

Yapılan çalışmada 20 saniye aralıklarla farklı fren sistemi basınçlarında frene pedalına fren kuvvetinin uygulanması ve sonuçta frenleme ile birlikte artan tekerlek fren kuvveti değerleri ve her 120 saniyelik periyotta tüketilen yakıt miktarları için karşılaştırma yapılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada 4. vites durumunda 3000 d/d'da 120 saniyelik periyotlarda 20 saniyede bir fren hidrolik basıncının 4-5-6 ve 7 bar olduğu aralıklarda frenleme yapılmıştır. Balata sıcaklığının kararlı olabilmesi için deney süresi 120 saniye olarak belirlenmiştir. 20 saniyede bir frenleme yapılması ile birlikte daha dengeli tekerlek fren kuvveti değerleri elde edilmiştir.

Deneysel çalışmalar için Afyon Kocatepe Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği laboratuvarında bulunan fren test cihazı kullanılmıştır. Frenleme sırasında normal yol şartlarında frenleme olayı durağan ve sağlıklı şekilde ölçülebilir değildir. Deney düzeneği ile yakıt tüketimi ölçümünün daha sağlıklı olması, yolda karşılaşılabilecek olumsuzlukların meydana gelmemesi, dış hava sıcaklık değerleri ve motor sıcaklığının stabil olması, rüzgâr vb. etkilerin olmaması sağlanmıştır. Dengeli bir frenleme yapılarak frenleme esnasındaki fren kuvveti ve yakıt tüketimleri değerlendirilmiştir.

Fren test cihazı Fiat marka 1400 cc benzinli bir motor ve bu araca ait hidrolik fren sistemine sahiptir (Şekil 1). Fren test cihazı değişik yol şartlarına, süspansiyon sistemini benzetim yapabilecek şekildedir. Lastik

tekerlekler metal bir tambur ile sürekli temas halindedir. Tekerlek basınçları 34 PSI olarak ayarlanmış olup, tekerlekler düz yol şartlarındaki gerekli süspansiyon yüksekliğine ayarlanmışlardır. Fren sistemi basınç değerleri, fren kuvveti değerleri, tekerlek tambur devri ve balata sıcaklığı değerleri 0,1 saniye aralıklarla anlık olarak cihaz tarafından kaydedilmektedir. Fren test cihazı yakıt hattında kullanılan yakıt deposu ağırlığı her deney periyodunda gözlemlenebilecek bir elektronik terazi üzerindedir.

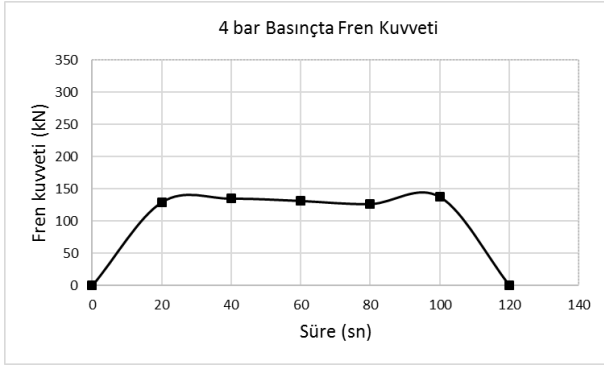
Merkez silindirinden sonraki hatta fren sistemi basınç değeri ölçülmüş ve deney için kullanılan basınç değerleri için fren pedalı sabit tutulmuştur. Deney sonunda bilgisayar tarafından otomatik kayıt alınan değerler dışında her 120 saniye periyottaki yakıt tüketimi değerleri de kayıt altına alınmıştır. Deney sonuçlarından her 20-40-60-80-100 saniyelik periyotlarda 3 saniye içerisinde elde edilen maksimum fren kuvvetlerinin ortalaması alınmıştır. 120 saniye sonunda aracın tamamen durması ve yakıt deposu geri dönüş hattının boşalması için 5 saniye kadar beklenerek yakıt tüketimi değerleri kayıt altına alınmıştır.



Şekil 1. Fren test cihazı düzeneği (Bayrakçeken vd. 2019)

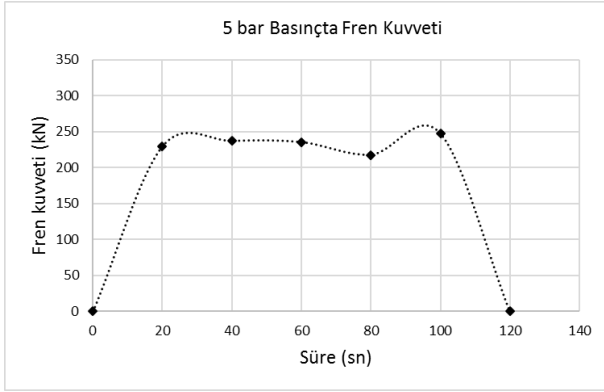
3. Bulgular

Şekil 2.' de 4 bar basınçtaki frenleme ölçüm değerleri gösterilmiştir. 4 bar için yapılan deneyde maksimum fren kuvveti değeri 100. saniyede elde edilmiştir. 4 bar basınçta ortalama fren kuvveti 131, 81 kN olmuştur.



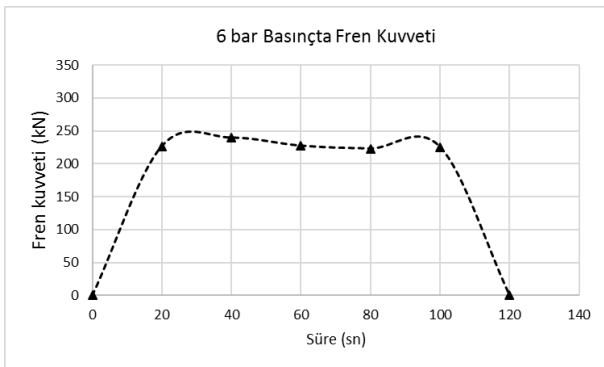
Şekil 2. 4 bar basınçta fren kuvveti değerleri

Şekil 3.' de 5 bar basınçtaki frenleme ölçüm değerleri gösterilmiştir. 5 bar için yapılan deneyde maksimum fren kuvveti değeri 100. saniyede elde edilmiş olup, 247,33 kN' dur. Ortalama fren kuvveti ise 233,42 kN' dur.



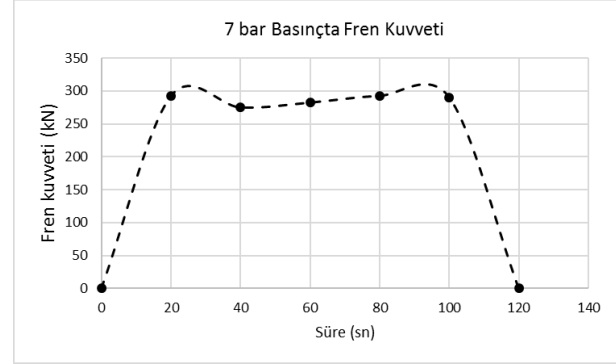
Şekil 3. 5 bar basınçta fren kuvveti değerleri

Şekil 4.' de 6 bar basınçtaki frenleme ölçüm değerleri gösterilmiştir. 6 bar için yapılan deneyde maksimum fren kuvveti değeri 40. saniyede elde edilmiş olup, 239,36 kN' dur. Ortalama fren kuvveti ise 228,25 kN elde edilmiştir.



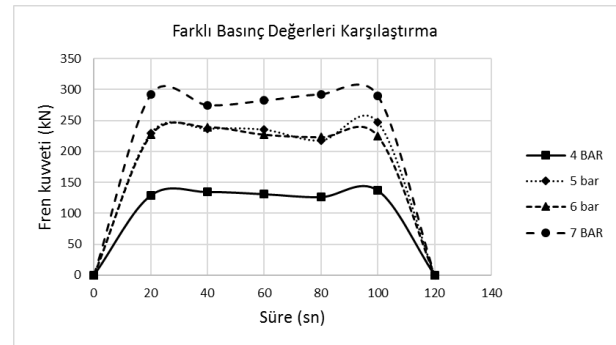
Şekil 4. 6 bar basınçta fren kuvveti değerleri

Şekil 5.' de 7 bar basınçtaki frenleme ölçüm değerleri gösterilmiştir. 7 bar için yapılan deneyde maksimum fren kuvveti değeri 80. saniyede elde edilmiş olup, 292,5 kN' dur. Ortalama fren kuvveti değeri ise 286,35 kN elde edilmiştir.



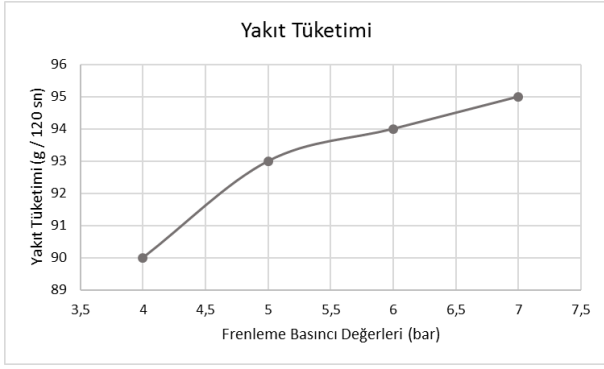
Şekil 5. 7 bar basınçta fren kuvveti değerleri

Şekil 6.' da farklı basınç değerlerindeki fren kuvveti değerleri gösterilmiştir. 4-5-6-7 bar fren kuvvetleri için bir karşılaştırma yapılacak olursa 4 bar fren basıncında tüm saniye aralıklarında minimum fren kuvvetleri elde edilmiştir. 5 ve 6 barlık frenleme esnasında fren kuvvetleri her aralıkta neredeyse benzer olacak şekilde fren kuvveti değeri elde edilmiştir. 7 barlık frenleme basıncında ise her ölçüm aralığı için maksimum fren kuvveti değerleri elde edilmiştir.



Şekil 6. Farklı basınç değerlerinde fren kuvveti değerleri karşılaştırması

Şekil 7.' de farklı basınç değerlerindeki yakıt tüketim değerleri gösterilmiştir. 120 saniyelik periyotta maksimum yakıt tüketimi değerleri 7 bar basınçta elde edilmiştir.



Şekil 7. Farklı basınç değerlerinde yakıt tüketimi değerleri karşılaştırması

4. Tartışma ve Sonuç

Maksimum fren kuvveti değerleri 4 ve 5 bar basınç değerlerinde 100. Saniyede, 6 bar basınç değerinde 40. Saniyede, 7 bar basınç değerinde 80. saniyede elde edilmiştir. Genel olarak karşılaştırma yapıldığında fren basınç değerleri yükseldikçe fren kuvvetleri değerlerinde de artış söz konusu olmuştur.

Taşıt hareket halinde iken fren pedalındaki kuvvetin; fren sistemi hattındaki basıncın yüksek olmasından dolayı tekerleklerdeki fren kuvveti değerleri de yüksek çıkmaktadır. Fren hidroliği hattındaki basıncın sabit tutulması ile fren kuvveti de yaklaşık olarak sabit kalmıştır.

Yakıt tüketimi için değerlendirme yapıldığında; 7 bar basınç durumundaki yakıt tüketiminin en yüksek olduğu görülmektedir. Fren kuvveti arttıkça (panik fren vb) fren sistemi tarafından yutulan enerji de artmaktadır.

Fren pedalına belirli aralıklarla basılıp bırakıldığında motor devri azalma-artma olarak değişim göstermektedir. Frenlemeden etkilenerek motor devrinin azalması sonrasında fren pedalının bırakılmasıyla motor devrinin artması yakıt tüketimini de etkilemektedir.

Motor 3000 d/d sabitlendiği için fren basıncının artması ile devir düşümü daha hızlı olmaktadır. Motor 3000 d/d gelmek için daha fazla yakıt göndermekte ve yakıt tüketimi artmaktadır. Ölçüm yapılan en düşük 4 bar ile en yüksek 7 bar basınç

değerlerindeki frenleme yakıt tüketimi açısından kıyaslandığında her fren basma süresinin yaklaşık eşit olmasına rağmen yakıt tüketimi 7 bar basınç değerinde % 5,5 artmıştır.

Frenleme ile fren kuvvetinin artması ve motor devrinin aynı değerde kalmaya çalışması nedeniyle yakıt tüketimi artmıştır. Literatürde yapılan çalışmalarda (Dhir 2018, Dobre 2019) fren pedal kuvveti dolayısı ile fren sistemi hidrolik basıncının artması ile tekerleklerden daha fazla fren kuvveti elde edildiği ve yakıt tüketiminin arttığı belirtilmiştir.

5. Kaynaklar

- Barkenbus, N.J., 2010. Eco-driving: an overlooked climate change initiative. *Energy policy*, 38, 762-769.
- Bayrakçeken, H. and Altıparmak, D., 2007. Fren test cihazı tasarımı ve frenleme kuvveti ölçüm ve modellemesi. *J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ.* Vol 22, No 1, 21-26.
- Bayrakçeken, H., Aysal, F.E. and Mutlu, İ., 2016. Fren süspansiyon test cihazı tasarımı ve imalatı. *AKU J. Sci. Eng.*, 16, 025903. 454-460.
- Bayrakçeken, H., Girgin, Z., Aysal, F.E. and Babagiray, M., 2019. Nonlinear İteratif Regresyon Analizi Kullanılarak Düşük Lastik Şişirme Basıncının Yunuslama Kuvvetine Etkisinin İncelenmesi. *AKU J. Sci. Eng.*, 19, 027101. 490-495.
- Coloma, F. J., Garcia, M. and Wang, Y., 2018. Eco-driving effects depending on the travelled road. Correlation between fuel consumption parameters. *Transportation research procedia*, 33, 259-266.
- Dhir, K.D., 2018. Thermo-mechanical performance of automotive discs brakes. *Materials Today: Proceedings*, 5, 1864-1871.
- Dobre, A., 2019. Theoretical study regarding the fuel consumption performance for a vehicle equipped with a mechanical transmission. *Procedia manufacturing*, 32, 537-544.
- Han, J., Vahidi, A. and Sciarretta., 2019. Fundamentals of energy efficient driving for combustion engine and electric vehicles: an optimal control perspective. *Automotica*, 103, 558-572.
- Ho, S-H., Wong Y-D. and Chang V.W-C., 2015. What can eco-driving do for sustainable road transport? Perspectives from a city (Singapore) eco-driving programme. *Sustainable cities and society*, 14, 82-88.

- Huang, Y., Ng, E.C.Y., Zhou, J.L., Surawski, N.C., Chan, E.F.C. and Hong, G., 2018. Eco-driving technology for sustainable road transport: a review. *Renewable and sustainable energy reviews*, **93**, 596-609.
- Lois, D., Wang, Y., Alessandra, B. M. and Monzon, A., 2019. Multivariate analysis of fuel consumption related to eco-driving: interaction of driving patterns and external factors. *Transportation research part*, **72**, 232-242.
- Shanker, P. S., 2018. A review on properties of conventional and metal matrix composite materials in manufacturing of disc brake. *Materials Today: Proceedings*, **5**, 5864–5869.
- Toledo, G. and Shiftan, Y., 2016. Can feedback from in-vehicle data recorders improve driver behavior and reduce fuel consumption? *Transportation research part A*, **94**, 194-204.

AKÜ FEMÜBİD 20 (2020) 027201 (362-373)

AKU J. Sci.Eng.20 (2020) 027201 (362-373)

DOI: 10.35414/akufemubid.605394

Araştırma Makalesi / Research Article

VVER-1200 Tipi Nükleer Reaktörün Kullanılmış Yakıtları İçin Depolama Tesisi Modeli Geliştirilmesi ve Maliyet Analizi

Banu BULUT ACAR¹¹ Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Nükleer Enerji Mühendisliği, 06800 Beytepe, Ankarae-posta: banubulutacar@hacettepe.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7498-5151>

Geliş Tarihi: 15.08.2019

Kabul Tarihi: 13.04.2020

Öz

Nükleer güç santrallerinin kullanılmış yakıtlarının yönetiminde izlenebilecek iki yöntem mevcuttur. Kullanılmış yakıt yeniden işlenebilir veya jeolojik yapılarda bertaraf edilebilir. Ancak, günümüzde jeolojik bertaraf henüz gerçekleştirilemediği için kullanılmış yakıtlar uzun süreli depolanmaktadır. Bu çalışmada, dört adet VVER-1200 tipi reaktör ünitesi içeren bir nükleer güç santralının işletilmesi sırasında oluşacak kullanılmış yakıtlar için depolama tesisi modeli geliştirilmiş ve iki farklı depolama senaryosunun uygulanması durumunda tesisin yaşam döngüsü maliyeti analiz edilmiştir. Çalışmanın ilk bölümünde, işletme ömrü boyunca santralden çıkarılacak kullanılmış yakıt miktarı belirlenmiştir. Daha sonra, hesaplanan kullanılmış yakıt envanterinin depolanması için bir depolama tesisi modeli geliştirilmiş ve depolama varilinin tipi, malzemesi, depolama alanı büyüklüğü gibi tesisin temel özellikleri belirlenmiştir. Son olarak, iki farklı depolama senaryosunun uygulanması durumunda "net şimdiki değer" ve "seviyelendirilmiş birim maliyet" yöntemleri kullanılarak tesis için yaşam döngüsü maliyet analizi yapılmıştır.

Anahtar kelimeler

VVER-1200; Kullanılmış yakıt; Kuru depolama; Net şimdiki değer; Seviyelendirilmiş birim maliyet

Development of Storage Facility Model for Spent Fuels of VVER-1200 Nuclear Reactor and Cost Analysis

Abstract

There are two methods to be applied in the management of spent fuels of nuclear power plants. Spent fuel can be reprocessed or disposed of in geological formations. However, since the geological disposal has not been realized yet, spent fuels are stored for a long time. In this study, a storage facility model has been developed for spent fuels of a nuclear power plant containing four VVER-1200 units and life cycle cost analysis of the facility has been performed for two storage scenarios. In the first part of the study, the amount of spent fuel to be discharged from the plant during its operational life is determined. Then, a storage facility model is developed for the storage of estimated spent fuel inventory and basic characteristics of the facility such as storage cask type, material, storage area is determined. Finally, life cycle cost analysis of the facility is performed for two storage scenarios by using "net present value" and "levelised unit cost" methods.

Keywords

VVER-1200; Spent fuel; Dry storage; Net present value; Levelised unit cost

1. Giriş

1000 MWe gücünde tipik bir PWR basınçlı su reaktöründen çıkarılan kullanılmış yakıt yaklaşık olarak kütlece % 95,5 uranyum, %1 plütonyum, % 3,5 fisyon ürünleri ile minör aktinitler içermektedir. Bu nedenle, radyoaktivitesi yüksektir ve önemli miktarda ısı üretir. Reaktörden alınan kullanılmış yakıt, uygulanacak diğer işlemler öncesinde, reaktörün yanı başında yer alan su dolu havuzlarda geçici olarak depolanarak zırhlanır ve soğutulur. Geçici depolama sonrasında, kullanılmış yakıt nihai olarak tasfiye edilene kadar uzun süre depolanır veya içerdiği değerli uranyum ve plütonyum izotoplarını geri kazanmak amacıyla yeniden işlenir.

“Kuru depolama” ve “kullanılmış yakıt havuzlarında bekletme” uzun süre depolamada uygulanan iki ana yöntemdir. Ancak, günümüzde işletmede olan birçok nükleer santralin havuz kapasitesi dolduğu için kullanılmış yakıtların kuru depolama tesislerinde depolanması yöntemi öne çıkmıştır. Ayrıca, Fukushima’da yaşanan nükleer kaza sırasında kullanılmış yakıt havuzunun soğutma işlevini kaybetmesi ve kazanın boyutunun artması üzerine, kullanılmış yakıtların havuzlarda daha az miktarlarda ve daha kısa süreler bekletilmesi yaklaşımı kabul görmüş, kuru depolama yöntemine yönelinmiştir.

Kuru depolama, kullanılmış yakıtların çelik silindirik kaplar içine yerleştirildikten sonra ilave radyasyon zırhlama katmanları kullanılarak depolanması prensibine dayanmaktadır. Kuru depolama tesisi tasarımları, depolamanın yatay ya da dikey olarak yapılmasına ve kullanılmış yakıt yüklü kapları zırhlamak için kullanılan malzemeye bağlı olarak farklılık gösterir. Tesis tasarımını etkileyen en önemli etken kullanılmış yakıtın miktarı ve içeriğidir. Kullanılmış yakıt demetinin geometrisi, radyoizotop içeriği ve bozunum ısısı depolamada kullanılacak varillerin tasarımında belirleyicidir. Depolama senaryosu (kullanılmış yakıtın reaktörden alındığı zaman ve havuzda bekletilme süresi) da tesisin kapasitesini etkilemektedir ve tasarım sırasında dikkate alınmalıdır. Ayrıca, kuru depolama yönteminin, tesisin tasarlanması, kurulumu, işletilmesi ile işletmeden çıkarılması aşamalarını içeren ve 50-60 yıl süren bir uygulama olması,

depolama tesisi modeli geliştirilirken ekonomik etkenlerin de dikkate alınmasını gerektirmektedir. Bu nedenle, belli bir kullanılmış yakıt envanteri için kuru depolama modeli geliştirilirken, ihtiyaç duyulacak depolama kapasitesinin hesaplanmasının, tesisin bileşenlerinin belirlenmesinin ve maliyet analizinin birlikte gerçekleştirilmesi gerekir.

VVER-1200 Nesil-III+ nükleer reaktörler arasında yer alan bir basınçlı su reaktörüdür. Günümüzde kurulumu devam eden ve yakın zamanda işletmeye alınmış olan VVER-1200 tipi nükleer santraller mevcuttur (Int Kyn. 1). Bu çalışmada, dört adet VVER-1200 ünitesi içeren toplam 4800 MWe kurulu güce sahip bir nükleer santralin işletimi sırasında oluşacak kullanılmış yakıtların güvenli depolanması için bir model önerilmiştir. Reaktörden alınan kullanılmış yakıtların reaktörün yanı başında bulunan kullanılmış yakıt havuzlarında geçici olarak depolandığı varsayılmıştır. Belli bir havuzda bekleme süresinden sonra bozunum ısısı ve radyoaktivite seviyesi azalmış VVER-1200 kullanılmış yakıtlarına “uzun süre depolama” ya da “yeniden işleme” seçenekleri uygulanabilir. Günümüzde işletmede olan VVER tipi reaktörlerde tek geçişli yakıt çevrimi uygulanmakta ve reaktörden alınan kullanılmış yakıtlar uzun süre depolanmaktadır (IAEA 2018). VVER-1200 kullanılmış yakıtları için de aynı yaklaşım uygulanabilir. Bu çalışmada, dört VVER-1200 ünitesinin işletimi sonucunda oluşacak kullanılmış yakıtlar için uzun süre depolama seçeneği olarak “kuru depolama” uygulanacağı varsayılmış ve bu amaçla kurulacak bir tesis modeli geliştirilmiştir. Tesisin iki farklı depolama senaryosu için kurulum ve işletme maliyeti analiz edilmiştir.

2. Materyal ve Metot

Kuru depolama modelinin geliştirilmesinde ilk adım ihtiyaç duyulacak tesis kapasitesinin belirlenmesidir. Çalışmada ilk olarak, VVER-1200 reaktörünün tasarım özellikleri, işletme koşulları ve işletme süresi değerlendirilerek kullanılmış yakıt envanteri ile kuru depolama için gerekli tesis kapasitesi hesaplanmıştır. Daha sonra, kullanılmış yakıt miktarı ve tesis kapasitesi dikkate alınarak bir kuru

depolama tesisi modeli geliştirilmiştir. Tasarlanan tesiste iki farklı depolama senaryosunun uygulanması durumunda “net şimdiki değer” ve “seviyelendirilmiş birim maliyet” yöntemleri kullanılarak depolama maliyeti hesaplanmıştır. Analizlerde girdi olarak kullanılan önemli parametrelerdeki belirsizliklerin maliyete etkisinin değerlendirilebilmesi için duyarlılık analizi yapılmıştır. Duyarlılık analizinde, farklı yıllık faiz oranı ve depolama varili birim fiyatlarının depolama maliyetine etkisi incelenmiştir. Araştırma yönteminin adımları aşağıda ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

2.1. Kullanılmış Yakıt Envanterinin Belirlenmesi

Kuru depolama tesisinin kapasitesini depolanacak kullanılmış yakıt miktarı ve bu yakıtların depolama kaplarına yerleştirilme şekli belirlemektedir. Kullanılmış yakıt miktarı nükleer yakıtın tipi, reaktörün işletme koşulları, kapasitesi, yanma oranı gibi birçok değişkene bağlıdır. Bir nükleer reaktörden çıkarılacak yıllık kullanılmış yakıt miktarı aşağıda yer alan Eş. 1 ile hesaplanır:

$$M_{SF} = \frac{P_e \cdot CF \cdot 365}{\eta_{th} \cdot BU} = \frac{P_{th} \cdot CF \cdot 365}{BU} \quad (1)$$

Eş. 1’ de yer alan M_{SF} reaktörden çıkarılacak yıllık kullanılmış yakıt miktarını (kg), P_e reaktörün kurulu elektrik üretim kapasitesini (MWe), P_{th} termal gücünü (MWth), CF kapasite faktörünü (reaktörün bir yılda ürettiği enerjinin nominal güce oranı, %), η_{th} termal verimliliğini, BU yakıtın ortalama yanma oranını (yakıtın birim kütlesinden açığa çıkan enerji, MWd/tHM) simgelemektedir.

Bu çalışmada, dört adet VVER-1200 ünitesinden çıkarılacak yıllık kullanılmış yakıt miktarı Eş. 1 kullanılarak hesaplanmıştır. Reaktörlerin işletme ömrü boyunca oluşacak toplam kullanılmış yakıt miktarı belirlenmiş, bir VVER-1200 yakıt demetinin içerdiği yakıt miktarı dikkate alınarak kullanılmış yakıt demetlerinin sayısı hesaplanmıştır.

2.2. Kuru Depolama Yöntemi

Kullanılmış yakıtların uzun süre depolanmasında ilk uygulamalar reaktörden çıkarılan yakıtın reaktörün yanı başında veya santral sahasında bulunan kullanılmış yakıt havuzlarında bekletilmesi olmuştur. Bir süre sonra, kullanılmış yakıtların depolanmasında kuru depolama yöntemi de uygulanmaya başlamıştır. Kuru depolama yöntemi belli bir süre (5-10 yıl) havuzda bekletilmiş kullanılmış yakıtların silindirik variller içine yerleştirildikten sonra ilave radyasyon zırhlama katmanları kullanılarak yatay veya dikey doğrultuda depolanması temeline dayanır. Kuru depolama tesisinin temel işlevleri aşağıda verildiği gibidir (Rahayu et al. 2018):

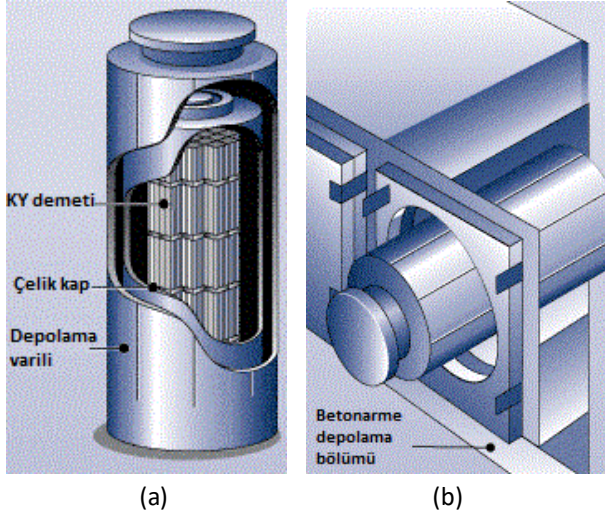
- Fisyon ürünleri ve uranyum ötesi elementlerin radyoaktif bozunumundan kaynaklı ısının yakıttan uzaklaştırılması
- Radyasyonun zırhlaması
- Çevreye olası bir radyonüklit sızıntısının önlenmesi
- Kritikliğin önlenmesi

Yukarıda yer alan temel işlevleri yerine getirecek şekilde birçok depolama yöntemi geliştirilmiştir. Geliştirilmiş tasarımların oyuk sıralı, beton varilli ve metal varilli olmak üzere üç ana grupta değerlendirilmesi mümkündür (IAEA 2009).

Oyuk sıralı tasarımlarda çelik silindirlere yüklenen kullanılmış yakıt demetleri yatay ya da dikey monolitik betonarme yapılar içinde açılmış oyuklara yerleştirilerek depolanmaktadır. Depolanmanın yapıldığı betonarme yapılar sabittir ve taşınmaz. Radyasyon zırhlama betonarme yapı ile sağlanırken kullanılmış yakıtın bozunum ısısı doğal konveksiyon ile oyuktan atmosfere aktarılmaktadır. Beton varilli tasarımlarda kullanılmış yakıt yüklü çelik variller zırhlama amacıyla beton variller içine yerleştirilir ve bu variller dikey olarak depolanır.

Metal variller içinde depolama yapılan tasarımlarda ise yapısal malzeme olarak çelik ve dökme demir kullanılmaktadır. Varilin içinde kullanılmış yakıt demetlerinin yerleştirildiği bir veya daha çok sayıda hücre bulunur. Kullanılmış yakıt demetlerinin bozunum ısısı yapısal malzemedan atmosfere

kondüksiyon mekanizmasıyla aktarılır. Metal variller sadece depolama amacıyla tasarlanabileceği gibi kullanılmış yakıtın hem taşınmasında hem de depolanmasında kullanılacak şekilde “çift amaçlı varil” olarak tasarlanabilir. Metal varilli ve oyuk sıralı kuru depolama uygulamalarının şematik çizimleri Şekil 1’ de gösterilmiştir.



Şekil 1. (a) Metal varilli depolama ve (b) oyuk sıralı depolama (Int Kyn. 2)

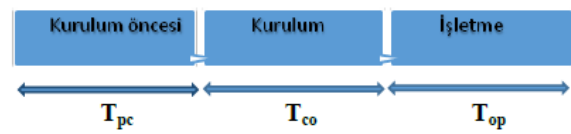
2.3. Yaşam Döngüsü Maliyet Analizi

Kuru depolama tesisi gibi uzun süreli uygulamaların yaşam döngüsü maliyeti hesaplanırken, ekonomik parametreler ile zaman arasında bir bağıntı kurulması gerekmektedir. Bu nedenle, öncelikle, tesisin yaşam döngüsünü oluşturan fazlar ve bu fazlara ait harcamalar belirlenmelidir. Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı’ nın 2009 yılında kullanılmış yakıtların depolanması ile ilgili hazırladığı teknik raporda kullanılmış yakıt depolama tesisinin yaşam döngüsü Çizelge 1’ de verilen fazlara ayrılmıştır. Tesis maliyetini oluşturan giderler yatırım, işletme-bakım ve işletmeden çıkarma olmak üzere üç ana kategoride toplanarak projenin her bir fazının ait olduğu gider kategorisi belirlenmiştir (IAEA 2009).

Çizelge 1. Kuru depolama tesisinin yaşam döngüsü fazları

Gider Kategorisi	Proje Fazı
Yatırım	Tasarım-Mühendislik
	Lisanslama
	İnşaat
İşletme-Bakım-Onarım	Kullanılmış yakıt yükleme Depolama
İşletmeden çıkarma	Tesis sökümü Dekontaminasyon

Bu çalışmada, Çizelge 1’ de yer alan “işletmeden çıkarma” dışındaki tüm fazlar dikkate alınarak tesisin maliyet analizinin yapıldığı zaman aralığı belirlenmiştir. Tesisin yaşam döngüsü Şekil 2’ de gösterildiği gibi kurulum öncesi (tasarım, mühendislik, lisanslama), kurulum (tesis inşaat edilmesi) ve işletme (depolama varillerinin yüklenmesi ve depolanması) fazlarından oluşacak şekilde belirlenmiştir. İşletmeden çıkarma fazı maliyet analizlerine dahil edilmemiştir. Şekil 2’ de yer alan T_{pc} , T_{co} ve T_{op} sırasıyla kurulum öncesi, kurulum ve işletme fazlarının sürelerini ifade etmektedir.



Şekil 2. Maliyet analizi için kuru depolama tesisinin yaşam döngüsü

Maliyet analizlerinin gerçekleştirileceği zaman aralığı ve fazlar belirlendikten sonra, her bir fazda yapılacak harcamaların zamana bağlı değişimini dikkate alarak tesisin maliyetini hesaplamak mümkündür. “Net şimdiki değer (NPV)” yöntemi uzun süreli projelerin maliyetini belirlemek için en sık uygulanan yöntemdir. NPV yönteminde depolama tesisinin maliyeti, tesis ömrü boyunca her yıl söz konusu olacak tüm harcama akışlarının, bir referans zaman için (maliyet hesabının yapıldığı zaman, tesisin inşaatının başladığı zaman gibi) eşdeğerinin bulunması ve bu maliyetlerin toplanması ile belirlenir (Nagano 2003). NPV aşağıda yer alan Eş. 2 kullanılarak hesaplanır:

$$NPV = \sum \frac{C_i}{(1+d)^i} \quad (2)$$

NPV tesisin maliyetinin net şimdiki değerini, i harcamanın yapıldığı yılın indeksini, C_i i yılında yapılan harcama miktarını, d yıllık faiz oranını simgelemektedir. Tesisin tasarımının belli olması durumunda, tesis bileşenlerinin maliyetlerinin karşılaştırılması ve kullanılacak bileşenin seçilmesinde NPV yönteminin kullanılması uygundur. Ancak, tesis tasarımının aynı kalmasına rağmen tesiste uygulanacak depolama senaryosu,

hem depolamaya gönderilen yıllık kullanılmış yakıt miktarını hem de maliyet analizinin gerçekleştirildiği zaman aralığındaki harcama akışını dolayısıyla tesisin maliyetini değiştirmektedir. Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı'nın 2009 yılında kullanılmış yakıtların depolanması ile ilgili hazırladığı teknik raporda farklı tasarımların veya depolama senaryolarının maliyetlerinin karşılaştırılmasında "seviyelendirilmiş birim maliyet (LUC)" analizi yapılmasının uygun olduğu belirtilmektedir (IAEA 2009). LUC bir projenin yaşam döngüsü boyunca yapılacak harcamaların net şimdiki değerinin projeden sağlanacak kazancın net şimdiki değerine eşit olması gerektiği varsayımına dayanmaktadır. Kullanılmış yakıt depolama tesisinin seviyelendirilmiş birim maliyeti Eş. 3' de verildiği gibi tesisin net şimdiki değerinin depolama periyoduna indirgenmiş kullanılmış yakıt miktarına oranlanması ile belirlenir (Cho et al. 2011).

$$LUC = \frac{NPV}{\sum \frac{M_i}{(1+d)^i}} \quad (3)$$

Eş. 3' de yer alan M_i i yılında kuru depolamaya gönderilen kullanılmış yakıt miktarını (kg) simgelemektedir. Bu çalışmada, depolama senaryosunun tesis maliyetine etkisini değerlendirmek amacıyla iki farklı depolama senaryosu için LUC analizi yapılmıştır. İlk senaryoda, kullanılmış yakıtların reaktörün yanı başındaki havuzlarda mümkün olduğunca kısa süre, ikinci senaryoda ise yakıt havuzunun kapasitesi dolana kadar bekletilerek kuru depolamaya gönderildiği kabul edilmiştir.

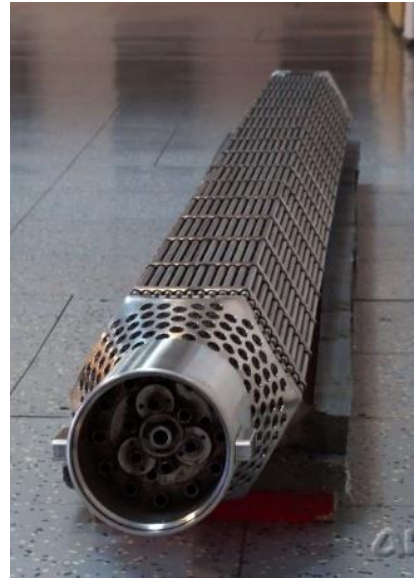
2.4. VVER-1200 Reaktörünün Teknik Özellikleri

VVER-1200 Nesil-III+ nükleer reaktörler arasında yer alan bir basınçlı su reaktörüdür. Ancak, reaktör kalbinde altıgen yakıt demetlerinin kullanımı ve buhar üreteçlerinin yatay yerleşimi gibi özellikleri tipik basınçlı su reaktörlerinin tasarımından farklıdır. Reaktörün nominal elektrik gücü 1200 MWe ve ısı gücü 3200 MWth'dır. VVER-1200 reaktörüne ait teknik özellikler Çizelge 2' de verilmiştir (IAEA 2018).

Bir VVER-1200 ünitesinde altıgen şeklinde ve her biri 312 adet UO_2 yakıt çubuğu içeren toplam 163 adet yakıt demeti bulunmaktadır. VVER-1200 yakıt demeti Şekil 3' de gösterilmiştir. Reaktöre yüklenen taze yakıt ortalama 4,79 w/o zenginliktedir ve 55800 MWd/tHM yanma oranına sahiptir (IAEA 2009).

Çizelge 2. VVER-1200 reaktörünün teknik özellikleri

Parametre	Değer
Elektrik gücü, P_e (MWe)	1170
Termal güç, P_{th} (MWth)	3200
Termal verimlilik, (%)	32,5
Kapasite faktörü, CF (%)	92
Reaktör ömrü (yıl)	60
Yakıt tipi	UO_2
Yakıt zenginliği, ϵ (ağırlıkça %)	4,79
Yakıt yanma oranı, BU (MWd/tHM)	55800
Reaktör kalbindeki yakıt demeti sayısı	163
Yakıt demeti yüksekliği (m)	4,57
Yakıt demetlerinin merkezleri arasındaki uzaklık (m)	0,236
Yakıt demeti içindeki yakıt çubuğu sayısı	312
Yakıt çubuğu dış çapı (mm)	9,1



Şekil 3. VVER-1200 yakıt demeti (Int Kyn. 3)

Bu çalışmada, dört adet VVER-1200 ünitesi içeren toplam 4800 MWe kurulu güce sahip bir nükleer santralin işletimi sırasında oluşacak kullanılmış yakıtların güvenli depolanması için bir tesis modeli önerilmiştir. Her bir ünitenin işletmeye alınmasından bir yıl sonra kullanılmış yakıt oluşumu başlayacak ve her yıl bu kullanılmış yakıtlar reaktörden alınarak taze yakıt yüklenecektir. Reaktörden çıkarılan yakıt, bertaraf öncesinde uzun süre depolanabilir veya karışık oksitli yakıt (MOX) olarak çevrime gönderilmek üzere yeniden işleme

tesisinde işlenebilir. VVER tipi reaktörlerde MOX yakıtlar kullanılabilir, ancak günümüzde işletmede olan VVER ünitelerinde tek geçişli yakıt çevrimi uygulanmaktadır (IAEA 2009). Bu durumda, reaktörden alınan kullanılmış yakıt uzun süre depolama seçeneğinin uygulanması gerekmektedir. Depolama ve taşıma işlemleri öncesinde kullanılmış yakıtın havuza alınarak radyoaktivite seviyesinin ve bozunum ısısının azalması sağlanacaktır. Her bir VVER-1200 ünitesinin yakıt havuzunun kapasitesi, her güç ünitesinin 10 işletme yılı süresince oluşacak kullanılmış yakıtlarının depolanması için yeterli olacak şekilde tasarlanmıştır (IAEA 2009). Yakıt demetlerinin, kullanılmış yakıt havuzunda belli bir süre bekletildikten sonra, saha-içi ya da saha-dışı depolama tesisine aktarılması veya bertaraf tesisine gönderilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, kullanılmış yakıtların uzun süre depolanmak üzere gönderileceği kuru depolama tesisinin santral sahasında bulunduğu varsayılmıştır.

2.5. Kullanılmış Yakıt Miktarının Projeksiyonu

Depolama varillerinin sayısı ve buna bağlı olarak tesis kapasitesi depolanacak kullanılmış yakıt envanteri ile orantılıdır. Bu nedenle, ilk olarak, Eş. 1 ve Çizelge 2' de verilen reaktör tasarım parametreleri kullanılarak her bir üniteden çıkarılan kullanılmış yakıt miktarı belirlenmiştir. Daha sonra, reaktör ömrü boyunca (60 yıl) dört üniteden alınacak kullanılmış yakıt miktarı ve yakıt demeti sayısı hesaplanmıştır. Çizelge 3 nükleer santralden yıllık ve işletme ömrü boyunca çıkarılacak kullanılmış yakıt miktarlarını göstermektedir.

Çizelge 3. Kullanılmış yakıt miktarı

	Ünite 1	Ünite 2	Ünite 3	Ünite 4
Yıllık KY ¹ miktarı (kg)	22462	22462	22462	22462
Yıllık KY demeti sayısı	42	42	42	42
Reaktör ömrü boyunca oluşacak KY demeti sayısı	2520	2520	2520	2520
Toplam KY demeti sayısı	10080			

¹KY: Kullanılmış Yakıt

2.6. Kuru Depolama Tesisi Modeli ve Depolama Senaryoları

Çalışmanın bu bölümünde, yukarıda belirlenen kullanılmış yakıt envanteri için bir kuru depolama

tesisi modeli geliştirilmiştir. Öncelikle, tesiste kullanılacak depolama varili seçilmiş ve bu model temel alınarak reaktörün işletimi sonucunda oluşacak kullanılmış yakıt envanterinin depolanması için gerekli varil sayısı hesaplanmıştır. Sonrasında, varillerin depolanması için ihtiyaç duyulacak tesisin büyüklüğü ve temel özellikleri belirlenmiştir.

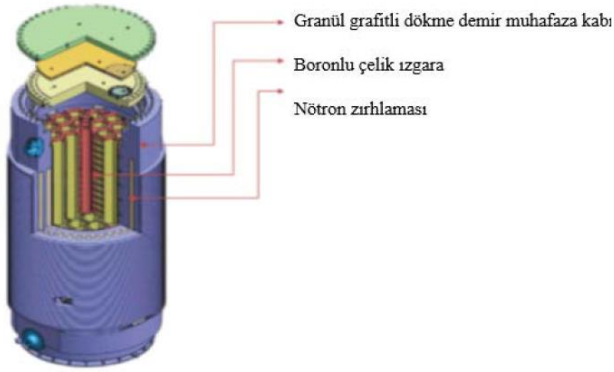
Kuru depolamada kullanılan üç ana yöntemden (oyuk sıralı, beton varilli ve metal varilli depolama), metal varillerde depolama modüler yapıdadır ve depolama kapasitesinin ihtiyaç duyulması durumunda artırılmasına olanak tanır. Bununla birlikte, işletme ve bakım-onarım maliyetleri betonarme depolama sistemlerinden daha düşüktür (Nagano 2003). Ayrıca, sadece depolama yerine taşıma ve depolama işlemlerinin her ikisinde kullanılabilir şekilde çift amaçlı metal variller tasarlanabilmektedir. Çift amaçlı metal variller, kullanılmış yakıt yükleme işleminin sadece bir kere yapılmasını sağlayarak uygulama sırasında doğabilecek radyolojik riskleri azaltır (IAEA 2009). Metal varillerde depolamanın bu avantajları dikkate alınarak, çalışmada, çift amaçlı metal varillerin kullanıldığı bir kuru depolama tesisi modeli geliştirilmiştir.

VVER reaktör sınıfından VVER-440 ve VVER-1000 reaktörlerinin kullanılmış yakıtları için "CASTOR-440/84" ve "TUK-13" çift amaçlı varilleri günümüzde depolama tesislerinde kullanılmaktadır (IAEA 2009). VVER 1200 reaktöründe olduğu gibi yüksek zenginliğe ve yanma oranına sahip kullanılmış yakıtlar için ise "TUK-141" çift amaçlı varil tasarımı geliştirilmiştir. "TUK-141" tasarımının işletme testleri ve lisanslanma işlemleri yakın zamanda tamamlanmıştır (Int Kyn. 4). Çalışmada, VVER 1200 kullanılmış yakıtlarının taşınması ve depolanması için "TUK-141" çift amaçlı varili seçilmiştir. Şekil 4' te modeli yer alan "TUK-141" varilinin çapı 3,12 metre, yüksekliği 5,86 metre ve yakıt yüklenmemiş ağırlığı 98 tondur (Makarchuk 2015).

Radyoaktif maddenin hapsedilmesi, zırhlanması, kritikliğin önlenmesi ve bozunum ısısının kullanılmış yakıttan uzaklaştırılması olmak üzere dört temel güvenlik işlevini yerine getirecek şekilde tasarlanmış

TUK-141 çift amaçlı varilinin bileşenleri ve işlevleri aşağıdaki gibidir:

- 18 adet VVER-1200 kullanılmış yakıtının yerleştirilmesi ve yapısal olarak desteklenmesi, ısının varil gövdesine iletilmesi ve nötron yutulumu ile kritikliğin engellenmesi işlevlerini yerine getiren boronlu çelik ızgara yapı,
- Radyoaktif maddelerin muhafazasını sağlayan granül grafitli dökme demirden yapılmış metal gövde,
- Nötron zırhlaması sağlayan boratlanmış polyester reçine (Makarchuk 2015).

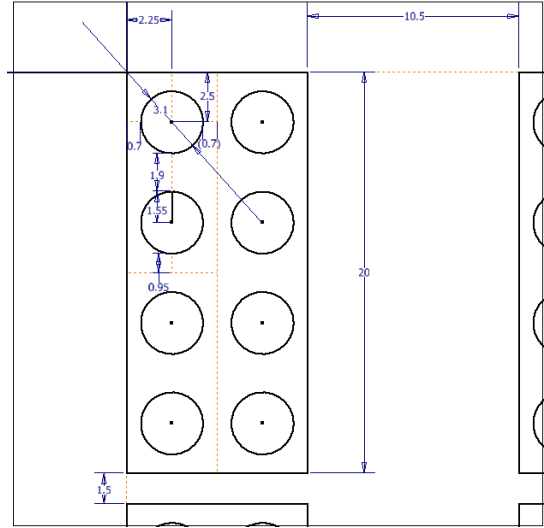


Şekil 4. TUK 141 çift amaçlı varili (Makarchuk 2015)

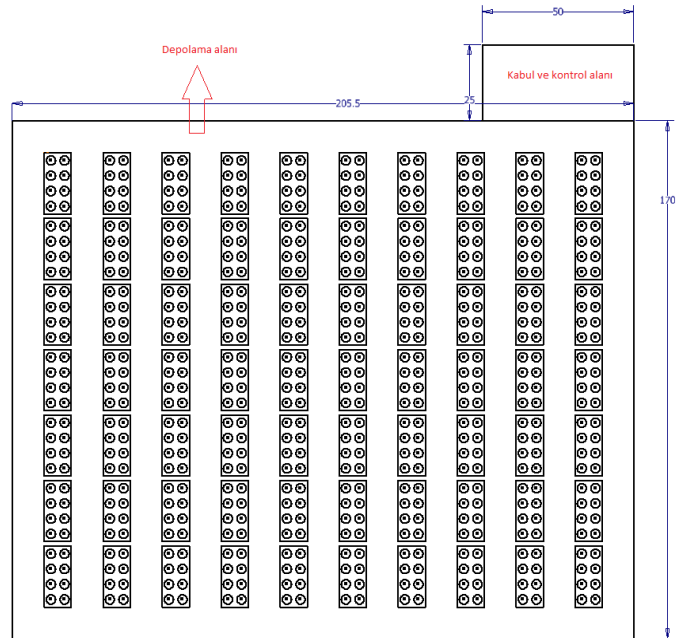
Tesis, idari bina, kabul, kontrol, bakım-onarım ve depolama olmak üzere beş alandan oluşacaktır. Tesisin etrafı çevrilecektir ve radyasyon güvenliği açısından "kontrollü" alan olarak belirlenecektir. Tesisin depolama, kabul ve kontrol alanları ise erişimi "sınırlı" alanlar olarak tasarlanacaktır.

Kabul bölümüne gelen ve kontrol edilen çift amaçlı variller depolama bölümünde beton dolgu üzerine dikey olarak yerleştirilerek depolanacaktır. Varillerin yerleştirileceği beton dolgu parçalı bir yapıda olacaktır. Beton dolgu parça Şekil 5' te gösterildiği gibi üzerine 8 adet depolama varili yerleştirilebilir yapıdadır ve 20x9x1 ebatlarındadır (USNRC 2001).

Depolama alanının tabanı bu parçalı yapılar bir araya getirilerek oluşturulacaktır. Ardışık olarak yerleştirilen beton dolgular arasındaki uzaklık 1,5 metredir. Her bir beton dolgu sırası arasındaki uzaklık ise 10,5 metredir (USNRC 2001). Kuru depolama tesisinin planı Şekil 6' da gösterilmiştir.



Şekil 5. Beton depolama dolgu parçası



Şekil 6. Kuru depolama tesisinin planı

Belirlenen tasarım özellikleri kullanılarak tesiste depolanacak varil sayısı ve tesis büyüklüğü Çizelge 4' te verildiği gibi hesaplanmıştır. Beton dolgu tesisin inşaat aşamasında yapılacak, depolama varilleri ise yıllık olarak temin edilerek kullanılmış yakıt yüklenmiş şekilde depolama tesisine gelecektir.

Çizelge 4. Tesis kapasitesi ve depolama alanı

Tesis bileşeni	Sayısı/Büyüklüğü
Tesiste depolanacak toplam varil sayısı	560
Beton dolgu parçası sayısı	70
Tesisin depolama yüzey alanı (m ²)	34935

Tesiste iki farklı depolama senaryosunun uygulanacağı varsayılmıştır. İlk senaryoda (S1), kullanılmış yakıtların reaktörün yanı başındaki havuzlarda mümkün olduğunca kısa süre, ikinci senaryoda (S2) ise yakıt havuzunun kapasitesi dolana kadar (10 yıl) bekletilerek kuru depolamaya gönderildiği kabul edilmiştir. S1’ de havuzda bekletilme süresi kullanılmış yakıtların depolanmasıyla ilgili düzenleyici dokümanlarda önerilen en kısa süre olan 5 yıl olarak belirlenmiştir (Int Kyn. 5). Kuru depolama tesisinin maliyet analizleri bu iki farklı depolama senaryosu için yapılmıştır.

2.7. Kuru Depolama Maliyetinin Belirlenmesi

Kuru depolama tesisinin maliyeti, kullanılmış yakıtın özellikleri, depolama tesisinin büyüklüğü, depolama senaryoları, birim fiyatlar ve enflasyon faktörü dikkate alınarak hesaplanmıştır.

Maliyet hesabında yapılan kabuller aşağıda verilmiştir:

- İşletme ömrü 60 yıl olan nükleer santralin 2023 yılında işletmeye alınacağı varsayılmıştır. Tüm ünitelerin 2023-2083 yılları arasında işletmede olacağı ve her üniteden 2024 yılında başlamak üzere her yıl aynı miktarda kullanılmış yakıt çıkarılacağı varsayılmıştır.
- Kullanılmış yakıt kuru depolama tesisi santral sahasında kurulacaktır. Böylece depolama varillerinin saha dışına taşınmasına ilişkin bir maliyet söz konusu olmayacaktır.
- Depolama tesisinin işletmeden çıkarılma maliyeti hesaba katılmamıştır.
- Kurulum öncesi ve kurulum fazlarına ait harcamaların ilgili fazın başlangıcında yapıldığı; işletme fazında ise depolama varillerinin her yıl ihtiyaç duyulan miktarlarda temin edildiği varsayılmıştır.

Tesisin maliyeti Şekil 2’ deki kurulum öncesi, kurulum ve işletme fazlarını içeren zaman aralığı için hesaplanmıştır. Tesisin tasarlanması, mühendislik ve lisanslama çalışmalarını içeren kurulum öncesi faz (T_{pc}) 3 yıl olarak belirlenmiştir (EPRI 2010). Kurulum fazı tesisin ana binasının inşa edilmesi, beton

depolama tabanlarının hazırlanması ve taşıma alt yapısının oluşturulması çalışmalarını içerir ve 4 yıllık bir dönemdir (T_{co}) (EPRI 2010). İşletme fazı kullanılmış yakıt depolama varillerinin yüklenmesi ve depolanmasını içermektedir. İşletme fazında depolama varillerinin her yıl gereken miktarda üretilerek kullanılmış yakıt ile yüklendiği varsayılmıştır. Kullanılmış yakıtın kuru depolamaya gönderildiği yıl (t_{tr}), soğutma süresine (T_c) ve yakıtın reaktörden çıkarıldığı yıla (T_d) bağlı olarak değişecektir ($t_{tr}=T_d+T_c$). Depolama tesisi için işletme fazının sona erdiği zaman (t_{end}) santralin işletmeden çıkarıldığı zaman olarak belirlenmiştir. Bu durumda, belirlenen zaman aralıkları ve fazlar kullanılarak net şimdiki değer hesaplamasında kullanılan Eş. 2 yeniden düzenlenebilir ve Eş. 4’ te verildiği gibi yazılabilir (Al Saadi and Yi 2015):

$$NPV = \frac{C_{pc}}{(1+d)^{(t_{tr}-T_{pc}-T_{co}-t_{ref})}} + \frac{C_{co}}{(1+d)^{(t_{tr}-T_{co}-t_{ref})}} + \sum_{i=t_{tr}-t_{ref}}^{t_{end}-t_{ref}} \frac{C_{op}}{(1+d)^i} \quad (4)$$

C_{pc} , C_{co} , C_{op} sırasıyla, kurulum öncesi, kurulum ve işletme fazlarında yapılan harcamaları simgelemektedir. Analizlerde referans tarih olarak 2019 yılı (t_{ref}) seçilmiş ve tüm harcamalar bu tarihe indirgenerek depolama maliyeti hesaplanmıştır. İktisadi İşbirliği ve Kalkınma Teşkilatı-Nükleer Enerji Ajansı (OECD-NEA)’ nın nükleer yakıt çevriminin ekonomik analizi ile ilgili hazırladığı raporda % 5 yıllık faiz oranı referans değer olarak kabul edilmektedir (OECD 1994). Bu nedenle, maliyet analizinde yıllık faiz oranı % 5 olarak alınmıştır. Sonuçların depolama maliyeti hesaplamalarına ilişkin diğer çalışmalarla karşılaştırılabilmesi için para birimi dolar alınmıştır.

Her bir faz için farklı harcama bileşenleri söz konusudur. Maliyet analizinde kullanılan harcama bileşenleri, kuru depolama tesisleri için literatürde yer alan maliyet verileri kullanılarak belirlenmiştir. Kurulum öncesi dönem harcamaları tasarım, mühendislik ve lisanslama giderlerini kapsamaktadır. Elektrik Enerjisi Araştırma Enstitüsü (EPRI) tarafından 2009 yılında hazırlanan kullanılmış yakıtların kuru depolanmasının maliyeti ile ilgili raporda, kurulum öncesi dönem harcamaları 51,8 milyon \$ (kurulum öncesi çalışmalar, lisanslama

giderleri ve inşaaata hazırlık işlemleri) olarak verilmiştir (EPRI 2010).

İnşaat fazındaki harcamalar depolama varillerinin yerleştirileceği beton tabanın inşası ve kullanılmış yakıt yüklü depolama varillerinin taşınmasında kullanılacak altyapının oluşturulması giderlerini içermektedir. İnşaat sırasında her bir depolama varili için beton tabanın maliyeti EPRI raporunda 13400 \$ olarak verilmiştir. Bu durumda, bu çalışmada belirlenen tesis boyutları için beton taban inşasının maliyeti 7,5 milyon \$ olarak hesaplanır. EPRI raporunda taşıma altyapı maliyeti yıllık 2000 ton kullanılmış yakıt kabul eden bir kuru depolama tesisi için 135,8 milyon \$ olarak belirlenmiştir (EPRI, 2009). Bu çalışmada hesaplanan yıllık kullanılmış yakıt miktarı 89,85 tondur. Bu durumda altyapı için yapılacak harcama 6,1 milyon \$ olarak öngörülebilir.

İşletme fazı süresince her yıl için çift amaçlı varil tedarikinin bir maliyeti olacaktır. EPRI raporunda günümüzde kullanılan çift amaçlı variller için maliyet 700000 \$ olarak verilmiştir. Ancak, bu değer varilin tasarım özelliklerine göre büyük oranda değişecektir. Bu nedenle, ilk olarak maliyet analizinde varil birim maliyeti 700000 \$ olarak alınmış ve farklı değerler için duyarlılık analizi yapılmıştır. Her faz için belirlenen ve maliyet analizlerinde kullanılan harcama bileşenleri Çizelge 5' de özetlenmiştir.

Çizelge 5. Tesis fazlarının maliyeti

Faz	Harcama bileşeni	Maliyet (2019 yılı doları)
Kurulum öncesi	Mühendislik, lisanslama	51,8 milyon
Kurulum	Beton depolama varili tabanı	7,5 milyon
	Taşıma altyapısı	6,1milyon
İşletme (yıllık)	Çift amaçlı depolama varili	6,53 milyon

Çizelge 1' de her bir faz için verilen maliyet bileşenleri ve % 5 yıllık faiz oranı kullanılarak Senaryo 1 ve 2 için tesisin net şimdiki değeri hesaplanmıştır. Elde edilen net şimdiki değer tesis işletme ömrü ile birlikte değerlendirilerek tesis için seviyelendirilmiş birim maliyet hesaplanmıştır.

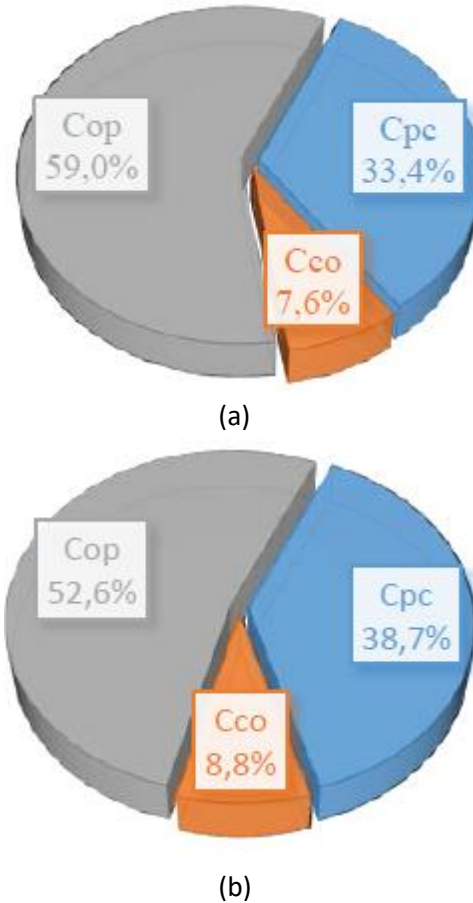
3. Bulgular

S1 ve S2 depolama senaryoları için tesis maliyetinin NPV ve LUC değerleri Çizelge 6' da verildiği gibi hesaplanmıştır. Depolama tesisinde S1 senaryosunun uygulanması durumunda tesis maliyetinin net şimdiki değeri S2 senaryosunun uygulandığı durumdaki maliyetten % 20 daha fazladır.

Çizelge 6. S1 ve S2 senaryoları için kuru depolama maliyeti

Senaryo	NPV (Milyon \$)	LUC (\$/kg-HM)
S1	133,95	123,21
S2	115,71	138,35

S1 ve S2 senaryoları için kurulum öncesi, kurulum ve işletme fazlarının tesisin toplam maliyetindeki payları Şekil 7' de gösterilmiştir.



Şekil 7. Depolama maliyetinin net şimdiki değeri (a) Senaryo 1 ve (b) Senaryo 2

Her iki depolama senaryosunda da en büyük harcama bileşeni tesis maliyetinin yarısından fazlasını oluşturan işletme fazı giderleridir. S2 senaryosunun uygulanması durumunda işletme giderleri S1 senaryosuna göre % 10 azalmaktadır.

Bunun nedeni, S2 senaryosunda kullanılmış yakıtların havuzda 5 yıl yerine 10 yıl bekletilmesinin tesisin yaşam döngüsü boyunca depolanacak kullanılmış yakıt miktarını ve depolama varili sayısını azaltmasıdır. Kurulum fazında yapılacak harcamalar toplam maliyetin yaklaşık 1/10' ini oluşturmaktadır. Kullanılmış yakıtların depolanacağı varillerin işletme sırasında yıllık olarak tedarik edilmesi ve depolama tesisinin nükleer santral sahasında yer alması kurulum fazındaki harcamaların tesis maliyetindeki payını düşürmüştür.

Tesisin seviyelendirilmiş birim maliyeti ise S1 senaryosu için S2 senaryosundan daha düşüktür. Bu durumda, S2 senaryosunun uygulanması halinde nükleer santralden işletme ömrü boyunca çıkarılan kullanılmış yakıtın birim ağırlığının depolanmasının maliyeti artmaktadır.

Maliyet analizinde kullanılan değişkenlerdeki belirsizliklerin NPV ve LUC değerlerine etkisini incelemek amacıyla yıllık faiz oranı ve depolama varili birim maliyeti için duyarlılık analizi yapılarak S1 ve S2 senaryoları karşılaştırılmıştır. Duyarlılık analizinde kullanılan faiz oranı ve depolama varili birim fiyatı değerleri Çizelge 7' de verilmiş ve elde edilen sonuçlar Çizelge 8' de özetlenmiştir.

Çizelge 7. Duyarlılık analizinde kullanılan değişkenler

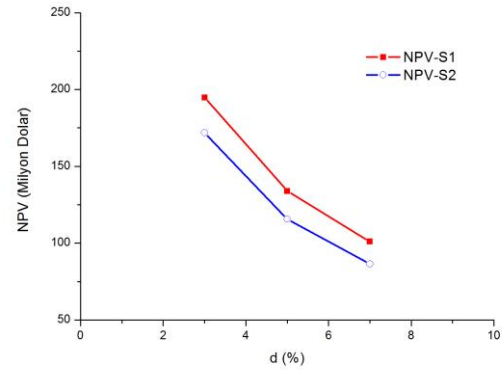
Parametre	Değer		
Faiz oranı (%)	3	5	7
Depolama varili birim fiyatı (\$)	700000	900000	1350000

Çizelge 8. Duyarlılık analizi sonuçları

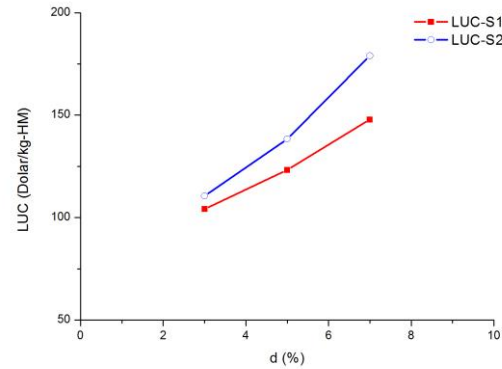
Faiz oranı (%)	Depolama varili fiyatı (\$)	NPV-S1 (Milyon \$)	NPV-S2 (Milyon \$)	LUC-S1 (\$/kg-HM)	LUC-S2 (\$/kg-HM)
3	700000	194,83	171,90	104,14	110,51
5	700000	133,94	115,71	123,21	138,35
7	700000	101,06	86,48	147,82	178,97
3	900000	233,70	204,21	124,92	131,29
5	900000	156,52	133,09	143,99	159,13
7	900000	115,26	96,53	168,60	199,75
3	1350000	321,15	276,92	171,66	178,03
5	1350000	207,35	172,18	190,73	205,87
7	1350000	147,21	119,12	215,34	246,49

S1 ve S2 senaryolarının uygulanması durumunda yıllık faiz oranındaki değişimin tesisin NPV ve LUC değerine etkisini gözlemlemek amacıyla depolama varili birim fiyatının 700000 \$ olduğu varsayılarak

maliyet analizleri yapılmıştır. Yıllık faiz oranındaki değişimin her iki depolama senaryosu için tesis maliyetinin NPV değerine etkisi Şekil 8' de, LUC değerine etkisi Şekil 9' da gösterilmektedir.



Şekil 8. Tesisin NPV değerinin faiz oranı ile değişimi

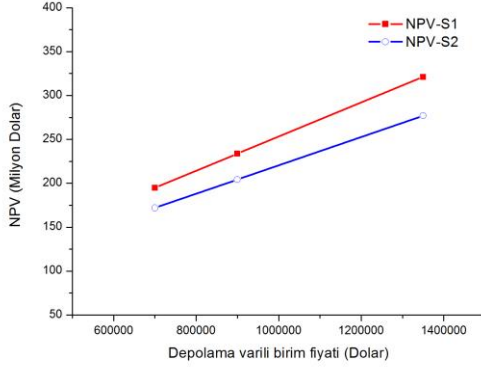


Şekil 9. Tesisin LUC değerinin faiz oranı ile değişimi

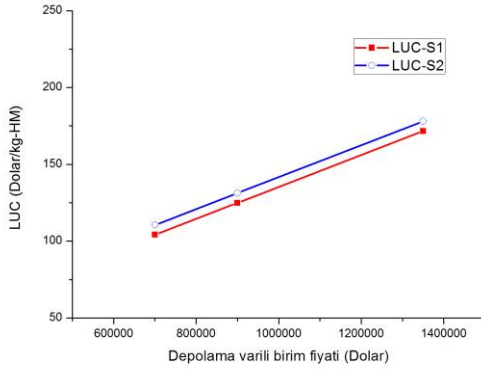
Şekil 8' de artan yıllık faiz oranlarıyla tesisin net şimdiki değerinin her iki senaryo için aynı oranlarda düştüğü görülmektedir. Tesis maliyetinin net şimdiki değerinin artan faiz oranlarıyla azalmasının nedeni gelecekte yapılacak harcamaların referans tarihe (2019) indirgenerek önceden yapılacağı kabul edilmesinden kaynaklanmaktadır. Şekil 9' da faiz oranındaki artışın her iki senaryo için seviyelendirilmiş birim maliyeti artırdığı gözlemlenmektedir. Ancak, maliyetin artış oranı S1 senaryosu için daha fazladır.

S1 ve S2 senaryolarının uygulanması durumunda depolama varili birim fiyatındaki değişimin tesisin NPV ve LUC değerine etkisini gözlemlemek amacıyla yıllık faiz oranının % 3 olduğu varsayılarak maliyet analizleri yapılmıştır. Depolama varili birim maliyetindeki değişimin her iki depolama senaryosu

için tesis maliyetinin NPV değerine etkisi Şekil 10' da, LUC değerine etkisi Şekil 11' de gösterilmektedir.



Şekil 10. Tesisin NPV değerinin depolama varili birim fiyatı ile değişimi



Şekil 11. Tesisin LUC değerinin depolama varili birim fiyatı ile değişimi

Şekil 10 ve 11' de görüldüğü üzere tesis maliyetinin net şimdiki değeri ve seviyelendirilmiş birim maliyet her iki senaryo için artan depolama varili birim fiyatı ile artmaktadır. Bu durumda, depolama varili birim fiyatının kuru depolama tesisinin maliyetini belirleyici bir unsur olduğu düşünülebilir.

4. Sonuçlar

Günümüzde nükleer santrallerin işletilmesi sırasında oluşan kullanılmış yakıtların güvenli yönetimi için henüz genel kabul görmüş bir yöntem bulunmamaktadır. Nükleer güç programına sahip ülkeler tarafından uzun süre depolama ve kullanılmış yakıtın yeniden işlenmesi gibi farklı yaklaşımlar uygulanmaktadır. Kullanılmış yakıtların uzun süre depolanmasında havuzda bekletme ve kuru depolama gibi seçenekler söz konusudur. Bununla birlikte, kuru depolamada kullanılabilecek

birçok depolama varili ve tesis bileşeni seçeneği mevcuttur.

Bu çalışmada, dört adet VVER-1200 tipi reaktör ünitesi içeren bir nükleer güç santralinin işletilmesi sırasında oluşacak kullanılmış yakıtlar için bir kuru depolama tesisi modeli geliştirilmiştir. Tesiste kullanılacak depolama varili modeli ve tesis bileşenleri belirlenmiştir. Nükleer santralden alınan kullanılmış yakıtların mümkün olan en kısa ve en uzun süre olmak üzere kullanılmış yakıt havuzunda bekletilerek kuru depolamaya gönderildiği iki farklı senaryonun (S1 ve S2) uygulanması durumunda tesisin yaşam döngüsü maliyet analizi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, kullanılmış yakıtların en kısa zamanda kuru depolamaya gönderildiği S1 senaryosunun uygulanması durumunda tesisin maliyetinin net şimdiki değerinin S2 senaryosundan daha yüksek olduğunu göstermiştir. Ancak, tesiste yapılacak depolamanın seviyelendirilmiş birim maliyetine bakıldığında, kullanılmış yakıtların mümkün olan en uzun süre havuzda bekletildikten sonra kuru depolamaya gönderildiği S2 senaryosunda maliyetin daha fazla olduğu görülmektedir. Bu durumda, S2 senaryosu uygulandığında kullanılmış yakıtların birim ağırlığını depolamanın maliyeti artacaktır.

Çalışmada ayrıca, tesis maliyetini etkileyen önemli parametreler için duyarlılık analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, depolama varili birim fiyatının tesis maliyetinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, ileriki çalışmalarda farklı depolama varili modelleri kullanılarak tesis büyüklüğü ve özellikleri belirlenebilir ve maliyet karşılaştırması yapılarak söz konusu kullanılmış yakıt envanteri için en uygun kuru depolama modeli belirlenebilir.

5. Kaynaklar

- Al Saadi S. and Yi Y., 2015. Dry storage of spent nuclear fuel in UAE-Economic aspect. *Annals of Nuclear Energy*, **75**, 527-535.
- Cho C., Kim T., Seong K., Kim H. and Yoon J., 2011. Cost comparisons of wet and dry interim storage

facilities for PWR spent nuclear fuel in Korea. *Annals of Nuclear Energy*, **38**, 976-981.

EPRI (Electric Power Research Institute), 2009. Cost Estimate for an Away-From-Reactor Generic Interim Storage Facility (GISF) for Spent Nuclear Fuel, California, USA, 54.

EPRI (Electric Power Research Institute), 2010. Industry Spent Fuel Storage Handbook, California, USA, 156.

IAEA (International Atomic Energy Agency), 2009. Costing of Spent Nuclear Fuel Storage, Nuclear Energy Series Technical Reports, Vienna, Austria, 85.

IAEA (International Atomic Energy Agency), 2011. Status report 108 - VVER-1200 (V-491) (VVER-1200 (V-491)), Vienna, Austria, 32.

Makarchuk T., 2015. Experience of Cask Technology for SNF Management. IAEA International Conference on the Management of Spent Fuel in Nuclear Power Reactors, Vienna, Austria.

Nagano K., 2003. System analysis of spent fuel management in Japan (II)-methodologies for economic analysis of spent fuel storage. *Journal of Nuclear Science and Technology*, **40 (4)**, 182–191.

OECD-NEA (Organization for Economic Co-operation and Development, Nuclear Energy Agency), 1994. The Economics of the Nuclear Fuel Cycle, Paris, France, 175.

Rahayu D., Purwanto Y. and Salimin Z., 2018. Design of dry cask storage for Serpong multipurpose reactor spent nuclear fuel. *Urania*, **24 (1)**, 61-72.

USNRC, 2001. Final Environmental Impact Statement for the Construction and Operation of an Independent Spent Fuel Storage Installation on the Reservation of the Skull Valley Band of Goshute Indians and the Related Transportation Facility in Tooele County (NUREG-1714), 910.

İnternet Kaynakları

World Nuclear News, Second Novovoronezh II unit enters commercial operation. <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Second-Novovoronezh-II-unit-enters-commercial-operation>. Yayın tarihi: Kasım, 1, 2019, Erişim tarihi: Mart 31, 2020

USNRC, Typical Dry Cask Storage System. <https://www.nrc.gov/waste/spent-fuel-storage/diagram-typical-dry-cask-system>. Yayın tarihi: Ağustos 9, 2017, Erişim tarihi: Haziran 7, 2018

<http://io.ua/13415586.ТВЕЛьизготовл.изциркония>: Erişim tarihi: 10 Ekim, 2015

Rosatom Newsletter, New TUK Cask Licensed to Transport Nuclear Waste, <http://rosatomnewsletter.com/2017/07/28/new-tuk-flask-licensed-to-transport-nuclear-waste>. Yayın tarihi: Haziran 3, 2017, Erişim tarihi: Mayıs 5, 2019

USNRC, Spent Fuel Storage in Pools and Dry Casks. <https://www.nrc.gov/waste/spent-fuel-storage/faqs>. Yayın tarihi: Ağustos 9, 2017, Erişim tarihi: Mayıs 5, 2019